

Научная статья

УДК [639.2.081.7:597.555.5]/(265.51)

DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809

EDN: IIAZEX



**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБИЛИЕ МИНТАЯ *THERAGRA CHALCOGRAMMA*
В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕРИНГОВА МОРЯ В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ
ПЕРИОД 2020 Г. И ИХ МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ**

В.И. Поляничко, М.Ю. Кузнецов*

Тихоокеанский филиал ВНИРО (ТИНРО),
690091, г. Владивосток, пер. Шевченко, 4

Аннотация. На основе данных эхоинтеграционной тралово-акустической съемки рассматриваются особенности пространственного распределения и обилия минтая в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. Карты горизонтального и вертикального распределения скоплений иллюстрируют предпочтительность обитания минтая в районах шельфа с положительной или близкой к нулю температурой вод и усиление концентрации рыб в градиентных зонах. Наиболее плотные агрегации минтая (более 300 тыс. экз./миля²) были сосредоточены в восточной части Анадырского залива и вблизи разделительной линии России и США. Представлены характерные акустические изображения и суточное распределение минтая на галсах съемки. Выявлены особенности пространственной и батиметрической дифференциации различных размерных групп минтая на обследованной акватории. Более 83 % численности минтая было учтено в диапазоне глубин дна 50–150 м. В наиболее заселенном интервале глубин дна 75–125 м в скоплениях преобладал не половозрелый минтай 21–37 см. Приводится динамика размерного состава и обилия минтая в северо-западной части Берингова моря по данным тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг. Межгодовые колебания численности и распространения минтая на северо-западный шельф Берингова моря сопоставляются с термическими условиями. Подтверждена связь между обилием минтая и аномалиями придонной температуры (коэффициент корреляции 0,69). В благоприятные по термическому режиму вод годы биомасса и площадь распространения рыб из юго-восточной части моря заметно выше, чем в холодные периоды.

Ключевые слова: тралово-акустическая съемка, Берингово море, анадырско-наваринский район, минтай, распределение, миграции, плотность скопления, обилие, термические условия, аномалии

Для цитирования: Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю. Распределение и обилие минтая *Theragra chalcogramma* в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. и их межгодовая изменчивость // Изв. ТИНРО. — 2022. — Т. 202, вып. 4. — С. 793–809. DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809. EDN: IIAZEX.

* Поляничко Владимир Ильич, заведующий сектором, vladimir.polyanichko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494; Кузнецов Михаил Юрьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией, mikhael.kuznetsov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959.

© Поляничко В.И., Кузнецов М.Ю., 2022

Distribution and abundance of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the northwestern Bering Sea in the summer-fall period of 2020 and their interannual variability

Vladimir I. Polyanychko*, Mikhail Yu. Kuznetsov**

*, ** Pacific branch of VNIRO (TINRO), 4, Shevchenko Alley, Vladivostok, 690091, Russia

* head of sector, vladimir.polyanychko@tinro-center.ru, ORCID 0000-0002-8813-3494

** Ph.D., head of laboratory, mikhail.kuznetsov@tinro-center.ru, ORCID 0000-0001-6917-9959

Abstract. Spatial distribution and abundance of walleye pollock are considered for the northwestern Bering Sea in the summer-fall of 2020 on the data of echo-integration trawl-acoustic survey. The pollock aggregated mostly in the shelf areas with positive or close to zero water temperature, with the higher concentration in the high-gradient zones. The densest aggregations ($> 300 \cdot 10^3$ pcs./nmi²) were found in the eastern part of the Gulf of Anadyr and at the line between the economic zones of Russia and USA. Characteristic acoustic images and daily distribution of walleye pollock on the survey transects are presented. Spatial and bathymetric differentiation of certain size groups of pollock are revealed. More than 83 % of the fish were counted in the areas with bottom depth of 50–150 m. Immature walleye pollock with the size of 21–37 cm accumulated mainly in the areas with bottom depth of 75–125 m. Interannual dynamics of the size composition and abundance of walleye pollock in the northwestern Bering Sea is considered on the data of trawl-acoustic surveys in 2013–2020. The fluctuations of abundance and distribution are compared with changes of thermal conditions. Significant dependence of the pollock abundance on the mean anomaly of bottom temperature is confirmed (correlation coefficient +0.69): the species biomass was noticeably higher and its distribution was wider in the years with favorable (relatively warm) thermal regime than in cold periods.

Keywords: trawl-acoustic survey, Bering Sea, Cape Navarin area, walleye pollock, fish distribution, migration, aggregation density, fish abundance, thermal conditions, water temperature anomaly

For citation: Polyanychko V.I., Kuznetsov M.Yu. Distribution and abundance of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in the northwestern Bering Sea in the summer-fall period of 2020 and their interannual variability, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2022, vol. 202, no. 4, pp. 793–809. (In Russ.). DOI: 10.26428/1606-9919-2022-202-793-809. EDN: IIAZEX.

Введение

В Беринговом море существуют две крупные пространственно изолированные популяционные группировки минтая — западно- и восточноберингоморская. Причем биомасса последней обычно на порядок выше первой [Шунтов и др., 1993]. В летне-осенний период часть минтая восточноберингоморской популяции мигрирует на шельф северо-западной части Берингова моря. На наваринском шельфе и прилегающей акватории Анадырского залива, богатых в этот период кормовыми ресурсами, формируются смешанные нагульные скопления минтая, состоящие из особей местного происхождения и мигрантов из зоны США. Направленность миграционных потоков и масштаб распространения минтая из восточной части Берингова моря ежегодно меняются в зависимости от океанологических и гидробиологических условий в разных районах моря, а также соотношения численности поколений и общей численности популяции [Степаненко, 1997, 2001; Борец и др., 2002; Кузнецов и др., 2006].

Наваринский район Берингова моря является вторым по значимости районом специализированного отечественного промысла минтая, вылов в котором составляет около 65 % всего минтая, добываемого в Беринговом море [Грицай, 2006]. Неоднократно была отмечена прямая зависимость между масштабом распространения минтая на наваринский шельф и в Анадырский залив в летне-осенний период и изменением океанологических условий, в первую очередь температуры вод [Степаненко, 1997; Глубоков, 2003; Кузнецов и др., 2004а, 2006, 2013; Степаненко, Николаев, 2004]. В

периоды похолоданий наблюдается падение биомассы минтая в северо-западной части Берингова моря, а ее рост — в теплые годы [Глубоков, Норвилло, 2002]. Вероятно, температура служит одним из основных факторов, влияющих на темп роста минтая, и можно утверждать о прямой зависимости длины рыб от температуры [Кузнецов и др., 2004б; Грицай, 2006].

Начиная с 1996 г. ТИНРО проводит тралово-акустические съемки (ТАС) водных биоресурсов в северо-западной части Берингова моря с использованием прецизионных научных эхолотов SIMRAD EK-60(500). Помимо этого, в ходе комплексных экспедиций в Берингово море все другие траловые съемки (донные и пелагические) также сопровождаются непрерывной регистрацией акустических данных с использованием той же аппаратуры и программных средств. Целью таких работ является исследование характеристик пространственного распределения (горизонтального, вертикального, батиметрического) численности и биомассы нагульного минтая и других массовых промысловых объектов в анадырско-наваринском районе Берингова моря, их сезонной и межгодовой динамики гидроакустическим эхоинтеграционным методом [Кузнецов, 2013].

В статье представлены материалы, полученные в ходе ТАС в северо-западной части Берингова моря в 2020 г. Помимо оценок 2020 г., приводятся данные о межгодовой изменчивости распространения и обилия минтая за ряд предшествующих лет, начиная с 2013 г. Анализ этих данных является продолжением серии более ранних статей [Кузнецов и др., 2002, 2006, 2013].

Материалы и методы

В качестве гидроакустической измерительной системы применялся научный эхолот SIMRAD EK-60 с прецизионными характеристиками, использующий метод расщепленного луча для оценки сил целей и эхоинтегратор для оценки плотности скоплений. Эхолот содержит вертикально направленные антенны-вибраторы частотой 38 и 120 кГц, размещенные под килем судна, и GPT приемопередатчики, которые генерируют и принимают отраженный сигнал, а также осуществляют оцифровку сигнала [Кузнецов, 2013]. Работой GPT управляет процессорный блок с размещенными на нем программами накопления гидроакустических данных и связи с внешними вычислительными устройствами. Навигационное сопровождение акустического комплекса осуществлялось с использованием системы спутникового позиционирования GPS.

