

Среда обитания водных
биологических ресурсовДиагноз и прогноз условий среды
обитания гидробионтов

УДК 597–155.3:551.465(261.2)

**Экологический отклик на изменения структуры водных
масс в пелагиали большой экосистемы Канарского течения**

О.Ю. Краснобородько, П.П. Чернышков, А.Я. Шустин

Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АтлантНИРО»), г. Калининград

E-mail: ptchern@atlantniro.ru

По результатам комплексных экспедиций в осенние сезоны (октябрь–ноябрь) 2015–2018 гг. исследованы межгодовые изменения структуры ихтиоценоза в пелагиали южной части шельфа Марокко в Атлантическом океане в связи с изменениями среды обитания. В качестве реперных биологических видов выбраны массовые пелагические рыбы: европейская и западноафриканская ставриды, европейская сардина, восточная скумбрия, морской лещ, морские бекасы, миктофиды, а также промысловые виды рыб. Использовались результаты контрольных тралений, в которых какой-либо вид составлял не менее 70% улова. Выполнен анализ видового состава контрольных тралений, данных гидроакустического сопровождения тралений, термохалинных характеристик вод. Сопряжение данных выполнено путем их поэтапного извлечения и преобразования с применением стандартных компьютерных программ обработки разных видов информации (акустической, гидрологической, ихтиологической), а также специально разработанных программ, позволяющих создать единую базу данных. Установлено, что наблюдаемые в последние годы в АРЗ Марокко изменения численности ряда промысловых видов и видов прилова связаны с наличием или отсутствием так называемых «окон заселения», которые проявляются в поле T, S-диаграмм областями различной конфигурации, что свидетельствует об изменениях соотношений водных масс. На основе выявленных связей между изменениями соотношения водных масс и изменениями видового состава контрольных тралений учётных съёмок пополнения сделаны оценки ожидаемых изменений биомассы массовых пелагических рыб в ближайшие годы.

Ключевые слова: океанологические условия, учётные тралово-акустические съёмки, ставриды *Trachurus* spp., скумбрия *Scomber colias*, сардина *Sardina pilchardus*, морской лещ *Brama brama*, миктофиды *Mycrophidae*, морские бекасы *Macrorhamphosus* spp.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-140-155

ВВЕДЕНИЕ

Южная часть атлантической рыболовной зоны (АРЗ) Королевства Марокко располагается в центральной части Большой экосистемы Канарского течения и может быть ис-

пользована в качестве реперной акватории для исследования экологических процессов, характерных для всей пелагиали промыслового района Центрально-Восточной Атлантики (ЦВА) [Bakun et al., 2015].

В настоящее время это район активно-го международного океанического промысла гидробионтов [Доманевский, 1998; FAO Fishery..., 2018; Global Fishing Watch, 2019]. Он является также важнейшим районом российского рыболовства в Атлантическом океане. В рамках межправительственных соглашений Российской Федерации с прибрежными странами Северо-Западной Африки (Королевство Марокко, Исламская Республика Мавритания, Республика Сенегал и Республика Гвинея-Бисау), крупнотоннажные траулеры Российской Федерации ведут здесь круглогодичную добычу массовых пелагических рыб (европейской ставриды *Trachurus trachurus*, западноафриканской ставриды *T. trecae*, восточной скумбрии *Scomber colias*, европейской сардины *Sardina pilchardus*, а также сардинелл *Sardinella maderensis*, *S. aurita*). В соответствии с условиями этих соглашений, в научных экспедициях российских судов в исключительные экономические зоны (ИЭЗ) этих стран, регулярно выполняются комплексные исследования водных биоресурсов, цель которых состоит в определении текущего состояния эксплуатируемых популяций пелагических рыб и оценке ожидаемых изменений в этих популяциях. Получаемые результаты служат основой ежегодных определений условий российского рыболовства в ИЭЗ каждой страны.

Биологическая продуктивность вод, состояние популяций массовых пелагических рыб, а также их биомасса и распределение промысловых скоплений в районе ЦВА в значительной мере определяются океанологическими процессами. Прежде всего, это интенсивность апвеллинга, которая зависит от интенсивности северо-восточного пассата. Кроме того, существенную роль в формировании высокой биологической продуктивности верхнего слоя океана играет происхождение промежуточных вод, которые поднимаются в фотический слой в результате процесса апвеллинга. Преобладание в районе ЦВА богатой биогенными элементами водной массы южного происхождения приводит к увеличению биомассы популяций массовых пелагических рыб,

а преобладание водной массы северного происхождения вызывает обратный эффект [Сирота, 2003]. Следует особо отметить, что употребляемый в статье термин «водная масса» соответствует классическому определению: водная масса — это формирующиеся в локальных акваториях Мирового океана значительные объёмы морской воды, которые характеризуются непрерывным распределением физико-химических и биологических свойств в течение длительного времени и при перемещении на большие расстояния [Добровольский, 1961].

На состояние сырьевой базы пелагического промысла влияют также явления экологического плана: эффективность нереста и уровни пополнения популяций, изменения видового состава ихтиоценоза, сезонные миграции рыб, связанные с сезонными перемещениями Сенегало-Мавританского термического фронта в верхнем слое океана.

Мониторинг пелагиали Большой экосистемы Канарского течения в последние годы ведётся на регулярной основе с участием: Марокко (Национальный институт рыбохозяйственных исследований), России (Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО» — далее АтлантНИРО), Международной организации по продовольствию и сельскому хозяйству (ФАО), Бергенского института Норвегии [The EAF-Nansen Programme, 2020]. Российские исследования в ЦВА включают два вида съёмок: летние тралово-акустические (оценка биомассы промысловых запасов пелагических рыб) и осенние траловые съёмки пополнения (оценка численности молоди 0-й и 1-й возрастных групп).

По результатам выполненных в осенние сезоны 2015–2018 гг. съёмок уровней пополнения в южной части АРЗ Марокко между 32–21° с. ш. отмечаются заметные изменения численности массовых пелагических рыб. Прежде всего, это рост численности пополнения восточной скумбрии, которая в последние годы становится доминирующим видом в АРЗ Марокко. Тенденцию к росту численности имеет и пополнение европейской сардины. Численность европейской ставриды остаётся в целом на ста-

бильном уровне. Численности западноафриканской ставриды, круглой и плоской сардинеллы в АРЗ Марокко в последние годы заметно снизились. При этом отмечен рост численности массовых непромысловых видов: морских бекасов, представленных двумя видами — *Macrorhamphosus gracilis*, *Macrorhamphosus scolopax*, рыбы-луны *Molamola*, известной своей исключительно высокой плодовитостью. Без изменений остаётся встречаемость в уловах миктофовых видов рыб *Myctophidae* spp., обитающих в пределах Большой экосистемы Канарского течения повсеместно [Халматова и др., 2019]. Среди непромысловых видов, испытывающих тенденцию к уменьшению встречаемости в АРЗ Марокко, следует назвать, в первую очередь, морского леща (*Brama brama*).

За последние годы отсутствуют данные по динамике численности видов в ихтиоценозе вод Мавритании, Сенегала, Гвинеи-Бисау. Тем не менее, происходящие изменения численности массовых пелагических рыб в южной части Большой экосистемы Канарского течения столь значительны, что эта проблема занимает важное место в повестке дня рабочих групп ФАО по мелким пелагическим видам рыб ЦВА [Report of the FAO, 2020]. Вопрос о том, являются ли наблюдаемые изменения (снижение численности одних видов и заполнение освободившихся экологических ниш другими) следствием естественных причин или они обусловлены негативным влиянием промысла, пока остаётся открытым. В качестве рабочей гипотезы в настоящей статье была принята следующая: изменения в ихтиоценозе ЦВА — следствие изменений условий среды обитания промысловых гидробионтов, в частности, изменений в структуре водных масс.

