

УДК 639.2.001.5:629.124.68:551.463.288

**Нормирование характеристик шумового поля
рыбохозяйственных НИС с целью минимизации его влияния
на поведение рыб при промыслово-акустической съёмке***Д. Е. Левашов*

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии
(ФГБНУ «ВНИРО», г. Москва)
e-mail: levashov@vniro.ru

В статье рассмотрены основные вопросы, касающиеся создания нового поколения НИС для рыбопромысловых исследований. Во введении показано, что традиционные концепции построения научно-промысловых судов уже не могут быть использованы для строительства НИС — необходимы новые подходы. На основе динамики строительства зарубежных НИС последних десятилетий XX в. и результатов проведённых исследований поведенческих реакции рыб на изменение шумового поля показаны предпосылки создания исследовательских судов нового поколения. Рассмотрены результаты исследований, проведённых инициативной группой учёных, сформировавшейся в начале 1990-х гг. при ИКЕС и занимавшейся этими работами, приведены элементы анализа, основные выводы и рекомендации по снижению уровня судовых шумов, излучаемых в воду, которые были опубликованы в работе, известной как «Рекомендации ИКЕС № 209». Приведены сравнительные графики шумовых характеристик наиболее известных судов и названы причины, обусловившие их достоинства и недостатки. Обобщены условия снижения уровня шума, требуемые при проектировании НИС нового поколения. Как один из основных результатов появления Рекомендаций ИКЕС приведены примеры новых положений в зарубежной нормативно-юридической базе в отношении снижения уровня судовых шумов. В заключение указано, что с 1998 г. по настоящее время во всём мире построено более полусотни судов нового поколения, которые в той или иной степени занимают рыбопромысловыми исследованиями, причём большая часть из них является специализированными научно-рыболовными судами, т.е. практически все промысловые районы Мирового океана уже исследуются с применением малошумных судов. В ближайшем будущем число НИС нового поколения возрастёт ещё больше, и уже сейчас многие международные организации избегают принимать данные съёмки, полученные на судах, не соответствующих Рекомендациям ИКЕС, считая их недостоверными.

Ключевые слова: Рекомендации ИКЕС № 209, рыбопромысловые исследования, НИС, рыбопромысловые НИС, подводные шумы, правила классификации судов.

ВВЕДЕНИЕ

В конце 80-х — начале 90-х гг. XX в. за рубежом в строй вступало примерно от 3 до 6 научно-промысловых судов ежегодно. Однако после 1993 г. число новостроя резко сократи-

лось, и только после 1998 г. постепенно стало расти вновь [Левашов и др., 2007]. Что же случилось?

Обнаружилось, что результаты промыслово-акустических съёмок, проводимых на наших

и зарубежных обычных научно-промысловых судах в сравнении с результатами параллельных съёмок, проводимых на новейших судах со сниженным уровнем шумоизлучения (в основном в диапазоне работы гидроакустической аппаратуры), оказались весьма неоднозначны. Сравнение с результатами, полученными аппаратурой, установленной на буксируемых аппаратах и буйковых станциях, также показало, что регистрируемое ими обилие промысловых объектов значительно превышает оценку, полученную на обычных судах. Таким образом, стало ясно, что привычные концепции построения научно-промысловых судов уже не могут быть использованы для строительства новых НИС — необходимы новые подходы.

РЕКОМЕНДАЦИИ ИКЕС № 209 как шаг к НИС нового поколения

При предварительной оценке достоверности результатов тралово-акустических съёмок оказалось, что плотность скоплений рыб разных видов может снижаться от 40 до 90% из-за их ухода от судна, совершающего акустическую съёмку. Например, специально проведённые исследования по оценке численности пелагических стайных рыб гидроакустическими методами в научно-промысловых рейсах ВНИРО на РТМ—С «Возрождение» (рис. 1.) показали значительную недооценку их биомассы, подтверждаемую и результатами траловых уловов. При этом активная реакция косяков и отдельных рыб фиксировалась уже на дистанциях 250–280 м и выражалась изменением курса движения в сторону от суд-



Рис. 1. РТМ—С «Возрождение»

на на угол до 90° , заныриванием до глубины в 200 м, увеличением скорости движения от 1,5 до 4 узлов [Гончаров, Кудрявцев, 1989]. Так, в случае со ставридой только в результате ухода рыб в горизонтальном направлении недооценка составляла 35–65% [Гончаров и др., 1991].

