

Сотрудничество между Россией (ВНИРО) и Италией в области рыбохозяйственных гидроакустических исследований

С.М. Гончаров (ВНИРО)

Cooperation between Russia (VNIRO) and Italy in acoustic research for fisheries

S.M. Goncharov (VNIRO)

Введение

До начала семидесятых годов прошлого столетия наибольшее количество работ лаборатории было закрытыми, по причине того, что основным заказчиком являлся Военно-Морской Флот СССР. Когда в 1972 г. лабораторию возглавил К.И. Юданов вся ее деятельность была сконцентрирована на решении только отраслевых рыбохозяйственных задач. Одним из главных направлений деятельности лаборатории были работы по количественной оценке рыбных скоплений и проведению гидроакустических съемок.

В 1974 году под руководством К.И. Юданова на НИС «Хронометр» состоялась первая совместная советско-американская экспедиция в район Джорджес-банки, задачей которой была оценка запасов основных промысловых рыб, и прежде всего сельди. После рейса был проведен семинар в Вудс-Холовском центре рыбохозяйственных исследований США.

Сотрудничество с американскими учеными продолжалось до начала 80-х годов. В 1980–1981 гг. сотрудники лаборатории приняли участие в большой международной экспедиции в район Антарктиды по программе «Файбекс» для оценки запасов криля. 1980-е годы без преувеличения можно назвать самым интенсив-



Рис. 1. Деловая встреча в Вудс-Холовском центре рыбохозяйственных исследований, США

ным и плодотворным периодом в истории развития отечественной промышленной гидроакустики. В эти годы разворачивается научно-техническое сотрудничество с зарубежными фирмами-разработчиками гидроакустической техники, осуществляются целевые методические разработки для промышленного флота.

Тем не менее, именно в это время получает «второе дыхание» международное сотрудничество лаборатории. В 1990 г. по заказу одного из мировых грандов в разработке и производстве гидроакустической техники норвежской фирмы «Симрад» лабораторией был разработан и изготовлен макет имитатора гидроакустических сигналов для проверки и контроля гидроакустических эхолотов с расщепленной антенной, производимых этой компанией.

В 1993 г. с просьбой проведения гидроакустических съемок обратился польский НИИ внутреннего рыболовства (г. Ольштын). В этом же году, учитывая высокий научный потенциал лаборатории, Научно-исследовательский институт прибрежной морской окружающей среды при национальном совете по науке Италии (IAMC-CNR) обратился с предложением о сотрудничестве, которое продолжается и до настоящего времени.

Специалисты лаборатории являются постоянными активными участниками международных конференций и зарубежные коллеги с большим вниманием и уважением относятся к представляемым работам. В 2004, 2006 и 2009 г. двое сотрудников лаборатории приглашались в качестве экспертов на совещания Рабочих групп проекта ФАО MedSudMed, проходивших в г. Мадзара Дель Валло (Италия) и в г. Тайра (Ливия).



Рис. 2. Участники Шестого международного симпозиума ИКЕС «Акустика в рыбном хозяйстве и экологии» Монпелье, Франция, 2002 г. Слева направо: первый – Гончаров С.М. (ВНИРО), третий – Ермольчев В.А. (ПИНРО), пятый – Кудрявцев В.И. (ВНИРО)

В течение ряда лет на борту итальянских НИИ успешно проводятся гидроакустические съемки в Средиземном море для оценки биомассы пелагических рыб. Следует отметить уникальность этих работ, так как до российского участия в съемках работы такого уровня здесь не проводились.

В 2004 г. совместно с IAMC-CNR и ИПЭЭ РАН был подготовлен международный проект STROAM (Научное сотрудничество по развитию океанографических и акустических приборов), финансирование которого предполагалось из средств Министерства иностранных дел Италии согласно статье 3 закона 212-26/02/1992 (Кооперация со странами центральной и восточной Европы). В 2005 г. на конкурсной основе и при одобрении Минэкономразвития России было получено финансирование по данному проекту. Целью данного проекта являлось проведение

совместных исследований в научной и технологической сферах рыболовства в интересах Российской Федерации и Италии. Суть проводимых работ заключалась в создании новой акустической и океанографической аппаратуры, способной осуществлять контроль за окружающей средой, предохранять орудия лова от воздействия семейства китовых, приводящих с одной стороны к значительным экономическим потерям в результате порчи орудий лова рыбы, с другой стороны к гибели самих животных. Внедрение этой аппаратуры должно быть осуществлено через ее продажу смешанными итальяно-российскими предприятиями.