Особенности структуры вод исследуемого района сводятся к следующему. Верхний перемешанный слой вод от поверхности до глубины сезонного термоклина (в среднем 100 м) занят поверхностными водами (ПВ) различного генезиса и характеристик [Machin et al., 2006; Vélez-Belchí et al., 2017]. Прежде всего, это трансформированные воды из более глубоких слоёв, т. е. поднятые

к поверхности апвеллинговые воды (АВ). Северные поверхностные воды (СПВ) в ЦВА формируются с участием сильно трансформированных вод Восточно-Атлантической субарктической поверхностной водной массы (ВАСПВ), переносимой сюда поверхностными течениями Северной Атлантики. Южные поверхностные воды (ЮПВ) формируются с участием тропических вод, проникающих в район с юга в системе прибрежных противотечений. Они также претерпевают значительные трансформации, обусловленные взаимодействием с атмосферой, вследствие этого для них в целом характерна значительная пространственная и сезонная изменчивость и большой разброс TS-характеристик (16–29 °C, 34,00–36,70‰).

Ниже в диапазоне глубин от 100 до 500–700 м залегают центральные водные массы, представленные в ЦВА двумя основными типами — Северо-Атлантической (основной) и Южно-Атлантической (второстепенной) центральными водными массами (САЦВ, ЮАЦВ). Они формируются в субтропических круговоротах обоих полушарий [Peña-Izquierdo et al., 2012]. В сравнении с САЦВ, ЮАЦВ имеют меньшие показатели температуры и солёности на тех же глубинах [Valdés, Déniz-González, 2015; Pelegrí et al., 2017]. В пределах САЦВ иногда выделяют Восточную Северо-Атлантическую центральную водную массу (ВСАЦВ), формирующуюся в Западно-Европейском бассейне [Emery, Meincke, 1986].

На рис. 1 представлена схема районов формирования водных масс, отмечаемых в ЦВА, очаги формирования которых находятся на значительном удалении от ЦВА (от 1,0 до 9,7 тыс. км).

Глубже 700 м важную роль в ЦВА играют антарктические промежуточные (2–6 °C, 33,8–34,8‰) и средиземноморские водные массы (АаПВ, СрВ), которые на глубинах свыше 1500 м сменяются Северо-Атлантическими глубинными водами (САГВ).

Столь сложная структура водных масс в районе ЦВА позволяет предположить существование здесь экологических ниш, занятых разными видами гидробионтов, а изменения в структуре водных масс должны

сказываться на увеличении или сокращении численности этих гидробионтов.

Цель статьи — исследование экологического отклика ихтиоценоза пелагиали Большой экосистемы Канарского течения при использовании в качестве реперного района на южной части АРЗ Марокко на происходящие здесь в последние годы изменения структуры водных масс.

Задачи исследования:

1. Разработать алгоритм и выполнить сопряжение данных, собранных в ходе выполнения траловых съёмок пополнения массовых пелагических рыб в АРЗ Марокко в 2015–2018 гг. (акустических, океанологических, данных контрольных тралений, батиметрии).

2. Формализовать особенности пространственного распределения основных массовых промысловых и непромысловых видов, очертив диапазоны условий среды их обитания в поле TS-диаграмм.

3. Выявить характер изменений баланса водных масс в АРЗ Марокко в обзорный пе-

риод и соответствующие им изменения формы TS-диаграмм.

4. Сопоставить изменения условий среды и встречаемости массовых промысловых и непромысловых видов рыб в АРЗ Марокко на участках наибольших изменений TS-диаграмм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Комплексные траловые съёмки пополнения массовых видов пелагических рыб в АРЗ Марокко проводятся судами АтлантиНРО ежегодно в осенний период (октябрь–ноябрь). Материалы для настоящего исследования были собраны в 2015–2018 гг. на СТМ «Атлантида» (рейсы № 63–65, 67) и включают в себя результаты учётных тралений тралом «РТ/ТМ-70/300» до глубин 95 м, гидроакустического сопровождения съёмок научным эхолотом «Simrad EK60» до глубин 500 м и океанологических работ комплексом «CTD SeaBird SBE19plusV2» до глубин 1000 м (рис. 2).

Таким образом, в настоящей статье использованы данные экспедиционных наблюдений:

1. Океанологические данные — 310 станций, выполненных на участке шельфа АРЗ Марокко между 21–32° с. ш. (рис. 3а). Температура и солёность воды на станциях на горизонтах от поверхности до глубины 1000 м или до дна интерполировались на регулярную сетку, покрывающую район исследований с разрешением 0,1° по пространству и 1 м по глубине. Данные с 42-х реперных станций, в которых наблюдения велись ежегодно в одни и те же сроки с разницей не более недели (рис. 3б), были использованы для построения интегральных TS-диаграмм, характеризующих водные массы района в осенний сезон.

2. Гидроакустические данные — эхограммы акустического сопровождения 4-х съёмок общей протяжённостью около 20 тыс. морских миль (рис. 4). При экспорте акустических данных в программе «SonarData Echoview» [SonarData..., 2020] в качестве порогового уровня отсечки, позволившего отфильтровать слабые акустические сигналы нерыбных объектов (крупный зоо- и ихтио-

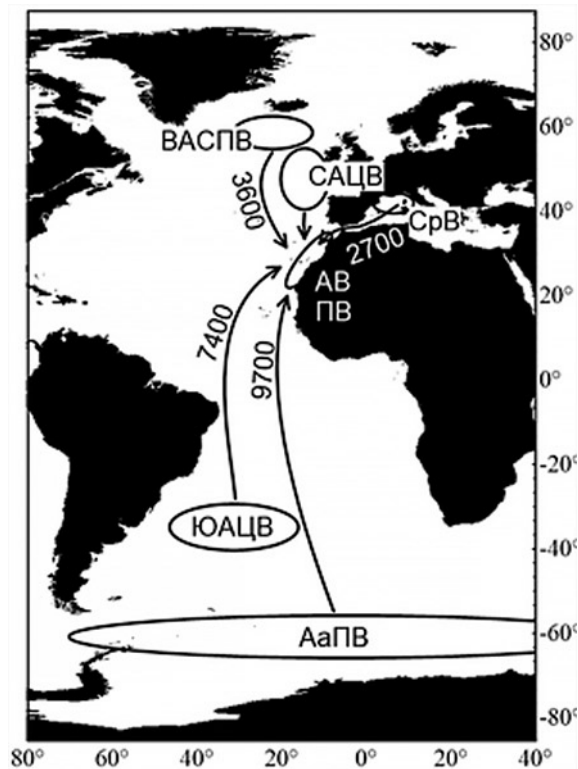


Рис. 1. Расстояния от районов формирования водных масс, присутствующих в АРЗ Марокко, от района ЦВА, (км)

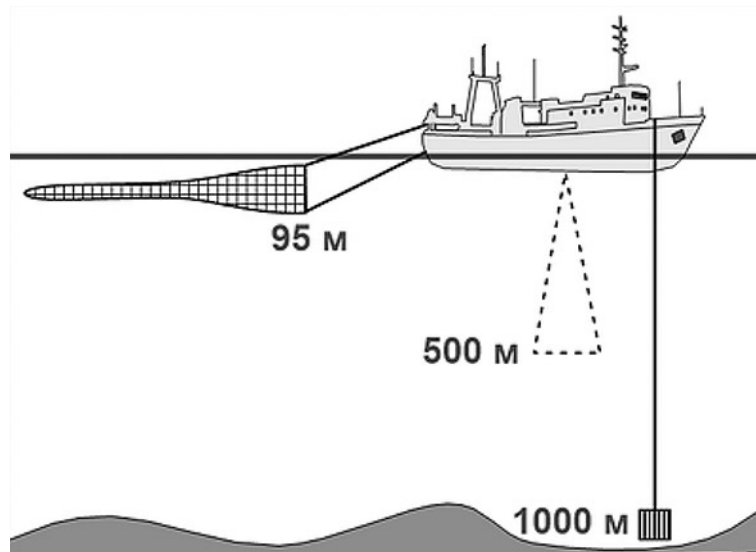


Рис. 2. Виды работ на комплексных съёмках пополнения в АРЗ Марокко

планктон, желетелые), был выбран уровень –70 дБ.