Перед выходом судов в рейс в зал. Петра Великого выполнялась калибровка акустического комплекса по технологии стандартной сферы*. Сбор и накопление гидроакустических данных производились в формате «сырых» данных (RAW-формат) с пространственным разрешением 18 см на частотах 38 и 120 кГц с использованием программы SIMRAD ER-60.

Для визуализации эхограмм и многовидовой обработки накопленных акустических данных использовался программный комплекс «SALTSE» [Кузнецов и др., 2021]. Типовая структура выходных данных «SALTSE» представляет результаты обработки фрагментов акустических изображений по элементам сетки с задаваемым размером отдельного элемента сетки 0,5 мили по дистанции и 1 м по глубине в пределах, выделенных для обработки слоев. Полученные данные (плотности агрегаций, численности, биомассы, распределения биомассы и численности по размерным рядам и по глубине и др.) совместно с навигационным сопровождением сохранялись в виде файлов со структурой данных, доступной для последующей обработки в программах для работы с электронными таблицами (Microsoft Excel и т.п.) и геоинформационными системами (Q-Gis и т.п.).

* Operator manual for Simrad ER60 Scientific Echo Sounder application. Horten, Norway, 2004. 172 p.

Для количественной оценки численности и биомассы минтая использовалась частота 38 кГц. В расчетах численности использовалась зависимость силы цели (TS) от длины рыб (L) на частоте 38 кГц: $TS = 20\log(L) - 66$ [Трайнов, 1996].

Эхоинтеграционная ТАС проводилась на НИС «ТИНРО» в период с 19 по 23 августа и с 7 по 15 сентября 2020 г., при этом время на акустических галсах составило 9 сут. Во время ТАС был исследован район в северо-западной части Берингова моря в ИЭЗ России за пределами 12-мильной территориальной зоны восточнее 174° в.д. до $173^\circ 20'$ з.д., включая Анадырский залив до $64^\circ 15'$ с.ш. (рис. 1). Сетка галсов съемки, как и в предыдущие годы, была параллельной и совмещена с аналогичной сеткой галсов, используемой Аляскинским центром рыбохозяйственных исследований (NOAA) при проведении эхоинтеграционных съемок в юго-восточной части моря. Площадь района съемки, где были зарегистрированы эхозаписи рыб и на которой производилась эхоинтеграционная обработка акустических данных, составила 23831 миль².

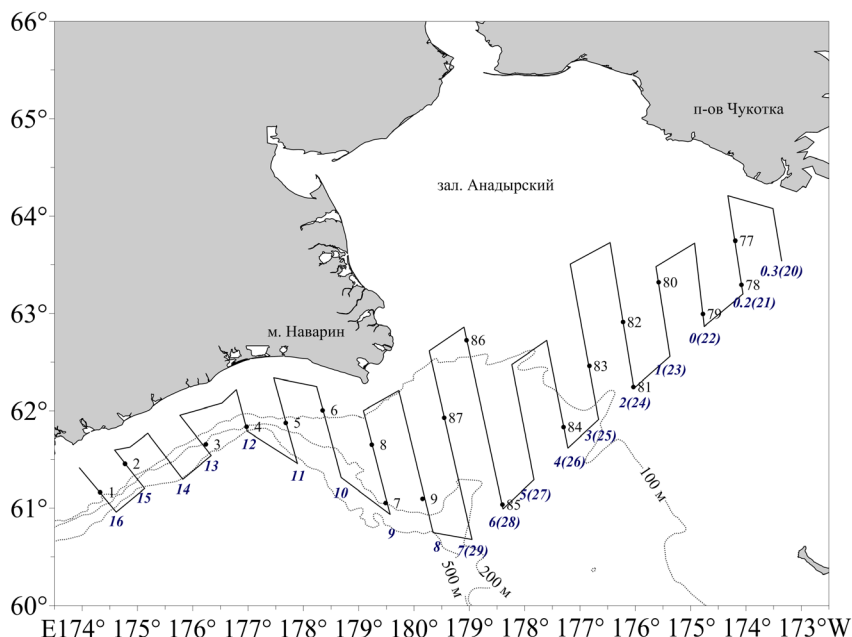


Рис. 1. Схема акустических галсов и местоположение контрольных тралений в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г. (в скобках указаны номера галсов в зоне США)

Fig. 1. Scheme of acoustic transects and trawl stations in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020 (numbers of transects in the US economic zone are in brackets)

Идентификация объектов, регистрируемых на галсах съемки, производилась в ходе контрольных пелагических тралений. Местоположение тралений определялось необходимостью контроля видового и размерного состава объектов в местах смены характера акустических изображений скоплений. Работы выполнялись разноглубинным канатным тралом РТ/ТМ 80/396 м. Контроль параметров трала осуществлялся с помощью прибора SIMRAD FS70. Продолжительность «стандартного» траления в слое эхозаписи — 30 мин. По результатам промеров формировались размерно-частотные ряды, характеризующие размерный состав гидробионтов в уловах. Эти данные использовались при последующей стратификации района съемки и в расчетах оценок численности и биомассы рыб [Кузнецов, 2013].

Карты пространственного и вертикального распределения минтая строились с помощью геоинформационной системы «Golden Software Surfer 14». При построении карт вертикально-батиметрического распределения температуры вод в районе съемки привлекались данные гидрологических CTD-станций. Для анализа межгодовой изменчивости аномалий температуры воды в северо-западной части моря использовались данные

летних и осенних рейсов за период 1994–2020 гг. с приведением среднесезонных значений к дате измерений. Расчеты аномалий проводились послойно на стандартных горизонтах с осреднением значений по выбранному полигону [Кузнецов и др., 2013].

Для анализа межгодовой изменчивости распределения и обилия минтая использовались материалы гидроакустических эхоинтеграционных измерений и результатов ТАС в северо-западной части Берингова моря с 1997 по 2012 г. [Кузнецов и др., 2013] и в 2013–2020 гг.

Результаты и их обсуждение

Пространственное распределение и обилие минтая в северо-западной части Берингова моря (ИЭЗ России) в 2020 г.

Скопления минтая различной структуры и плотности располагались как в верхней, так и в нижней частях зондируемой водной толщи. Характерные акустические изображения минтая представлены на рис. 2. В восточной части обследованной акватории минтай образовывал протяженные скопления высокой плотности в приповерхностном слое 15–30 м и в придонных горизонтах (рис. 2, А). В центральной части Анадырского залива (галсы 1–4), где водная масса имела двухслойную структуру, на эхограммах одновременно фиксировались плотные скопления в теплом приповерхностном слое 20–40 м (сеголетки и молодь минтая) и ниже термоклина (преимущественно половозрелый минтай) (рис. 2, Б). В наваринском районе и на коряжском шельфе, где наблюдались минимальные градиенты температур, минтай был распределен преимущественно в нижней части пелагиали и в придонном слое (рис. 2, В).

Активных вертикальных миграций минтая в зависимости от времени суток не наблюдалось. Изменялась лишь структура скоплений. В темное время суток скопления регистрировались в виде разреженных дисперсных слоев. В светлое — минтай фиксировался на эхограммах преимущественно в виде косяков различной структуры и плотности с вертикальным развитием до 20 м.

Вертикальное и батиметрическое распределение скоплений минтая разных размерных групп определялось, как и в прежние годы, термической структурой вод, в частности наличием термоклина на внутреннем и среднем шельфе и его сезонным размывом в водах внешнего шельфа с глубинами более 100 м. Как видно на рис. 3, абсолютное большинство рыб в северо-западной части Берингова моря в нагульный период зарегистрировано в районах с положительной или близкой к 0 °С температурой.

Скопления вблизи поверхности, образованные в основном сеголетками и молодь минтая, обитали в теплых водах 2–6 °С выше термоклина и в слое термоклина. Скопления минтая в нижней части пелагиали и в придонном слое различной структуры и вертикальной протяженности, образованные в основном среднеразмерными рыбами и половозрелыми особями, предпочитали для обитания низкие положительные температуры. При этом усиление концентрации рыб наблюдалось в градиентных зонах на периферии холодных и теплых вод, где обычно высока плотность кормового зоопланктона.

Небольшая часть минтая, преимущественно крупные особи, фиксировалась в области с отрицательной температурой (рис. 3, галс № 2). Это подтверждает эвритермность минтая и его способность перемещаться в более холодные водные массы, где может продолжаться питание [Шунтов и др., 1993].

