

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ОКЕАНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАССОВЫХ ПЕЛАГИЧЕСКИХ ВИДОВ РЫБ В ЦЕНТРАЛЬНО-ВОСТОЧНОЙ АТЛАНТИКЕ

В. Н. Шнар, О. Ю. Краснобородько, Н. А. Баркова

*ФГБНУ «АтлантНИРО», Калининград
vshanar@atlantniro.ru, sea@atlantniro.ru, barkova@atlantniro.ru*

Шнар В. Н., Краснобородько О. Ю., Баркова Н. А. Изменчивость океанологических условий и распределение массовых пелагических видов рыб в Центрально-Восточной Атлантике // Труды АтлантНИРО. 2017. Новая серия. Т. 1, № 1. Калининград : АтлантНИРО. С. 84–94.

Выполнен обзор особенностей сезонной и межгодовой изменчивости условий среды в Центрально-Восточной Атлантике, их влияние на численность пополнения и величину биомассы массовых пелагических видов рыб в водах Марокко и Мавритании на основе данных, собранных на судах АтлантНИРО в январе 1994 г. – ноябре 2015 г. Приведены результаты районирования поверхностных вод по характеру изменчивости температуры и данные по межгодовой изменчивости прибрежного апвеллинга в летний сезон. Показано, что площадь, занятая апвеллинговыми водами, испытывает значительные межгодовые вариации. Рассматривается межгодовая динамика термических индексов апвеллинга в южной части зоны Марокко от м. Юби до м. Кап-Блан, выявлены их разнонаправленные тренды. К факторам, регулирующим особенности распределения пелагических рыб, отнесены вариации параметров Сенегало-Мавританского термического фронта и вихревая активность в районах массового нереста. Обсужден вероятный механизм пространственного перераспределения ранних стадий развития пелагических рыб в зависимости от интенсивности переноса его мезомасштабными вихрями.

Ключевые слова: Центрально-Восточная Атлантика, Сенегало-Мавританский термический фронт, термические индексы апвеллинга, апвеллинг, температура поверхности океана, биомасса пелагических рыб

Shnar V. N., Krasnoborodko O. Yu., Barkova N. A. Variability of oceanological conditions and distribution of mass pelagic fish species in the Eastern-Central Atlantic // Trudy AtlantNIRO. 2017. New series. Vol. 1, № 1. Kaliningrad : AtlantNIRO. P. 84–94.

Features of the seasonal and inter-annual variability of environmental conditions in the Eastern-Central Atlantic, their influence on the abundance and biomass of mass pelagic fish species in the waters of Morocco and Mauritania were reviewed based on the data collected by AtlantNIRO vessels in the period January 1994 – November 2015. Results of surface waters zoning by the nature of temperature variability and the data on the inter-annual variability of coastal upwelling in the summer season are presented. It is shown that the considerable inter-annual variations occur in the area occupied by upwelling waters. The inter-annual dynamics of the thermal indices of upwelling in the area of Southern Morocco from the Cape Juby to the Cape Blanc is considered, their multidirectional trends are revealed. Factors regulating the distribution of pelagic fishes include variations in the parameters of the Senegalese-Mauritanian thermal front and eddying activity in the areas of mass spawning. The probable mechanism of spatial redistribution of pelagic fishes spawning products, depending on the intensity of its transfer by mesoscale eddies is discussed.

Key words: Eastern-Central Atlantic, Senegalese-Mauritanian thermal front, thermal indices of upwelling, upwelling, sea surface temperature, biomass of pelagic fish species

Введение

В настоящее время актуальны вопросы расширения сырьевой базы для российского рыболовства. Особенно это важно для рыбодобывающих предприятий Северо-Западного региона России, которые в основном используют биоресурсы Норвежского моря и некоторых других районов северной Атлантики, где промысел жестко регламентируется в рамках международных организаций и межправительственных соглашений.

Одним из направлений решения этих вопросов является сохранение и увеличение объемов традиционного промысла российских судов в исключительных экономических зонах (ИЭЗ) иностранных государств, расположенных в Центрально-Восточной Атлантике (ЦВА). Важнейшими промысловыми районами здесь являются ИЭЗ Марокко и Мавритании, где промысел осуществляется на основе билатеральных соглашений между Правительством Российской Федерации, Правительством Королевства Марокко и Правительством Исламской Республики Мавритании.

В настоящей работе предпринята попытка оценить сезонную и межгодовую изменчивость различных параметров среды и их влияние на численность и биомассу отдельных видов массовых пелагических видов рыб в ИЭЗ Марокко и Мавритании на основе комплексных данных, полученных в экспедициях АтлантНИРО в 1994–2015 гг.

Материал и методика

Для анализа состояния и тенденций пространственно-временной изменчивости океанологических условий и процессов, определяющих динамику численности и распределение водных биологических ресурсов в ЦВА, использовалась ретроспективная информация. Их основой послужили данные комплексных океанологических и тралово-акустических съемок, выполненных в 31 экспедиции судами ФГБНУ «АтлантНИРО» в ИЭЗ Марокко и Мавритании с января 1994 г. по ноябрь 2015 г. Стандартная схема комплексных экспедиционных работ представлена на рис. 1. В летний сезон (июнь–август) выполнялись акустические съемки по оценке биомассы массовых пелагических видов рыб, а в зимний сезон (ноябрь–январь), начиная с 2003 г. – съемки пополнения популяций этих видов рыб. С целью изучения условий среды, влияющих на особенности распределения промысловых видов рыб, в каждой экспедиции выполнялся большой объем океанологических исследований. Всего было выполнено более 2900 гидрологических станций. Кроме того, для анализа термического фона океана использовались среднемесячные данные температуры воды на поверхности океана (ТПО) в узлах одноградусной сетки за период с ноября 1981 г. по настоящее время из архива IGOS.

Для анализа динамики верхнего слоя океана ЦВА использована база данных по мезомасштабным вихрям, основанная на результатах альтиметрических измерений в рамках программы AVISO [Chelton et al., 2011]. База данных включает информацию о локализации, времени существования и пространственных характеристиках циклонических и антициклонических вихрей в Мировом океане за период с октября 1992 г. по апрель 2015 г.

В качестве характеристики интенсивности апвеллинга использовался термический индекс, который был рассчитан по разности среднемесячных значений ТПО по двум точкам, расположенным на одной и той же широте у берега и в океанической частях акватории (рис. 1). За северную границу Сенегало-Мавританского термического фронта (СМФ) принималась изотерма 22 °С, за южную – изотерма 24 °С.