Подобные результаты были получены и зарубежными исследователями. Например, северо-восточная арктическая треска реагирует на судно, начиная с дистанции 200 м [Opa, Torgesen, 1988]. Реакция рыб тем сильнее, чем меньше глубина. Она также может зависеть от сезона года, времени суток, температуры воды и других факторов, однако наиболее вероятной причиной ухода как отдельных рыб, так и целых косяков является повышенный уровень шума, излучаемого судном в диапазоне слуховой чувствительности промысловых видов рыб.

Показательным примером реакции арктической сельди на прохождение судна могут служить эксперименты с буюм, оснащённым эхолотом [Godo, Totland, 1999; Godo et al., 1999]. В левой части рис. 2 представлена эхограмма временной динамики распределения сельди во время прохождения НИС Johan Hjord (рис. 3) на скорости 10 узлов мимо буя при минимальном расстоянии от него порядка 8–10 м (время 00:00 час) и максимальном (до и после) — около 1200 м [Knudsen, Mitson, 2002]. График, приведённый в правой части рис. 2, позволил оценить и количественные результаты эксперимента. Метки времени указывают, когда уровень судовых шумов начинает беспокоить рыбу (0 мин — минимальная дистанция до буя), заставляя уходить её на глубину. Как показали измерения, сельдь начинает реагировать на расстоянии примерно 540 м от судна (за 1,75 минут до минимальной дистанции между судном и буюм). Максимальный уровень шума от судна при этом составлял 159 дБ ($1 \mu Pa$, 1 м) на частоте в 100 Гц.

Инициатором проведения такого рода экспериментов явилась группа специалистов по оценке промысловых запасов из стран, ведущих исследования в промысловых районах Северной Атлантики, которая сформировалась в начале 1990-х гг. при ИКЕС. Результаты проведённых исследований, их анализ,

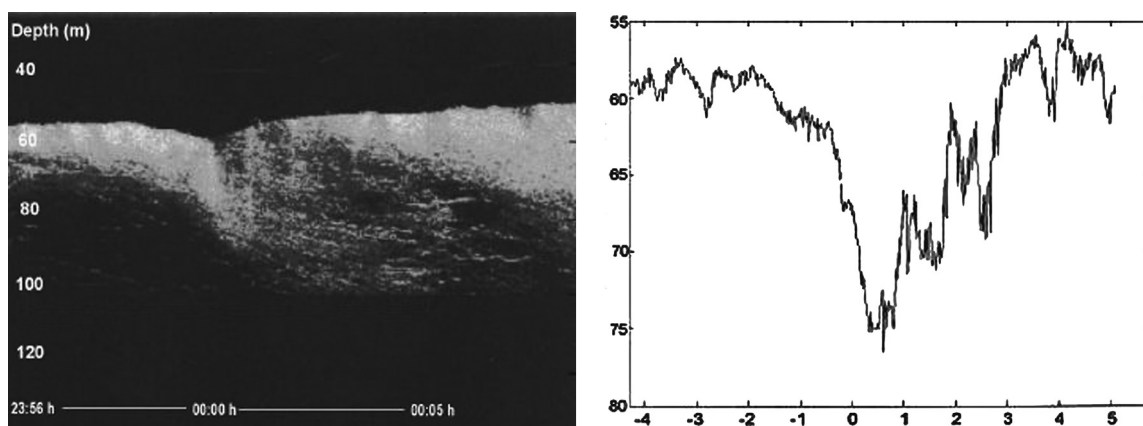


Рис. 2. Эхограмма (слева) временной динамики распределения сельди во время прохождения НИС Johan Hjord мимо буя с регистрирующей гидроакустической аппаратурой и сопутствующий график (справа) средней глубины отраженного сигнала (по вертикали глубина, по горизонтали — метки времени)

основные выводы и рекомендации опубликованы в работе, известной как «Рекомендации ИКЕС № 209» (далее — Рекомендации ИКЕС) [Mitson, 1995].