Скопления разноразмерного минтая, обитающего в нижней части пелагиали, держались за границами вод с изотермой 0 °С. Придонные агрегации, образованные в основном половозрелыми рыбами, распространялись на северный шельф дальше пелагических скоплений, но все же избегали вод ниже –0,5 °С.

Пространственное распределение минтая на акватории съемки представлено на рис. 4. В период ТАС наиболее плотные агрегации минтая (более 300 тыс. экз./миля²) располагались в восточной части Анадырского залива на галсах 0.2(21)–2(24) (изобаты 70–80 м) и вблизи разделительной линии РФ–США, между 175°30′–177°45′ з.д.

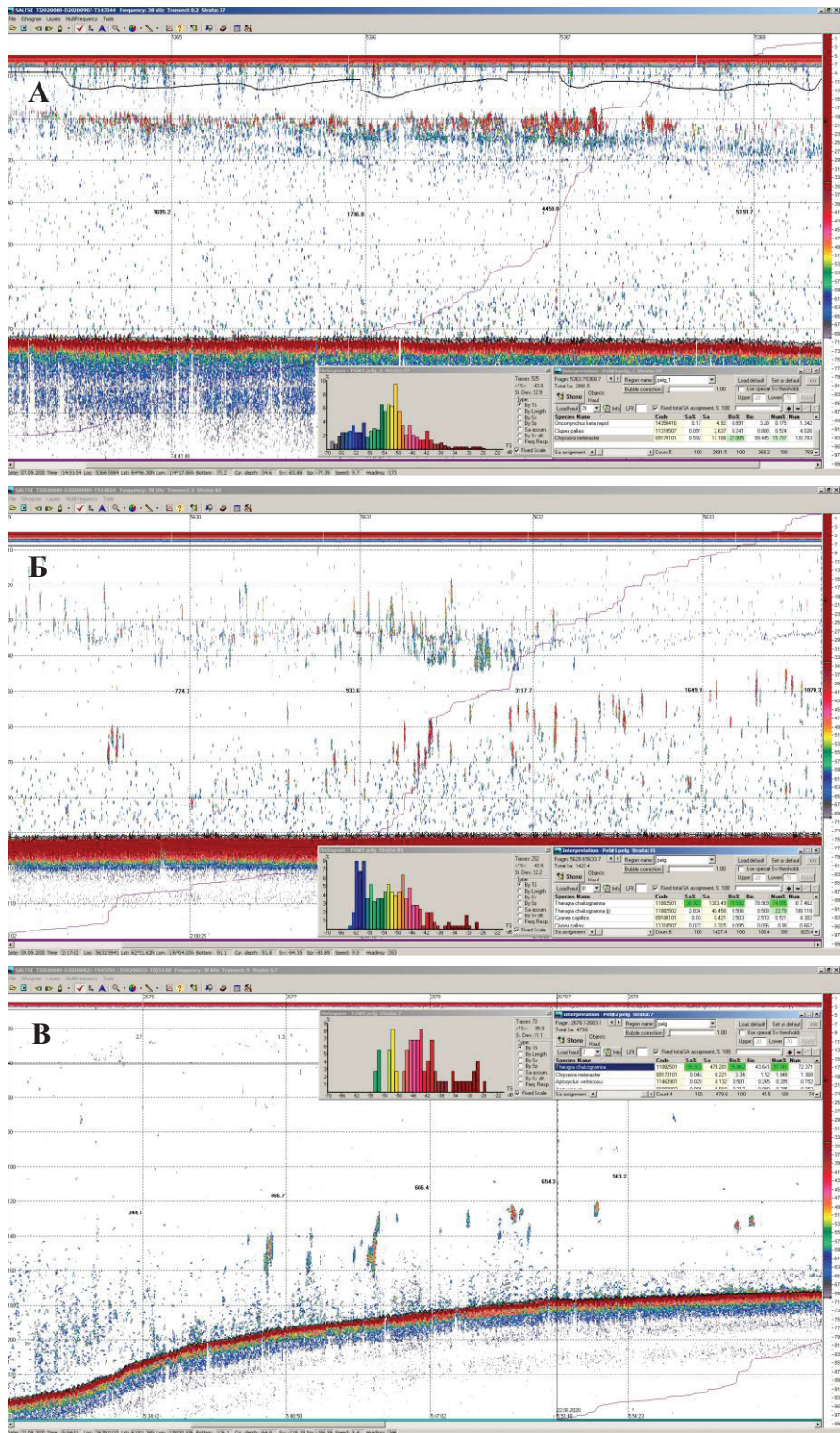


Рис. 2. Акустические изображения скоплений минтая северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.: А — галс № 0,2, ночь; Б — галс № 2, день; В — галс № 8, день
Fig. 2. Acoustic images of walleye pollock aggregations in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020: А — transect № 0.2, nighttime; Б — transect № 2, daytime; В — transect № 8, daytime

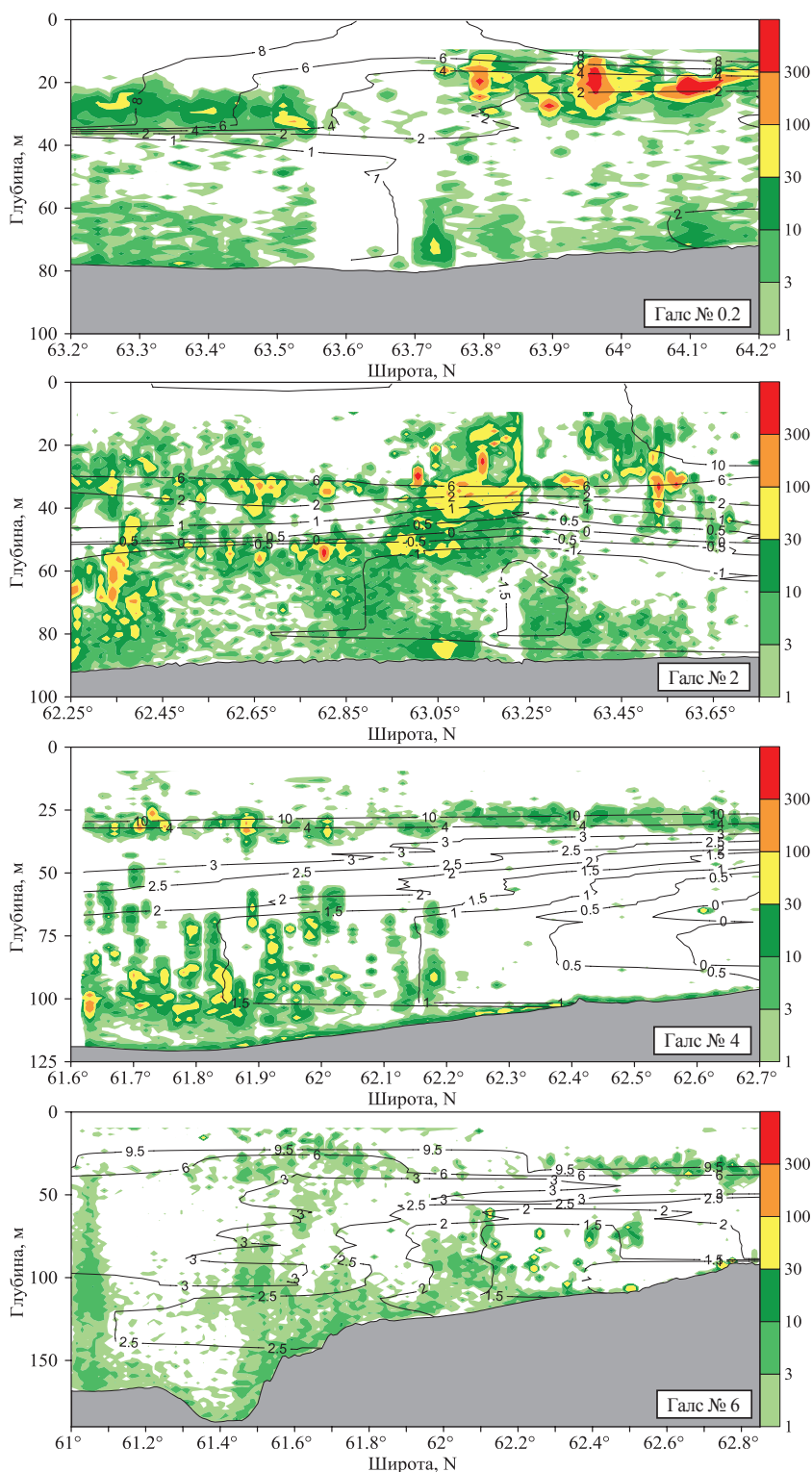


Рис. 3. Вертикальное распределение плотности скопления минтая в единицах s_A ($m^2/миля^2$) и температуры вод ($^{\circ}C$) вдоль галсов съемки в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 3. Vertical distribution of walleye pollock density in the units of s_A (m^2/nmi^2) (scattering coefficient) and water temperature ($^{\circ}C$) along transects in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020