Проект предусматривал совместное сотрудничество в развитии акустических методов для оценки морских рыбных биомасс как взрослых рыб, так и личинок; использование лазерных систем для определения количественного и размерного состава зоо- и ихтиопланктона; изучение ультразвуковой приемо-передающей системы дельфинов, для улучшения акустической аппаратуры, отпугивающей дельфинов от орудий лова. На финальном этапе проекта 3 августа 2007 г. при испытании лазерного измерителя планктона ТРАП-8 в результате столкновения контейнеровоза «Eleni» с НИС «Thetis», на борту которого и происходили работы совместно с итальянскими учеными, ведущий инженер лаборатории океанологических измерительных систем ВНИРО Петр Александрович Михейчик погиб, а двое сотрудников нашей лаборатории Гончаров С. М. и Попов С. Б. получили значительные физические и моральные травмы.

Тем не менее, следует отметить в целом положительные результаты проведенных работ и намерение сторон продолжить научную кооперацию между институтами.

В дальнейшем предполагается:

- расширение сотрудничества в области промышленной экологической защиты;
- расширение сотрудничества в области мониторинга морской окружающей среды;
- разработка плана мероприятий для привлечения финансовых средств на реализацию совместных работ по вышеуказанным направлениям.

В настоящее время наблюдается большая заинтересованность в проведении экологического контроля в различных отраслях промышленности, связанного с загрязнением окружающей среды и в разработке соответствующих приборов, позволяющих эффективно проводить экологический анализ. В частности, уделяется особое внимание морским инструментальным средствам контроля. Эта заинтересованность несомненно сохранится в будущем, по причине большого интереса общественности и тех несомненных экономических преимуществ, которые приносит экологическая защита.

Среди работ, проведенных за годы сотрудничества, особенный интерес представляет работа, выполненная в 2001 г. совместно с итальянскими и норвежскими коллегами по измерению силы цели личинок атлантической сельди *Clupea harengus*.

Измерения силы цели личинок рыб для количественной оценки их биомассы гидроакустическим методом

Изучение личиночной стадии развития рыб является одним из основных элементов в комплексе научно-исследовательских работ по определению состояния запасов морских рыбных ресурсов с целью более качественного и обоснованного процесса промышленного рыболовства. Знания о личиночной биомассе и ее распределении существенно повышают точность прогнозирования промыслового изъятия в районах промысла, особенно для короткоцикловых видов рыб. На основании данных о смертности на личиночной стадии развития рыб можно предсказать урожайность годового поколения, спрогнозировать возможный прирост численности рыб в будущем с учетом влияния физических и биологических процессов.

Важнейшим элементом при вычислении личиночной биомассы по данным гидроакустических измерений являются знания об акустической силе цели личи-

нок (TS), а именно о зависимости между TS личинки и ее длиной. Но таких данных для личинок в литературе представлено крайне мало и для пузырных видов рыб экспериментальные данные соответствуют периоду личинок с развитым плавательным пузырем. Данные о непосредственных измерениях TS личинок на всем этапе роста с момента выклеывания и до появления полноценного плавательного пузыря отсутствуют. Для всего периода взросления личинки в литературе представлены лишь результаты TS, рассчитанные на математических моделях [Dezhang Chu et al., 2003].

Непосредственные измерения TS личинок в морских условиях чрезвычайно сложны и качество результатов не всегда соответствует затраченным усилиям. Однако, такие измерения могут быть выполнены с высокой точностью в мезокосме. Суть системы мезокосма заключается в том, что она моделирует в ограниченном пространстве водную экосистему. Мезокосм помещается в естественную водную среду, но его объем должен быть надежно изолирован от проникновения каких либо морских биологических организмов без вмешательства человека, так как наличие иных организмов может внести существенную ошибку в результаты измерений. Для проведения работ по исследованию отражательных свойств рыбных личинок в процессе их роста была разработана и изготовлена система мезокосм, схематично представленная на рис. 3.

