УДК 551.583:[597.2/.5+639.2.05](261.1+268.4) doi: 10.33933/2074-2762-2019-56-110-125

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА СООБЩЕСТВА МОРСКИХ РЫБ В СЕВЕРОАТЛАНТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

А.С. Кровнин, С.П. Мельников, А.И. Никитенко, Г.П. Мурый

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, akrovnin@vniro.ru

Потепление вод в Североатлантическом регионе с 1996 г. обусловило существенные сдвиги границ ареалов основных промысловых рыб. Усиление адвекции более теплых и соленых атлантических вод в Баренцево и Норвежское моря привело к продвижению трески и пикши в северо-восточном направлении. Ареалы путассу и сельди в Норвежском море расширялись во всех направлениях. Ареал окуня-клювача в море Ирмингера расширился на юго-запад в море Лабрадор в направлении вод с отрицательными аномалиями. Рассмотрены вероятные сценарии климатических изменений и связанных с ними изменений в распределении запасов промысловых рыб.

Ключевые слова: Североатлантический регион, изменения климата, распределение промысловых рыб.

CLIMATE CHANGE IMPACT ON FISH COMMUNITIES IN THE NORTH ATLANTIC REGION

A.S. Krovnin, S.P. Melnikov, A.I. Nikitenko, G.P. Moury

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography

Warming of the North Atlantic basin since 1996 has resulted in significant shifts of boundaries of major commercial fish areas. The strengthening of advection of warmer and more saline Atlantic waters into the Barents and Norwegian seas has led to northeastward progression of NE Arctic cod and haddock. At the same time, areas of blue whiting and herring in the Norwegian Sea have spread in all directions. The redfish area in the Irminger Sea has extended to the southwest in the Labrador Sea, in waters with negative temperature anomalies. Possible scenarios of climatic changes and associated changes in distribution of commercial fish stocks are considered in the paper.

Keywords: North Atlantic basin, climate change, distribution of main commercial fishes.

Введение

Северная Атлантика и прилегающие арктические воды относятся к регионам интенсивного рыболовства с ежегодным выловом промысловых рыб около 8 млн т (рис. 1). Увеличение интереса к этому региону в последние два десятилетия связано с его ресурсным потенциалом и наблюдаемыми и ожидаемыми климатическими изменениями. Важнейшими показателями климатических изменений в регионе являются изменение термического режима вод и связанное с ним сокращение ледового покрова в Арктике.

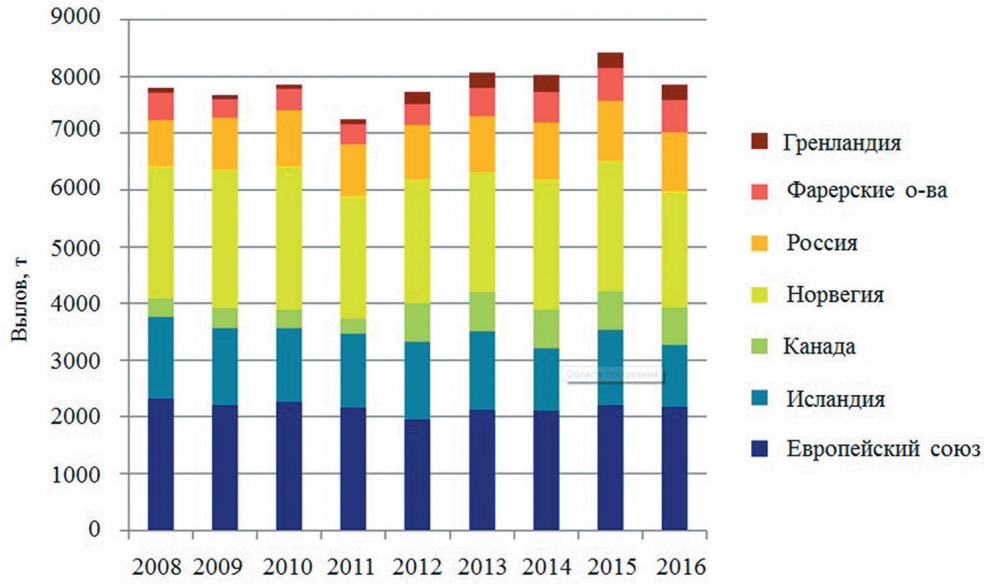

Рис. 1. Международный вылов в Северной Атлантике в 2008—2016 гг.

Установление положительной фазы Атлантической многодекадной осцилляции (АМО) с середины 1990-х годов сопровождалось потеплением слоя поверхностных вод. Одновременно произошло уменьшение интенсивности и сокращение площади субполярного циклонического круговорота (СЦК), что также способствовало потеплению Норвежского и Баренцева морей [2, 12, 13]. По мнению авторов указанных работ, основной причиной уменьшения интенсивности СЦК стало ослабление вертикальной зимней конвекции в море Лабрадор со второй половины 1990-х годов, обусловленное ростом атмосферного давления в центре исландского минимума.

В основе пищевой цепи лежит первичная продукция, контролирующая объем энергии и пищи, доступной высшим трофическим уровням, включая рыбу. Региональные модели для Северо-Восточной Атлантики (СВА) [8] показывают снижение чистой первичной продукции, а следовательно, и снижение объема вылова в большинстве подрайонов СВА. Глобальные климатические модели также предполагают общее снижение первичной продуктивности для большей части СВА. Весеннее цветение фитопланктона в арктических районах в настоящее время ограничено присутствием морского льда и сильной вертикальной стратификацией вод. Поскольку потепление Арктики сопровождается уменьшением ледовитости и появлением обширных свободных от льда акваторий, к середине текущего столетия продукция арктического фитопланктона может увеличиться и воспроизвести условия, наблюдающиеся в настоящее время в Северо-Восточной Атлантике.

Потепление поверхностных вод в Северо-Восточной Атлантике спровоцировало серьезные биогеографические сдвиги, включающие увеличение в приполярных

районах числа теплолюбивых видов зоопланктона и, соответственно, уменьшение числа холодолюбивых видов [4]. Все зоопланктонные сообщества характеризовались когерентными долговременными сдвигами, но темпы этих биогеографических сдвигов были удивительно высокими. Умеренно теплолюбивые, псевдоокеанические виды сместились к северу примерно на 10° широты (от 52 до 62° с.ш., 10° з.д.), или на 23 км/год в период с 1958 по 2005 г. [5]. Величина смещения соответствовала темпам смещения некоторых изотерм по направлению к Северному полюсу. Описанные сдвиги обусловили увеличение разнообразия каланоидных копепод в СВА.