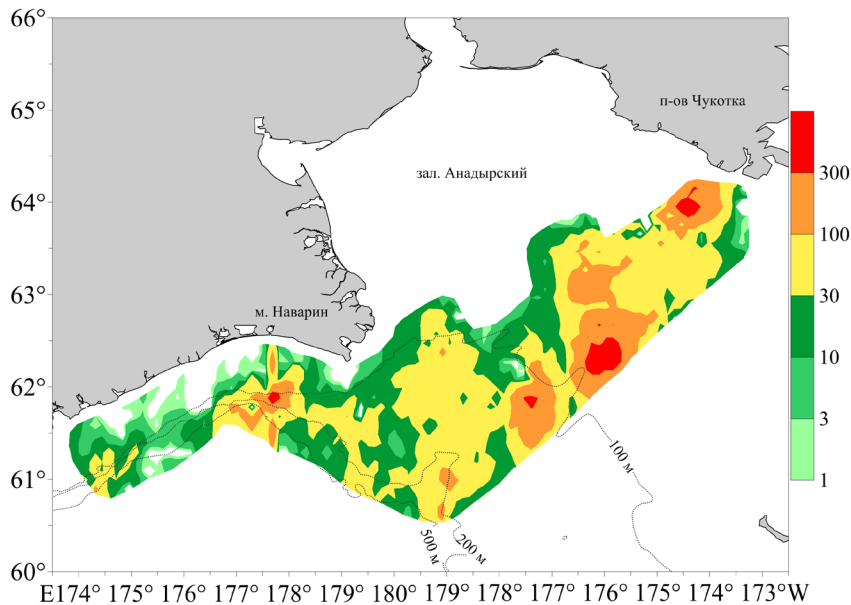


Рис. 4. Пространственное распределение минтая (тыс. экз./миля²) в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 4. Spatial distribution of walleye pollock ($\times 10^3$ pcs./nmi²) in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020

(глубина дна 85–110 м). Здесь было учтено 62 % численности и 71 % от общей биомассы. Высокие концентрации минтая также отмечались на корякском шельфе к юго-западу от мыса Наварин между 177°33'–177°50' в.д.

Гидроакустические оценки численности и биомассы минтая на обследованной акватории составили соответственно 1610 млн экз. и 426 тыс. т. Минтай был представлен экземплярами длиной от 6 до 66 см (рис. 5). В размерном ряду можно выделить пять групп: 6–12 см, 13–20, 21–37, 38–52, > 52 см (табл. 1). Самую многочисленную размерную группу составлял минтай длиной 21–37 см — 50,3 % общей оценки численности. На долю размерной группы 38–52 см приходилось 28,2 % численности. Молодь минтая размером 13–20 см составляла 7,0 %, а сеголетки — 13,1 % суммарной численности.

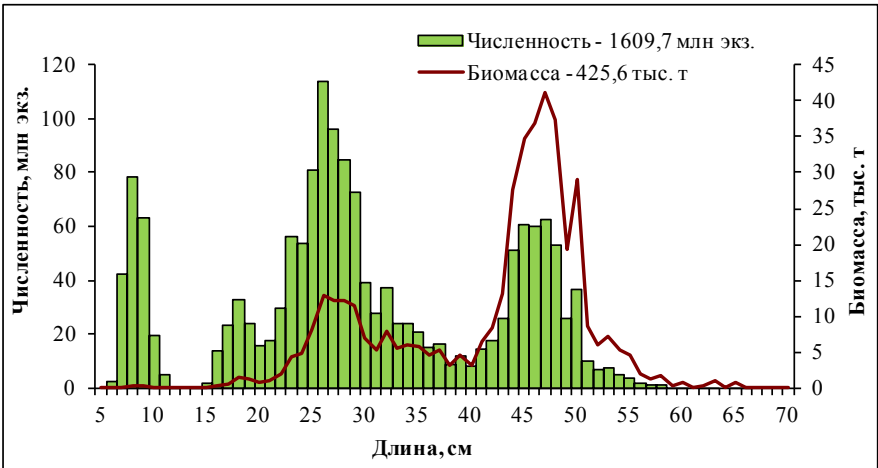


Рис. 5. Размерный состав минтая по данным ТАС в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 5. Size composition of walleye pollock in the northwestern Bering Sea in August-September, 2020 (data of trawl-acoustic survey)

Таблица 1

Численность и биомасса минтая по районам исследований по данным ТАС
в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Table 1

Number and biomass of walleye pollock in the northwestern Bering Sea
in August-September of 2020, by areas (data of trawl-acoustic survey)

Размер, см	Численность							
	Западно-Берингоморская зона				Чукотская зона		Сумма	
	К западу от 176° в.д.		К востоку от 176° в.д.		К востоку от 175° з.д.			
	Млн экз.	%	Млн экз.	%	Млн экз.	%	Млн экз.	%
6–12	12,9	34,1	120,0	9,2	78,0	29,4	210,9	13,1
13–20	7,8	20,5	104,9	8,0	0	0	112,6	7,0
21–37	8,0	21,2	791,4	60,6	9,5	3,6	808,9	50,3
38–52	5,1	13,6	277,1	21,2	172,0	64,8	454,2	28,2
> 52	4,0	10,6	13,0	1,0	6,0	2,2	23,0	1,4
Сумма	37,8		1306,4		265,5		1609,7	
Размер, см	Биомасса							
	Западно-Берингоморская зона				Чукотская зона		Сумма	
	К западу от 176° в.д.		К востоку от 176° в.д.		К востоку от 175° з.д.			
	Тыс. т	%	Тыс. т	%	Тыс. т	%	Тыс. т	%
6–12	0,1	0,6	0,3	0,1	0,2	0,2	0,6	0,2
13–20	0,3	2,8	3,9	1,3	0	0	4,2	1,0
21–37	1,1	10,4	113,2	38,0	2,2	1,9	116,4	27,3
38–52	3,8	37,2	166,9	56,0	108,9	92,7	279,6	65,7
> 52	5,0	49,0	13,7	4,6	6,1	5,2	24,8	5,8
Сумма	10,1		298,1		117,4		425,6	

Если рассматривать распределение размерных групп минтая по районам, то по численности в Западно-Берингоморской зоне (ЗБЗ) к западу от 176° в.д. преобладал минтай размером 6–20 см (54,6 %), к востоку от 176° в.д. наиболее многочисленной была размерная группа 21–37 см (60,6 %). В Чукотской зоне (к востоку от 175° з.д.) особи длиной 38–52 см составили 64,8 % численности минтая (табл. 1).

Основу биомассы минтая составили также особи длиной 38–52 см — 65,7 %. На долю минтая размерной группы 21–37 см приходилось 27,3 % суммарной биомассы, большая часть которой была учтена в ЗБЗ. Особи крупноразмерного минтая (> 52 см) составили 5,8 % биомассы. Доля молоди минтая — чуть больше 1 % общей биомассы.

Рассмотрим особенности пространственной дифференциации различных размерных групп минтая в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г. Карты распределения минтая по размерным группам позволяют детализировать картину пространственного распределения минтая в районе съемки (рис. 6).

Основу суммарной численности минтая составляли неполовозрелые особи длиной 21–37 см (табл. 1). Области с максимальной плотностью (более 300 тыс. экз./миля²) располагались в юго-восточной части Анадырского залива на изобатах 80–120 м вблизи разделительной линии РФ–США, на галсах 2, 4. Минтай длиной 21–37 см образовывал здесь скопления в виде косяков различной структуры и вертикальной протяженности ниже термоклина (см. рис. 2, 3). Кроме того, ядро плотности этой размерной группы зарегистрировано к юго-западу от мыса Наварин в смешанных с молодью скоплениях. Менее плотные скопления (ниже 100 тыс. экз./миля²) были распространены на наваринском шельфе с центрами концентрации южнее мыса Наварин и на северных склонах Наваринского каньона.