Основная часть исследований была посвящена анализу доступной информации, касающейся шумов в море, «слуховых» способностей рыб и их реакции на окружающий шум. Оказалось, что такие рыбы, как треска, сельдь и им подобные, обладают частотно-избирательной чувствительностью к шуму, т.е. способны улавливать шум в диапазоне примерно от 0,1 Гц до 1,2 кГц, в зависимости от вида рыбы. При этом максимальная слуховая чувствительность варьирует примерно на частоте от 20 до 300 Гц для большинства особей, однако некоторые из них могут различать звуковые колебания высокой интенсивности на более высоких частотах (более 10 кГц). Наибольшая чувствительность для сельди соответствует уровню шумов примерно в 75 дБ (при давлении 1 мкПа на расстоянии в 1 м) в интервале частот между 20 Гц и 1,2 кГц. Для трески подобная чувствительность приходится примерно на частоты 100—300 Гц. Восприимчивость к звукам может возрастать в соответствии с размерами рыбы и их физиологическим состоянием.

Было доказано, что для каждого вида существует так называемый реакционный порог, или реакционная дистанция, когда рыбы стараются уплыть как можно дальше от судов, являющихся источником шума, превышающего их слуховой порог на 30 дБ или больше. При

этом в низкочастотном диапазоне (1 Гц — 1 кГц) для большинства научных судов реакционная дистанция варьирует от 100—200 м. Для промысловых судов (с худшими шумовыми характеристиками) реакционная дистанция может достигать до 400 м. При этом следует учитывать, что во время тралирования уровень шума, издаваемого судном, повышается на 5—15 дБ.

Одновременно исследовались характеристики шумовых полей, присущих научно-рыболовным судам с пропульсивными комплексами различных типов. Была выработана методика и сняты индивидуальные шумовые характеристики многих научно-рыболовных судов, используемых для исследования промысловых запасов Северной Атлантики, т.е. для каждого судна снята так называемая шумовая подпись судна.

Понятно, что для судовых научно-промысловых исследований необходимо уменьшить реакционную зону судов, вне которой не должно происходить никакого нарушения естественного распределения и поведения рыб. Учитывая то, что пределы уровня шума, который позволит предотвратить уход рыбы от судна, зависят от физических факторов и физиологического состояния рыб, эмпирически было принято, что дистанция в 20 м будет необходима и достаточна. Большая дистанция будет снижать репрезентативность получаемой акустической информации, а меньшая не выгодна, так как несоизмеримо увеличиваются затраты на её достижение.



Рис. 3. Рыболовное НИС Johan Hjørt (Норвегия, 1990)

В результате были выработаны следующие требования, которые ИКЕС рекомендует учитывать при съёмках промысловых запасов:

1. Суда, которые используются для рыболовных исследований, независимо от того, является ли судно научно-исследовательским или чартерным (промысловым), должны на скорости до 11 узлов обладать уровнем шума, который не нарушает естественное состояние рыбных скоплений на расстоянии 20 м от судна в соответствии со следующей шумовой характеристикой:

- в границах от 1 Гц до 1 кГц не более $(135 - 1,66 \log f_{\text{Гц}})$ дБ;

- в границах от 1 до 100 кГц не более $(130 - 22 \log f_{\text{кГц}})$ дБ.

2. Указанные пределы уровней шума должны использоваться как стандарт во время подготовки спецификаций новых судов и разработки их проектов.

3. Уровень шума, излучённого судном в воду, должен регулярно контролироваться как при обычной эксплуатации судна, так и в случае возможного повреждения гребного винта.

4. Измеренные шумовые характеристики должны регламентировать возможности использования судов для промысловых исследований.

5. При обнаружении взаимосвязи известных (измеренных) характеристик судна с любой наблюдаемой реакцией рыб по уходу или с показаниями научно-исследовательских акустических приборов должны проводиться тщательные исследования. Любые полученные результаты таких наблюдений должны быть опубликованы, при этом любая подобная информация должна быть доступна представителям всех стран.

На рис. 4 представлено графическое изображение указанных Рекомендаций в виде границ, относительно которых в дальнейшем мы будем рассматривать шумовые поля судов.

Здесь и далее указывается уровень шума в дБ, приведённый относительно давления в 1 мкПа на расстоянии 1 м, причём в полосе 1 Гц. Однако реальные измерения частотного спектра шумов с полосой постоянной ширины в 1 Гц достаточно сложны и часто измерения производятся в полосах большей ширины [Кончаков, 2007], например в третьоктавном представлении.