Анализ 50 видов рыб в Северо-Восточной Атлантике показал, что реакция 70 % из них на потепление проявлялась в изменениях в распределении и численности [17]. В частности, численность теплолюбивых видов с меньшим размером тела увеличилась, в то время как численность холодолюбивых видов с большей длиной тела уменьшилась. В Баренцевом море сдвиг от более холодолюбивого к теплолюбивому сообществу рыб, когда арктическое сообщество, характеризовавшееся полярным триглопсом, черным палтусом и липарисами, сместилось на север и было замещено в основном бореальными видами (треской, пикшей, камбалой-ершом), произошел между 2004 и 2012 гг. [9].

Целью настоящей работы является анализ влияния современных изменений климата на разные по экологии места обитания сообщества морских рыб в Североатлантическом регионе.

Материалы и методы

Анализ межгодовой изменчивости пространственного распределения рыб в Северной Атлантике выполнен на основе промыслово-статистической информации из Центра системы мониторинга рыболовства и связи Федерального агентства по рыболовству, которая формируется на основе суточных судовых донесений (ССД) [3]. Использованы промысловые данные по окуню-клювачу моря Ирмингера за 1982—2015 гг., треске, пикше, сельди и путассу Северо-Восточной Атлантики за 1995—2017 гг. Для каждого из исследуемых видов промысловые данные осреднены по периодам в зависимости от особенностей межгодовой динамики их распределения.

Для анализа динамики пространственного распределения трески и пикши выполнены расчеты географических центров их промысловых скоплений по формулам

$$\varphi_{centr} = \frac{\sum \varphi_i c_i}{\sum c_i}, \quad \lambda_{centr} = \frac{\sum \lambda_i c_i}{\sum c_i},$$

где φ_{centr} и λ_{centr} — соответственно широта и долгота центроида, φ_i и λ_i — широта и долгота точек в i-м квадрате, c_i – суммарный вылов рыб в i-м квадрате [1].

С учетом отчетливой дифференциации распределения нагульных скоплений трески и пикши анализ межгодовой динамики распределения их скоплений выполнен по трем районам: северо-западному, северо-восточному и южному.

Океанологическая информация включает среднемесячные данные о температуре и солености воды на стандартных горизонтах в узлах регулярной сетки с шагом 1° по широте и долготе (от поверхности до дна) из базы данных EN4.0.2 [11, 15]. Их среднемесячные аномалии были рассчитаны относительно базового периода 1981—2010 гг. Поскольку основной российский вылов пелагических и донных рыб был получен в период нагула, рассчитанные аномалии термохалинных характеристик вод были осреднены за период с мая по ноябрь каждого года. Для разных видов рыб использован наиболее показательный океанографический параметр, представляющий собой аномалии температуры или солености. Для донных видов рыб были использованы данные о придонных температуре воды и солености. Для пелагических видов рыб значения аномалий термохалинных характеристик взяты для горизонтов основного распределения их уловов: сельди — 150 м, путассу — 200 м.

Результаты

Как отмечалось выше, недавнее заметное потепление в Северной Атлантике и северных морях привело к существенным изменениям границ районов для большинства промысловых рыб. Реакция промысловых рыб на потепление была разнонаправленной. На основе данных об уловах и океанологической информации за 1982—2017 гг. были выделены три группы промысловых видов в зависимости от их реакции на потепление.

Донные виды

Основной российский промысел донных рыб (северо-восточные арктические треска и пикша) ведется преимущественно на акватории Баренцева моря. Начиная со второй половины 1990-х годов отмечается генеральное расширение нагульного ареала трески к северу на 4—5° широты (рис. 2).

Причиной этого расширения стало усиление адвекции в Баренцево море более теплых и соленых атлантических вод. Анализ данных о распределении уловов позволил выделить три основных района донного промысла: северо-западный, северо-восточный и южный (рис. 3). Межгодовая динамика положения центров скоплений трески для этих выделенных районов свидетельствует о том, что с потеплением (и осолонением) вод северо-западная граница нагульного ареала сдвинулась далеко на север от архипелага Шпицберген, а ее северо-восточная граница — ближе к архипелагу Земля Франца-Иосифа и к западному побережью архипелага Новая Земля. Первоначальной причиной выявленных изменений в распределении нагульных скоплений трески стало ослабление СЦК [2, 6, 7, 12], обусловившее усиление притока атлантических вод в Северо-Восточную Атлантику и далее на восток и северо-восток. Если в 1995—1998 гг. аномалии солености в придонном слое исследуемой акватории были отрицательными (от –0,04 до –0,02 ‰), то к 2015—2017 гг. они увеличились в среднем до 0,04 ‰. Наиболее значительное увеличение (до 0,08 ‰) отмечалось в западной части Баренцева моря с максимумом значений в 2012—2017 гг. в водах, прилегающих

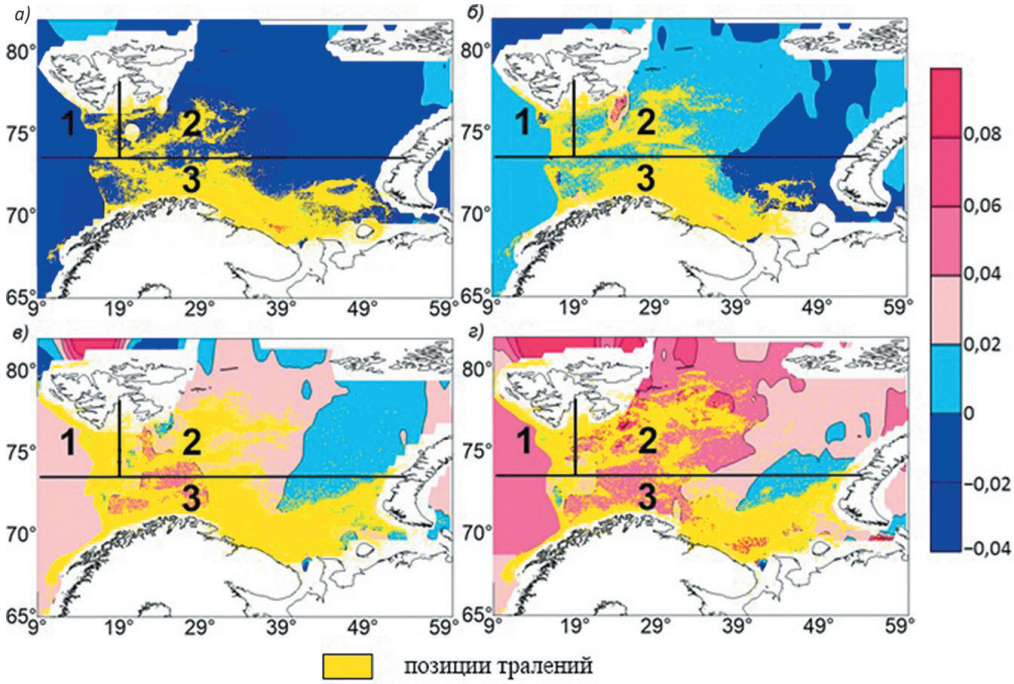

Рис. 2. Распределение тралений
северо-восточной арктической трески и аномалий солености (‰).
а) 1995—1998 гг., *б*) 1999—2002 гг., *в*) 2003—2011 гг., *г*) 2012—2017 гг.
1 — северо-западный район, *2* — северо-восточный район, *3* — южный район.