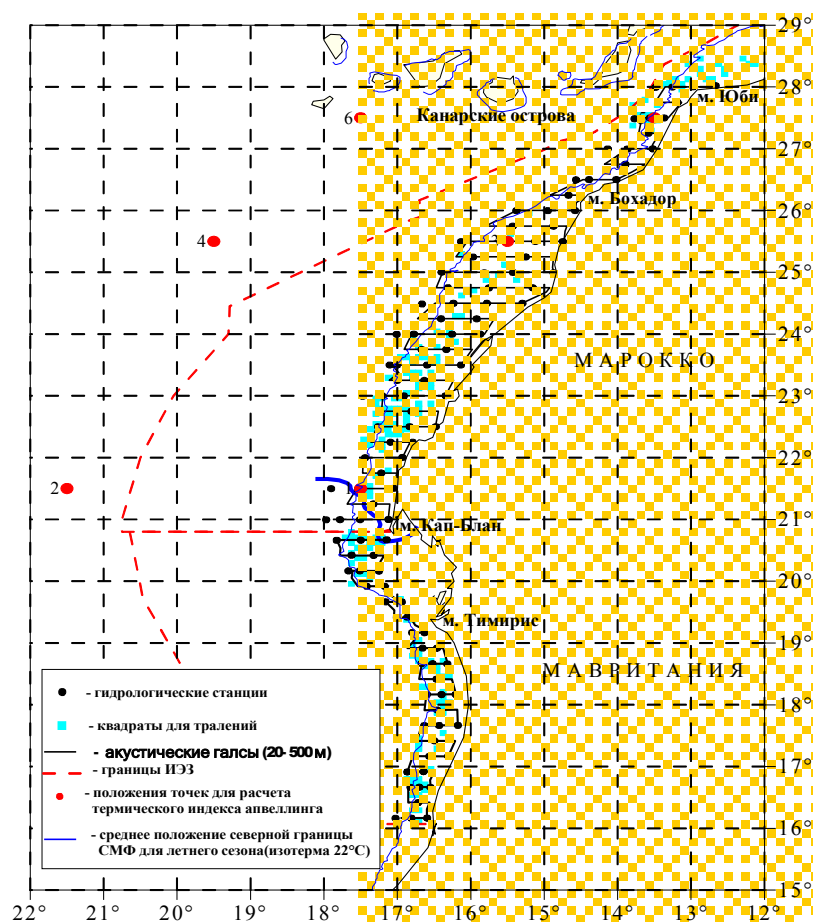


Рис. 1. Схема акустических галсов, положение квадратов тралений и реперных точек для расчета термического индекса апвеллинга
 Fig. 1. Scheme of acoustic transects, position of trawls and reference points for calculating the upwelling thermal index

Результаты и обсуждение

Температура поверхности океана. На первом этапе данного исследования была рассмотрена межгодовая изменчивость значений ТПО отдельно по подрайонам, выделенным в ИЭЗ Марокко и Мавритании на основании материалов научно-исследовательских рейсов АтлантНИРО методом кластер-анализа. Классификация поверхностных вод у Северо-Западного побережья Африки с привлечением гидрохимических характеристик (концентрации кислорода и минерального фосфора) позволила провести их районирование [Духова и др., 2009]. Для теплого и холодного периодов в ИЭЗ Марокко и Мавритании года было выделено 5 подрайонов (классов): 3 – в ИЭЗ Марокко и 2 – в ИЭЗ Мавритании (рис. 2).

Первый подрайон занимает значительную часть шельфа ИЭЗ Марокко: летом – от 21°00' с.ш. (м. Кап-Блан) до 33°00' с.ш., зимой несколько меньше – от 21°00' с.ш. до 30°20' с.ш. Структура поверхностных вод в этом подрайоне формируется под влиянием Канарского течения. Второй подрайон расположен в непосредственной близости от берега и приурочен к зоне квазистационарного прибрежного апвеллинга. В теплый сезон эти воды распространяются от 33°00' с.ш. до 22°30' с.ш. (п. Дахла), а в холодный сезон – до 21°00' с.ш. Третий подрайон расположен на склоне и по периферии шельфа ИЭЗ Марокко: летом – от 23°00' до 29°30' с.ш., зимой – от 23°30' до 28°30' с.ш. Четвертый подрайон охватывает зону взаимодействия вод Канарского течения и Северной ветви Межпассатного противотечения. В результате смешения этих вод формируется водная масса, которая в летний период занимает акваторию от м. Кап-Блан (21° с.ш.) до м. Тимирис (19°20' с.ш.). Зимой площадь этого

подрайона незначительно уменьшается. Для пятого подрайона, расположенного к югу от м. Тимирис до южной границы ИЭЗ Мавритании (16° с.ш.), характерны теплые тропические воды, ассоциируемые с Северной ветвью Межпассатного противотечения.