3. Тралово-ихтиологические данные — 587 контрольных тралений средней продолжительностью 30 минут, выполненных в 143-х квадратах со стороной 5', заранее намеченных в соответствии с методикой проведения траловой съёмки пополнения в ЦВА [Методическое ..., 2006]. В сезонах

2015–2018 гг. их положение оставалось неизменным (рис. 5), за исключением незначительных перестановок на севере и юге района НИР. Также были обработаны 15 тралений, выполненных в рамках программы исследования силы цели рыб. Скорость судна при тралениях составляла 3,5–4 узла, вертикальное раскрытие трала — 30 м. Над глубинами более 95 м облавливались 3-и го-

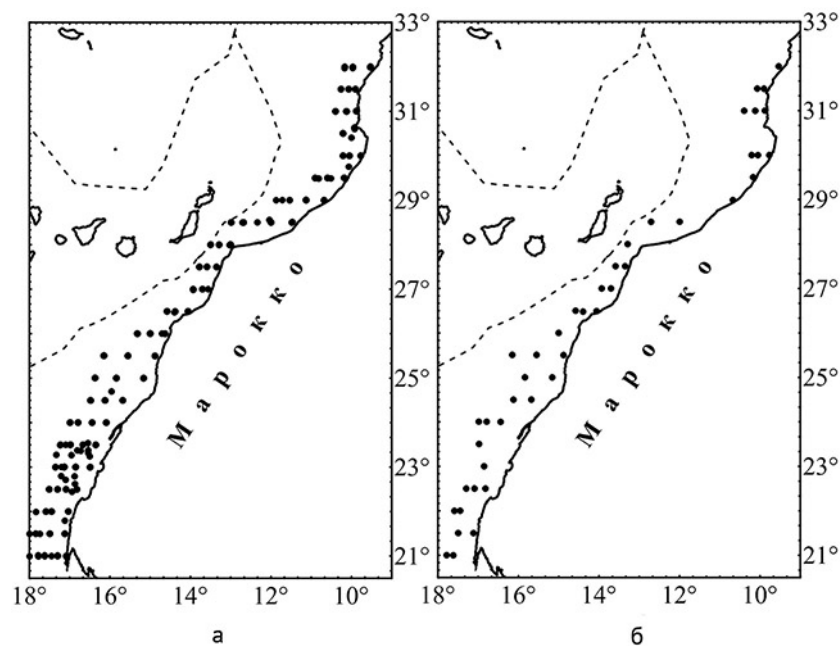


Рис. 3. Распределение океанологических станций в АРЗ Марокко, выполненных СТМ «Атлантида» в 2015–2018 гг. (а), реперные станции (б)

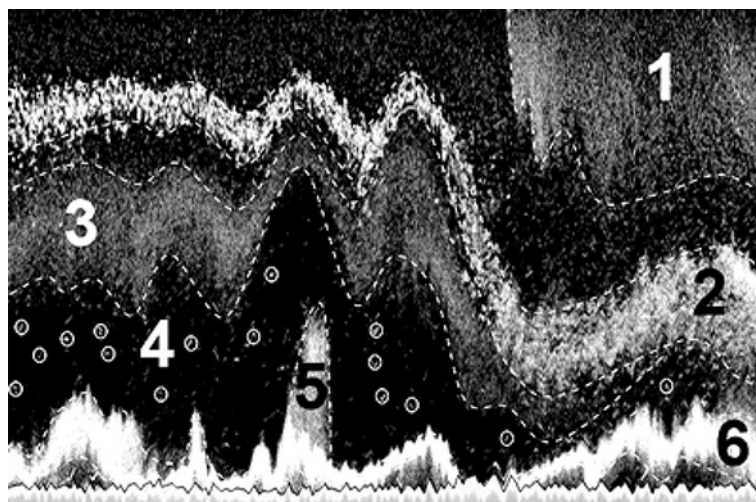


Рис. 4. Пример эхограммы (СТМ «Атлантида», 18.11.2018 г., район севернее мыса Барбас, глубина места — 103 м). 1–6 — звукорассеивающие слои различного происхождения

ризонта (95–65, 65–35 и 35–5 м), на меньших глубинах — 1–2 горизонта. Отдельно фиксировались уловы, полученные на моновидовых скоплениях (не менее 70% одного вида в улове), на трассах таких тралений акусти-

ческие и океанологические данные могли быть однозначно ассоциированы с конкретным видом рыб.

4. Батиметрические данные — массив «Topex Global 1/60° Seafloor Topography ver. 19.1» [Торех..., 2019] с пространственным разрешением 1'. Данные использовались для удаления с эхограмм записи морского дна.

Гидроакустические данные обрабатывались с использованием программы «SonarData Echoview ver. 3.50.57.3955» [Sonar Data..., 2020], океанологические данные — с использованием программ «SBE DataProcessing-Win32 ver. 7.20g» [SeaBird..., 2018] и «ГИСЮД OBZerver ver. 3.1» [Геоинформационная система..., 2018], тралово-ихтиологические данные — с использованием программы «ISS ver. 3.2.2», разработанной в АтлантНИРО [Information Search System..., 2018].

Сведение этой разнородной информации в единую базу данных выполнялось на основе её геопространственной привязки (место, глубина, время) в рамках алгоритма многоэтапного преобразования и объединения данных. Для этого были разработаны специальные программы, реализованные на языках программирования «Microsoft Visual Basic ver. 6.0» [Visual Basic..., 2020], «VBA» (в среде «Golden Software Scripter ver. 5.0.21» [Scripter, 2020]), «Python ver. 2.7.15» [Python..., 2018].

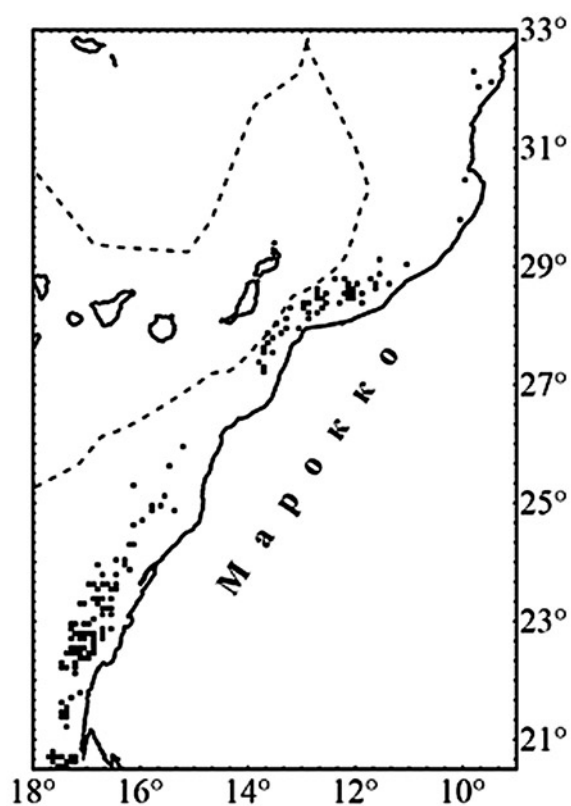


Рис. 5. Квадраты тралений съёмки пополнения массовых пелагических рыб в АРЗ Марокко в 2018 г. (СТМ «Атлантида»)

Алгоритм обработки данных включал 13 этапов, на каждом из которых выполнялась операция одного из 4-х типов (рис. 6):

1. Извлечения данных (модули «shooter», «grabber», «xls_coll», «dat_coll»);
2. Преобразования их типа («grd, dat», «bmp2dat», «grd2dat»);
3. Фильтрации («xls_filt», «lev_div»);
4. Объединения данных («comb», «aco+env», «DB+stat»).