к архипелагу Шпицберген. В двух других районах нагульной миграции трески аномалии солености возросли не столь значительно, как на северо-западе моря, составив 0,02—0,04 ‰.

Вышеописанные океанологические процессы в Северо-Восточной Атлантике обусловили схожие изменения в характере распределении северо-восточной арктической пикши (рис. 4, 5).

Пелагические виды

В отличие от трески и пикши в случае пелагических видов (норвежская весенне-нерестующая сельдь и путассу), которые облавливаются преимущественно в Норвежском море, районы и схемы промысла расширялись во всех направлениях. В холодные и умеренные годы (вторая половина 1990-х годов) российский промысел путассу был сосредоточен в центральной и южной частях Норвежского моря, где аномалии солености на горизонте 200 м составляли около –0,03 ‰. В начале 2000-х годов район промысла значительно продвинулся на северо-восток — до 75° с.ш., 20° в.д., где аномалии солености оставались на уровне 1996—2000 гг.

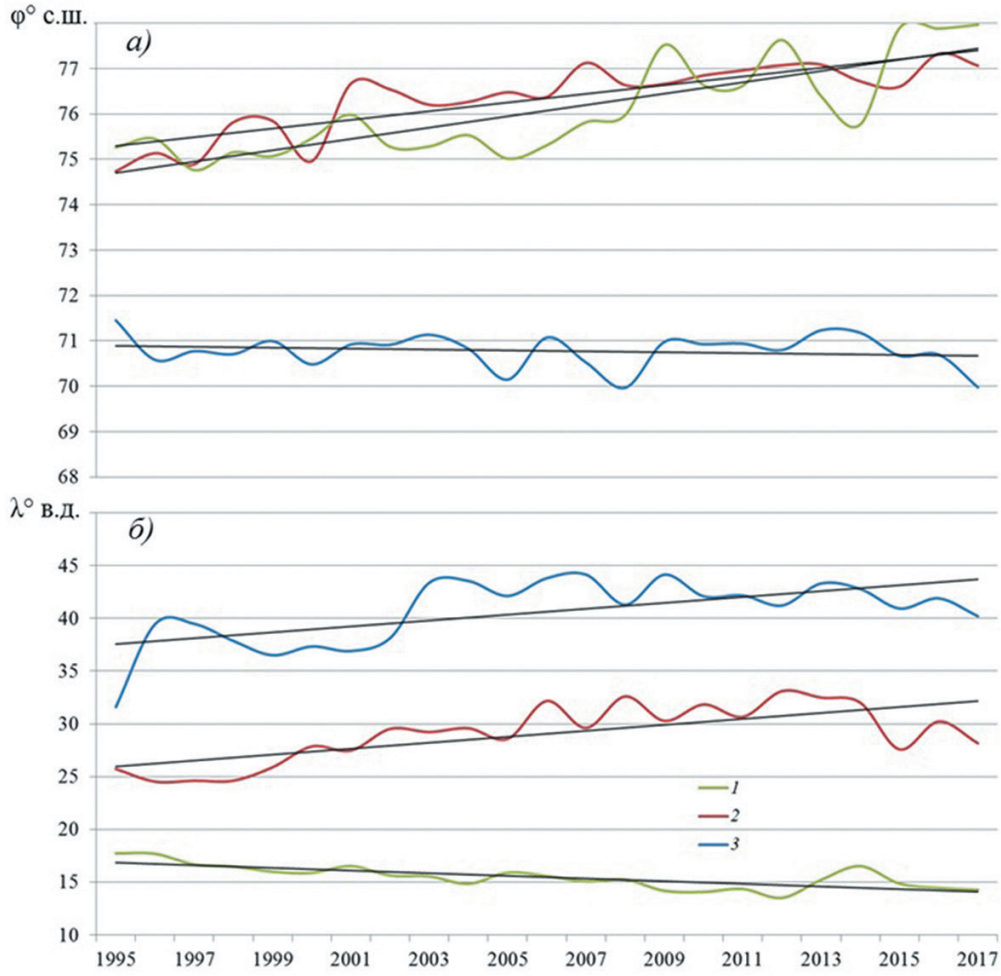

Рис. 3. Изменение положения географических центров скоплений северо-восточной арктической трески по районам.

1 — северо-западный район, *2* — северо-восточный район, *3* — южный район.

В то же время наблюдалось расширение границ промысла в юго-западном направлении вплоть до банки Поркьюпайн [14], где аномалии солености составляли в среднем 0,05 ‰. Отмеченные изменения в характере распределения нагульных скоплений были связаны, по мнению авторов, с более чем двукратным ростом (с 5,5 до 12,2 млн т) общего запаса путассу и созданием благоприятных условий среды для нагула рыб. После 2006 г. граница области нагула расширилась до моря Ирмингера на юго-западе и Гренландского моря на северо-западе, в водах с аномалией солености до 0,05 ‰ (рис. 6).

