

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АКУСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АКВАТОРИЙ

**Кандидаты техн. наук А.В. Николаев, М.Ю. Кузнецов
И.А. Убарчук – ТИПРО-центр**

Работы по созданию новых информационных технологий и систем обработки акустических данных применительно к оценкам запасов гидробионтов осуществляются в настоящее время во многих странах (Франция, Норвегия, Испания и др.), активно занимающихся расширением возможностей и сферы практического применения дистанционного акустического метода в рыбохозяйственных исследованиях. В качестве примера можно привести научные эхолоты СИМРАД ЕК-500, ЕУ-500 и программные средства типов ЕР-500, ВІ-500 для регистрации и постпроцессорной обработки данных.

Аналогичные работы, реализующие в той или иной мере отдельные элементы системы акустического мониторинга, проводятся и в России (ПИНРО, ВНИРО, ТИПРО-центр). В последние годы ТИПРО-центр (лаборатория промысловой гидроакустики) совместно с НТФ "Комплексные системы" (Мурманск) работают над развитием системного подхода к использованию акустических измерений в задачах прогнозирования запасов промысловых объектов и управления промыслом. Для информационной поддержки методики создается алгоритмическое и программное обеспечение новой информационной системы накопления и обработки акустических данных. Промышленная эксплуатация первой версии системы, не имеющей в настоящее время аналогов в России, проводилась на НИС "Профессор Кагановский" (БИФ ТИПРО-центр) во время донной, а затем эхоинтеграционной съемки минтая в западной части Берингова моря в период август-октябрь 1998 г.

Система предназначена для прогнозирования и диагностики морских гидрофизических и биологических объектов в области акустической океанографии и промысловой гидроакустики, в том числе оценки пространственного распределения и численности гидробионтов, как элемента системы акустического мониторинга среды и морских объектов. Она ориентирована на работу с цифровыми исследовательскими эхолотами типа ЕК-500 СИМРАД либо аналогичными им по способу организации и передачи выходных данных. Интерактивная система

PFRC-FAMAS (Pasific Fisheries Research Centre – Fisheries Acoustic Monitoring & Analyses System) устанавливается на платформе IBM PC или программно совместимого компьютера с операционной системой Windows-95/98/NT.

Минимальная конфигурация платформы: IBM или совместимый PC; 100 MHz Pentium processor (рекомендуется более производительный процессор); 16+ Mbytes RAM; SVGA card with 2+ Mbytes memory; Windows 95/98 или Windows NT.

Учитывая, что в процессе акустических съемок накапливаются большие массивы данных, при практическом использовании системы в режиме съема данных в реальном масштабе времени минимальная конфигурация системы должна быть расширена, например, накопителями на магнито-оптических дисках или магнитной ленте, а также накопителями на жестких дисках большой емкости.

Пользовательский интерфейс системы позволяет осуществлять удаленный доступ для установки параметров ЕК-500. Накапливаемые данные сопровождаются информацией о судне, рейсе, параметрах обработки, видах рыб и т.д. Основная программа вторичной обработки воспроизводит на экране монитора эхограмму, соответствующую обрабатываемому файлу данных. Редактируемые линии слоев позволяют оконтуривать необходимые области в пределах эхограммы. Результаты обработки сохраняются в файлах, доступных для обработки в Excel, Surfer и др.

Система FAMAS является программным продуктом, основывающимся на используемых в мировой практике стандартах. Операционная система Windows 95 широко распространена благодаря возможности ее применения на персональных компьютерах различной сложности и конфигурации. Передача данных по Ethernet LAN (Local Area Network) базируется на протоколе TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol), что позволяет принимать и аккумулировать большие массивы данных в реальном масштабе времени, обеспечивая при этом элементы оперативной обработки данных. В качестве реляци-

онной базы данных используется Microsoft Access.