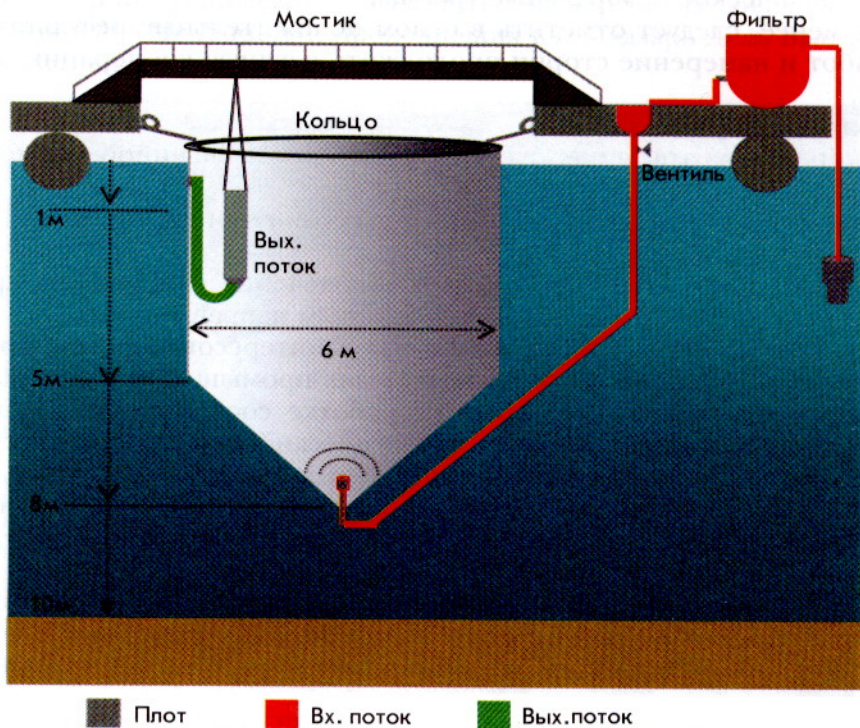


Рис. 3. Схема мезокосма и расположения его основных элементов

В качестве модельного объекта исследований были выбраны личинки атлантической сельди *Clupea harengus* по следующим причинам. Данный вид является типичным представителем пелагических клупеоидных рыб с физиологической и морфологической точки зрения, имеет важное коммерческое значение и обладает высоким уровнем адаптации и выживания.

На предварительном этапе работ нерестовая сельдь была выловлена, доставлена в лабораторию и искусственно оплодотворена. Затем оплодотворенная икра была помещена в инкубатор и после периода инкубации, выжившие икринки переместили в два мезокосма в разных количествах. Один мезокосм должен был использоваться для проведения основных измерений TS и объемная плотность личинок в нем предполагалась существенно ниже, чем во втором. Второй мезокосм предназначался как резервный, на случай внезапной гибели личинок в пер-

вом мезокозме. Акустические, физические и биологические измерения выполнялись с регулярными временными интервалами с момента выклеывания личинок и до появления и развития у них плавательного пузыря. В процессе всего периода работ осуществлялся контроль за параметрами воды (температура, кислород, соленость) в мезокозмах. Кормление личинок проводилось практически ежедневно живыми копеподами и их личинками. Уровень отраженных гидроакустических сигналов от копепод (даже для самых крупных экземпляров) был ниже уровня эхосигналов от личинок, и с помощью установки соответствующих пороговых уровней, сигналы от копепод полностью исключались из обработки. Используя различные рассеивающие модели, было показано, что для копепод размером до 3 мм и различных ультразвуковых частотах облучения сила цели не превышает -90 дБ [Stanton, Chu D, 2000]. Учитывая, что максимальные размеры копепод во время экспериментов не превышали 0,5 мм, и следовательно их TS ниже -90 дБ, максимальное пороговое значение для выделения эхосигналов от личинок было выбрано на уровне -90 дБ. На начальном этапе роста личинок, поскольку размер копепод на этом этапе не превышал 120 мкм, пороговое значение было выбрано на уровне от -90 до -100 дБ. Контроль за физиологическим состоянием личинок проводился регулярно методом их отлова и проведением морфометрического анализа в лаборатории.

Гидроакустические измерения выполнялись с использованием многочастотных научно-исследовательских эхолотов фирмы Kongsberg Simrad и одночастотного научного эхолота фирмы BioSonics: Simrad EK 500 (антенна 120 кГц с расщепленным лучом и однолучевая антенна 710 кГц); Simrad EK60 (частота излучения 200 кГц, расщепленный луч) и BioSonics DT 6000 с цифровой антенной 200 кГц и расщепленным лучом. Антенны эхолотов устанавливались в центре садка на глубине 30 см. Перед началом гидроакустических измерений была проведена полная сквозная градуировка эхолотов для каждой частоты излучения. Обработка записанных эхосигналов была выполнена с использованием ППС BI500, EchoView ver. 2.25 (SonarData Pty Ltd.) и специальной программы «Target Tracking software», разработанной в Бергенском институте морских исследований (IMR, Норвегия).

По результатам биологических измерений было получено обобщенное эмпирическое уравнение стандартной длины (SL) личинок в зависимости от возраста с момента выклеывания:

$$SL = 0,34 \times D + 5,56 \text{ мм}, \quad (1)$$

где D – возраст личинок, дни.

Поскольку гидроакустические измерения проводились практически ежедневно, а обловы личинок выполнялись реже, то для пересчета размера личинок на момент проведения гидроакустических измерений использовалось вышеприведенная зависимость.