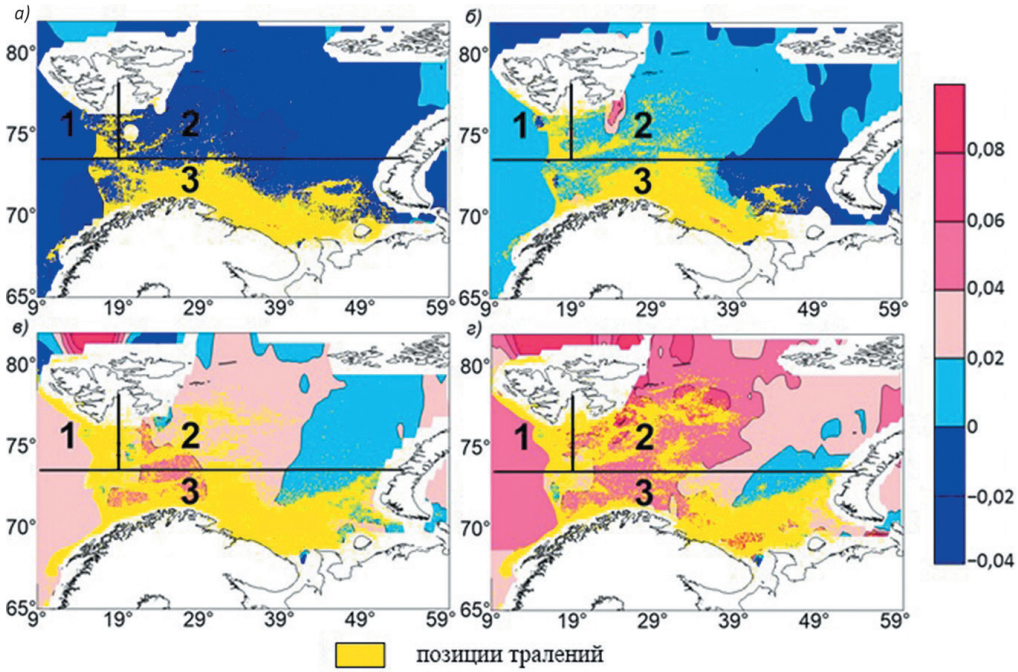

Рис. 4. Распределение тралений северо-восточной арктической пикши и аномалий солености (‰).
а) 1995—1998 гг., *б*) 1999—2002 гг., *в*) 2003—2011 гг., *г*) 2012—2017 гг.
1 — северо-западный район, *2* — северо-восточный район, *3* — южный район.

Смещение нагульного ареала сельди в период с 1995 по 2015 г. также происходило в целом во всех направлениях при таких же океанологических условиях, как и в случае путассу. Однако резкое снижение уровня пополнения запаса сельди после 2006 г. привело к уменьшению ее численности, биомассы и в конечном итоге к сокращению площади нагульного ареала более чем два раза (рис. 7).

Глубоководные пелагические виды

Для третьей группы глубоководных пелагических видов рыб, представленных в данной статье окунем-клювачом моря Ирмингера, изменения границ ареала под воздействием климата лучше всего проявляются в поле температуры воды и ее аномалий в различных слоях обитания этого вида. В случае окуня-клювача в отличие от рассмотренных выше видов границы нагульного ареала смещались в направлении вод с отрицательными аномалиями, сопряженными с центром СЦК.

На рис. 8 приведено распределение аномалий температуры воды и суммарных уловов окуня в трех диапазонах глубины (0—400, 400—600 и 600—1000 м) в весенне-летний (май — август) сезон 1982—1985, 1999—2006 и 2014—2015 гг. В наиболее холодный период первой половины 1980-х годов промысловые

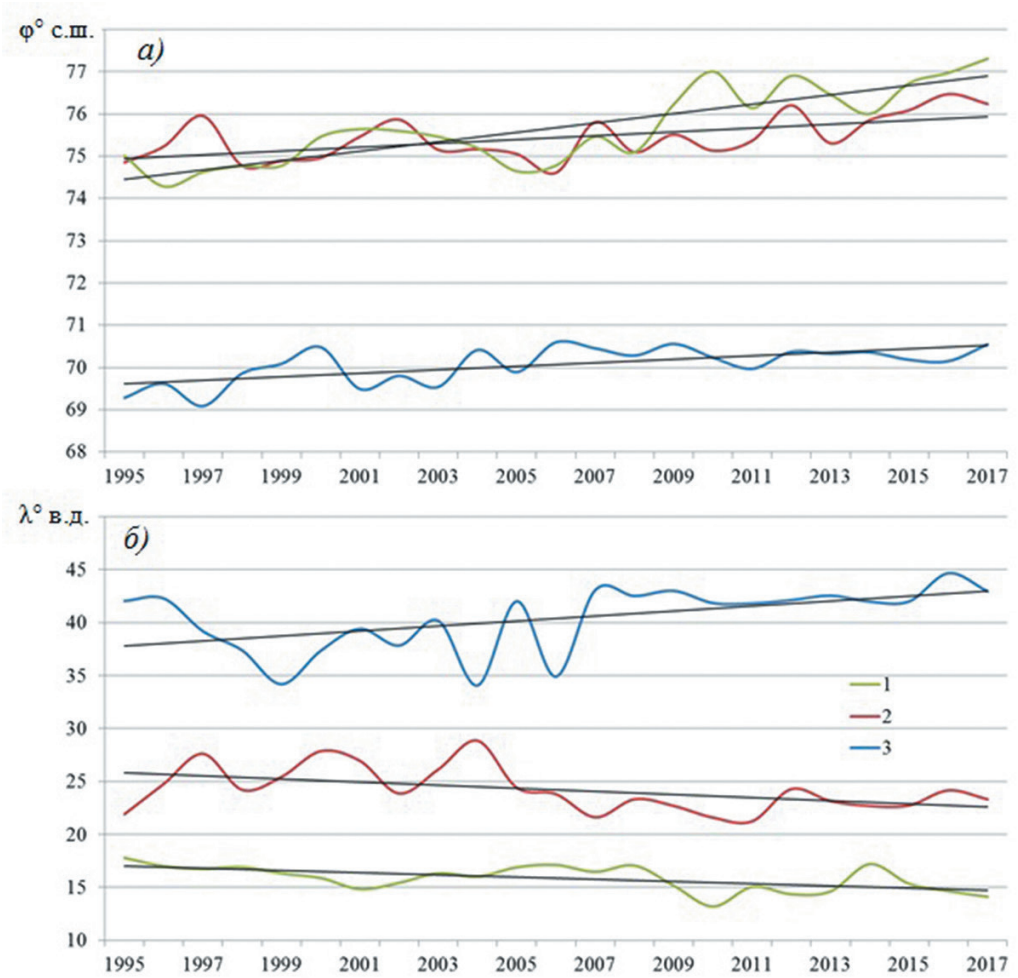

Рис. 5. Изменение положения географических центров скоплений северо-восточной арктической пикши по районам.

1 — северо-западный район, *2* — северо-восточный район, *3* — южный район.

скопления окуня распределялись в верхнем 400-метровом слое северной и центральной частей моря Ирмингера при слабых отрицательных температурных аномалиях — от –0,1 до –0,3 ºС (рис. 8 *а*). Потепление вод, начавшееся во второй половине 1980-х годов, привело к перераспределению скоплений окуня не только в пространстве, но и по вертикали. В период максимального потепления 1999—2006 гг. положительные аномалии более 0,8—1,1 ºС в слое 0—400 м наблюдались практически на всей акватории моря Ирмингера, тогда как в районе основного промысла в море Лабрадор их значения не превышали 0,4 ºС (рис. 8 *г*). В то же время на северо-востоке моря Ирмингера основной промысел окуня велся на глубине более 600 м при температуре воды, близкой к норме (рис. 8 *е*).