Основные скопления другой доминирующей по численности размерной группы минтая 38–52 см располагались в восточной части обследованной акватории Анадырского залива между 174°00'–176°45' з.д. Также крупный минтай образовывал про-

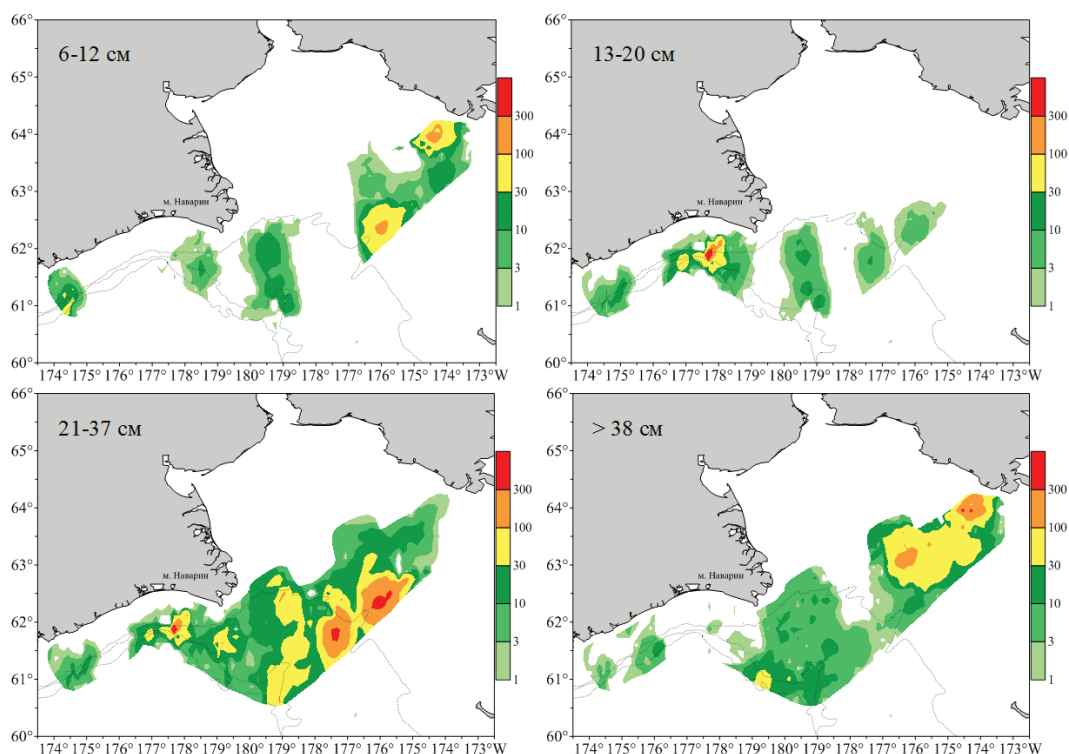


Рис. 6. Пространственное распределение минтая (тыс. экз./миля²) по размерным группам в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 6. Spatial distribution of walleye pollock ($\times 10^3$ pcs./nmi²) in the northwestern Bering Sea in August-September of 2020, by size groups

тяжелые скопления средней плотности до 30 тыс. экз./миля² в водах наваринского шельфа и склона, где был распределен преимущественно в нижней части пелагиали и в придонном слое.

Молодь минтая размером 13–20 см была зарегистрирована в локальных смешанных с неполовозрелым минтаем скоплениях высокой плотности (свыше 300 тыс. экз./миля²) на юго-западе от мыса Наварин на изобатах 100–125 м и скоплениях невысокой плотности (менее 30 тыс. экз./миля²) на наваринском шельфе. Сеголетки 6–12 см были распространены преимущественно в восточной части Анадырского залива, где обитали в приповерхностном слое выше термоклина и на наваринском шельфе.

Используя современные гидроакустические технологии, можно оценить особенности батиметрического распределения рыб на охваченной съемкой акватории. В августе-сентябре 2020 г. более 83 % численности минтая было учтено в диапазоне глубин дна 50–150 м (рис. 7).

При этом над изобатами 50–75 м в скоплениях абсолютно доминировали сеголетки и крупные особи более 38 см (9 % общей численности). По мере роста глубины проявлялся минтай других размерно-возрастных групп, что сопровождалось формированием мультимодального распределения. В наиболее заселенном интервале глубин дна 75–100 м было зарегистрировано 44 % общей численности минтая. В скоплениях преобладал неполовозрелый минтай длиной 21–37 см (18 % суммарной численности, 37 % численности этой размерной группы) и минтай длиной 38–52 см (18 % суммарной численности, 62 % численности данной размерной группы). Также заметной была доля сеголеток в приповерхностном слое (7 % общей численности минтая, 52 % их суммарной численности). Над изобатами 100–125 м было учтено 23 % общей численности минтая. В этом диапазоне глубин преобладал неполовозрелый минтай длиной 21–37 см

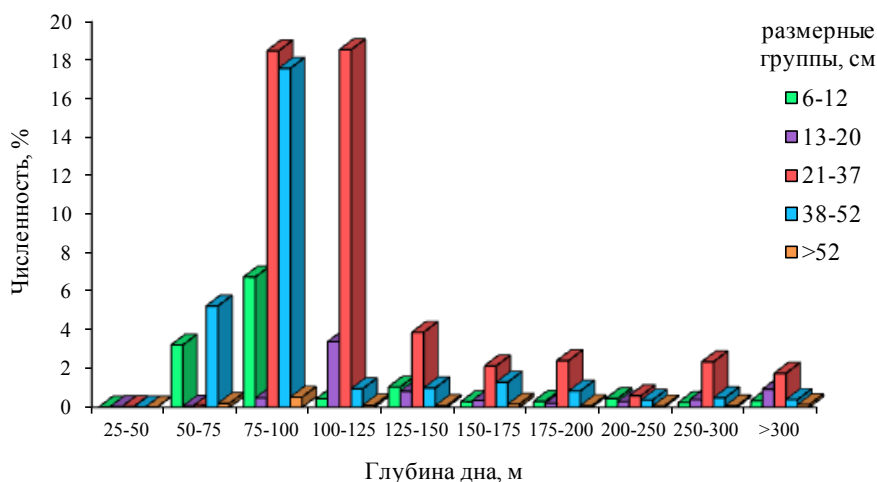


Рис. 7. Батиметрическое распределение размерных групп минтая (% от суммарной численности) в северо-западной части Берингова моря в августе-сентябре 2020 г.

Fig. 7. Bathymetric distribution of walleye pollock (% of total abundance) in the northwestern Bering Sea in August-September of 2020, by size groups

(19 % общей численности, 37 % численности этой размерной группы) и небольшое количество молоди 13–20 см (3 % от общего обилия минтая и 49 % ее численности). В интервале глубин 125–150 м, где было учтено около 7 % всех рыб, также выделялся минтай размерной группы 21–37 см (8 % ее суммарной численности). Над изобатами свыше 150 м встречался минтай всех размерных групп с преобладанием неполовозрелых рыб и крупных особей, но в значительно меньших количествах. На глубинах более 200 м было зарегистрировано всего 9 % от суммарной численности этих рыб.

Обобщая картину пространственного распределения минтая на обследованном участке шельфа, можно сделать вывод, что он мигрировал на северо-запад двумя основными путями — по северному шельфу между изобатами 50–100 м и по присвальной части шельфа. Причем батиметрический диапазон его миграций был достаточно узок: 91 % минтая в ИЭЗ России учтен в диапазоне глубин 50–200 м.

Межгодовая динамика распределения и обилия нагульного минтая в северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период

Ранее на основе данных тралово-акустических съемок в 1997–2012 гг. были выявлены особенности пространственного распределения и межгодовой изменчивости обилия минтая на шельфе северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период [Кузнецов и др., 2002, 2006, 2013]. Было установлено, что нагульный минтай (в основном неполовозрелый) избегает холодных вод с отрицательной или близкой к нулю температурой. Межгодовые колебания численности и распространения минтая на северо-западный шельф Берингова моря связаны с термическими условиями и в благоприятные по термическому режиму вод годы биомасса и площадь распространения этих рыб заметно выше, чем в холодные периоды. При этом отмечалось, что поведение и распределение нагульного минтая в северо-западной части Берингова моря во второй половине года подвержено не только межгодовой, но и значительной сезонной изменчивости.