На нынешнем уровне реализации система FAMAS обеспечивает выполнение следующих основных функций:

визуализация, сбор и накопление акустических измерений в реальном масштабе времени: выполняет начальные установки системы по созданию необходимых директорий и путей для накапливаемых данных и базы данных, адресов Ethernet и т.д.; устанавливает связь с ЕК-500 и осуществляет прием данных; сохраняет при необходимости текущее акустическое изображение в пределах окна; рассчитывает и отображает на экране в оперативном режиме гистограмму силы целей объектов; осуществляет оперативную печать текущего акустического изображения или окна гистограммы силы целей; дает возможность многозадачной обработки данных в реальном масштабе времени, сохраняет акустические измерения в файлах со структурой данных, совместимой с ВІ-500 СИМРАД;

средства вторичной обработки и анализа акустических изображений: выбирает файлы из списка и воспроизводит на экране монитора соответствующее акустическое изображение; осуществляет режим скроллинга в обоих направлениях с целью просмотра последовательности изображений; разрешает изменение пороговых значений уровней раскраски изображения и порогов интегрирования; при установке курсора в поле эхограммы, отображает географические координаты, дату и время, значение лага в соответствующей позиции курсора; устанавливает (удаляет) слои обработки в пределах поля эхограммы (в поле пеллагического и донного слоев); осуществляет редактирование границ выделенных слоев; обеспечивает, при необходимости, режим коррекции линии дна; выполняет расчет значений поверхностной плотности скопления (S_a) в пределах заданных слоев с установленными параметрами шага по глубине и дистанции; осуществляет расчет гистограмм силы цели и размерного состава в пределах выбранного слоя; производит сопровождение слоя и результатов его обработки содержательным описанием в виде имени слоя, типа распределения объекта и др.; корректирует значения S_a с учетом зоны акустической тени; позволяет корректировать затухание на воздушных пузырьках при сильном волнении в зависимости от числа пропусков линии дна на эхограмме; сохраняет установки обработанных слоев с последующим восстановлением при повторной обработке эхограммы; осуществляет расчет численности, биомассы, распределения численности и биомассы по размерному ряду с учетом предварительно заданного интервала интегрирования, шага по глубине и рас-

стояния между трансектами; разрешает выбирать путь к каталогу для сохранения данных;

организация и ведение базы данных акустических и биологических измерений: осуществляет ведение и редактирование таблиц базы данных; в состав базы данных входят таблицы отношений и справочников, необходимые для постпроцессорной обработки акустических изображений.

Система FAMAS обеспечивает пользователю ряд дополнительных возможностей: дистанционный контроль и управление установками EK-500; компрессия регистрируемых данных с последующей обработкой без режима реархивации; конвертирование данных из форматов EY/EP-500 в формат данных BI-500 и наоборот; контроль состояния таблиц базы данных, текущих навигационных данных, списка принимаемых телеграмм формата NMEA 1803, ведение галсового маршрута судна, файла текущих событий.

Акустические работы с использованием разработанной информационной системы включали эхоинтеграционные съемки минтая в районе Западного шельфа Берингова моря и совместные работы по программе Аляскинского рыбохозяйственного центра (AFSC, США) в районе Прибыловских островов на минтае нулевой группы. В ходе всего рейса проводили регистрацию акустических данных на частотах 38 и 120 кГц, вторичную обработку с целью оценки пространственного распределения и количественных характеристик скоплений минтая.

Методической основой по организации и осуществлению акустических съемок, обработке результатов измерений служили рекомендации рабочей группы FAST при ICES (Simmonds и др., 1992), практический опыт лаборатории промышленной гидроакустики по проведению таких съемок с использованием EK-500, обобщенный опыт ТИНРО и Аляскинского центра.