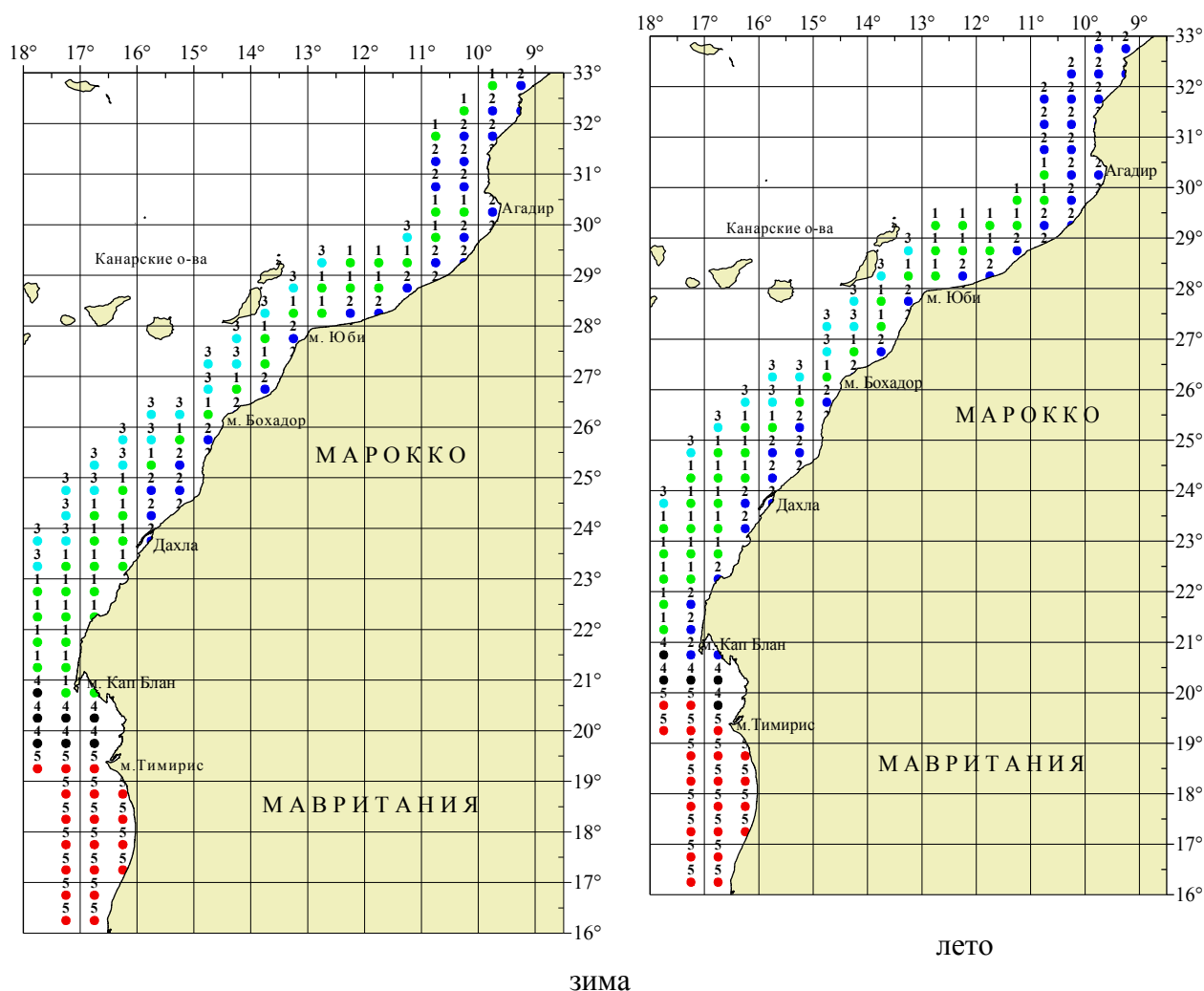


Рис. 2. Районирование поверхностных вод
Fig. 2. Zoning of surface waters

По каждому подрайону для теплого и холодного сезонов были рассчитаны средние значения ТПО, а для изучения внутренней структуры межгодовой изменчивости – спектральные характеристики. Амплитуда межгодовых колебаний ТПО во всех подрайонах, за исключением холодного сезона для ИЭЗ Мавритании (4 и 5 подрайоны), не превышала 1°C (рис. 3). В холодный сезон в 4 и 5 подрайонах за период с 1992 г. по 1996 г. она составила 1,2–1,3 °C.

Наиболее отчетливо линейный тренд с положительной тенденцией просматривается в летний сезон в ИЭЗ Мавритании (4 и 5 подрайоны). Величина достоверной аппроксимации R^2 летом здесь составила 0,76–0,87. Судя по летнему тренду, ТПО в ИЭЗ Мавритании с 1982 г. по 2015 г. увеличилась на 1,6 °C (5 подрайон) и на 2,3 °C (4 подрайон). Такое увеличение температуры, по-видимому, связано с влиянием более теплых тропических вод. В остальных подрайонах ЦВА значения ТПО увеличились от 0,2 до 0,5 °C. В целом с 1982 по 2006 гг. среднегодовой рост ТПО по району Канарского апвеллинга составил от 0,3 до 0,6 °C [Casey, Cornillon, 2001; Behrenfeld et al., 2006; Belkin, 2009].

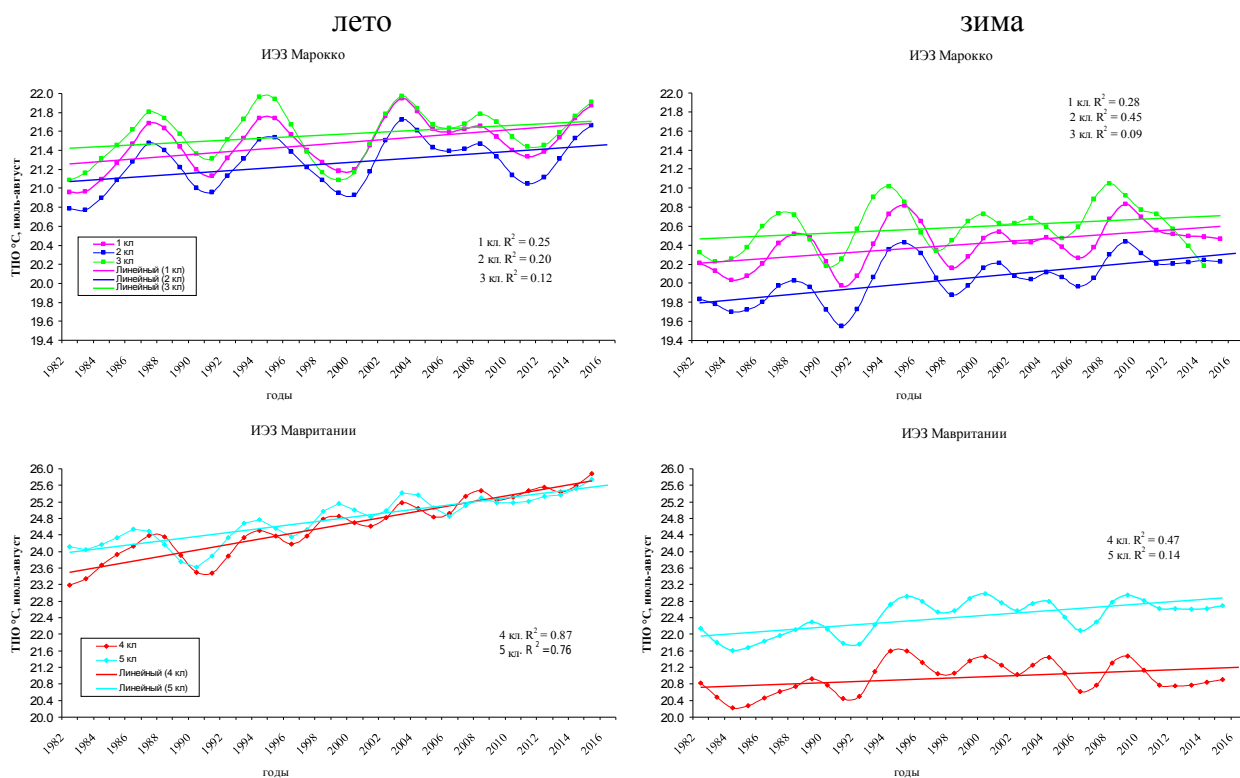


Рис. 3. Межгодовая изменчивость средних значений ТПО в летний и зимний периоды
Fig. 3. Interannual variability of mean SST values in summer and winter periods