Результаты, полученные в ходе выполнения тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг., подтверждают данные 1997–2012 гг.

В 2013 г. температурные условия в северо-западной части Берингова моря были холодными, а численность минтая — самой низкой за предыдущие 7 лет наблюдений (табл. 2). Наиболее многочисленную группу составлял минтай длиной 31–39 см (рис. 8),

Таблица 2

Площадь скоплений (S), численность (N) и биомасса (B) минтая в северо-западной части Берингова моря (исключительная экономическая зона России) в 1997–2020 гг. по данным тралово-акустических съемок и эхоинтеграционных измерений*

Table 2

Walleye pollock aggregations area (S), abundance (N), and biomass (B) in the northwestern Bering Sea (within EEZ of Russia) in 1997–2020 on the data of trawl-acoustic surveys and echo-integration measurements

Год, месяц съемки	Придонные скопления**			Пелагические скопления			Общая оценка	
	S, миль ²	N, млн шт.	B, тыс. т	S, миль ²	N, млн шт.	B, тыс. т	N, млн шт.	B, тыс. т
1997, ноябрь	24050	1004	333	27036	1323	250	2327	583
1998, октябрь	15820	962	390	13640	234	71	1196	461
1999, октябрь	32663	532	250	12688	291	70	823	320
2000, сентябрь	22400	203	64	15420	365	54	568	118
2001, ноябрь	28870	156	30	22380	218	32	374	62
2002, июль	23920	86	24	14040	662	56	748	80
2002, август	42146	959	188	23437	1501	247	2460	435
2003, август	23497	856	230	20096	1406	379	2262	609
2003, октябрь	35822	1035	289	36222	2306	643	3341	932
2005, июль	27800	390	135	28140	1248	364	1638	499
2007, июль	19160	110	33	23154	1094	71	1204	104
2007, сентябрь	26132	204	42	26236	881	53	1085	95
2008, сентябрь	16205	249	40	16702	1348	206	1597	246
2009, сентябрь	16100	18	11	17210	92	39	110	50
2010, сентябрь	23021	153	55	23002	418	89	571	144
2011, сентябрь	33440	376	81	33440	1618	325	1994	406
2012, август	41118	542	162	41118	1133	347	1675	509
2012, октябрь	20308	198	64	20308	737	199	935	263
2013, август-сентябрь	25470	156	50	25470	279	78	436	129
2014, сентябрь	26863	796	56	26863	2191	150	2987	206
2015, июль	33652	484	109	33652	1792	288	2276	397
2018, август	—	—	—	38510	1191	598	1191	598
2020, август-сентябрь	—	—	—	23831	1399	425	1399	425

* Все данные приведены без учета сеголеток. Серым цветом выделены оценки по результатам эхоинтеграционных измерений во время траловых съемок.

** Ширина придонного слоя 10 м.

который превосходил другие размерные группы по площади распространения и плотности скоплений.

В 2014 г. в этой части Берингова моря намечилось потепление. На большей части акватории съемки к западу от 176° з.д. равномерное понижение температуры шло от поверхностного 20-метрового слоя до дна. Минтай обитал во всем слое, образуя плотные скопления как в верхней, так и в нижней частях пелагиали с обеих сторон конвенционной линии. По сравнению с 2013 г. увеличился масштаб распространения нагульных скоплений рыб в ИЭЗ России и существенно выросли численность и биомасса минтая в анадырско-наваринском районе. Наиболее многочисленную размерную группу в 2014 г. составляли годовики минтая длиной 16–21 см, а доля более крупных особей, формирующих основу биомассы промысловых скоплений, была незначительна.

В 2015 г. при небольшом снижении численности в анадырско-наваринском районе произошло почти двукратное увеличение биомассы, в основном за счет подросшего неполовозрелого минтая длиной 22–27 см поколения 2013 г. и более старших возрастных групп (рис. 8).

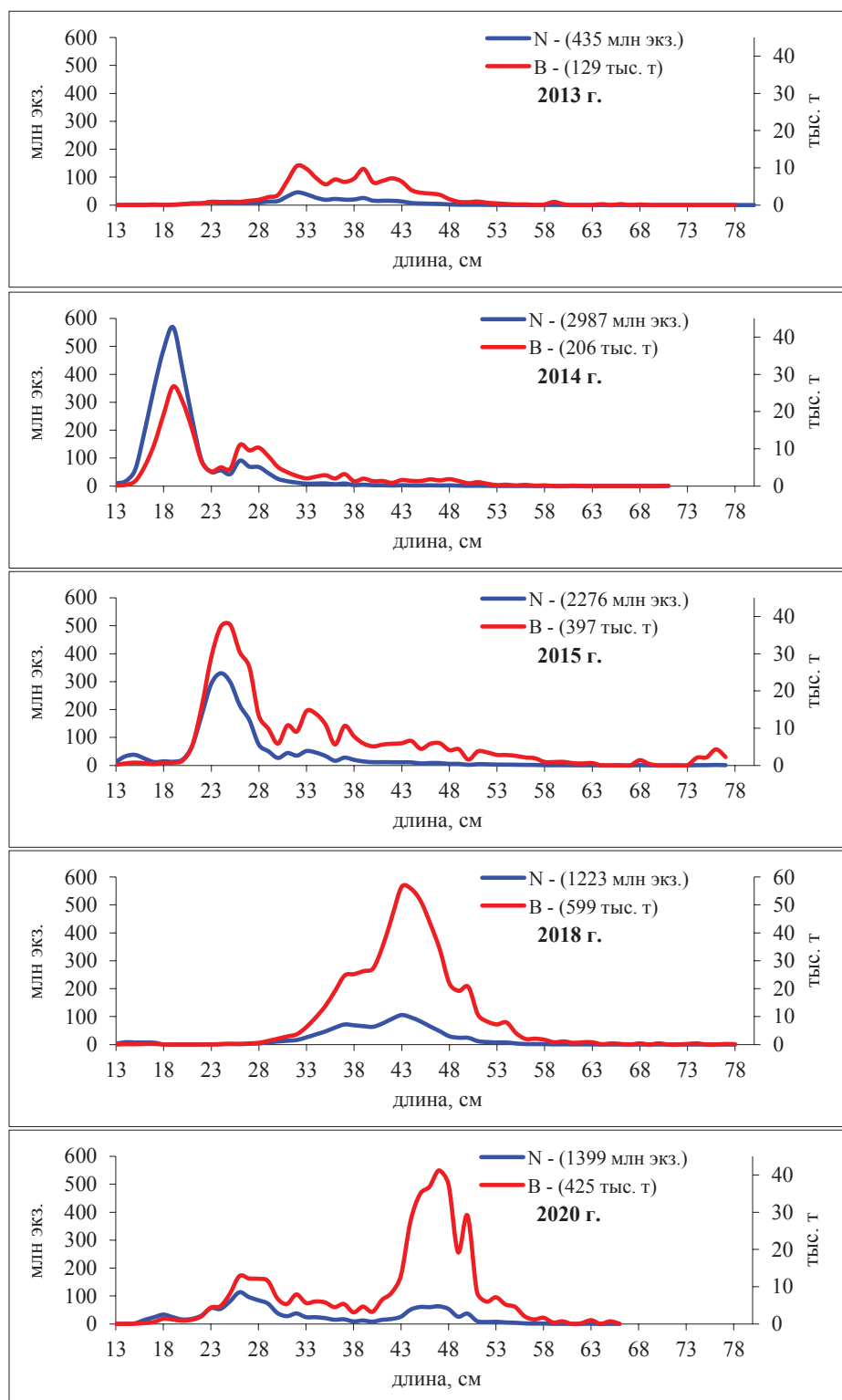


Рис. 8. Динамика размерного состава минтая в северо-западной части Берингова моря (ИЭЗ России) по данным тралово-акустических съемок в 2013–2020 гг.: *N* — численность; *B* — биомасса

Fig. 8. Dynamics of walleye pollock size composition in the northwestern Bering Sea (within EEZ of Russia) on the data of trawl-acoustic surveys in 2013–2020: *N* — abundance; *B* — biomass

В августе 2018 г. Лаврентьевское холодное пятно (ЛХП) в северо-западной части Берингова моря (по крайней мере, в ИЭЗ России) в значительной степени было размыто водами Наваринского течения, а распространение и обилие минтая в этом районе были близки к состоянию аномально теплых лет.