Технология обработки акустических данных, с использованием отмеченных ранее программных средств, строилась на принципе детальной стратификации района работ с учетом размерного состава скоплений минтая. В основе такого подхода лежат следующие посылки: акустическое изображение скопления достаточно адекватно отображает пространственное распределение и поведение скопления на определенном участке пути в определенный интервал времени суток; изменение вида акустического изображения служит индикатором смены поведения и, возможно, размерно-возрастных характеристик рыбы и подлечит проверке контрольным тралением; в случае наличия записей объекта в разных горизонтах глубины контрольные траления выполняют для идентифи-

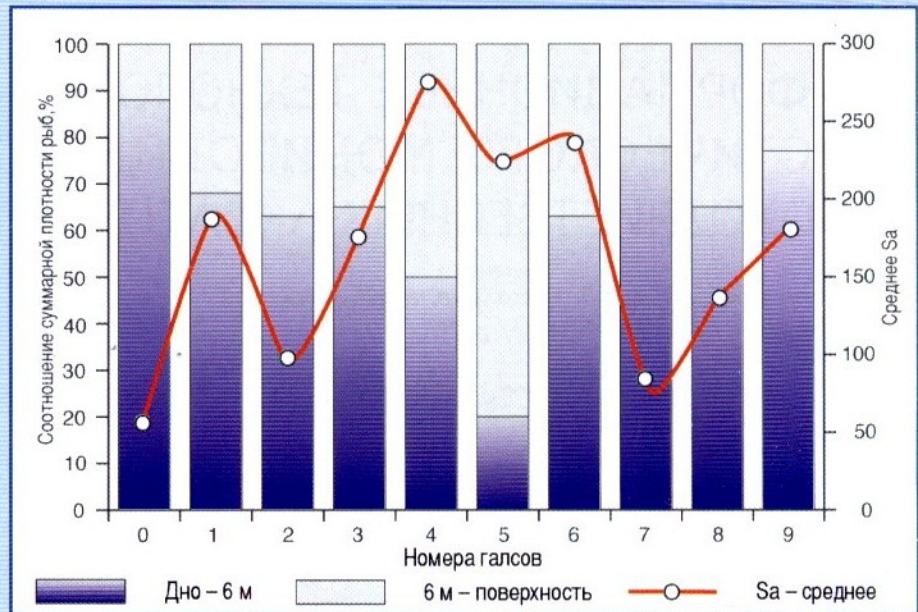


Рис. 1. Соотношение поверхностной плотности (Sa) скоплений минтая в пелагическом и донном слоях по галсам акустической съемки. Наваринский район, октябрь 1998 г.

кации каждого типа скоплений отдельно.

По мере поступления акустических данных в ходе съемки осуществляли эмпирический анализ эхограмм, учитывающий характер поведения объекта, тип распределения силы цели, результаты контрольного облова, опыт предшествующих работ в данном районе и др. В результате перманентно проводимого анализа акустической ситуации выделяли участки пути на галсах акустической съемки, соответствующие характерному акустическому описанию скопления с определенным размерным составом, подтверждаемым результатами контрольного траления на данном скоплении. В последующем такой участок пути назывался стратой, а соответствующий скоплению размерно-частотный ряд — размерно-частотным ключом, используемым в дальнейшем при расчете численности и биомассы идентифицированного скопления на данном отрезке акустического галса.

По завершении процедуры выделения страт в базе данных пополнялся ряд таблиц с границами страт, трансектов, размерными ключами и др. В системе постпроцессорной обработки FAMAS выбираются необходимые фрагменты эхограмм. Из обработки исключаются акустические изображения, связанные с уходом с галса и выполнением контрольных тралений.

В пределах анализируемого акустического изображения выделяли слой (область), соответствующий изображению обрабатываемого скопления и рассчитывали относительную плотность, биомассу, численность, распределение биомассы и численности по размерному ряду с учетом длины интервала интегрирования, шага по глубине и расстояния между трансектами. В ходе данной съем-

ки при обработке в системе FAMAS использовался шаг по глубине 10 м и 0,5 мили по ходу судна.

Результаты записывали в файлы, доступные для последующей обработки в системе Excel. При интегрировании использовали порог по уровню объемного рассеяния равный — 69 dB, а для расчета силы цели минтая выражение $TS=20\log L-66$ (Traynor, 1996). Алгоритм перехода от относительной плотности скоплений к абсолютной в виде численности и биомассы подробно изложен MscLennan и Simmonds (1992).