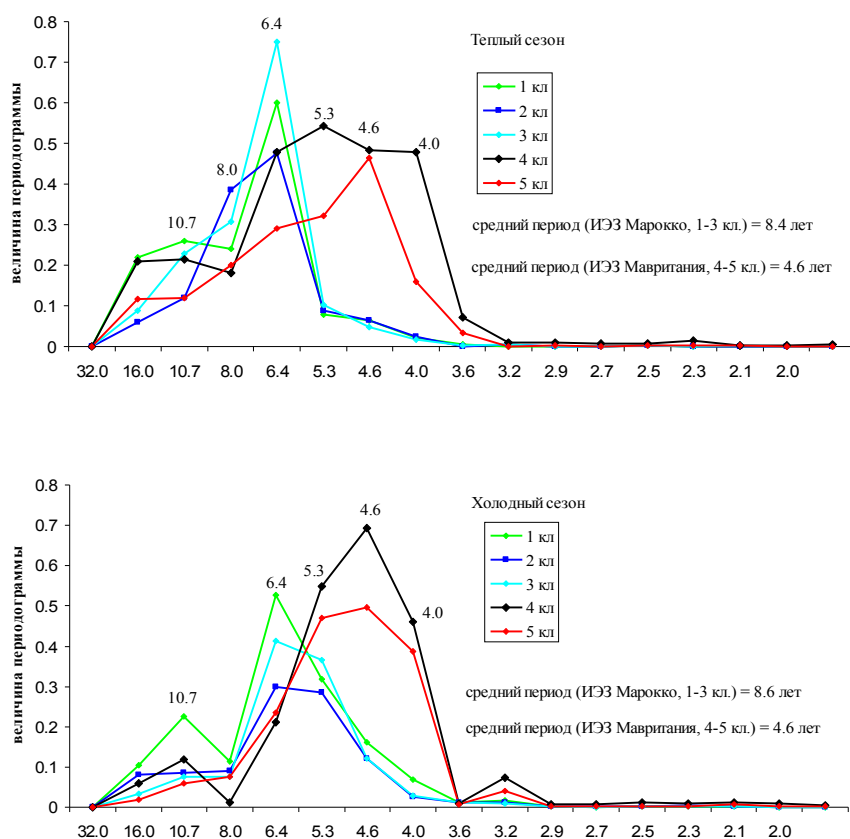


Рис. 4. Периодограммы ТПО в Марокко и Мавритании в летний и зимний сезоны
Fig. 4. A periodogram of SST in Morocco and Mauritania in the summer and winter seasons

Данные о временной изменчивости ТПО свидетельствуют, что во всех подрайонах ряды нестационарны (рис. 4). Наличие периодичностей подтверждает и анализ спектрограммы. Отмечаются колебания с периодами от 4,0 до 10,7 лет. В ИЭЗ Марокко наиболее выражена цикличность 6,4 года, в летний сезон она описывает более 70%, а в зимний сезон – более 50% межгодовой изменчивости. Цикличность 10,7 года описывает около 20%. В ИЭЗ Мавритании летом более 45% составляет периодичность от 4,0 до 5,3 лет, зимой в 70% случаев характерна периодичность 4,6 года.

Прибрежный апвеллинг. Воды апвеллинга встречаются главным образом в узкой прибрежной зоне к северу от 21° с.ш. Эту водную массу можно охарактеризовать как модификацию северной атлантической центральной водной массы, которая изменила свои характеристики в процессе подъема к поверхности более холодных вод с нижележащих горизонтов [Manriques, Fraga, 1982]. Как показывают исследования, выполненные АтлантНИРО в летний сезон 2004–2011 гг., в ИЭЗ Марокко площадь, занятая холодными (менее 19 °С) водами апвеллинга, год от года значительно изменяется (рис. 5). Максимальные площади эти воды занимали в 2007 и 2011 гг., минимальные – в 2004, 2006, 2008–2010 гг. В 2008–2010 гг. воды апвеллинга южнее п. Дахла (24° с.ш.) не отмечены.