Было установлено, что на раннем этапе взросления отражательные свойства личинки определяются исключительно объемом и тканями тела и уровень отраженного ультразвукового сигнала от них соизмерим с уровнем эхосигналов от макропланктона. Одновременно с ростом личинок происходят и изменения их внутреннего строения. В частности появляются внутренние полости, заполненные газом, что существенно меняет отражательные свойства личинок и определяющим элементом в величине отраженной ультразвуковой энергии сигнала становится величина объема, заполненного газом. Эти газовые полости представляют собой слуховую систему личинки (bulla), зачаточный плавательный пузырь (из которого в последствии формируется полноценный плавательный пузырь) и кишечник, соединенные между собой тонкими каналами [Blaxter, Hunter, 1982]. Размер зачаточного плавательного пузыря еще крайне мал, поэтому его доля в величине отраженного сигнала соизмерима с другими элементами газовой системы. На данном этапе развития личинки именно газовая система является определяющей в величине отраженного сигнала. При ее появлении меняются ультразвуковые отражательные свойства личинки. Для личинок атлантической сельди формирование газовой системы происходит при достижении роста примерно в 22 мм [Blaxter, Hunter, 1982]. По мере взросления личинки происходит развитие пол-

ноценного плавательного пузыря, его объем становится значительно больше и доля других органов, заполненных газом, уже не играет столь существенной роли в отражении ультразвукового сигнала, доля плавательного пузыря становится определяющей.

На рис. 4 представлены результаты измерений TS личинок в зависимости от их возраста для трех ультразвуковых частот, где отчетливо видно, что в момент появления газовой системы происходит резкое изменение TS. Но в отличие от 120 кГц и 200 кГц, где величина TS скачкообразно возросла соответственно с -79,16 дБ до -69,41 дБ и с -83 дБ до -70,2 дБ, то есть почти на 10 дБ и 13 дБ [Gontcharov et al., 2002], для частоты 710 кГц, наоборот, наблюдается существенный спад с -84,98 дБ до -94,57 дБ и затем постоянный рост. Появление такого спада возможно объясняется интерференционными процессами акустических волн на границе газовой полости и тканью тела личинки, а именно эффектом суперпозиции падающей и отраженной волны, находящихся в противофазах.

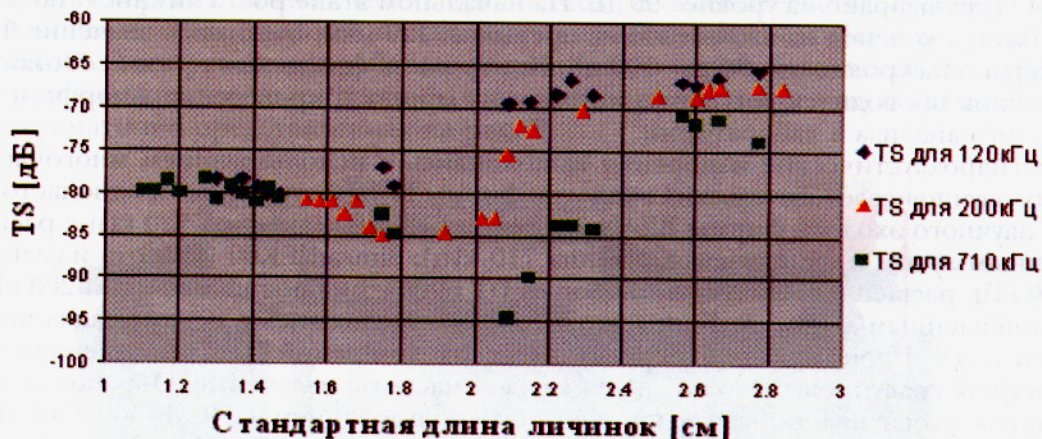


Рис. 4. Экспериментальные результаты измерений TS для трех частот на разных этапах развития личинок атлантической сельди *Clupea harengus*

На раннем этапе роста личинок до появления газовой системы, для всех трех частот характер изменения кривых TS примерно одинаков. Особенность изменения TS на этом этапе заключается в том, что нет отчетливо выраженной динамики роста или уменьшения TS личинок. По этой причине довольно сложно описать изменение TS каким либо математическим уравнением. Для 710 кГц величина TS изменялась в пределах от -84,98 дБ до -78,46 дБ, а среднее значение $TS_{cp} = -80,4$ дБ. Для 120 кГц диапазон изменений TS был в пределах от -80,3 дБ до -77,01; $TS_{cp} = -79,02$ дБ. Для 200 кГц TS личинок изменялось в границах от -85 дБ до -80,9 дБ при $TS_{cp} = -82,59$ дБ.