Таким образом, в результате последовательной обработки акустических данных формировались оценки численности и биомассы вдоль трансектов с шагом 0,5 мили и по глубине с шагом 10 м в пределах выделенных слоев с учетом межгалсового расстояния. Суммарная численность и биомасса для трансекта (или некоторого района в целом) получалась как сумма биомасс на обработанных участках пути и не интерполировалась на площади, где отсутствовали эхозаписи минтая.

В ходе рейса проводили экспериментальное апробирование одного из практических способов расчета геометрических параметров акустической зоны тени и соответствующих поправочных коэффициентов для оценки запасов донных рыб по методике ПИНРО. Выражения для расчета коэффициентов компенсации зоны тени (Мамылов, Ратушный, 1996), были реализованы в виде программ, включенных в систему вторичной обработки, и использовались в ходе съемки для коррекции результатов акустических измерений. Учитывая, что вертикальное раскрытие донного трала составляло около 6 м, при обработке эхограмм вводились два донных канала:

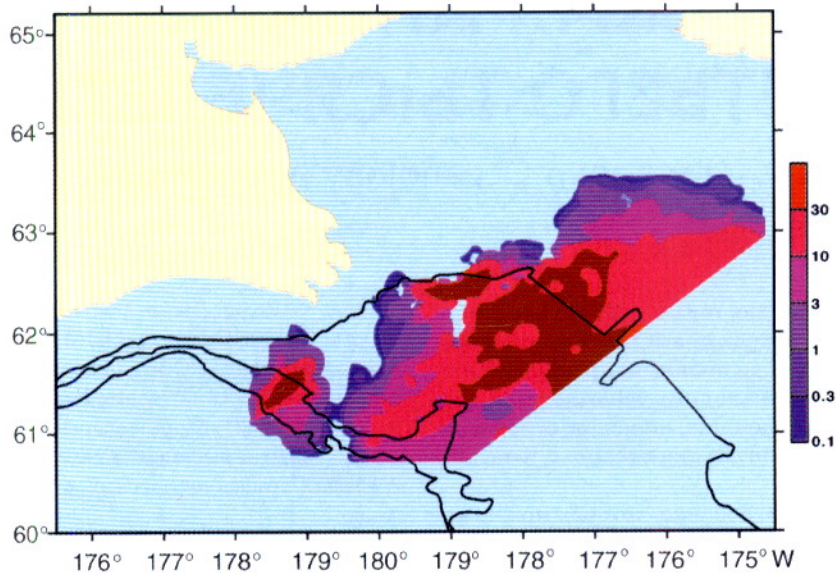


Рис. 2. Пространственное распределение пелагических скоплений наваринского минтая (тыс. экз./миль²) по результатам акустической съемки в октябре 1998 г.

первый от 6 до 2 м над грунтом, второй — от 2 м до дна. Прекращение интегрирования во втором канале определялось характером дна. При достаточно ровном грунте, отсутствии качки судна и т.п. оказывалось возможным уменьшение данной величины до 0–0,2 м, что, естественно, повышало точность оценки плотности распределения придонных гидробионтов акустическим методом.

При обработке результатов съемки величина относительной плотности S_a во втором донном канале умножалась на соответствующий программно вычисляемый коэффициент компенсации. Во время донных тралений в шестиметровом придонном слое проводили сопоставление величин S_a рассчитанных по величине улова (Юданов, 1992; Мамылов, 1989) и акустическим способом с учетом коэффициента компенсации зоны тени. Если рассчитанная по улову величина S_a в два раза или более превосходила донную составляющую, полученную акустическим способом, то в качестве истинной интенсивности в районе траления принимали значение величины S_a , рассчитанной по величине улова.