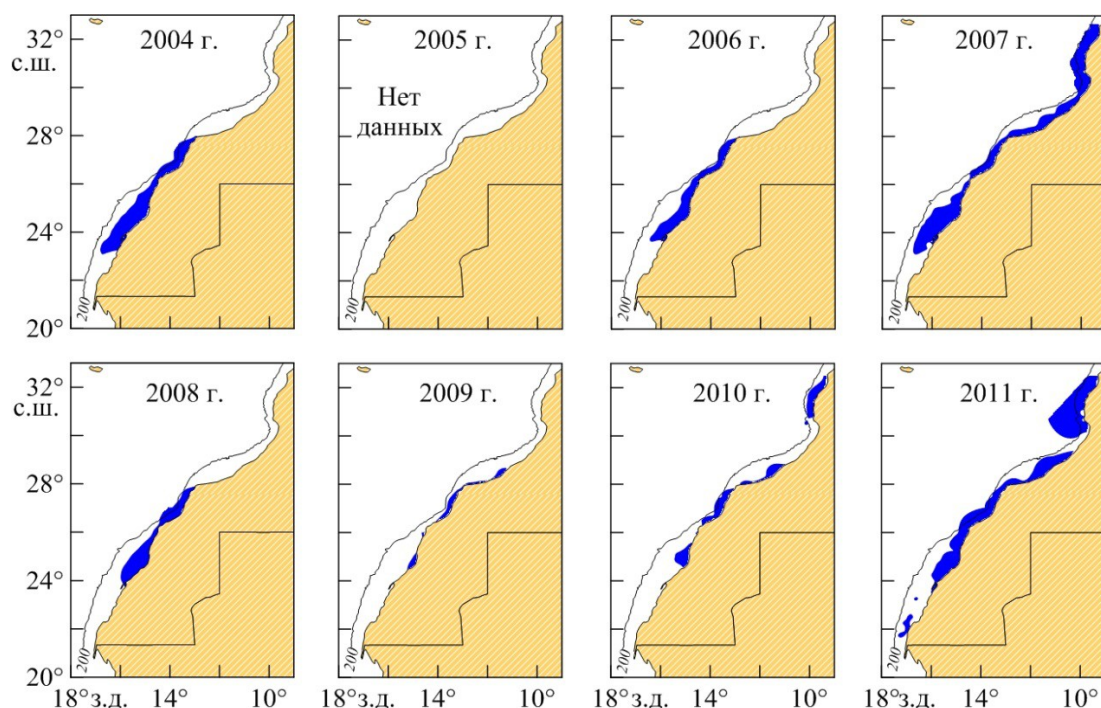


Рис. 5. Локализация апвеллинга летом 2004–2011 гг. (ТПО менее 19 °С)
Fig. 5. Upwelling localization in the summer of 2004–2011 (SST less than 19 °C)

В сезонном аспекте пик активности апвеллинга приходится в основном на теплый сезон (рис. 6). Исключение составляет район м. Кап-Блан, где в июне–сентябре наблюдается снижение интенсивности процессов апвеллинга. По широте интенсивность апвеллинга возрастает с севера на юг и максимального значения достигает в районе м. Бохадор и м. Кап-Блан. В межгодовом плане отмечается рост интенсивности летнего апвеллинга у м. Юби и у м. Бохадор (рис. 7). Интенсивность апвеллинга у м. Кап-Блан характеризуется значительными межгодовыми колебаниями. Максимальная интенсивность (–2,2 °С) отмечалась здесь в 1996–1997 гг., минимальная (–1,3 и –1,4 °С) – в 1993, 1999, 2000 и в 2013 гг. Однако статистически значимого тренда на усиление или ослабление интенсивности процессов апвеллинга у м. Кап-Блан в исследуемый период времени не выявлено.

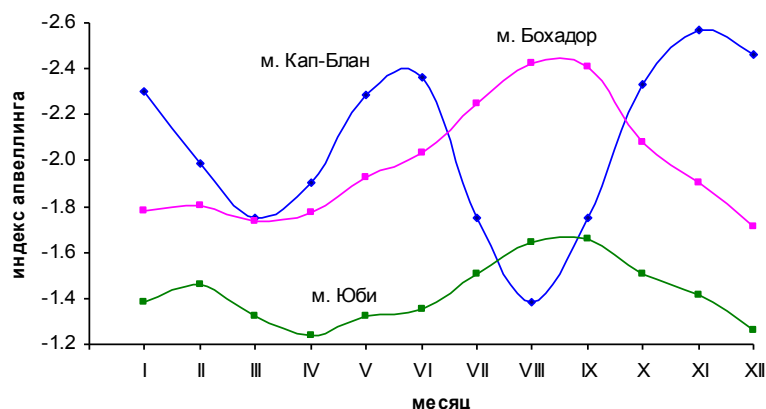


Рис. 6. Сезонная изменчивость термического индекса апвеллинга (по данным IGOSS)
Fig. 6. Seasonal variability of the upwelling thermal index (according to IGOSS)

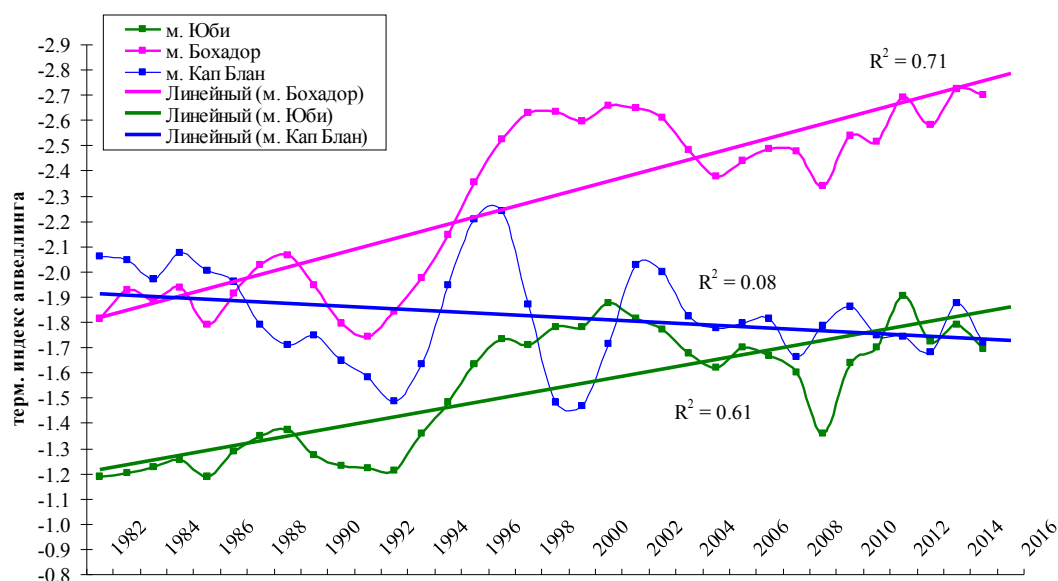


Рис. 7. Межгодовая изменчивость термического индекса апвеллинга в летний сезон (по данным IGOSS)
Fig. 7. Interannual variability of the upwelling thermal index in the summer season (according to IGOSS)

Сезонная и межгодовая изменчивость СМФ. Взаимодействие теплых тропических вод Северной ветви Межпассатного противотечения и вод холодного Канарского течения способствует формированию СМФ. Это естественная граница, разделяющая экваториальную и тропическую поверхностные водные массы [Доманевский, 1998]. Первая водная масса имела температуру обычно выше 24 °C и простиралась до глубин 80–150 м, а вторая была ниже 22–24 °C и с протяженностью по глубине до 150–200 м.