Таким образом, возвращаясь к динамике строительства зарубежных НИС, можно констатировать, что после публикации Рекомендаций ИКЕС процесс создания всех западных проектов научно-рыболовных судов был прио-

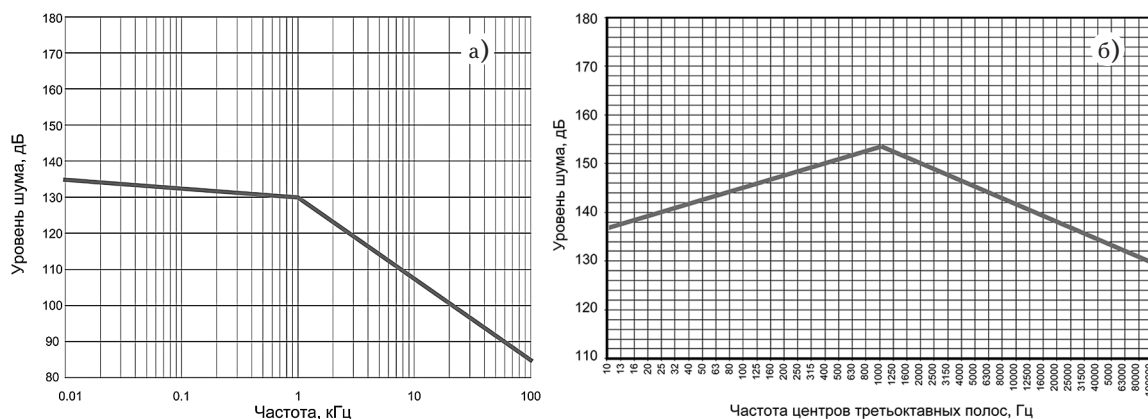


Рис. 4. Границы Рекомендаций ИКЕС № 209 в однократном (а) и третьоктавном представлении с соответствующей шкалой центральных частот (б)

становлен с целью их доработки. В результате появились суда нового поколения, принципиальным отличием которых является то, что их специально проектировали с целью максимально возможного снижения уровня шума, что обусловлено необходимостью оценки реальных значений величин плотности и размеров промысловых скоплений, не потревоженных шумами, издаваемыми судном, ведущим акустическую съёмку. На рис. 5 представлены графики, позволяющие сравнить уровни шума НИС старого поколения (коричневый цвет,

НИС Johan Hjort (рис. 3)) и НИС нового поколения (синий цвет, G. O. Sars (рис. 6)).

На том же рисунке представлены и реакционные границы слуховой чувствительности основных видов промысловых рыб (зелёный цвет) на фоне реакционной шумовой границы (красный цвет), проведённой в соответствии с основными положениями Рекомендаций ИКЕС.

Публикация этих Рекомендаций в 1995 г. явилась переломным моментом в создании научно-рыболовных судов; сами Рекомендации

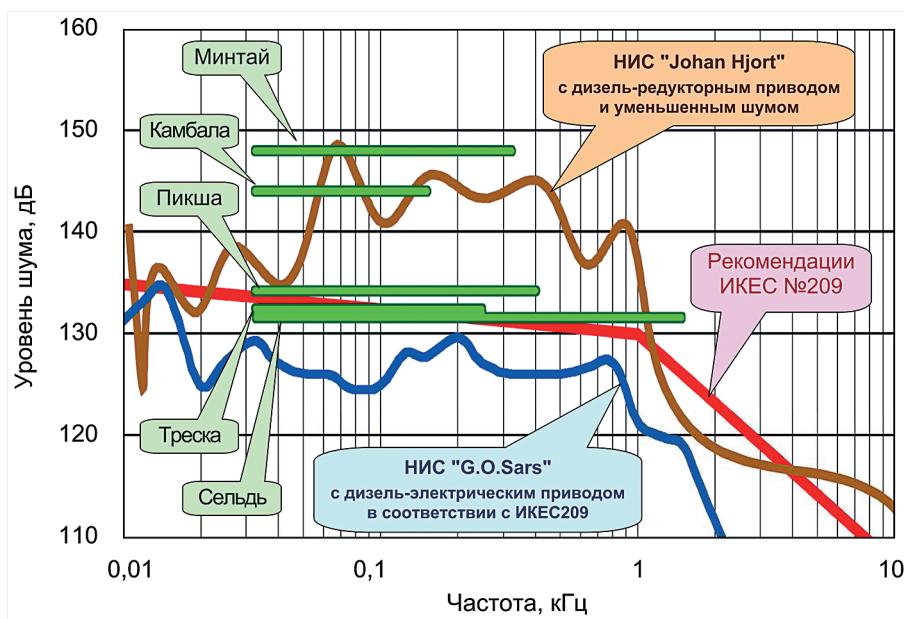


Рис. 5. Уровни слуховой чувствительности промысловых видов рыб на фоне шумовых характеристик НИС с различными типами привода и рекомендаций ИКЕС № 209 (пояснения в тексте)