На более позднем этапе личиночного развития отражение ультразвука в первую очередь определялось газовой системой, а затем развившимся плавательным пузырем. Отчетливо просматривается динамика роста TS. Для этого этапа были рассчитаны уравнения TS в зависимости от стандартной длины личинок (SL, см):

$$TS = 186 \times \log SL - 150,9 \quad (R^2 = 0,89) \quad \text{для } 710 \text{ кГц}; \quad (2)$$

$$TS = 20 \times \log SL - 75,12 \quad (R^2 = 0,71) \quad \text{для } 120 \text{ кГц}; \quad (3)$$

$$TS = 20 \times \log SL - 77,11 \quad (R^2 = 0,70) \quad \text{для } 200 \text{ кГц}, \quad (4)$$

где R^2 — величина достоверности аппроксимации.

Для полного математического описания изменения отражательных свойств личинок на всем этапе их роста, были проанализированы данные, полученные в ходе экспериментов и данные, полученные на теоретических моделях более простых по структуре, чем тело личинки и в то же время с понятным и однозначным описанием их отражательных свойств. При совпадении данных такая модель могла быть в дальнейшем использована для описания отражения ультразвука личинками рыб на самом начальном этапе их развития. В качестве таких моделей, бы-

ли выбраны флюидные цилиндр и сфера, успешно используемые для описания отражательных свойств зоопланктона и криля [Dalen, 1987; Wibe et al., 1990; Stanton, 1989; Greenlow, 1977]. Для всех трех частот экспериментальные значения TS личинок оказались существенно выше значений TS флюидной сферы. Существенно лучшие результаты были получены при использовании цилиндра. Экспериментальные значения TS не столь существенно отличаются от модельных значений. Для частот 120 и 200 кГц это относится к данным, рассчитанным для вещества модели, близкого к тканям взрослых рыб. Но для вещества модели, соответствующей тканям личинок, отличия также очень высоки. Поэтому ни цилиндрическая, ни сферическая модели не могут быть использованы для описания отражения ультразвука личинками на этих частотах. Вероятно для этого требуются более сложные модели. Следовательно для проведения количественных оценок личиночной биомассы для частот 120 и 200 кГц могут быть использованы средние значения их TS для раннего этапа развития (до появления газовой системы), а именно для 120 кГц $TS = -79,02$ дБ и для 200 кГц $TS = -82,59$ дБ, а для определения TS личинок с сформировавшейся газовой системой или плавательным пузырем уравнения (3) и (4).

Наилучший результат был получен для самой высокой из частот 710 кГц с незначительным расхождением TS между экспериментальными и модельными значениями цилиндрической модели, с параметрами вещества, аналогичными параметрам ткани личинок и в расчетах личиночной биомассы эта модель может быть использована для определения TS личинки на ранней стадии развития.

Полученные результаты TS личинок, как модельные, были использованы для оценки биомассы личинок анчоуса *Engraulis encrasicolus* по данным гидроакустических наблюдений во время комплексных съемок, выполненных в на борту итальянского НИС «Урания» в летние периоды 2002 г. и 2003 г. в районе мыса Пассеро Сицилийского канала Средиземного моря.

Другим важным направлением совместных работ является регулярное проведение гидроакустических съемок (ГАС), по результатам которых строятся планшеты распределения рыбных концентраций по видам и определяются их биомассы. Такие работы в отличие от традиционных траловых съемок позволяют выполнять работы с большей оперативностью, достоверностью и меньшей себестоимостью. Кроме того, собранные данные в процессе съемок помогают в дальнейшем развитии гидроакустического метода количественной оценки морских биомасс.

Изменение биомассы малых пелагических рыб в Сицилийском канале в зависимости от параметров среды

Объектом исследований являлись два вида наиболее распространенных в этом районе вида пелагических рыб: анчоус *Engraulis encrasicolus* и сардина *Sardina pilchardus*. Эти виды составляют основную биомассу пелагических рыб в этом регионе и имеют важное коммерческое значение. Для оценки биомассы этих видов рыб использовался гидроакустический метод количественной оценки [Юданов и др., 1988; MacLennan, Simmonds, 1991], основанный на методе эхоинтегрирования. Работы проводились в период с 1998 по 2002 г.

Особенностью района исследований является то, что он связывает два основных бассейна Средиземного моря. Простейшей циркуляционной схемой водных масс в этом районе является двухслойная модель: в верхних слоях текущие на восток менее соленые Модифицированные Атлантические Воды (Modified Atlantic Water) и относительно плотные и соленые воды Левантийские Промежуточные Воды (Levantine Intermediate Water) протекающие в западном направлении в нижнем слое. Характерно для атлантических вод наличие двух основных потоков: наиболее важный и менее изученный входит в Сицилийский канал вблизи Тунисского берега; второй поток, названный Атлантическим Ионическим Поток (Atlantic Ionian Stream (AIS)) [Robinson et al., 1991], протекает от банки Эдвенчер (Adventure bank) вдоль юго-западного берега Сицилии к Мальтийской платформе и Ионическому морю (рис. 5).