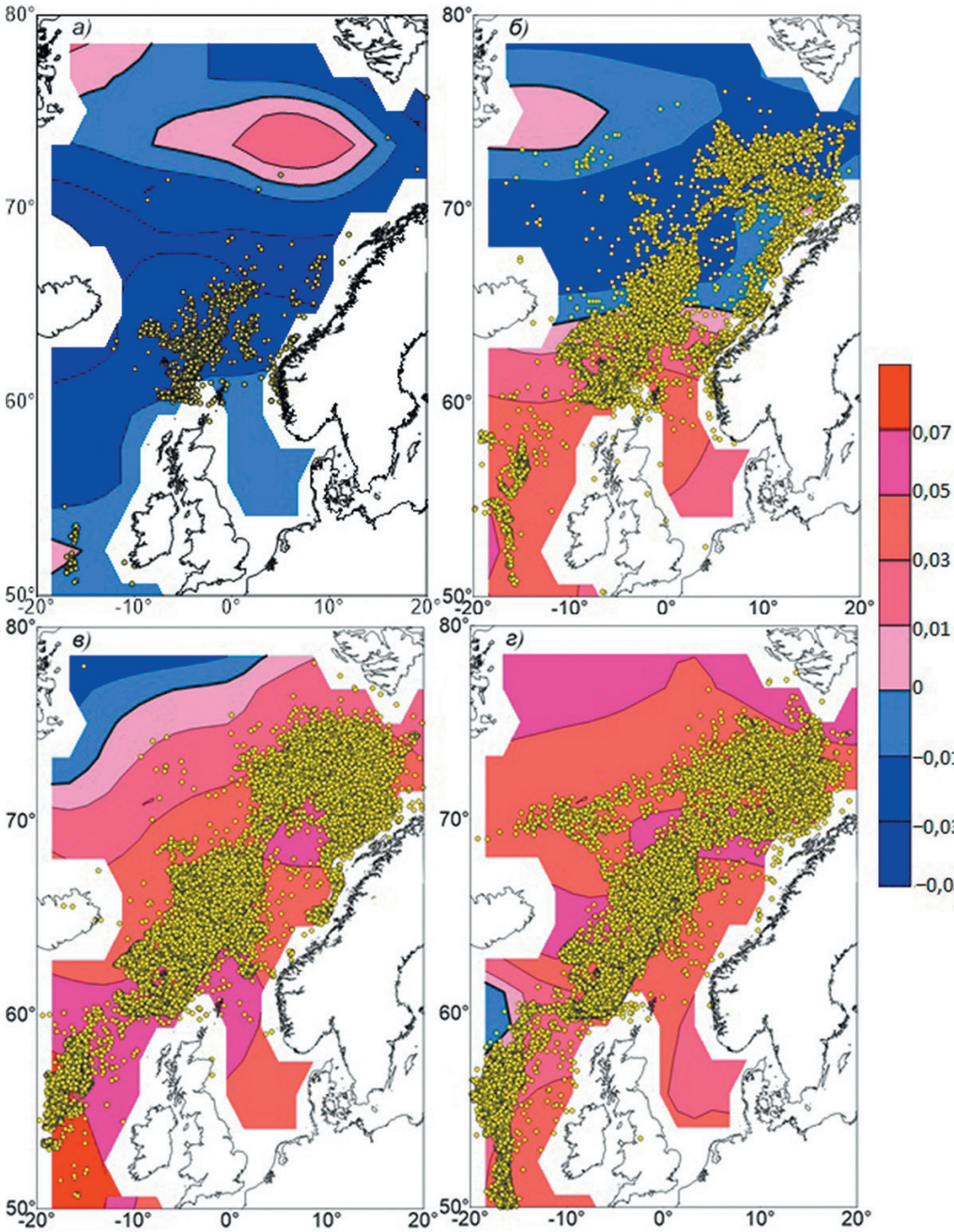

Рис. 6. Распределение тралений (позиции показаны желтыми кружками) путассу и аномалий солености (‰).
а) 1995 г., *б*) 1996—2000 гг., *в*) 2001—2005 гг., *г*) 2006—2017 гг.

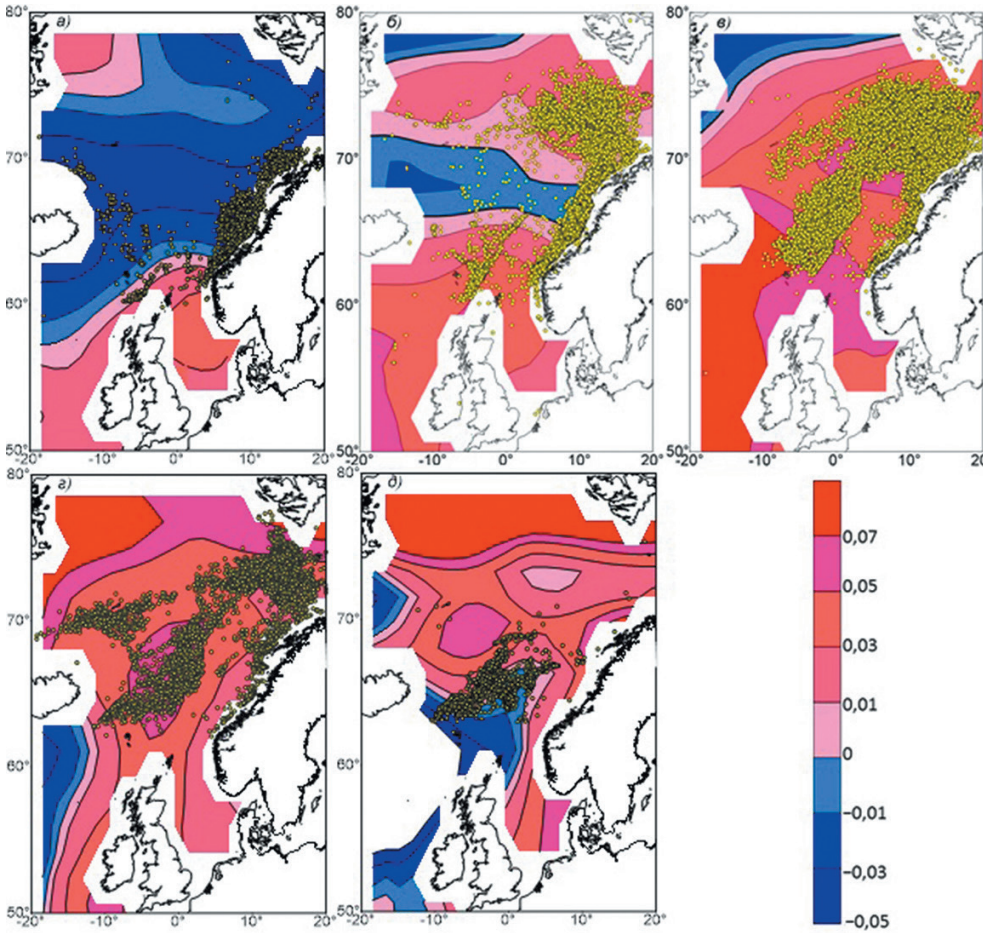

Рис. 7. Распределение тралений (позиции показаны желтыми кружками) норвежской весенне-нерестующей сельди и аномалий солености (‰).
а) 1995—1996 гг., *б*) 1997—2002 гг., *в*) 2003—2010 гг., *г*) 2011—2015 гг., *д*) 2016—2017 гг.