Рис. 6. НИС нового поколения G. O. Sars

стали своеобразным стандартом *de facto* для судостроителей, а все НИС, которые теперь проектируются с их учётом, во всём мире принято именовать «НИС нового поколения». Более того, Норвежское независимое классификационное и сертификационное общество «Веритас» — DNV (Det Norske Veritas) с 1 января 2010 г. ввело дополнительные правила классификации судов (Rules for Classification of Ships) по уровню шумов, излучаемых в воду (Silent class notation) [Rules..., 2010].

В соответствии с Регистром DNV, требования по уровням излучаемых судами шумов подразделяются на 5 классов, которые предусматривают четыре вида типовых операций: акустика, сейсмика, рыболовство, научные исследования, а также нетиповые операции, включающие в себя работу и переходы с регулируемым (контролируемым) уровнем шумов для снижения вреда окружающей среде. Процедуры измерения излучаемых в воду шумов, необходимые для получения класса по подводным шумам или сертификата соответствия, должны проводиться в соответствии со специальными требованиями DNV: или самим DNV, или организацией, получившей одобрение DNV.

Для рыбохозяйственных исследований наиболее важными являются класс Silent-F и класс Silent-R [Левашов, Яковленков, 2010]:

Silent-F — суда, занимающиеся рыболовством. На рис. 7 представлены максимально допустимые уровни шумов в 1/3 октавных полосах частот для класса Silent-F.

До проведения испытаний Обществу (DNV) сообщаются значения скоростей судна, при которых обычно используется гидроакустическое рыбопоисковое оборудование. Значения скоростей должны содержать максимально допустимую скорость, при которой используется основное гидроакустическое оборудование, а также ожидаемые рабочие скорости для большинства операций. Основываясь на полученной информации, Общество определит скорость (скорости), на которой будут проводиться испытания.

Для обеспечения условий траления судно будет тащить свой обычный трал или альтернативный объект с эквивалентным тяговым усилием на дистанции как минимум 150 м от судна на 4 узлах или наибольшей допустимой скорости, если она меньше 4 узлов. Трал или альтернативный объект не должны касаться грунта.

Silent-R — суда, привлекаемые для проведения научных исследований или для выполнения других операций, критичных к шуму. Максимально возможные уровни шумов в 1/3 октавных полосах частот для научно-исследовательских судов представлены на рис. 8.

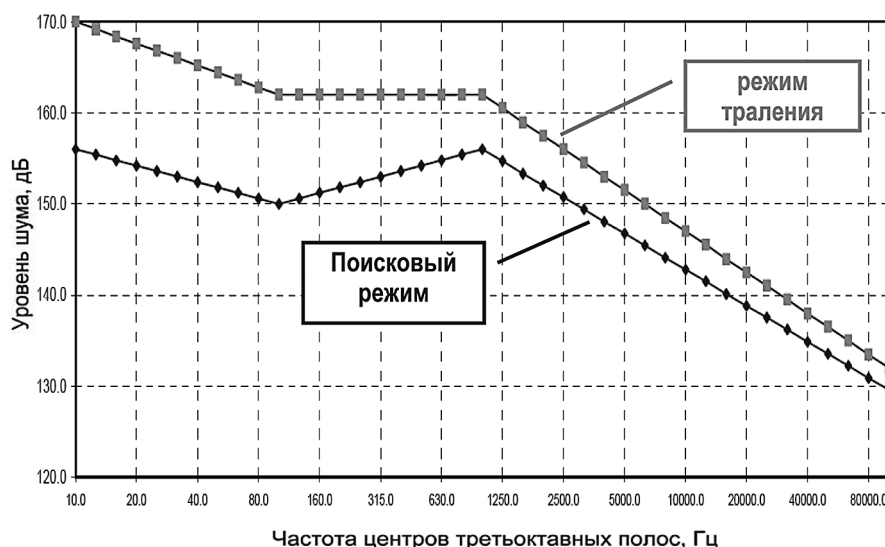


Рис. 7. Максимально допустимые уровни шумов в 1/3 октавных полосах частот для рыболовных судов Silent-F