Таким образом, была создана комплексная база данных, содержащая результаты акустических, океанологических, батиметрических и тралово-акустических работ и представляющая собой 4-мерный геопространственный массив данных. Разрешение $0,1 \times 0,1^\circ$ по пространству, 1 м по глубине, 1 секунда по времени, включает следующие поля: «дата» (дд/мм/гггг), «время» (чч:мм), «широта» ($^\circ$), «долгота» ($^\circ$), «глубина места» (м), «глубина объекта» (м), «температура воды» ($^\circ\text{C}$), «солёность воды» (‰), «вид рыбы», «интенсивность отражённого эхосигнала» (в диапазоне от 0 до 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В полях TS-диаграмм по результатам съёмки в 2015 и 2018 гг. (рис. 7а и б) выделяются четыре области, отличающиеся степенью изменчивости температуры и солёности. Эти области представлены в генерализованном виде на рис. 7 в: основная ветвь, проходящая через центральную часть диаграммы между изопикнами 26,5–27,2 (I), и второстепенная ветвь (II), расположенная выше основной между изопикнами 26,0–26,5. Также имеются две области, формирующие на конце каждой ветви структуры, образованные множеством близких термохалинных характеристик вод (III, IV), условно названные нами «щётками».

Для всех ветвей характерны линейная ориентация в поле TS-координат и относительно малая вариабильность термохалинных характеристик. Основная ветвь формируется водами САЦВ, проникающими на шельф Марокко с севера и запада (из океанической части района ЦВА) и поэтому мало

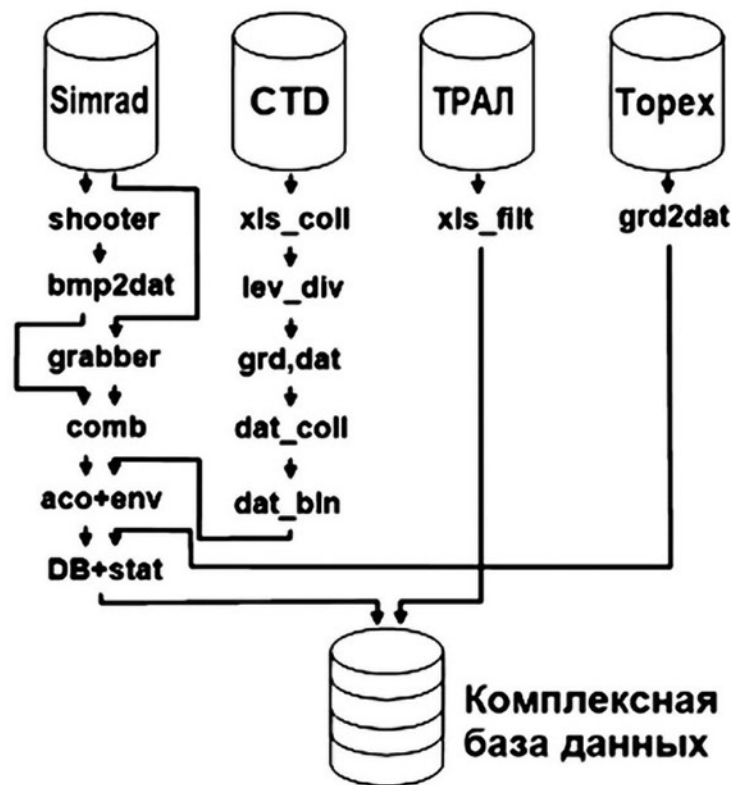


Рис. 6. Схема алгоритма сопряжения комплексных результатов съёмок пополнения массовых пелагических рыб

трансформированными. Второстепенная ветвь представлена трансформированными водами ЮАЦВ, с разной степенью интенсивности проникающими в район Марокко с юга в системе шельфовых противотечений. Для «щёток» характерен значительный разброс TS-характеристик. «Щётка» основной ветви формируется водами АВ и ПВ, для которых характерна значительная изменчивость их свойств. «Щётка» второстепенной оси формируется водами ЮАЦВ и частично ПВ.

Наблюдаемое в последние годы изменение формы интегральной TS-диаграммы можно охарактеризовать как «сжатие» в сторону основной ветви, что свидетельствует о сокращении разнообразия наблюдаемых модификаций водных масс. В отличие от 2015 г., в 2018 г. воды с температурами выше 22 °С, в районе Марокко не отмечались.

В 2015 г. значительный объём АВ и ПВ вод имел TS-характеристики в диапазоне 36,3–36,6‰, 16–24 °С, в соответствующей области диаграммы между изопикнами 25,0–26,7 отмечается сгущение наблюдаемых комбинаций температуры и солёности. К 2018 г. эта «щётка» на диаграмме значительно изменила свою форму — уменьшилась её высота и увеличилась ширина. Область сгущения наблюдаемых характеристик между изопикнами 25,3–26,7 охватывала диапазон солёности 36,2–36,7‰, температуры 16–21 °С. В обзорный период также отмечены изменения

формы и положения второстепенной ветви диаграммы: она стала уже и более прижатой к основной ветви.

Таким образом, можно констатировать, что в районе АРЗ Марокко наблюдается увеличение объёма двух водных масс — САЦВ и АВ. Расчёты показывают, что рост объёма САЦВ можно оценить в 2%, АВ — в 3% от общего объёма водных масс в этом районе.

В пределах наблюдаемых вариаций TS-характеристик вод в АРЗ Марокко в 2015–2018 гг. отмечалось неоднородное распределение количества и интенсивности зарегистрированных акустических сигналов (рис. 8). Количество таких сигналов характеризует плотность заселения водных масс гидробионтами. Ядро скоплений гидробионтов — более 250 регистраций на одну единицу термохалинного диапазона (0,1 °С, 0,01‰) отмечалось в «координатах» 18–20 °С, 36,2–36,4‰ в водных массах, преимущественно расположенных на глубинах 40–100 м. При температуре воды ниже 11 °С акустические сигналы выше порогового уровня –70 дБ не были зафиксированы. Также внутри интегральной TS-диаграммы 2015–2018 гг. отмечалась локальная, практически незаселённая область с диапазоном температур 15–16 °С, солёностью 35,9–36,1‰, находящаяся между ветвями диаграммы.

Видовая идентификация наблюдаемых на эхограммах скоплений на основе данных контрольных тралений с моновидовыми

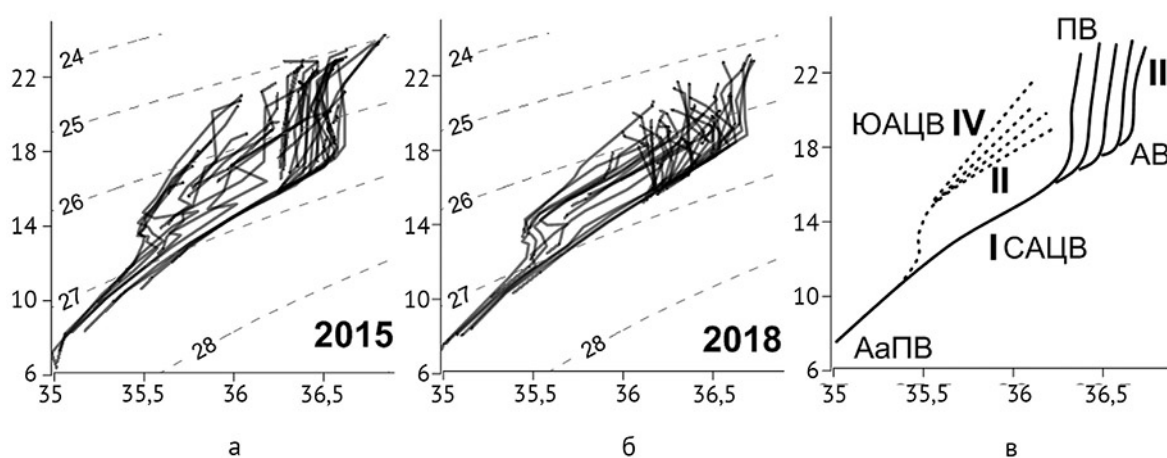


Рис. 7. Интегральные TS-диаграммы в южной части АРЗ Марокко от 32 до 21° с. ш. в октябре-ноябре:

а — 2015 г.; б — 2018 г.; в — структура диаграммы: I — основная ветвь, II — второстепенная ветвь