Для СМФ характерна сезонная миграция вдоль Африканского побережья от м. Кап-Блан на юг и обратно (рис. 8). Крайнее северное положение СМФ занимает в летний период года. Среднее положение северной границы СМФ для летнего периода представлено на рис. 1. В то же время в многолетнем аспекте оно характеризуется значительной изменчивостью (рис. 9). В отдельные годы амплитуда колебаний достигает 2,5° широты. Максимальное южное положение северная граница СМФ (изотерма 22 °C) занимала в 1985, 1991, 1992 и 2007 гг., максимальное северное – в 1989, 1995, 2005 и 2010 гг. На фоне многолетних колебаний для теплого периода хорошо прослеживается линейный тренд смещения северной границы СМФ. С 1982 г. по 2013 г. она сместилась на север более чем на 1,5° широты. Величина достоверности аппроксимации $R^2 = 0,35$.

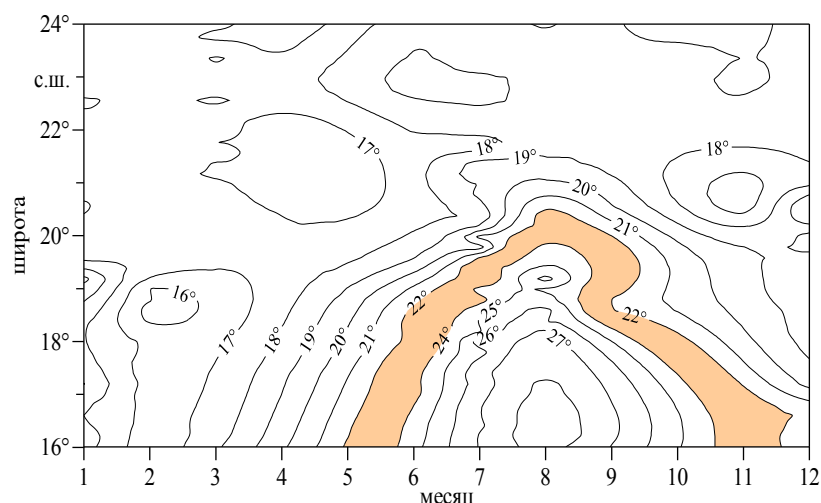


Рис. 8. Распределение температуры воды на горизонте 10 м в прибрежной зоне в 1994-2015 гг. (цветом выделен СМФ)

Fig. 8. The distribution of water temperature at the 10 m depth in the coastal zone in 1994-2015 (SMF is highlighted by color)

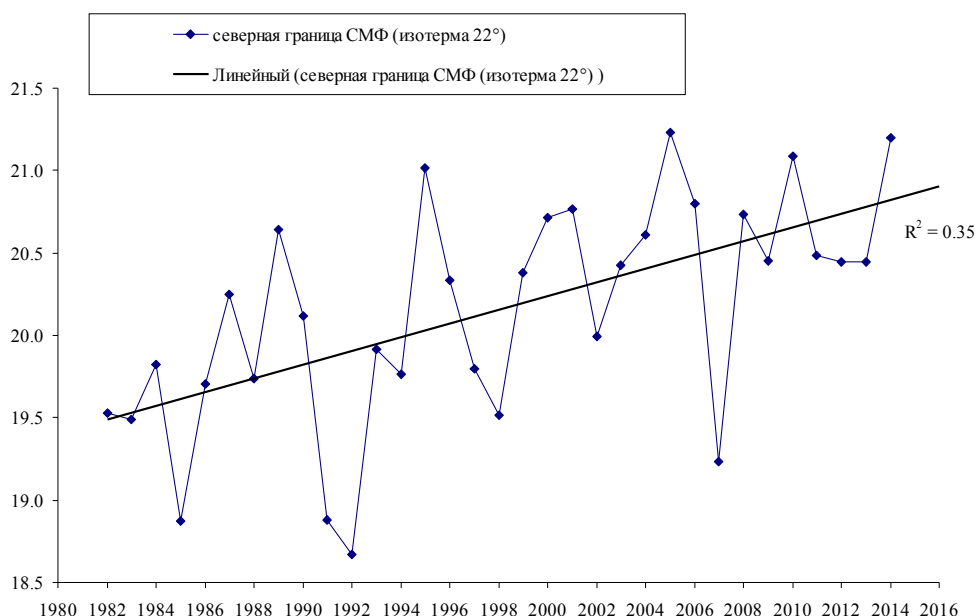


Рис. 9. Межгодовая изменчивость локализации северной границы СМФ в июне–августе

Fig. 9. Interannual variability of the northern boundary localization of the SMF in June–August

Особенности распределения и динамика численности нулевой группы массовых пелагических рыб. Анализ данных по численности пополнения массовых пелагических рыб в ИЭЗ Марокко, которые ежегодно собираются АтлантНИРО в октябре–декабре, показывает их значительные межгодовые вариации. Наряду с величиной нерестовой биомассы, важнейшее условие для формирования уровня пополнения – насколько благоприятны или неблагоприятны условия среды в период нереста. При благоприятных динамических условиях (отсутствии крупных подвижных циклонических образований) происходит удержание ранних стадий развития рыб в пределах шельфа, смещение их в южном направлении в системе Канарского течения и последующее формирование высокого уровня пополнения в октябре–декабре. В противном случае циклоническими вихрями, траектории которых направлены преимущественно в западном направлении, происходит вынос яиц, личинок и мальков рыб за пределы шельфа, где происходит их гибель (стерильная зона выселения). Косвенным критерием благоприятных или неблагоприятных динамических

условий можно считать суммарную дистанцию, пройденную всеми циклоническими ячейками в пределах района нереста. Ее удобно выражать в градусах, поскольку в этом случае учитывается смещение вихрей как по широте, так и по долготе.

На основе наших экспедиционных данных, полученных в южной части шельфа ИЭЗ Марокко от 23 до 25° с.ш., был определен предполагаемый район нереста массовых пелагических рыб. Их нерест происходит здесь ежегодно с января по март. В районе нереста была выявлена зависимость численности нулевой группы западноафриканской ставриды (*Trachurus trecae*) от интенсивности смещения циклонических вихрей (рис. 10). В годы со спокойной динамической обстановкой (2007 и 2009 гг.) циклоны были ослаблены, малоподвижны, их суммарный «пробег» в районе нереста не превышал 1,5°. В этих условиях особи на ранних стадиях развития преимущественно удерживались в районе шельфа и не выносились за его пределы. В результате примерно через 6 месяцев отмечалась высокая численность нулевой группы (более 2 млн особей) западноафриканской ставриды.