В последующие семь лет характер распределения аномалий температуры существенно не изменялся. Однако наметилась тенденция к уменьшению их значений. При этом отмечалось увеличение интенсивности промысла окуня в промежуточном слое (400—600 м). В 2014—2015 гг. интенсивность охлаждения вод на всей акватории района исследований возросла (рис. 8 *ж, з, и*). Похолодание вод в море Ирмингера сопровождалось расширением акватории, в пределах которой термические условия во всей 1000-метровой толще вод были близки к норме. Одновременно на фоне наблюдавшихся изменений в термическом режиме вод в слое 0—400 м отмечалось смещение промысловых концентраций из моря Лабрадор в море Ирмингера в традиционный район нагула.

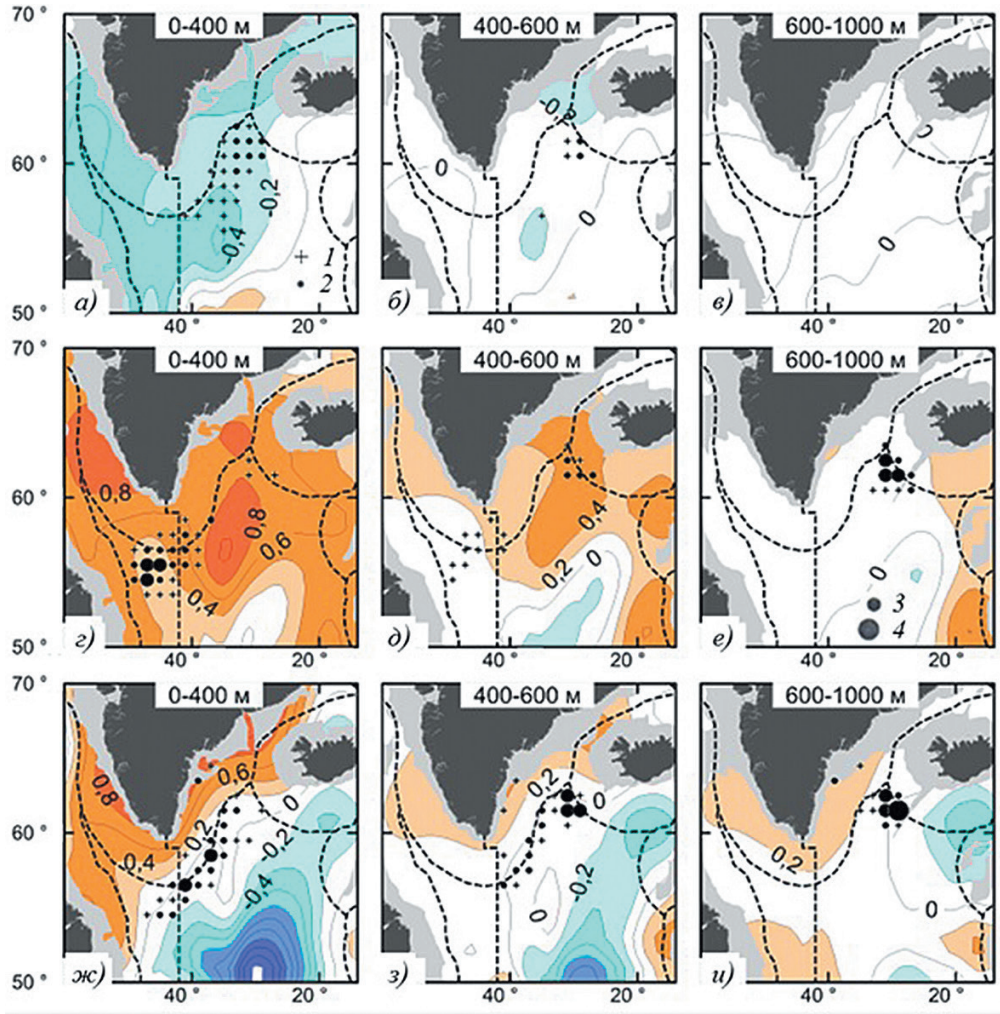

Рис. 8. Распределение аномалий температуры воды (°С)
в период май — август и общий вылов окуня в морях Ирмингера и Лабрадор
в 1982—1985 гг. (*а — в*), 1999—2006 гг. (*г — е*), 2014—2015 гг. (*ж — и*).

Штриховыми кривыми показаны границы 200-мильных ИЭЗ и граница между НЕАФК и НАФО.
1) 1—100 т; *2)* 100—1500 т; *3)* 1500—10 000 т; *4)* 10 000—100 000 т.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о влиянии наблюдающихся в Северо-атлантическом бассейне изменений климата на распределение промысловых видов рыб, обитающих практически во всей толще вод — от приповерхностных слоев до придонных. Происходящие в Северной Атлантике и прилегающих арктических морях изменения как открывают новые возможности для рыболовства,

так и порождают новые вызовы. В этой связи рассмотрим наиболее вероятные сценарии климатических изменений, а также характера распределения запасов и их промысла.

Результаты моделирования показывают, что при различных сценариях эмиссии парниковых газов максимальные темпы потепления в XXI веке будут наблюдаться в Арктическом регионе [10], включая Баренцево море (рис. 9).

В случае дальнейшего потеплении вод Баренцева моря расширение ареала теплолюбивых видов в его северные и восточные районы продолжится. Однако следует учитывать, что такие донные виды, как треска и пикша, обитающие в мелководных шельфовых зонах до глубины 300—400 м, уже практически достигли северной границы континентального шельфа. Вероятность того, что эти виды продолжат смещаться далее в районы континентального склона, очень мала. С учетом рельефа дна они будут продвигаться на восток в районы с подходящими температурными и кормовыми условиями. Только пелагические виды, такие как мойва, сельдь, сайка, будут способны мигрировать дальше в северном направлении, в более глубоководные районы.