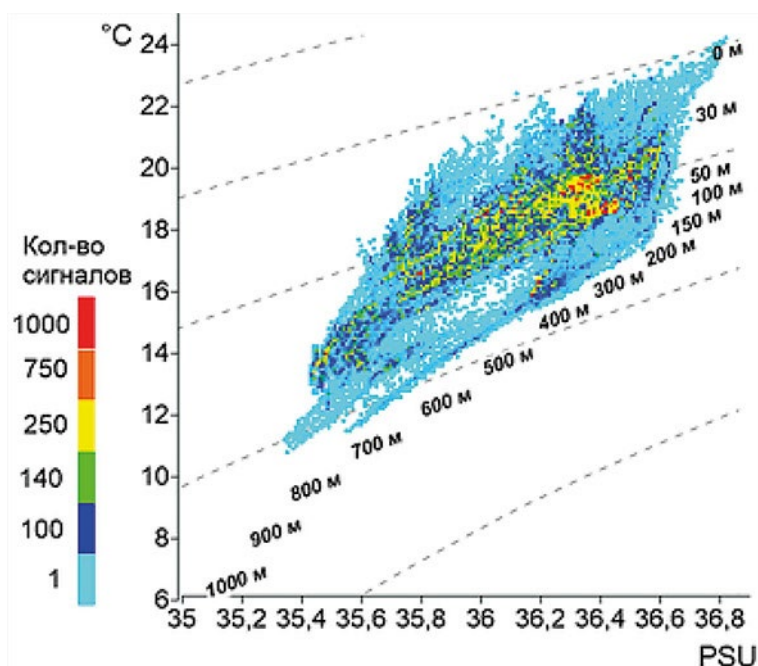


Рис. 8. Интегральная плотность экосигналов в АРЗ Марокко в поле TS (октябрь–ноябрь 2015–2018 гг.)

уловами позволила очертить на интегральной TS-диаграмме области преимущественного заселения разных видов, условно названные нами «окнами заселения». Наиболее широкий диапазон термохалинных характеристик условий среды отмечался в водах, где массово встречались два доминирующих в районе Марокко вида — восточная скумбрия и европейская сардина (рис. 9а). Сардина встречалась в диапазоне температур 16–20 °C, солёности 35,6–36,4‰ на глубинах от 30 до 150 м. Область наибольшей встречаемости вида на TS-диаграмме приурочена к «щёлке» второстепенной ветви диаграммы. При солёности выше 36,2‰ «окно заселения» сардины пересекается с «окном заселения» скумбрии. Термохалинный диапазон вод, в которых встречается данный вид, значительно шире — 12–3 °C, 35,4–36,6‰. Основные скопления скумбрии встречаются на глубинах от 20 до 300 м, отдельные стаи отмечались и глубже — до 500 м. Наибольшая плотность «заселения» скумбрии приурочена к «щёлке» основной ветви диаграммы при солёностях выше 36,2‰.

Скопления, образованные двумя видами ставрид (европейской и западноафриканской), отмечались на участках вод с темпе-

ратурой 16–20 °C и солёностью 35,6–36,3‰, при этом европейская ставрида больше тяготела к более солёным, а западноафриканская — к менее солёным водам (рис. 9б). Условной изоголиной между областями встречаемости видов можно назвать величину 35,85‰. В отличие от доминирующих в АРЗ Марокко видов (сардины и скумбрии) «окна заселения» ставрид локализуются только в пределах второстепенной ветви диаграммы, причём западноафриканская ставрида предпочитает воды, расположенные на внешней границе массива их возможных состояний (более тёплые и менее солёные), и в этом отношении более чувствительна к возможным изменениям условий среды.

Локализация массовых непромысловых видов АРЗ Марокко в поле TS-координат также выявила следующие закономерности (рис. 9в). Наиболее широкий диапазон условий среды, при которых встречались моновидовые скопления рыб, как и ожидалось, отмечен у миктофовых видов рыб, образующих существенную биомассу в ЦВА и представленных в АРЗ Марокко полутора десятком видов [Халматова и др., 2019]. Совершая активные суточные вертикальные мигра-

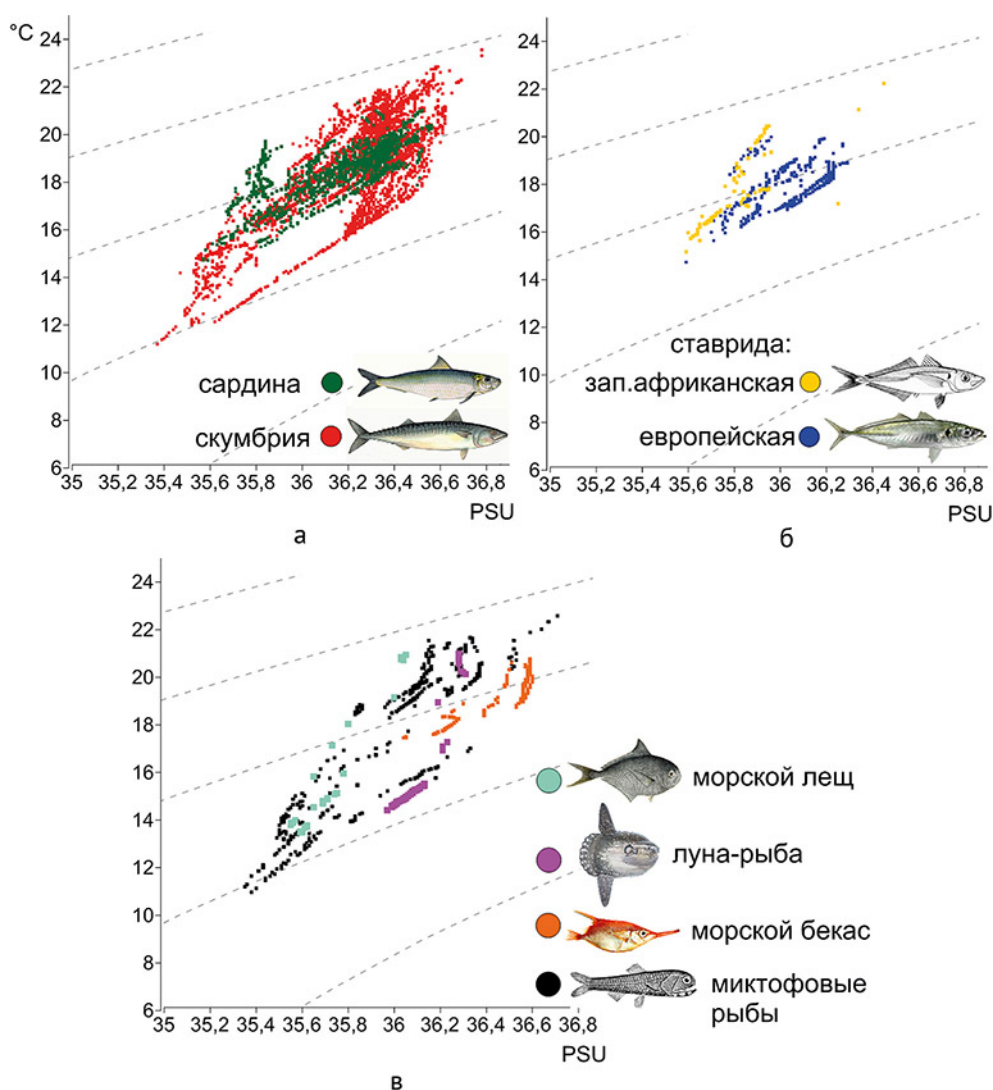


Рис. 9. «Окна заселения» основных промысловых (а, б) и непромысловых (в) видов в АРЗ Марокко в поле TS-координат в 2015–2018 гг.

ции, миктофовые встречались в широком диапазоне глубин — от 20 до 600 м при температуре 11–22 °C и солёности 35,4–36,7‰ в пределах обеих ветвей TS-диаграммы.

«Окно заселения» морских бекасов тяготеет к основной ветви диаграммы, локализуясь в диапазоне температур 17–20 °C и солёности 36,2–36,6‰ на глубинах 40–70 м. Следует отметить, что «окно заселения» бекасов пересекается с «окнами заселения» сардины и скумбрии, но разнесено в пространстве с «окнами заселения» ставриды.