Общая площадь района акустической съемки, на которой обрабатывали акустические измерения с расчетом численности и биомассы скоплений, составила 19720 миль², в том числе в Анадырском заливе, Наваринском районе и северной части Корякского побережья — 13640, Олюторско-Карагинском районе — 4160, в районе Корякского побережья — 1380 и в районе залива Озерной — 540 миль² с различной дифференциацией по донному, придонному и пелагическому слоям для каждого из подрайонов.

Акустическая съемка началась в северо-восточной части Анадырского залива 4 октября. Выделенный в ходе

съемки ареал пространственного распространения минтая в Наваринском районе и Анадырском заливе находился примерно в границах 178° в.д.—175°30' з.д. 60°30'—63°30' с.ш. (галсы 0–12). Скопления минтая в районе наблюдались преимущественно в виде разреженных дисперсных слоев в придонном слое (до 50 м над грунтом), в виде косячков с вертикальным развитием 12–20 м над грунтом, образующих локальные пространственные сгущения небольшой протяженности до 0,5–1,5 мили и в виде слоев небольшой протяженности с вертикальным развитием порядка 10–15 м в 6–10-ти м над грунтом.

Более высокая плотность скоплений наблюдалась преимущественно в районе донного слоя 0–6 м над грунтом. Данное положение хорошо иллюстрирует приведенная на рис. 1 диаграмма, показывающая соотношение поверхностной плотности скоплений (S_a) в придонном и донном слоях по галсам акустической съемки в Наваринском районе. Исключение составили галсы 4–5, на которых преобладавшие здесь двух–трех годовики минтая образовывали скопления, расположенные в 6–50-ти м над грунтом.

В результате анализа акустических описаний скоплений, характеристик силы целей, результатов контрольных тралений в северо-западной части Берингова моря было выделено семь страт с соответствующими размерно-возрастными параметрами скоплений. Сформированные размерно-частотные ключи использовались в системе интерактивной вторичной обработки при расчете биомассы и численности минтая в пределах выделенных страт.

Распределение пелагических скоплений минтая (тыс.экз./миль²) по результатам акустической съемки в Нава-

ринском районе показано на рис. 2. Следует отметить довольно сложный характер картины пространственного распределения плотности минтая, что возможно определяется сложными гидрологическими процессами в районе съемки. Наиболее плотные концентрации, состоящие из двух–трех годовиков минтая, наблюдались в центральной части района съемки, непосредственно примыкающей к конвенционной линии, и южнее мыса Наварин. В целом для данного района в 1998 г. было характерно большее вертикальное развитие скоплений вблизи конвенционной линии с последовательным его уменьшением и, соответственно, ослаблением плотности скоплений при движении по галсам в северо-западном направлении. По данным акустической съемки в 1998 г. в Наваринском районе скопления минтая были менее плотные и менее значительно меньший ареал распространения, чем в 1997 г. Косвенным подтверждением этому служат и результаты промысла в районе, характеризовавшиеся неустойчивой промысловой обстановкой и невысокими, по сравнению с 1997 г., уловами на усилие.

Результаты опытной эксплуатации системы в условиях эхоинтеграционной съемки показали высокую эффективность разработанных программных средств. Использование системы FAMAS позволило начать ведение интегрированной базы данных акустических и сопутствующих биологических измерений по Западному шельфу Берингова моря.

Данную систему, близкую по функциональным возможностям к BI-500, устанавливают на платформе IBM совместимого PC, что расширяет практические возможности постпроцессорной обработки акустических данных с использованием широко распространенного класса средств вычислительной техники. При необходимости минимизации комплекта вычислительных средств в судовых условиях допускается использование персональных компьютеров типа Notebook. В этом случае необходима комплектация Notebook сетевой картой и внешними (встроенными) накопителями достаточной емкости для хранения данных.

В настоящее время в ТИНРО-центре программные средства FAMAS — базовые при выполнении эхоинтеграционных съемок в Беринговом и Охотском морях. В последующем предполагается развитие системы в направлении расширения функциональных возможностей, включения в состав программных средств алгоритмов обработки акустических изображений в реальном масштабе времени, расширении возможностей графического отображения результатов обработки и др.