Увеличение акватории распределения трески и других хищников приведет к изменениям в трофических отношениях рыб и их жертв — усилению пресса хищничества трески на молодь черного палтуса, сайки и других видов, которые обитают в районах за пределами массовых концентраций естественных хищников. Сохранение тенденции к потеплению вод создает перспективы хозяйственного освоения дополнительной сырьевой базы в Карском море, а возможно, и в море Лаптевых. Сокращение площади ледового покрова и увеличение протяженности миграций основных промысловых видов рыб формирует предпосылки для организации здесь лова черного палтуса, трески, пикши, мойвы, сайки, отдельных видов проходных рыб.

Вместе с тем данные наблюдений показали, что скорость фактического повышения глобальной температуры поверхности океана в 1982—2015 гг. была более чем в 1,5 раза ниже [18], чем по моделям Межправительственной группы

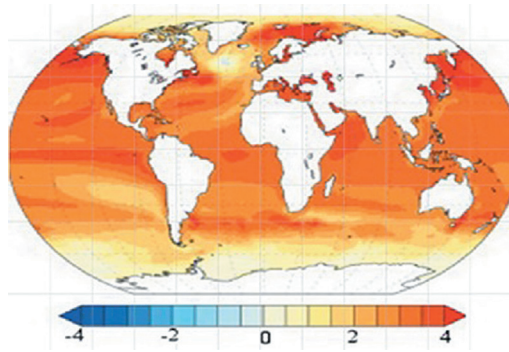

Рис. 9. Изменения температуры поверхности океана (°С) в период 2090—2099 гг. по сравнению с периодом 1990—1999 гг. при наиболее жестком (RCP-8.5) сценарии выброса CO_2 в атмосферу [10].

экспертов по изменению климата (МГЭИК) (рис. 10). Поэтому современный тренд потепления может быть связан в основном с природными процессами. Отметим, что потепление происходит неравномерно вследствие наличия 60-летнего климатического цикла с чередованием периодов потепления и похолодания.

В Северной Атлантике такие колебания известны как Атлантическая мультидекадная осцилляция (АМО). Ожидается, что переход к ее очередной отрицательной фазе и начало периода похолодания произойдут около 2030 г. (рис. 11). Прогноз изменения индекса АМО до 2050 г. сделан авторами статьи на основе 60-летней периодичности его изменения.

Рис. 10. Фактические и смоделированные изменения глобальной температуры поверхности океана по модели CMIP5 (IPCC AR5) в 1982—2015 гг. [18].

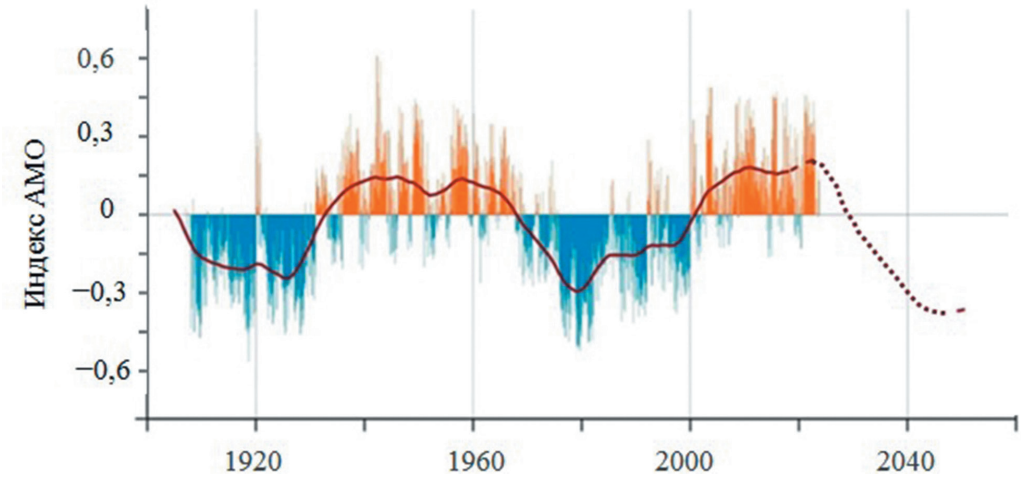

Рис. 11. Среднегодовой индекс АМО и его прогноз до 2050 г.

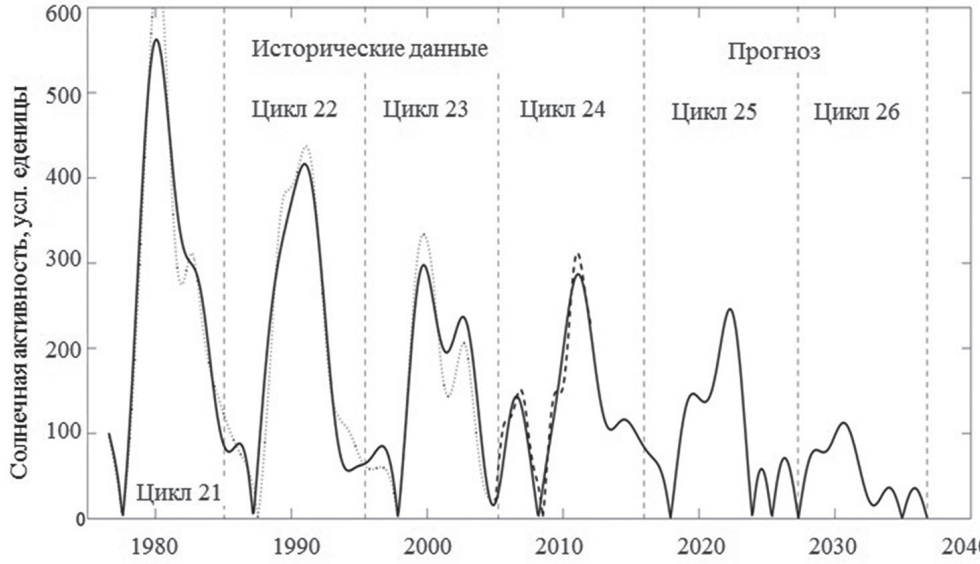

Рис. 12. Исторические данные
и прогностическая оценка изменения солнечной активности с 1970 по 2040 г. [14].

Кроме того, ожидается, что на первую половину 2030-х годов придется начало нового векового минимума солнечной активности, который можно рассматривать как еще один фактор, способствующий похолоданию климата в последующие десятилетия (рис. 12). По сравнению с началом 1980-х годов, когда наметилась тенденция к уменьшению солнечной активности, в 2030-е годы максимум 11-летнего цикла (цикл 26) будет в 5—6 раз ниже [16]. В этом случае тенденции в развитии биологических и климатических процессов в арктических морях сменятся на противоположные, что будет сопровождаться возвратом пелагических и донных рыб в традиционные районы промысла.