Луна-рыба встречается в узком интервале солёности — 35,9–36,2‰, но в широком диапазоне температур — 14–21 °C в интервале

глубин от 30 до 300 м. «Окно заселения» этого вида расположено на внутренней периферии «щётки» основной ветви диаграммы.

«Окно заселения» морского леща привязано к второстепенной ветви диаграммы. Локализуясь в том же диапазоне глубин, что и луна-рыба, морской лещ отмечается в водах с более узкими диапазонами солёности — 35,4–35,0‰.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выполненный анализ показал, что наблюдаемые изменения в структуре водных масс в АРЗ Марокко идут в направлении сокращения влияния на район ЮАЦВ при уве-

личении степени влияния САЦВ и расширении наблюдаемых модификаций АВ и ПВ. Такие изменения могут быть обусловлены несколькими причинами:

- активизацией Северо-Атлантического антициклонического круговорота вод;
- активизацией прибрежного пассата и апвеллинга в водах Марокко;
- снижением интенсивности поступления в район вод из южного полушария вследствие каких-либо изменений параметров глобального океанического конвейера.

Об активизации апвеллинга свидетельствует увеличение плотности наблюденных значений термохалинных характеристик вод в области изопикны 26,5, соответствующей глубинам 100–150 м, на которых находятся очаги зарождения прибрежного апвеллинга, и соответствующее падение температуры ПВ на 0,5–1,0 °С. Об активизации круговорота Северной Атлантики говорит усиление роли САЦВ в формировании вод Марокко.

При столь плотном заселении гидробионтами наблюдаемых модификаций вод в рассматриваемом районе и значительном различии размеров и конфигураций «окон их заселения» в TS-пространстве изменение баланса водных масс неминуемо будет сказываться на присутствии тех или иных видов на шельфе Марокко. На TS-диаграмме (рис. 10) можно выделить два типа «окон для заселения» — открывшиеся и закрывшиеся, в пределах которых локализуются разные виды гидробионтов.

К этим же областям диаграммы приурочены «окна заселения» морского бекаса и лунно-рыбы, расширение присутствия которых в районе зафиксировано в ходе научно-исследовательских работ СТМ «Атлантида» с 2016 г. В отличие от «окна заселения» лунно-рыбы, расширившегося в сторону меньших значений солёности, «окно заселения» морских бекасов расширилось как в сторону меньших, так и в сторону больших значений

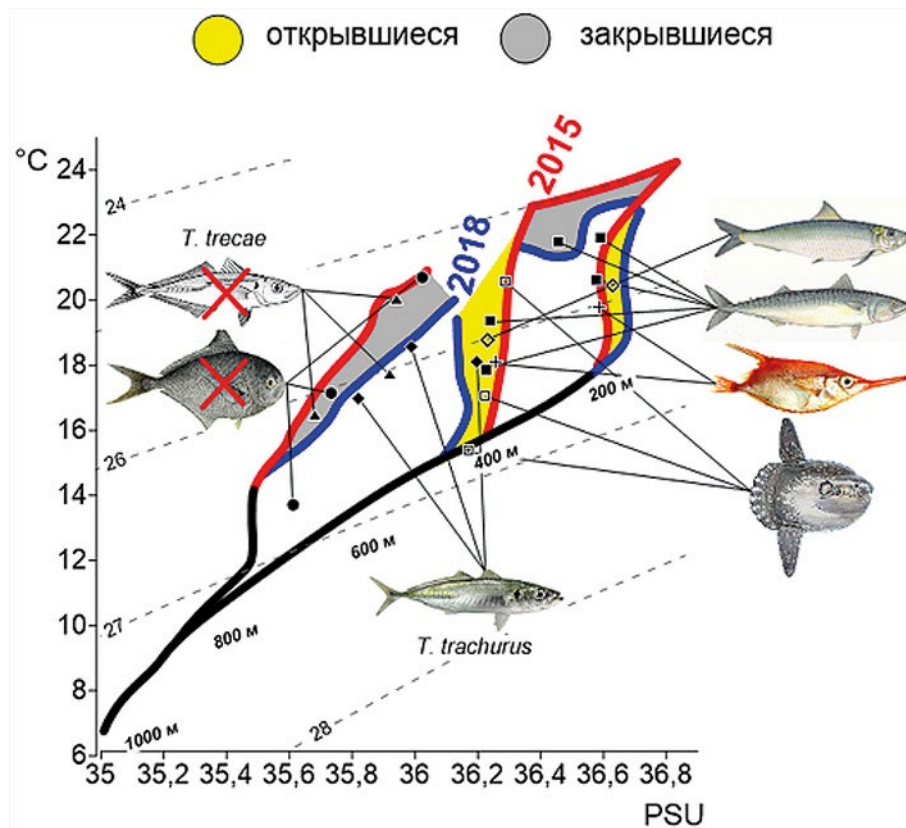


Рис. 10. Открывшиеся и закрывшиеся «окна заселения» гидробионтов в поле TS в 2015–2018 гг. (название рыб аналогично рис. 9)

солёности. При сохранении существующих тенденций, присутствие этих видов в АРЗ Марокко в будущем расширится.

Неоднозначная ситуация складывается для европейской ставриды. Её «окно заселения» расширилось в области основной ветви диаграммы, но приблизилось к границе возможных TS-состояний вод в области второстепенной ветви. Дальнейшее сужение TS-диаграммы в области температур 15–21 °C и солёности 35,5–36,1‰ приведёт к падению численности европейской ставриды в АРЗ Марокко.

Было показано, что второстепенная ветвь диаграммы сужается и прижимается к основной ветви. В этой области расположено «окно заселения» западноафриканской ставриды — ценного промыслового вида, облавливаемого российским промысловым флотом. Однако в последние годы в ходе съёмки пополнения западноафриканская ставрида встречалась в уловах эпизодически и только в южной части АРЗ Марокко. Такое снижение встречаемости вида может быть объяснено почти полным закрытием его «окна заселения» на рассматриваемой акватории. В случае, если тенденция сужения TS-диаграммы в ближайшие годы продолжится, можно ожидать практически полного ухода этого вида из южной части АРЗ Марокко в более южные воды Мавритании, где доля ЮАЦВ, образующих второстепенную ветвь диаграммы, значительно выше. С закрытием рассмотренного «окна» связано и снижение встречаемости в Марокко морского леща.

Наблюдаемый в последние годы рост численности пополнения популяций сардины и скумбрии в районе АРЗ Марокко обусловлен увеличением объёма вод, оптимальных для их обитания. За последние 4 года такое увеличение отмечалось на участках TS-диаграмм между 15–21 °C, 36,1–36,3‰ (внутренняя периферия «щёлки» основной ветви) и 18–23 °C, 36,6–36,7‰ (внешняя периферия «щёлки» основной ветви). Даже несмотря на то, что часть «окна заселения» скумбрии в области температур 21–23 °C закрылась в связи с изменениями основной ветви диаграммы, вновь открывшиеся об-

ласти для заселения этим видом способны в будущем поддерживать его численность в районе АРЗ Марокко на высоком уровне. Короткий период наблюдений не позволяет прогнозировать дальнейшее направление процесса изменения конфигурации интегральной TS-диаграммы района АРЗ Марокко, однако, если процесс будет идти в том же направлении, то уровень пополнения сардины и скумбрии будет сохраняться на высоком уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследован экологический отклик ихтиоценоза пелагиали Большой экосистемы Канарского течения в пределах южной части АРЗ Марокко на происходящие в настоящее время изменения баланса водных масс. Сопряжение данных, собранных в ходе выполнения траловых съёмок пополнения массовых пелагических рыб в АРЗ Марокко в 2015–2018 гг. (акустических, океанологических, данных контрольных тралений, батиметрии), позволило формализовать особенности пространственного распределения основных массовых промысловых и непромысловых видов, очертив диапазоны условий среды их обитания в поле TS-диаграмм.