В годы с активным динамическим режимом (2003, 2004, 2011, 2013 гг.) в районе нереста формировались, а затем активно смещались за пределы шельфа крупные циклонические циркуляционные ячейки. Суммарная дистанция смещения вихрей достигала 3–5°. В эти годы численность нулевой группы западноафриканской ставриды не превышала 0,5–0,6 млн особей. В 2005, 2006 и 2008 гг. при средней дистанции смещения вихрей в 1° численность нулевой группы колебалась от 1,3 до 1,4 млн особей.

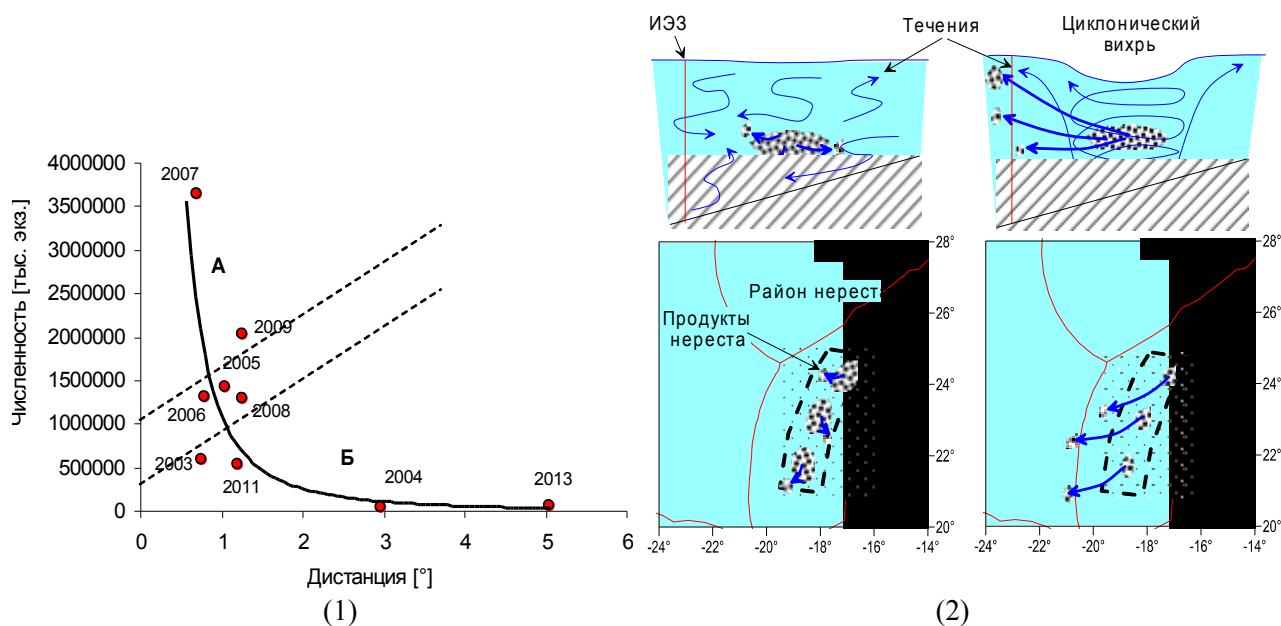


Рис. 10. Зависимость численности группы «0+» западноафриканской ставриды в октябре–декабре от интенсивности выноса ее ранних стадий развития за пределы ИЭЗ в январе–марте (1), А – благоприятные условия – высокая численность, Б – неблагоприятные условия – низкая численность; механизм перераспределения продуктов нереста (2)

Fig. 10. Relation between the number of the group «0+» of *Trachurus trecae* in October–December and the intensity of removal of spawning products beyond the EEZ in January–March (1),

A – favorable conditions – high numbers, B – unfavorable conditions – low numbers; the mechanism of the redistribution of spawning products (2)

Особенности распределения биомассы массовых пелагических рыб. Анализ межгодовой изменчивости термического индекса апвеллинга и биомасс пелагических видов рыб показал, что хорошая корреляция прослеживается между средним индексом апвеллинга у м. Кап-Блан, рассчитанным за период апрель–июль, и биомассой сардины в южной части ИЭЗ Марокко. Более интенсивному апвеллингу соответствуют высокие значения биомассы этого вида, коэффициент корреляции составляет 0,65 (рис. 11).

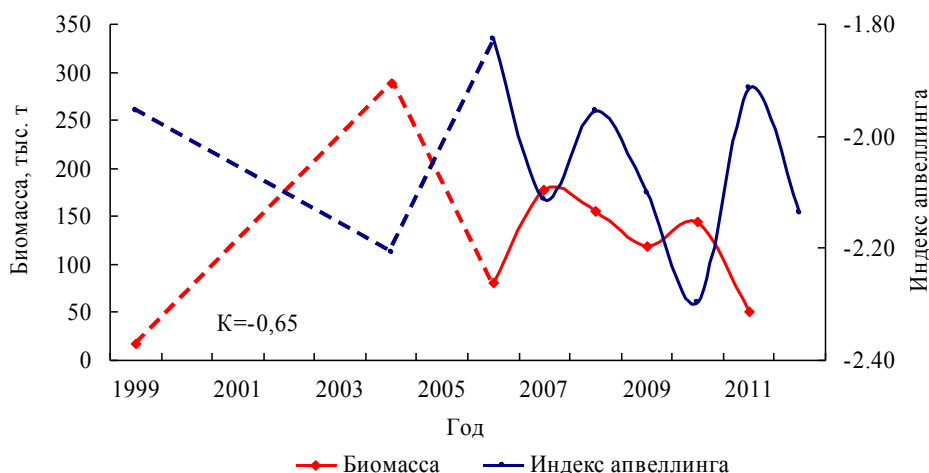


Рис. 11. Биомасса сардины в южной части Марокко (южнее 27°40' ю.ш.) и термический индекс апвеллинга у м. Кап-Блан в апреле–июле
 Fig. 11. The biomass of sardine in southern Morocco (south of 27°40' S) and the upwelling thermal index in Cap-Blanc in April–July

В ИЭЗ Мавритании сезонные миграции массовых пелагических видов рыб во многом определяются сезонным перемещением СМФ. Чем севернее положение СМФ (его северная граница выходит за пределы ИЭЗ Мавритании), тем меньше величина биомассы (рис. 12). Такая ситуация отмечалась в 1995, 1999–2002, 2004, 2001 и 2009 гг., когда северная граница СМФ располагалась в южной части ИЭЗ Марокко.