В августе-сентябре 2020 г. температурные условия в северо-западной части Берингова моря были уже менее теплыми, чем в 2018–2019 гг., но при этом большая часть обследованного района еще характеризовалась положительными аномалиями температуры. Площадь ЛХП была небольшой и не выходила за пределы верхнего шельфа, так же, как и в 2014–2015 гг.* По сравнению с 2018 г. численность минтая была больше за счет особой размерной группы 21–37 см. Биомасса минтая в ИЭЗ России тоже находилась на относительно высоком уровне, преимущественно за счет крупных особей размером 42–52 см, и, видимо, была бы выше средней, если бы съемкой был охвачен весь Анадырский залив.

Рассмотрим межгодовую изменчивость оценок обилия минтая и температуры вод на различных горизонтах в этой части моря в периоды съемок (рис. 9). Соблюдается общая тенденция увеличения обилия минтая в годы высокой температуры поверхности моря (ТПМ) и наоборот, однако в целом эти два показателя слабо связаны между собой (коэффициент корреляции $r = 0,46$).

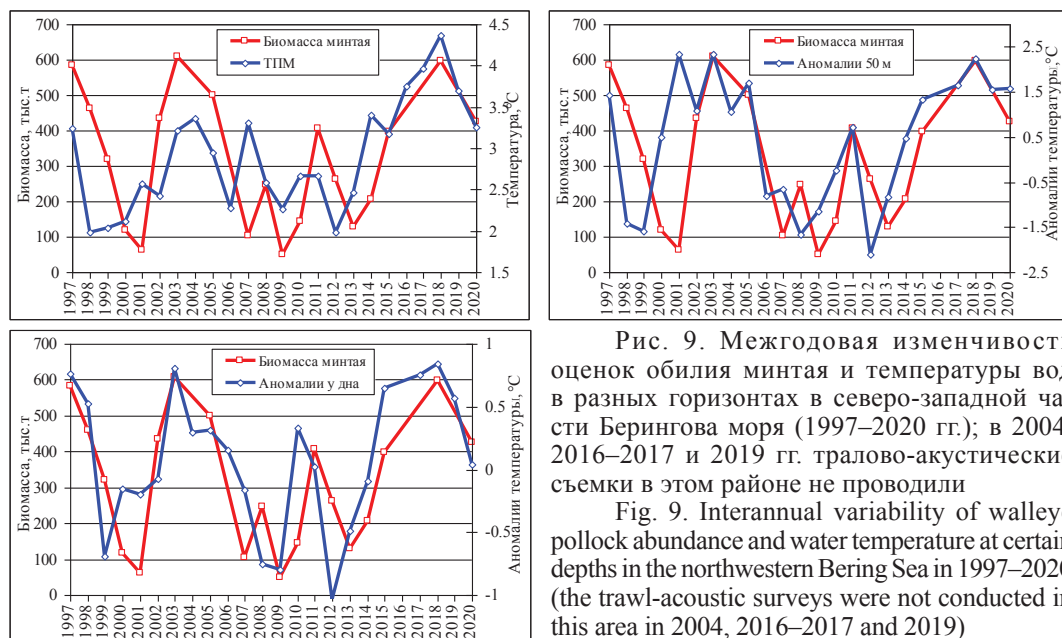


Рис. 9. Межгодовая изменчивость оценок обилия минтая и температуры вод в разных горизонтах в северо-западной части Берингова моря (1997–2020 гг.); в 2004, 2016–2017 и 2019 гг. тралово-акустические съемки в этом районе не проводили

Fig. 9. Interannual variability of walleye pollock abundance and water temperature at certain depths in the northwestern Bering Sea in 1997–2020 (the trawl-acoustic surveys were not conducted in this area in 2004, 2016–2017 and 2019)

Та же самая тенденция касается соотношения между оценками биомассы минтая и аномалиями температуры на горизонте 50 м ($r = 0,48$). Связь между обилием минтая и аномалиями придонной температуры более тесная ($r = 0,69$), и это вполне логично, если учесть, что большая часть рыб (не считая сеголеток) в анадырско-наваринском районе находится в нижней части пелагиали и в придонных горизонтах. Полученные данные показывают, что аномалии температуры в придонном слое являются более точным индикатором благоприятных для нагула минтая условий в этой части моря, чем в приповерхностном и подповерхностном слоях.

Отмечается наличие периодов резкого снижения оценок биомассы минтая в этом районе: 1999–2001, 2007–2009 и 2012–2013 гг. Общим для этих периодов является

* Шейбак А.Ю., Грицай Е.В., Бомко С.П. и др. О результатах научно-исследовательских работ по оценке биологических ресурсов в Беринговом и Чукотском морях на НИС «ТИНРО» с 7 августа по 31 октября 2020 г.: рейсовый отчет. Владивосток: ТИНРО, 2020. № 28402. 349 с.

переход от положительных к отрицательным значениям средних аномалий придонной температуры на берингоморском шельфе (рис. 9). И наоборот, в 1997 г., 2002–2005, 2010–2011 и 2015–2018 гг. наблюдается заметный рост температур в придонных шельфовых водах, а в 1997, 2003, 2011 и 2018 гг. придонная температура достигала аномально высоких значений (аномально теплые годы). Масштабы распространения и обилия минтая в северо-западной части моря в эти годы были самыми высокими за весь период наблюдений. Со снижением температурного фона в 2019–2020 гг. наметилась тенденция снижения оценок обилия этого вида.

Выводы

Выявлены особенности пространственной дифференциации и обилия минтая на шельфе и склоне северо-западной части Берингова моря в летне-осенний период 2020 г. Абсолютное большинство минтая зарегистрировано в районах шельфа с положительной или близкой к нулю температурой вод с усилением концентрации вблизи фронтальных зон.

Результаты наблюдений за ряд лет подтвердили, что термические условия являются важным фактором, определяющим масштаб распространения и межгодовые колебания численности минтая в северо-западной части Берингова моря. Подтверждена статистически значимая связь между обилием минтая и аномалиями температуры в слоях его обитания.

По мере сезонного размыва холодных вод ЛХП и общего потепления в анадырско-наваринском районе масштабы миграции рыб из юго-восточной части моря, как правило, увеличиваются. Однако даже при равных гидрологических и гидробиологических условиях в смежных водах России и США масштабы распространения минтая на наваринском шельфе могут быть разными. Ключевым же является фактор плотности, который в годы высокой численности минтая на восточном шельфе Берингова моря инициирует его более активное расселение в северо-западном направлении.

Благодарности (ACKNOWLEDGEMENTS)

Авторы выражают благодарность всем коллегам, участвовавшим в экспедициях ТИНРО в Берингово море, и лично Е.О. Басюку за предоставленные биологические и океанологические данные, которые были использованы при подготовке настоящей статьи.

The authors are thankful to colleagues, members of scientific crews in research cruises to the Bering Sea conducted by TINRO, and personally to Eugeny Basyuk for kindly delivered biological and oceanographic data useful for the study.

Финансирование работы (FUNDING)

Результаты настоящего исследования были получены в рамках выполнения государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» (Работа 2 «Регулярные наблюдения за распределением, численностью, качеством и воспроизводством водных биоресурсов, являющихся объектами рыболовства, а также средой их обитания») Минобрнауки России (номер для публикаций: 5.9510.2017/8.9).

The study was conducted within implementation of the state task to TINRO № 2 (Regular monitoring on distribution, abundance, quality and reproduction of aquatic biological resources that are objects for fishery, as well as on their environments) from the Ministry of Education and Science of Russia (code 5.9510.2017/8.9).

Соблюдение этических стандартов (COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS)

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных соблюдены. Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

All applicable international, national and/or institutional principles for the care and use of animals have been observed. The authors state that they have no conflict of interest.

Информация о вкладе авторов (AUTHOR CONTRIBUTIONS)

Концепция исследования — М.Ю. Кузнецов; сбор и обработка материала — В.И. Поляничко; написание текста — М.Ю. Кузнецов, В.И. Поляничко.

Concept of the study — M.Yu. Kuznetsov; collection and processing of the material — V.I. Polyanichko; writing the text — M.Yu. Kuznetsov, V.I. Polyanichko.

Список литературы

Борец Л.А., Степаненко М.А., Николаев А.В., Грицай Е.В. Состояние запасов минтая в наваринском районе Берингова моря и причины, определяющие эффективность его промысла // Изв. ТИНРО. — 2002. — Т. 130. — С. 1001–1014.