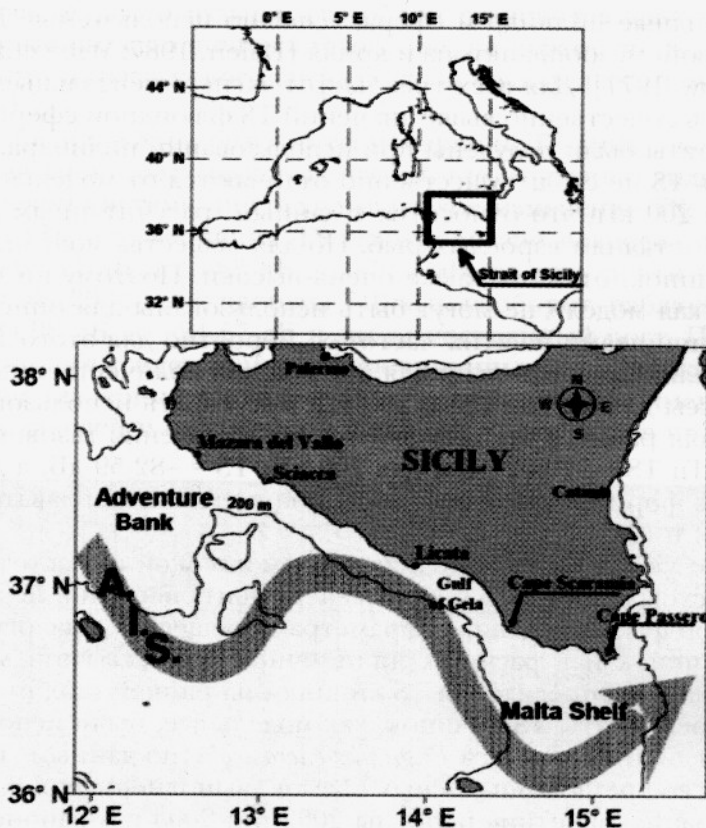


Рис. 5. Западная и центральная часть Средиземного моря: на верхней карте показан Сицилийский канал, на нижней карте усредненное направление течения AIS

Меандры AIS образуют пять специфических океанографических зон [Lemuriaux, Robinson, 2001]: вихрь в районе банки Эдвенчер, гребень Мальтийского канала, Ионический шельфовый вихрь, вихрь Мессинской возвышенности и фронт Ионического свала (см. рис. 5).

Для донной топографии Сицилийского канала характерно довольно узкая зона континентального шельфа протяженностью приблизительно до 15 морских миль. Учитывая особенности батиметрии района была спланирована прямоугольная сетка галсов от берега до достижения 200 м изобаты. В процессе всех выполненных съемок сетка галсов оставалась практически неизменной, как и интервал интегрирования, равный одной морской мили. Все ГАС были выполнены на борту итальянского НИС «G. Dallaporta» с использованием следующей аппаратуры:

- двухчастотный (38 и 120 кГц) научный эхолот SIMRAD EK 500;
- система контроля орудия лова SIMRAD ITI.

При выполнении контрольных тралений использовался пелагический трал с горизонтальным открытием 13–15 м и вертикальным открытием 6–8 м. Размер ячеи в кутке трала 10 мм. При расчете рыбных биомасс были использованы следующие уравнения TS в зависимости от длины рыб, L [Barange et al., 1996]:

$$TS \text{ (дБ/кг)} = -14,9 \cdot \log L \text{ (см)} - 13,21 \text{ (для сардины);}$$

$$TS \text{ (дБ/кг)} = -12,15 \cdot \log L \text{ (см)} - 21,12 \text{ (для анчоуса).}$$

При построении карт распределений рыбных биомасс был использован гео-статистический метод интерполяции – Кригинг [Cressie, 1991; Goovaerts, 1997].

В таблице представлены результаты расчетов биомасс сардины и анчоуса в различные сезонные периоды и в разные годы.

Для определения степени влияния среды на биомассу рыб был выполнен сравнительный анализ с данными поверхностной температурой морской воды (see surface temperature (SST)). Известно, что SST может оказывать прямое влияние на распределение и биомассу рыб, особенно на выживание и темпы роста ранних стадий рыб [Brett, 1970; Lo, 1985; Wood, McDonald, 1997]. Кроме этого

этот параметр отражает влияние различных океанографических процессов, влияющих на пищевую базу и смертность личинок [Demarcq, Faure, 2000; Faure et al., 2000].

Высокая корреляция между изменением биомассы сардины и SST наблюдалось в периоды января–сентября (рис. 6), для анчоуса – между июнем–ноябрем (рис. 7).

Более подробно результаты данной работы и используемые методики при ее выполнении были представлены в совместной статье, опубликованной в октябрьском номере журнала *Chemistry and Ecology* [Patti et al., 2004].