В 1998 г. и 2007 г. СМФ не покидал пределов ИЭЗ Мавритании и располагался к югу от 19,5° с.ш. В эти годы были зафиксированы максимальные величины (1,0 и 1,3 млн т) суммарной биомассы массовых пелагических видов рыб. Это можно объяснить тем, что основная часть теплолюбивых видов пелагических рыб (сардинеллы и западноафриканская ставрида), составляющая основу этой суммарной биомассы, не мигрировала в южную часть ИЭЗ Марокко, а располагалась перед фронтом в северной части ИЭЗ Мавритании.

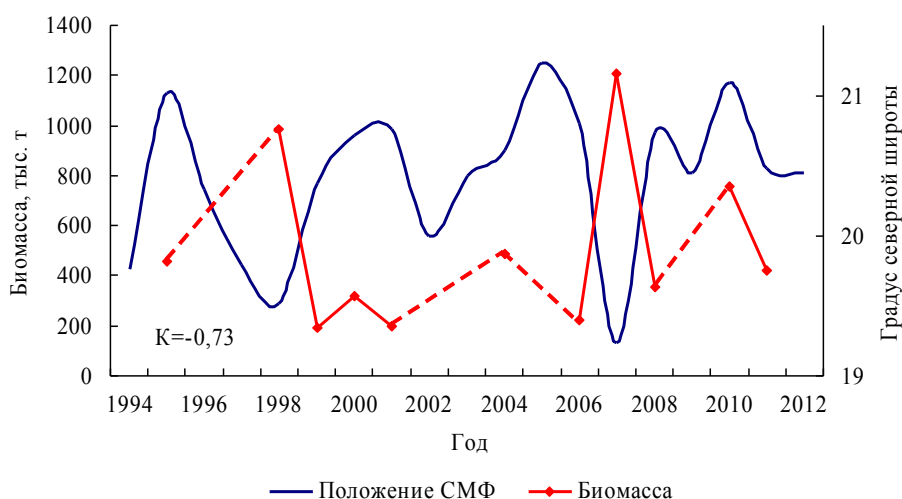


Рис. 12. Суммарная биомасса пелагических видов рыб в Мавритании и положение северной границы СМФ (22 °С) в июне–августе
 Fig. 12. The total biomass of pelagic fish species in the Mauritania and the position of the northern boundary of the SMF (22 °C) in June–August

Заключение

Важнейшими океанографическими факторами, определяющими распределение массовых пелагических рыб у побережья ЦВА, являются температура воды, прибрежный апвеллинг и миграция СМФ. Площадь, занятая водами апвеллинга, год от года значительно меняется: максимальные площади он занимал в 2007 г. и 2011 г., минимальные – в 2004, 2006, 2008–2010 гг. В многолетнем плане отмечается рост интенсивности летнего апвеллинга в центральной части ИЭЗ Марокко (м. Юби, м. Баходор). На юге в районе м. Кап-Блан статистически значимого тренда интенсивности апвеллинга не выявлено.

На фоне многолетних колебаний хорошо прослеживается линейный тренд смещения границы СМФ: с 1982 г. по 2015 г. она сместилась на север более чем на 1,5° широты. Наибольшее повышение ТПО отмечается для летнего сезона в ИЭЗ Мавритании, где с 1982 г. по 2015 г. в среднем по всему району она повысилась примерно на 2 °С. Такое увеличение температуры, по-видимому, связано с усиливающимся влиянием на район ИЭЗ Мавритании в летний сезон более теплых южных тропических вод. В подрайонах ИЭЗ Марокко и для зимы в ИЭЗ Мавритании значения ТПО увеличились от 0,2 до 0,5 °С.

В многолетней изменчивости ТПО отмечались колебания с периодами от 4,0 до 10,7 лет. В ИЭЗ Марокко наиболее выражена цикличность 6,4 года: в летний сезон она описывает более 70 %, а в зимний сезон – более 50 % межгодовой изменчивости. В ИЭЗ Мавритании летом более 45 % составляет периодичность от 4,0 до 5,3 года, зимой более 70 % характерна периодичность 4,6 года.

Выявлена зависимость численности нулевой группы западноафриканской ставриды (*Trachurus trecae*) от интенсивности смещения циклонических вихрей из района нереста. В 2007 г. и 2009 г. циклоны были малоподвижны и ранние стадии развития рыб не выносились за пределы шельфа ИЭЗ Марокко. В 2003, 2004, 2011 и 2013 гг. ситуация была обратная: циклонические образования активно смещались в океаническую часть, численность нулевой группы западноафриканской ставриды была низкой.

Была обнаружена следующая закономерность: чем севернее положение СМФ, тем меньше величина биомассы пелагических рыб в ИЭЗ Мавритании. Такая ситуация отмечалась в 1995, 1999–2002, 2004, 2001 и 2009 гг. Максимальная величина (1,0 и 1,3 млн т) суммарной биомассы пелагических рыб была зафиксирована в 1998 г. и 2007 г., когда СМФ не «покидал» пределов ИЭЗ Мавритании и располагался к югу от 19,5° с.ш.

Список литературы

Доманевский Р. Н. Рыбы и рыболовство в неритической зоне Центрально-Восточной Атлантики. Калининград: АтлантНИРО, 1998. 196 с.

Духова Л. А., Шнар В. Н., Тимохин Е. Н. Межгодовая изменчивость гидрохимических параметров в поверхностных водах в районе Канарского апвеллинга // Вопр. промысл. океанологии, 2009. Вып. 6, № 2. С. 135–145.

Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. M. J. Behrenfeld [et al.] // Nature, 2006. Vol. 444 (7120), P. 752–755.

Belkin I. M. Rapid warming of Large Marine Ecosystems // Progress in Oceanography, 2009. Vol. 81. P. 207–213.

Casey K. S., Cornillon P. Global and Regional Sea Surface Temperature Trends // Journal of Climate, 2001. Vol. 14. P. 3801–3818.

Chelton D. B., Schlax M. G., Samelson R. M. [Global observations of nonlinear mesoscale eddies](#) // Prog. In Oceanogr., 2011. Vol. 91, pp. 167–216.

Manriques M., Fraga F. The distribution of water masses in the upwelling region off Northwest Africa in November // Rapp. P.-v. Reun. Cons. int. Explor. Mer, 1982. Vol. 180. P. 39–47.