Глубоков А.И. Особенности распределения минтая северной части Берингова моря (1997–2001 гг.) // Вопр. рыб-ва. — 2003. — Т. 4, № 1(13). — С. 74–92.

Глубоков А.И., Норвилло Г.В. Воспроизводство минтая в северо-западной части Берингова моря // Вопр. рыб-ва. — 2002. — Т. 3, № 3(11). — С. 474–485.

Грицай Е.В. Изменчивость размерно-возрастного состава минтая на восточно- и северо-беринговоморском шельфе // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 147. — С. 84–102.

Кузнецов М.Ю. Гидроакустические методы и средства оценки запасов рыб и их промысла. Часть 1. Гидроакустические средства и технологии их использования при проведении биоресурсных исследований ТИНРО-центра // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 172. — С. 20–51.

Кузнецов М.Ю., Басюк Е.О., Чульчиков Д.Н., Сыроваткин Е.В. Распределение и гидрологические условия обитания минтая в северо-западной части Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2013. — Т. 174. — С. 104–124.

Кузнецов М.Ю., Ефимкин А.Я., Басюк Е.О. Распределение и условия обитания минтая в Наваринско-Анадырском районе Берингова моря летом-осенью 2002–2003 гг. // Изв. ТИНРО. — 2006. — Т. 144. — С. 247–264.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Борец Л.А., Гаврилов Г.М. Особенности распределения минтая в северо-западной части Берингова моря осенью 2000 г. и их межгодовая изменчивость по результатам учетных съемок в 1997–2000 гг. // Вопр. рыб-ва. — 2002. — Т. 3, № 2(10). — С. 288–303.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Гаврилов Г.М. Распределение, размерно-возрастной состав, численность и биомасса минтая в северо-западной части Берингова моря летом 2002 г. // Вопр. рыб-ва. — 2004а. — Т. 5, № 2(18). — С. 226–240.

Кузнецов М.Ю., Николаев А.В., Борец Л.А. Осеннее распределение и вертикальные миграции сеголеток минтая в северо-западной части Берингова моря по результатам тралово-акустических съемок в 1997–2001 гг. // Изв. ТИНРО. — 2004б. — Т. 139. — С. 91–101.

Кузнецов М.Ю., Убарчук И.А., Поляничко В.И., Сыроваткин Е.В. Программный комплекс для визуализации, многовидовой обработки и хранения данных гидроакустических ресурсных съемок // Тр. ВНИРО. — 2021. — Т. 183. — С. 174–190. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190.

Степаненко М.А. Возрастная изменчивость пространственной дифференциации минтая *Theragra chalcogramma* в восточной и северо-западных частях Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2001. — Т. 128. — С. 125–135.

Степаненко М.А. Межгодовая изменчивость пространственной дифференциации минтая *Theragra chalcogramma* и трески *Gadus macrocephalus* Берингова моря // Вопр. ихтиол. — 1997. — Т. 37, № 1. — С. 19–26.

Степаненко М.А., Николаев А.В. Некоторые особенности воспроизводства минтая (*Theragra chalcogramma*) Берингова моря // Изв. ТИНРО. — 2004. — Т. 139. — С. 102–122.

Шунтов В.П., Волков А.Ф., Темных О.С., Дулепова Е.П. Минтай в экосистемах дальневосточных морей : моногр. — Владивосток : ТИНРО, 1993. — 426 с.

Trautnor J.J. Target-strength measurement of walley pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*) // ICES J. Mar. Sci. — 1996. — Vol. 53, Iss. 2. — P. 253–258. DOI: 10.1006/jmsc.1996.0031.

References

Borets, L.A., Stepanenko, M.A., Nikolaev A.V., and Gritsai, E.V., The state of pollock stocks in the Navarin region of the Bering Sea and the reasons that determine the effectiveness of its fishing, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2002, vol. 130, pp. 1001–1014.

Glubokov, A.I., Features of pollock distribution in the northern part of the Bering Sea (1997–2001), *Vopr. Rybolov.*, 2003, vol. 4, no. 1(13), pp. 74–92.

Glubokov, A.I. and Norvillo, G.V., Reproduction of walleye pollock in the northwestern part of the Bering Sea, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 3(11), pp. 474–485.

Gritsay, E.V., Variance of walleye pollock length-age structure on the eastern and northern shelves of Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 147, pp. 84–102.

Kuznetsov, M.Yu., Hydroacoustic methods and tools for fish stock assessment and fishery maintenance. Part 1. Hydroacoustic tools and technologies of their use in bioresource researches of TINRO-center, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 172, pp. 20–51.

Kuznetsov, M.Yu., Basyuk, E.O., Chulchekov, D.N., and Syrovatkin, E.V., Distribution and oceanographic conditions of habitat for walleye pollock in the northwestern Bering Sea in summer-fall season, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2013, vol. 174, pp. 104–124.

Kuznetsov, M.Yu., Efimkin, A.Ya., and Basyuk, E.O., Distribution and habitat conditions of walleye pollock in the navarin-anadyr region of Bering Sea in summer-autumn, 2002–2003, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2006, vol. 144, pp. 247–264.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., Borets, L.A., and Gavrilov, G.M., Features of walleye pollock distribution in the northwestern part of the Bering Sea in autumn 2000 and their interannual variability based on the results of survey surveys in 1997–2000, *Vopr. Rybolov.*, 2002, vol. 3, no. 2(10), pp. 288–303.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., and Gavrilov, G.M., Distribution, size–age composition, abundance, and biomass of walleye pollock in the northwestern part of the Bering Sea in summer 2002, *Vopr. Rybolov.*, 2004, vol. 5, no. 2(18), pp. 226–240.

Kuznetsov, M.Yu., Nikolaev, A.V., Borets, L.A., Autumnal distribution and vertical migrations of age-0 walleye pollock in the northwestern bering sea by results of trawl-acoustic surveys in 1997–2001, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 91–101.

Kuznetsov, M.Yu., Ubarchuk, I.A., Polyanichko, V.I., and Syrovatkin, E.V., The software complex for visualization, multiple-view processing and data storage of hydroacoustic resource surveys, *Tr. Vses. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2021, vol. 183, pp. 174–190. doi 10.36038/2307-3497-2021-183-174-190

Stepanenko, M.A., Relationship between age and spatial distribution of walleye pollock *Theragra Chalcogramma* in the eastern and northwestern Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2001, vol. 128, pp. 125–135.

Stepanenko, M.A., Interannual variability of spatial differentiation of pollock *Theragra chalcogramma* and cod *Gadus macrocephalus* of the Bering Sea, *Vopr. ichtyol.*, 1997, vol. 37, no. 1, pp. 19–26.

Stepanenko, M.A. and Nikolaev, A.V., Some features of Pollock reproduction in the Bering Sea, *Izv. Tikhookean. Nauchno-Issled. Inst. Rybn. Khoz. Okeanogr.*, 2004, vol. 139, pp. 102–122.

Shuntov, V.P., Volkov, A.F., Temnykh, O.S., and Dulepova, E.P., *Mintay v ekosistemakh dal'nevostochnykh morey* (Walleye pollock in the ecosystems of the Far Eastern seas), Vladivostok: TINRO, 1993.

Traynor, J.J., Target-strength measurement of walley pollock (*Theragra chalcogramma*) and Pacific whiting (*Merluccius productus*), *ICES J. Mar. Sci.*, 1996, vol. 53, no. 2, pp. 253–258.

Operator manual for Simrad EK60 Scientific Echo Sounder application, Horten, Norway, 2004. doi 10.1006/jmsc.1996.0031

Sheybak, A.Yu., Gritsay, Ye.V., Bomko, S.P., Ksenofontov, M.M., Bel'dy, M.V., Borilko, O.Yu., Gostrenko, L.M., Chul'chekov, D.N., Polyanichko, V.I., and Lysenko, A.V., *O rezul'tatakh nauchno-issledovatel'skikh rabot po otsenke biologicheskikh resursov v Beringovom i Chukotskom moryakh na NIS «TINRO» s 7 avgusta po 31 oktyabrya 2020 g.* (On the results of research work on the assessment of biological resources in the Bering and Chukchi Seas on the R/V TINRO from August 7 to October 31, 2020), *Reysovyi otchet*, Vladivostok: TINRO, 2020, № 28402.

Поступила в редакцию 6.10.2022 г.

После доработки 1.11.2022 г.

Принята к публикации 21.11.2022 г.

*The article was submitted 6.10.2022; approved after reviewing 1.11.2022;
accepted for publication 21.11.2022*