Изменения интегральных TS-диаграмм для района АРЗ Марокко и пересечение областей наибольшей изменчивости условий среды с так называемыми «окнами заселения» наиболее часто встречаемых в траловых уловах видов, дали возможность сделать некоторые предположения относительно ожидаемых изменений пелагического ихтиоценоза Большой экосистемы Канарского течения в ближайшие годы. Подтверждена гипотеза о естественных причинах смены доминирующих в районе промысловых пелагических видов (снижение встречаемости ставриды и рост встречаемости скумбрии и сардины). Отмечено также увеличение и расширение присутствия массовых непромысловых видов, например, морских бекасов.

В целом, тенденции изменений условий среды в южной части пелагической экосистемы Канарского течения в осенний период

2015–2018 гг. согласуются с существующими представлениями о направленности этих процессов, полученных западными исследователями [Valdés, Déniz-González, 2015].

Подтверждена гипотеза, о том, что биологическая и промысловая продуктивность вод в ИЭЗ Марокко, как части Большой экосистемы Канарского течения, в значительной мере обуславливается интенсивностью поступления и степенью трансформации промежуточных водных масс различного происхождения [Сирота, 2003].

Дальнейшими шагами в данном исследовании должны стать статистическая проверка степени надёжности выявленных закономерностей размещения видов в поле TS-диаграмм, а также проведение аналогичных исследований для других сезонов (летняя акустическая съёмка) и для различных периодов жизненного цикла и биологических состояний объектов промысла (нерест, нагул).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам «АтлантНИРО» (ныне — Атлантический филиал ФГБНУ «ВНИРО»), принимавшим участие в экспедиционных исследованиях СТМ «Атлантида» и выполнявшим сбор и первичную обработку натурных данных: к. г. н. Шнару В.Н., к. г. н. Бурькину С.Н., Красикову И.Н., Михееву А.Б., Павлову В.П., Фетисову А.А., к. б. н. Дубищуку М.М., Якушеву М.Р., Федорову А.П., Соколову М.Ю., Алексееву С.Е., Сафронову А.М., Ромец Е.П., Малышко А.П., Ямбаеву М.Г., Лобову С.Н., Каика А.И., Приставко Ю.В. Особую признательность авторы выражают заведующему лабораторией экологии промысловых популяций и оценки запасов АтлантНИРО Тимошенко Н.М. за ценные советы при обсуждении материалов работы.

ЛИТЕРАТУРА

Геоинформационная система управления океанографическими данными (ГИСУОД) OBZerver, Лаборатория промысловой океанологии, АтлантНИРО, Калининград, Россия. Доступно через: <http://www.atlantniro.ru>. 05.09.2018.

Добровольский А.Д. 1961. Об определении водных масс // Океанология. Т. 1. Вып. 1. С. 12–24.

Доманевский Л.Н. 1998. Рыбы и рыболовство в неретической зоне Центрально-Восточной Атлантики. Калининград: АтлантНИРО. 196 с.

Методическое руководство по планированию и проведению морских экспедиционных исследований состояния запасов промысловых гидробионтов в Атлантическом океане, Юго-Восточной части Тихого океана и в Балтийском море (районы сферы деятельности АтлантНИРО). 2006. Калининград: АтлантНИРО. 182 с.

Сирота А.М. 2003. Структура и динамика вод в районе Канарского апвеллинга и состояние популяций пелагических рыб. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Калининград: РГУ им. И. Канта. 23 с.

Халматова Э.Р., Кукуев Е.И., Краснобородько О.Ю., Гулюгин С.Ю. 2019. Краткая характеристика таксоцены миктофидных рыб (сем. Myctophidae) в зоне Марокко по данным съёмки 2017 года // Вестник молодёжной науки. № 2 (19). Доступно через: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkaya-harakteristika-taksotsena-miktofovyyh-ryb-sem-myctophidae-v-zone-marokko-po-dannym-semki-2017-goda>. 12.07.2019.

Bakun A., Black B.A., Bograd S.J., García-Reyes M., Miller A.J., Rykaczewski R.R., Sydeman W.J. 2015. Anticipated Effects of Climate Change on Coastal Upwelling Ecosystems // Current Climate Change Reports. 1. pp. 85–93.

SonarData Echoview. Sonar Data Pty Ltd. Accessible via: <http://www.sonardata.com>. 27.01.2020.

Emery W.J., Meincke J. 1986. Global water masses: summary and review // Oceanologica. Acta 9. pp. 383–391.

FAO Fishery Statistics — Global Capture Production. Accessible via: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/auerv/en>. 20.09.2018.

Report of the FAO Working Group on the Assessment of Small Pelagic Fish off Northwest Africa. Banjul, the Gambia, 26 June–1 July 2018. // FAO Fisheries and Aquaculture Report. No. R1247. Rome. 321 p. Accessible via: <http://www.fao.org/3/ca4121b/ca4121b.pdf>. 27.01.2020.

Global Fishing Watch. Accessible via: <http://www.globalfishingwatch.org>. 01.08.2019.

Information Search System (ISS), Accessible via: <http://www.atlantniro.ru>. 11.09.2018.

Macnín F., Hernández-Guerra A., Pelegrí J.L. 2006. Mass fluxes in the Canary Basin // Progress in Oceanography. 70. pp. 416–447.

Pelegrí J.L., Peña-Izquierdo J., Machín F., Meiners C., Presas-Navarro C. 2017. Oceanography of the Cape Verde Basin and Mauritanian Slope Waters // Deep-Sea Ecosystems Off Mauritania / A. Ramos et al. (eds.). Springer Science + Business Media B.V. pp. 119–153.

Peña-Izquierdo J., Pelegrí J.L., Pastor M.V., Castellanos P., Emelianov M., Gasser M., Salvador J., Vázquez-Domínguez E. 2012. The continental slope current system between Cape Verde and the Canary Islands

- // Advances in Spanish Physical Oceanography. Scientia Marina. 76S1. pp. 65–78.
- Python Software Foundation. Accessible via: <https://www.python.org>. 30.04.2018.
- SeaBird Electronics Inc., USA. Accessible via: <http://www.seabird.com>. 12.09.2018.
- Scripter. Golden Software, LLC. Accessible via: <http://www.goldensoftware.com>. 27.01.2020.
- The EAF-Nansen Programme. A partnership for the oceans. Accessible via: <http://www.fao.org/3/a-i6039e.pdf>. 27.01.2020.
- Topex Global Seafloor Topography V. 19.1 Accessible via: https://topex.ucsd.edu/WWW_html/mar_topo.html. 03.05.2019.
- Valdés L., Déniz-González I. 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. // IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series, No. 115. 383 pp.
- Visual Basic. Accessible via: https://ru.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic. 27.01.2020.
- Vélez-Belchí P., M.D. Pérez-Hernández, M. Casanova-Masjoan, L. Cana, A. Hernández-Guerra. 2017. On the seasonal variability of the Canary Current and the Atlantic Meridional Overturning Circulation // J. Geophysical Research: Oceans. 122. pp. 4518–4538.

Поступила в редакцию 28.09.2019 г.
Принята после рецензии 19.12.2019 г.

Trudy VNIRO

Habitat of aquatic biological resources

2020. Vol. 180

Diagnosis and forecasting
of habitat conditions of hydrobionts

Ecological response to changes in the structure of water masses in the pelagic of the Canary Current Marine Ecosystem

O. Yu. Krasnoborodko, P.P. Chernyshkov, A. Y. Shustin

Atlantic Branch of FSBSI «VNIRO» («AtlantNIRO»), Kaliningrad, Russia

Based on the results of sea expeditions, interannual changes in structure of the ichthyocenosis in the pelagic zone of the southern shelf of Morocco in the Atlantic Ocean were studied in connection with changes in the habitat. Mass pelagic fish were selected as reference biological species: European and West African horse mackerel, European sardine, Eastern mackerel, sea bream, sea snipe, myctophids, as well as non-commercial fish species. Field data were obtained during the implementation of complex oceanographic surveys in the fall seasons (October–November) 2015–2018. The results of control trawls were used, in which any species amounted to at least 70% of the catch. The analysis of the species composition of the control trawls, data of hydroacoustic tracking of trawls, thermohaline water characteristics is carried out. Data pairing was carried out by phased extraction and transformation using standard computer programs for processing various types of data (acoustic, hydrological, ichthyological), as well as specially designed programs that allow you to create a single database. It has been established that recent changes in the number of commercial and by-catch species observed in the ARZ of Morocco in recent years are associated with the presence or absence of so-called “settlement windows”, which appear in the T, S-diagram field by regions of different configurations, which indicates changes in the ratios of water masses. Based on the identified relationships between changes in the ratio of water masses and changes in the species composition of the control trawls of accounting replenishment surveys, estimates of the expected changes in the biomass of mass pelagic fish in the coming years are made.