Заключение

Анализ данных за 1982—2017 гг. выявил существенные изменения в распределении основных промысловых гидробионтов в Северной Атлантике и прилегающих арктических морях, связанные с климатическими изменениями. Наблюдаемые изменения климата определялись установлением положительной фазы АМО в 1996 г. и существенным ослаблением и сокращением площади СЦК. Усиление адвекции более теплых и соленых атлантических вод в Баренцево и Норвежское моря обусловило продвижение донных видов рыб в период нагула, прежде всего, в северо-восточном направлении. В то же время районы пелагических видов в Норвежском море расширялись во всех направлениях. Изменения границ ареала окуня в море Ирмингера носили «аномальный» характер. С середины 1990-х годов его скопления сместились на юго-запад вслед за сокращением СЦК.

Рассмотрены вероятные сценарии климатических изменений и характера распределения запасов и их промысла. В случае дальнейшего потеплении вод Баренцева моря расширение ареалов теплолюбивых видов в его северные и восточные районы продолжится. Это создаст перспективы хозяйственного освоения дополнительной сырьевой базы в Карском море, а возможно, и море Лаптевых.

Другой сценарий, основанный на предположении о естественном характере современного потепления, предполагает возврат пелагических и донных видов рыб в традиционные районы промысла.

Исследования влияния изменений климата на сообщества морских рыб должны включать как качественные, так и количественные оценки связи между биолого-промысловыми и климатическими параметрами. В настоящей работе представлены лишь качественные оценки воздействия температуры и солености воды на распределение основных промысловых видов рыб в Североатлантическом регионе. Наша дальнейшая работа предполагает поиск количественных, прежде всего статистически значимых, связей между климатическими параметрами и рассчитанными географическими центрами промысловых скоплений гидробионтов.

Список литературы

1. *Боровков В.А., Карсаков А.Л., Ярагина Н.Ф., Анциферов М.Ю., Ившин В.А.* Эффекты современных изменений климата в распределении промысловых скоплений северо-восточной арктической трески в период нагула // Вопросы промысловой океанологии. 2014. № 11. С. 61—76.
2. *Сарафанов А.А.* 2013.Циркуляция и термохалинные характеристики вод субарктической Атлантики: среднее состояние и изменения в масштабе десятилетий / Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: изд-во ИОРАН. 50 с.
3. ЦСМС Центра системы мониторинга рыболовства и связи – судовые суточные донесения [Electronic resource]. URL: http:///cfmc.ru/ (дата обращения: 02.03.2018 г.).
4. *Beaugrand G., Brander K.M., Lindley J.A., Souissi S., Reid P.C.* Plankton effect on cod recruitment in the North Sea // Nature. 2003. 426. P. 661—664 (also available at https://doi.org/10.1038/nature02164).
5. *Beaugrand, G., Luczak, C., Edwards, M.* Rapid biogeographical plankton shifts in the North Atlantic Ocean // Global Change Biology, 2009. 15(7). P. 1790—1803. (also available at https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01848.x).
6. *Berx B., Payne M. R.* The Sub-Polar Gyre Index – a community data set for application in fisheries and environment research // Earth Syst. Sci. Data. 2017. 9. P. 259—266.
7. *Chafik L., Häkkinen S., England M. H., Carton J. A., Nigam S., Ruiz-Barradas A., Miller L.* Global linkages originating from decadal oceanic variability in the subpolar North Atlantic // Geophys. Res. Lett. 2016. 43(20). P. 10 909—10 919. doi:10.1002/2016gl071134.
8. *Fernandes, J.A., Papathanasopoulou, E., Hattam, C., Queirós, A.M., Cheung, W.W.L., Yool, A., Pope, E.C.* et al. Estimating the ecological, economic and social impacts of ocean acidification and warming on UK fisheries // Fish and Fisheries. 2017. 18(3). P. 389—444 (also available at https://doi.org/10.1111/faf.12183).
9. *Fossheim, M., Primicerio, R., Johannesen, E., Ingvaldsen, R.B., Aschan, M. & A.V. Dolgov.* Recent warming leads to a rapid borealization of fish communities in the Arctic // Nature Climate Change. 2015. 5. P. 673—676 (also available at https://doi.org/10.1038/ nclimate2647).
10. *Gattuso J.-P., Magnan A., Billé R., Cheung W.W.L., Howes E.L., Joos F., Allemand D.* et al. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO_2 emissions scenarios // Science. 2015. 349 (6243): aac4722 (also available at https://doi. org/10.1126/science.aac4722).
11. *Good S.A., Martin M.J., Rayner N.A.* EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates // J. Geophys. Res.: Oceans. 2013. No. 118. P. 6704—6716. doi:10.1002/2013JC009067.

12. *Häkkinen, S., Rhines, P.B.* Decline of subpolar North Atlantic circulationduring the 1990s // Science. 2004. 304. P. 555—559.
13. *Häkkinen S, Rhines P.B.* Shifting surface currents in the northern North Atlantic Ocean // J. Geophys. Res. 2009. V. 114. C04005. doi:10.1029/2008JC004883.
14. *Hátún H., Payne, M.R., Jacobsen J.A.* The North Atlantic subpolar gyre regulates the spawning distribution of blue whiting (Micromesistius poutassou) // Canadian J. Fisheries and Aquatic Sci. 2009. V. 66. Is. 5. P. 759—770.
15. Met Office Hadley Centre — EN4: quality controlled subsurface ocean temperature and salinity profiles and objective analyses [Electronic resource]. URL:https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/en4/index.html (дата обращения: 03.08.2017 г.).
16. *Shepherd S.J., Zharkov S.I., Zharkova V.V.* Prediction of Solar Activity from Solar Background Magnetic Field Variations in Cycles 21—23 // Astrophysical J. 2014. V. 795. P. 46. doi:10.1088/0004-637X/795/1/46.
17. *Simpson, S.D., Jennings, S., Johnson, M.P., Blanchard, J.L., Schon, P.J., Sims, D.W. & M.J Genner*. Continental shelf-wide response of a fish assemblage to rapid warming of the sea // Current Biology. 2011. 21 (18). P. 1565—1570 (also available at https://doi. org/10.1016/j.cub.2011.08.016).
18. *Tisdale B.* Dad, why are you a global warming denier? A short story that's right for the times. 2018. Available at: https://bobtisdale.wordpress.com/2018/01/10/illustrations- from-my- short-story-dad-why-are-you-a-global-warming-denier.