Таблица. Результаты расчетов биомасс для сардины и анчоуса вдоль южного берега о. Сицилия*, т

Время проведения ГАС	Сардина	Анчоус	Общая
Июнь 1998	20,000	7,100	27,100
Октябрь 1999	33,700	20,200	53,900
Июль 2000	36,370	11,000	47,370
Сентябрь 2000	24,800	11,050	35,850
Октябрь 2001	10,054	22,950	33,004
Июль 2002	6,000	11,500	17,500

* Площадь обследованной акватории – 2800 морских миль².

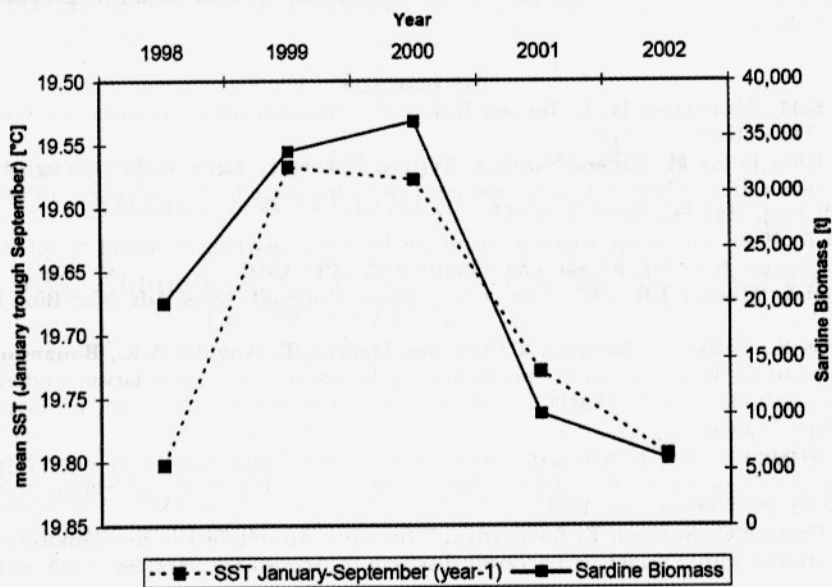


Рис. 6. Изменение биомассы сардины, т (правая ось) и среднего значения SST за период январь–сентябрь (левая ось)

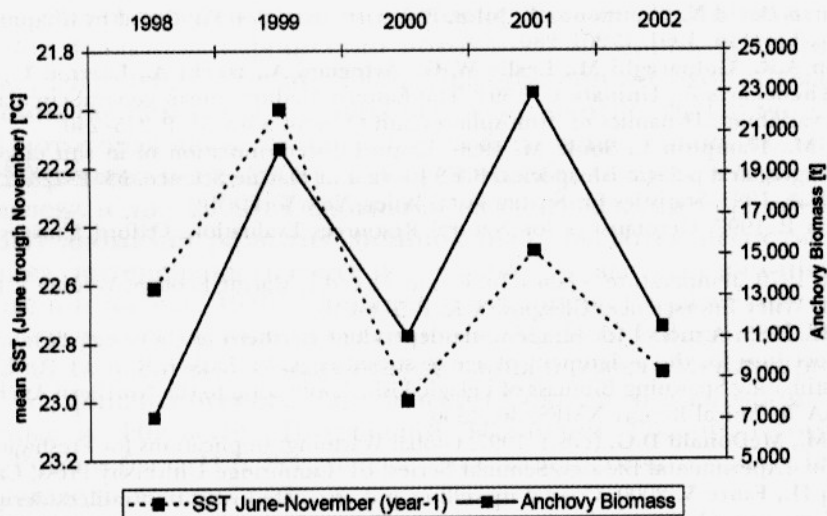


Рис. 7. Изменение биомассы сардины, т (правая ось) и среднего значения SST за период июнь–ноябрь (левая ось)

Заключение

Совместные работы с нашими итальянскими коллегами продолжаются и по сей день. На базе построенного в поселке Капо Гранитола Научного морского центра предполагаются работы по определению TS различных видов рыб Средиземноморского бассейна, данные о которых отсутствуют в научной литературе. Расширяется ареал проведения гидроакустических съемок. За последние годы были проведены съемки в районе о. Мальта и впервые за последние пятьдесят лет полномасштабная съемка вдоль Ливийского побережья. Впервые в 2009 г. проведена ГАС в Терренском море: вдоль северного берега о. Сицилия и далее вдоль западной части Италии до г. Ливорно. Все работы выполняются с использованием самых современных гидроакустических средств и компьютерных систем обработки данных, что позволяет получать результаты с высокой степенью достоверности. Продолжаются работы по развитию методики гидроакустической количественной оценки гидробионтов. В результате по данным гидроакустической съемки в Сицилийском канале в 2009 г. были рассчитаны не только суммарные биомассы анчоуса и сардины, но и биомассы для каждой размерной группы этих видов.