Keywords: oceanological conditions, trawl-acoustic surveys, horse mackerels *Trachurus* spp., mackerel *Scomber colias*, sardine *Sardina pilchardus*, sea bream *Brama brama*, myctophids *Myctophidae*, sea snipe *Macrorhamphosus* spp.

DOI: 10.36038/2307-3497-2020-180-140-155

REFERENCES

- Geoinformatsionnaya sistema upravleniya okeanologicheskimi dannymi* (GISUOD) OBZerver, Laboratoriya promyslovoj okeanologii, AtlantNIRO, Kaliningrad, Rossiya [Geographic information system for ocean data management (GISUOD) OBZerver, laboratory of commercial Oceanology, AtlantNIRO, Kaliningrad, Russia]. Accessible via: <http://www.atlantniro.ru>. 05.09.2018.
- Dobrovol'skij A.D. 1961. Ob opredelenii vodnyh mass [About water mass determination] // *Okeanologiya*. T. 1. Vyp.1. S. 12–24.
- Metodicheskoe rukovodstvo po planirovaniyu i provedeniyu morskikh ekspeditsionnykh issledovaniy sostoyaniya zapasov promyslovykh gidrobiontov v Atlanticheskoy okeane, Yugo-Vostochnoy chasti Tihogo okeana i v Baltijskom more* (rajony sfery deyatel'nosti AtlantNIRO) [Methodical guide on planning and conducting of marine expeditionary research of hydrobionts commercial stocks in the Atlantic Ocean, south-eastern part of the Pacific Ocean and in the Baltic Sea]. 2006. Kaliningrad: AtlantNIRO. 182 s.
- Sirota A.M. 2003. Struktura i dinamika vod v rajone Kanarskogo apvellinga i sostoyanie populyatsiy pelagicheskikh ryb. [Water structure and dynamics in the region of Canary upwelling, and pelagic fishes population status] Avtoref. ... dis. kand. geogr. nauk. Kaliningrad: RGU im. I. Kanta. 23 s.
- Halmatova E.R., Kukuev E.I., Krasnoborod'ko O. Yu., Gulyugin S. Yu. 2019. Kratkaya harakteristika taksocena miktofovyyh ryb (sem. Myctophidae) v zone Marokko po dannym s'emki 2017 goda [A brief description of myctophous fishes taxon (fam. Myctophidae) in zone of Morocco according to the data survey of 2017] // *Vestnik molodezhnoy nauki*. № 2 (19). Accessible via: <https://cyberleninka.ru/article/n/kratkaya-harakteristika-taksotsenamiktofovyyh-ryb-sem-myctophidae-v-zone-marokko-po-dannym-semki-2017-goda>. 12.07.2019.
- Bakun A., Black B.A., Bograd S.J., García-Reyes M., Miller A.J., Rykaczewski R.R., Sydeman W.J. 2015. Anticipated Effects of Climate Change on Coastal Upwelling Ecosystems // *Current Climate Change Reports*. 1. pp. 85–93.
- SonarData Echoview. Sonar Data Pty Ltd. Accessible via: <http://www.sonardata.com>. 27.01.2020.
- Emery W.J., Meincke J. 1986. Global water masses: summary and review // *Oceanologica. Acta* 9. pp. 383–391.
- FAO Fishery Statistics — Global Capture Production. Accessible via: <http://www.fao.org/fishery/statistics/global-capture-production/auerv/en>. 20.09.2018.
- Report of the FAO Working Group on the Assessment of Small Pelagic Fish off Northwest Africa. Banjul, the Gambia, 26 June-1 July 2018. // FAO Fisheries and Aquaculture Report. No. R1247. Rome. 321 p. Accessible via: <http://www.fao.org/3/ca4121b/ca4121b.pdf>. 27.01.2020.
- Global Fishing Watch. Accessible via: <http://www.globalfishingwatch.org>. 01.08.2019.
- Information Search System (ISS), Accessible via: <http://www.atlantniro.ru>. 11.09.2018.
- Macnín F., Hernández-Guerra A., Pelegrí J.L. 2006. Mass fluxes in the Canary Basin // *Progress in Oceanography*. 70. pp. 416–447.
- Pelegrí J.L., Peña-Izquierdo J., Machín F., Meiners C., Presas-Navarro C. 2017. Oceanography of the Cape Verde Basin and Mauritanian Slope Waters. // *Deep-Sea Ecosystems Off Mauritania*. / A. Ramos et al. (eds.). Springer Science + Business Media B.V. pp. 119–153.
- Peña-Izquierdo J., Pelegrí J.L., Pastor M.V., Castellanos P., Emelianov M., Gasser M., Salvador J., Vázquez-Domínguez E. 2012. The continental slope current system between Cape Verde and the Canary Islands // *Advances in Spanish Physical Oceanography*. Scientia Marina. 76S1. pp. 65–78.
- Python Software Foundation. Accessible via: <https://www.python.org>. 30.04.2018.
- SeaBird Electronics Inc., USA. Accessible via: <http://www.seabird.com>. 12.09.2018.
- Scripter. Golden Software, LLC. Accessible via: <http://www.goldensoftware.com>. 27.01.2020.
- The EAF-Nansen Programme. A partnership for the oceans. Accessible via: <http://www.fao.org/3/a-i6039e.pdf>. 27.01.2020.
- Topex Global Seafloor Topography V. 19.1 Accessible via: https://topex.ucsd.edu/WWW_html/mar_topo.html. 03.05.2019.
- Valdés L., Déniz-González I. 2015. Oceanographic and biological features in the Canary Current Large Marine Ecosystem. // *IOC-UNESCO, Paris. IOC Technical Series*, No. 115. 383 pp.
- Visual Basic. Accessible via: https://ru.wikipedia.org/wiki/Visual_Basic. 27.01.2020.
- Vélez-Belchí P., M.D. Pérez-Hernández, M. Casanova-Masjoan, L. Cana, A. Hernández-Guerra. 2017. On the seasonal variability of the Canary Current and the Atlantic Meridional Overturning Circulation // *J. Geophysical Research: Oceans*. 122. pp. 4518–4538.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Distances from the areas of the formation of water masses present in the ARZ of Morocco, from the CEA region, (km)

Fig. 2. Types of work on complex replenishment surveys in the ARZ of Morocco

Fig. 3. Distribution of oceanological stations in the ARZ of Morocco carried out by STM «Atlantida» in 2015–2018 (a), reference stations (b)

Fig. 4. An example of an echogram (STM «Atlantida», 11/18/2018, the area north of Cape Barbas, the depth of the place is 103 m):
1–6 — sound scattering layers of various origins

Fig. 5. Trawl squares of surveys of the recruitment of the small pelagic fishes in ARZ Morocco in 2018 (STM «Atlantida»)

Fig. 6. Scheme of the algorithm for pairing the complex results of surveys of recruitment of smalls pelagic fishes

Fig. 7. Integrated TS-diagrams in the southern part of the Morozian ARZ from 32 to 21° N in October–November, 2015 (a), 2018 (б).

The generalized structure of the diagram (б): I — the main branch, II — the secondary branch

Fig. 8. The integrated density of echo signals in the ARZ of Morocco in the TS field (October–November 2015–2018)

Fig. 9. «Windows of settlement» of the main commercial (a, б) and non-commercial (в) species in the ARZ of Morocco in the field of TS coordinates in 2015–2018

Fig. 10. Opened and closed “windows of settlement” of aquatic organisms in the TS field in 2015–2018