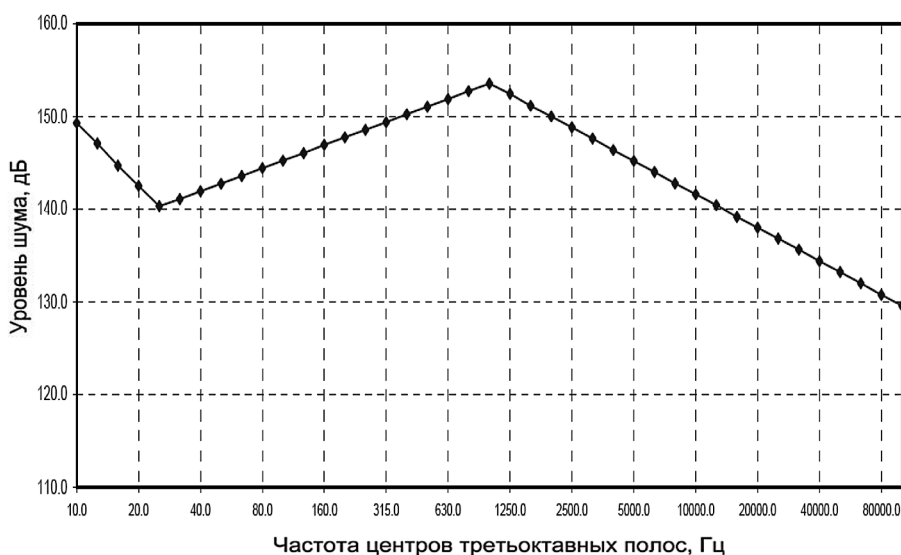


Рис. 8. Максимально возможные уровни шумов в 1/3 октавных полосах частот для научно-исследовательских судов класса Silent-R

Измерения должны осуществляться при использовании только того оборудования и двигателей, которые необходимы для достижения и поддержки постоянного режима исследований и оговоренной скорости хода судна без буксировки какого-либо объекта и без использования подруливающих устройств.

Для обоих классов измерения проводятся на скорости 11 узлов, если максимальная длина судна больше 50 метров. Если эта длина меньше или равна 50 м, то измерения проводятся при скорости 8 узлов. Максимально допусти-

мые уровни шумов, указанные на рис. 7 и 8, соответствуют значениям, приведённым в Рекомендациях ИКЕС № 209 за исключением модифицированного участка для частот ниже 25 Гц (рис. 8).

Несмотря на отсутствие нормативных документов в период с 1995 г. по 2010 г., практически все НИС Европы и США уже строились с учётом Рекомендаций ИКЕС № 209 и соответствуют требованиям по уровню шумов, излучаемых в воду, о чём свидетельствуют имеющиеся у них так называемые аку-

стические паспорта. Для их получения НИС нового поколения должны были проходить своеобразную аттестацию на специальных гидроакустических полигонах, где измерения шумов проводятся в частотном диапазоне от 10 Гц до 100 кГц по специальным методикам, которые первоначально разрабатывались в соответствующих службах национальных ВМФ, а затем приспособлялись к рыбопромысловым целям.

Преимущества НИС нового поколения при ведении акустических съёмок проиллюстрированы на рис. 9, где показаны зоны равного шума от НИС старого поколения Johan Hjord с дизель-редукторной установкой малой шумности (на промысловых судах эта зона достигает 400 м) и от НИС нового поколения G. O. Sars, разработанного уже с учётом Рекомендаций ИКЕС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несомненный успех в создании рыболовных НИС нового поколения сказался в последние годы и на строительстве зарубежных НИС иного назначения, особенно многофункциональных НИС и экспедиционных судов высоких широт. Так как они часто ведут попутную акустическую съёмку, в ТЗ на их

проекты обязательно указывается необходимость соответствия Рекомендациям ИКЕС, а пропульсивный комплекс использует принцип электродвижения со всеми сопутствующими технологиями. В то же время концепция «НИС нового поколения» стала использоваться и при создании НИС с учебными функциями, для которых рыбопромысловые исследования также являются одним из направлений использования.

Большинство уже построенных европейских судов предназначено для промысловых исследований в северной части Атлантики и примыкающих морях. С вводом в строй новых судов США и Канады такое положение устанавливается и в северной части Тихого океана. На юге Тихого и Атлантического океанов уже начали работу новые испанские НИС. Недавно к ним подключились чилийское, мексиканское, австралийское и несколько японских (в том числе учебных) НИС нового поколения. Британские экспедиционные НИС нового поколения работают в водах Арктики и Антарктики.