Литература

- Юданов К.И., Калихман И.Л., Теслер В.Д.** 1984. Руководство по проведению гидроакустических съемок.— М.: ВНИРО.— 124 с.
- Dezhang Chu, Peter H. Wiebe, Nancy J. Copley, Gareth L. Lawson, Velmurugu Puvanendran.** 2003. Material properties of North Atlantic cod eggs and early-stage larvae and their influence on acoustic scattering. *ICES J. Mar. Sci.*, 60, P. 508–515.
- Stanton T.K.** 1989. Simple approximate formulas for backscattering of sound by spherical and elongated objects. *J. Acoust. Soc. Am.* 86 (4), October 1989. P. 1499–1510.
- Blaxter J.H.S., Hunter J.R.** 1982. The biology of the clupeoid fishes. *Adv. Mar. Biol.* P. 59, 86–129, 111–119, 158–159.
- Gontcharov S., Calise L., Knutsen T., Van der Meeren T., Angotzi A.R., Bonanno A., Patti B., Mazzola., Buscaino G.** Target Strength and swimming behaviour of herring larvae studied by the Split Beam Tracking Method. 6th ICES SYMPOSIUM «Acoustics in fisheries and aquatic ecology», 10–14 June 2002. Montpellier, France.
- Dalen J., Kristensen K.** Comparative Studies of Theoretical and Empirical Target Strength Models of Euphausiids (Krill) in Relation to Field Experimental Data. International Symposium of Fisheries Acoustics. June 22–26, 1987 Seattle, USA.
- Wiebe P., Greene C., Stanton T., Burczynski J.** Sound scattering by live zooplankton and micronekton: Empirical studies with a dual-beam acoustical system. *J. Acoust. Soc. Am.* 88 (5), November 1990. P. 2346–2360.
- Stanton T.K.** Simple approximate formulas for backscattering of sound by spherical and elongated objects. *J. Acoust. Soc. Am.* 86 (4), October 1989. P. 1499–1510.
- Greenlaw C.F.** Backscattering spectra of preserved zooplankton. *J. Acoust. Soc. Am.* 62 (1) July 1977: P. 44–52.
- MacLennan David N., Simmonds E. John.** Fisheries Acoustics. Published by Chapman & Hall, 2–6 Boundary Row, London, 1991. P. 201–280.
- Robinson A.R., Golnaraghi M., Leslie W. G., Artegiani A., Hecht A., Lazzoni E., Michelato A., Sansone E., Theoharis A., Unluata U.** 1991. The Eastern Mediterranean general circulation: Features, structure and variability. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15(3–5). P. 215–240.
- Barange M., Hampton I., Soule M.** 1996. Empirical determination of in situ target strengths of three loosely aggregated pelagic fish species. *ICES Journal of Marine Science*, 53. P. 225–232.
- Cressie N.A.** 1991. *Statistics for Spatial Data*. Wiley, New York.
- Goovaerts P.** 1997. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press, New York.
- Brett J.R.** 1970. Temperature – fishes. In: Kinne, O. (ed.), *Marine Ecology*. Volume 1. Environmental Factors. Part 1. Wiley Interscience, Glasgow, UK. P. 514–616.
- Lo N.C.H.** 1985. A model for temperature-dependent northern anchovy egg development and an automated procedure for the assignment of age to staged eggs. In: Lasker, R. (ed.). *An Egg Production Method for Estimating Spawning Biomass of Pelagic Fish: Application to the Northern Anchovy*, Engraulis mordax. NOAA Technical Report NMFS, 36, 4350.
- Wood C.M., McDonald D.G.** (eds.). 1997. *Global Warming: Implications for Freshwater and Marine Fish*. Society for Experimental Biology. Seminar Series, 61. Cambridge University Press, Cambridge.
- Demarcq H., Faure V.** 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to Octopus vulgaris recruitment. *Oceanologica Acta*, 23(4). P. 391–408.
- Faure V., Inejih C. A., Demarcq H., Cury P.** 2000. The importance of retention processes in upwelling areas for recruitment of Octopus vulgaris: the example of the Arguin Bank (Mauritania). *Fisheries Oceanography*, 9(4). P. 343–355.

Patti B., Bonanno A., Basilone G., Goncharov S., Mazzola S., Buscaino G., Cuttitta A., Garcia Lafuente J., Garcia A., Palumbo V., Cosimi G. 2004. Interannual fluctuations in acoustic biomass estimates and in landings of small pelagic fish populations in relation to hydrology in the Strait of Sicily. *Chem.Ecol.*, 20. P. 365–375.