Таким образом, с 1998 г. по настоящее время во всём мире построено более полусотни судов нового поколения, которые в той или иной степени занимаются рыбопромысловыми исследованиями, причём большая часть из них

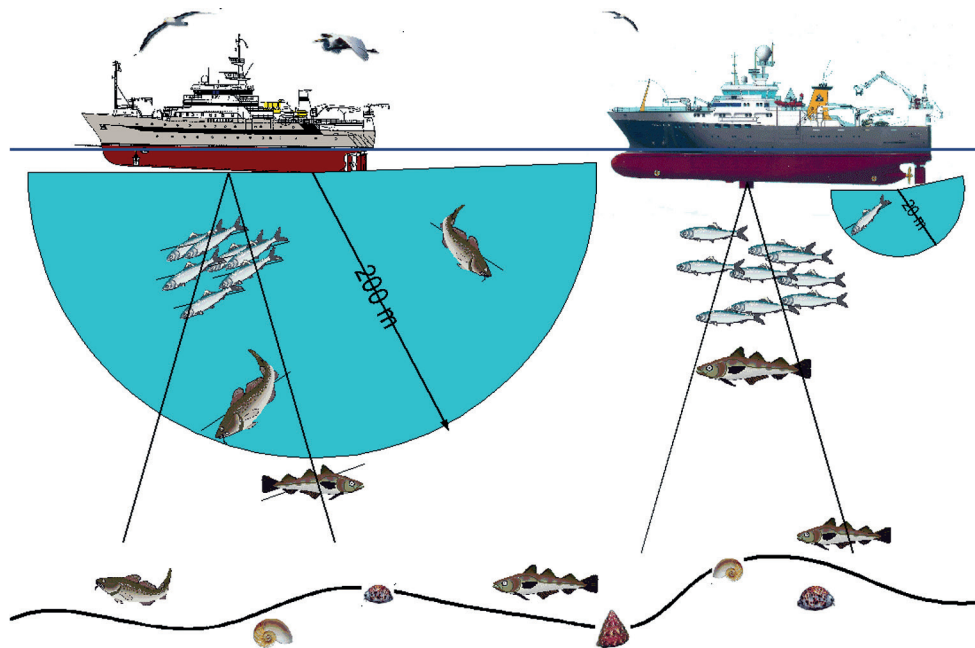


Рис. 9. Зоны равного шума от НИС с обычной дизельной (слева — Johan Hjord) и дизель-электрической СЭУ (справа — G. O. Sars); рисунок взят с Интернет-сайта Института морских исследований в Бергене (Норвегия)

является специализированными научно-рыболовными судами. В общем, получается, что практически все промысловые районы Мирового океана уже исследуются с применением малошумных судов, а в ближайшем будущем число НИС нового поколения возрастет ещё больше, так как уже сейчас многие международные организации избегают принимать данные съёмки, полученные на судах, не соответствующих Рекомендациям ИКЕС, считая их недостоверными. До настоящего времени в России таких судов пока нет.

ЛИТЕРАТУРА

- Гончаров С.М., Кудрявцев В.И. 1989. Результаты использования гидролокатора одновременно кругового обзора // Рыбное хозяйство. № 12. С. 63–65.
- Гончаров С.М., Борисенко Э.С., Пьянов А.И. 1991. Влияние рыболовного судна на поведение стай ставриды // Рыбное хозяйство. № 3. С. 52–54.
- Кончаков Е.И. 2007. Техническая диагностика судовых энергетических установок. Владивосток: Изд-во ДВГТУ. 112 с.
- Левашов Д.Е., Яковленков Е.А. 2010. Зарубежная нормативно-юридическая база в отношении снижения уровня судовых шумов, инициированная Рекомендациями ИКЕС // В кн.: Левашов Д.Е. Современные суда и судовое оборудование для рыбопромысловых исследований. М.: Изд-во ВНИРО. С. 48–52.
- Левашов Д.Е., Яковленков Е.А., Черноок В.И. 2007. Современные тенденции развития и особенности новых судов для рыбопромысловых исследований // Рыбное хозяйство. № 3. С. 11–15.
- Godo O.R., Somerton D., Totland A. 1999. Fish behaviour during sampling as observed from free floating buoys. Application for bottom trawl survey assessment. ICES CM 1999/J:10. 14 p.
- Godo O.R., Totland A. 1999. Bergen Acoustic Buoy (BAB) — A Tool for the Remote Monitoring of Marine Resources. Joint IASA/EASA Meeting, Berlin, March 1999. Paper 210. 4 p.
- Knudsen H.P., Mitson R.B. 2002. Some causes and effects of underwater noise on fish abundance estimation

// 6th ICES Symposium on Acoustics in Fisheries and Aquatic Ecology, Montpellier (France), 10–14 June, 2002. 11 p.

Underwater noise of research vessels: Review and recommendations. 1995 / Ed. R. B. Mitson // ICES Coop. Res. Rep. № 209. Copenhagen: ICES. 61 p.

Ona E., Toresen R. 1988. Reactions of herring to trawling noise // ICES. Doc. C.M. 1988/B:36. 8 p.

Rules for Ships, January 2010. 2010. Pt. 6 Ch. 24. DNV. 18 p.

REFERENCES

- Goncharov S.M., Kudryavtsev V.I. 1989. Rezultaty ispolzovaniya gidrolokatora odnovremennogo krugovogo obzora [The results of multipoint azimuth search sonar using] // Rybnoe khozyajstvo. № 12. S. 63–65.
- Goncharov S.M., Borisenko E.S., P'yanov A.I. 1991. Vliyanie rybolovnogo sudna na povedenie staj stavridy [Fishing vessel effect on horse mackerels stocks behavior] // Rybnoe khozyajstvo. № 3. S. 52–54.
- Konchakov E.I. 2007. Tekhnicheskaya diagnostika sudovyh energeticheskikh ustanovok [Technical diagnostics of propulsive machineries]. Vladivostok: Izd-vo DVGTU. 112 s.
- Levashov D.E., Yakovlenkov E.A. 2010. Zarubezhnaya informativno-yuridicheskaya baza v otnoshenii snizheniya urovnya sudovyh шумов, initsiirovannaya Rekomendatsiyami ICES // V kn.: Levashov D.E. Sovremennye suda i sudovoe oborudovanie dlya rybopromyslovyh issledovaniy [Foreign regulatory and legal framework on reducing ship noise initiated by ICES Recommendations // In: Levashov D.E. Modern research vessels and their equipment for fishery investigations]. M.: Izd-vo VNIRO. S. 48–52.
- Levashov D.E., Yakovlenkov E.A., Chernook V.I. 2007. Sovremennye tendentsii razvitiya i osobennosti novykh sudov dlya rybopromyslovyh issledovaniy [Modern development tendencies and characteristics of new vessels for fisheries research] // Rybnoe khozyajstvo. № 3. S. 11–15.

Поступила в редакцию 24.05.15 г.
Принята после рецензии 04.06.15 г.

Characteristics rationing of fishing research vessels' noise field with the aim of minimization of its influence on fish behavior during fishery-acoustic survey

D. E. Levashov

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI "VNIRO", Moscow)

The main aspects of creation of new generation research vessels for fisheries investigations are reviewed in the article. Traditional concepts of scientific fisheries vessels' construction already couldn't be used in research vessels' building, because new approaches to this issue are needed. Premises of creation of new generation research vessels on the base of dynamics building of foreign research vessels of the last decades of XX century and the results of conducted studies of fish behavioral reaction on noise field changes are shown. The results have been fulfilled by initiative group of scientists, formed in the early 1990s under ICES. Some elements of analysis, main conclusions and recommendations on reducing of research vessels' noise radiated into water were published in the article known as "ICES Recommendations № 209". Comparative graphs of noise characteristics for the most famous vessels are presented and the reasons which determined their advantages and disadvantages are mentioned. Conditions of noise level reducing, required during the construction of new generation vessels, are summarized. The examples of foreign standard and juristic base in regard to reducing of research vessels radiated noise are presented. It is written in conclusion that since 1998 till present days more than 50 vessels of new generation were built worldwide; most of them more or less are busy with fisheries research and are specialized as scientific fisheries vessels, that is practically all fisheries areas of the World ocean are already being explored using low noise vessels. In the near future the number of new generation vessel will increase even more, and now many international organizations avoid to admit data surveys, which have been got on the vessels which do not match to ICES Recommendations № 209 considering them as doubtful.

Key words: ICES Recommendations № 209, fisheries research, research vessel (RV), fisheries research vessel (FRV), noise radiated into water, vessel classification rules.