

СЕЙСМОРАЗВЕДКА, ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА МОРСКУЮ БИОТУ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПНЕВМОИСТОЧНИКОВ НА ЗООПЛАНКТОН

И. А. Немчинова

Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является обобщение результатов отечественных и зарубежных исследований по воздействию пневмоисточников (ПИ) на некоторые пелагические сообщества (рыбы, зоопланктон, бентос) для получения количественных данных, необходимых при расчете ущерба морским биоресурсам.

Несмотря на многочисленность таких исследований, до сих пор нет однозначного мнения – опасна ли и насколько сейсмическая разведка для морских животных.

На сегодняшний день так называемая «официальная» точка зрения сводится к тому, что влияние ПИ на планктонные сообщества носит кратковременный и локальный характер, ограничивая зону воздействия ПИ радиусом до 1–1,5 м.

В настоящее время сейсморазведка составляет около 90% от общего объема геофизических исследований. С каждым годом она расширяет масштабы, охватывает многие продуктивные прибрежные и шельфовые районы Мирового океана, что вызывает необходимость проведения экологических исследований по выявлению влияния сейсморазведки на морские системы различных рангов. Необходимость экологических работ обусловлена еще несколькими причинами. Это появление и внедрение в практику нового сейсмического оборудования большей мощности, а также пересмотр предельно допустимых норм воздействия антропогенных факторов на окружающую среду.

Начиная с 1950-х гг. геофизические работы проводились с использованием взрывов зарядов конденсированных взрывчатых веществ (ВВ). В 1960-х, 1970-х гг. в сейсморазведку начинают внедряться иные устройства – с использованием газовых смесей, электроимпульсных излучателей и пневматических источников разных модификаций, а с 1987 г. в прикладной геологии используются, главным образом, пневмоисточники.

Для стандартизированных моделей ПИ в разное время проведены исследования по влиянию на отдельные группы гидробионтов на различных стадиях развития, проанализированы особенности физических процессов, протекающих вблизи источ-

ников волн давления (Тавризов, 1959; Солодилов и др., 1962; Яковлев, Масляников, 1963; Солодилов, 1965; Бирзняк, Кузичкина, 1966; Выскребенцев и др., 1968; Протасов, Круминь, 1969; Векилов и др., 1971; Векилов, 1973). Тем не менее, большинство проведенных исследований сводились лишь к качественному описанию последствий воздействия или касались отдельных частных вопросов, не давая возможности количественно оценить воздействие ПИ. Имеющиеся в литературе сведения о характере влияния пневмоисточников неоднозначны, а часто – просто противоречивы.

В настоящее время пневматические источники считаются одними из наиболее «мягких», с сугубо локальным и кратковременным действием на рыб и других гидробионтов. Большинство авторов считают, что упругая волна, возбуждаемая ПИ, не вызывает гибели рыб, планктонов и морских млекопитающих (даже наиболее чувствительных к этому воздействию), а если гибель и наблюдается, то ее величина намного меньше уровня колебаний естественной численности гидробионтов и быстро компенсируется механизмами саморегуляции морских экосистем (Балашканд, Ловля, 1977; Балашканд и др., 1980; Weinhold, Weaver, 1982; Оценка влияния..., 1989; Исследование пространственно-временных..., 1991).

По другим литературным источникам, действие пневмосигналов довольно значительно сказывается на выживаемости и биологических показателях некоторых групп гидробионтов, и в первую очередь личинок рыб и отдельных таксонов (и стадий развития) зоопланктона (Kostyuchenko, 1973; Экспертное заключение..., 1998; McCauley et al., 2000; Исследование воздействия..., 2005).

Совершенно обособленное место в этом вопросе занимает воздействие сейсморазведки на промысловые скопления рыб. По мнению ряда авторов, при сейсмопрофилировании на акватории с плотными скоплениями рыб может произойти рассеяние последних на значительной площади, что ухудшит промысловую обстановку и сократит уловы на некоторое время (Chapman, Hawkins, 1969; Hill, 1978; Richardson et al., 1985, 1986, 1991; Dalen, Knutsen, 1987; Løkkeborg, 1991; Skalski et al., 1992; Engas et al., 1993; Løkkeborg, Soldal, 1993).

Методы проведения сейсморазведки

Методика проведения морских сейсморазведочных работ заключается в следующем: научно-исследовательское судно движется строго по заданному курсу (профилю) и буксирует за собой группу («батарею») линий источников (или одиночный источник) сейсмических колебаний, а также приемные устройства – сейсмокоды, представляющие собой цепочки гидрофонов, помещенные в пластичную трубку, заполненную легкой жидкостью (например, керосином) длиной 3600–6000 м, и сгруппированные в несколько каналов (рис. 1) (Маттер, 1986; Влияние на гидробионты..., 1995). Через строго определенные промежутки времени (от 8 до 20 сек.) источники излучают в толщу воды короткие акустические сигналы частотой 5–120 Гц, которые, проходя сквозь толщу осадочных пород, отражаются от границ раздела между пластами с различными плотностями и возвращаются к поверхности, где принимаются регистрирующей аппаратурой. Пневмопушки представляют собой металлические камеры, обычно объемом от 0,5 до 5,0 л, в которые под давлением до 160–180 атм. закачивается сжатый воздух. Сейсмические волны инициируются путем резкого выхлопа сжатого воздуха из этих камер (рис. 2). Пневмоисточники чаще всего группируются в линии и «батареи» (пространственные излучающие системы линейные и площадные). Каждая линия с пневмоисточниками имеет определенную конфигурацию и может содержать как одиночные, так и парные источники возбуждения упругих волн (рис. 3).

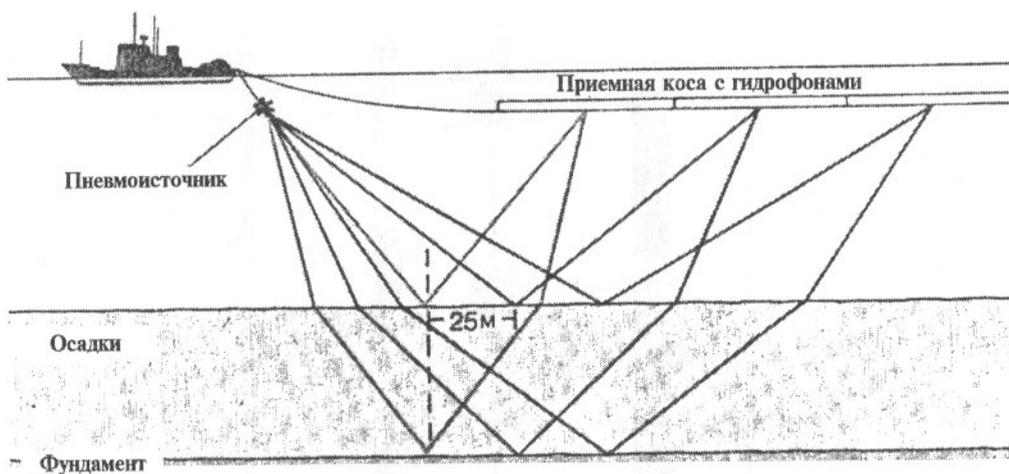


Рис. 1. Схема проведения сейсморазведки на акватории

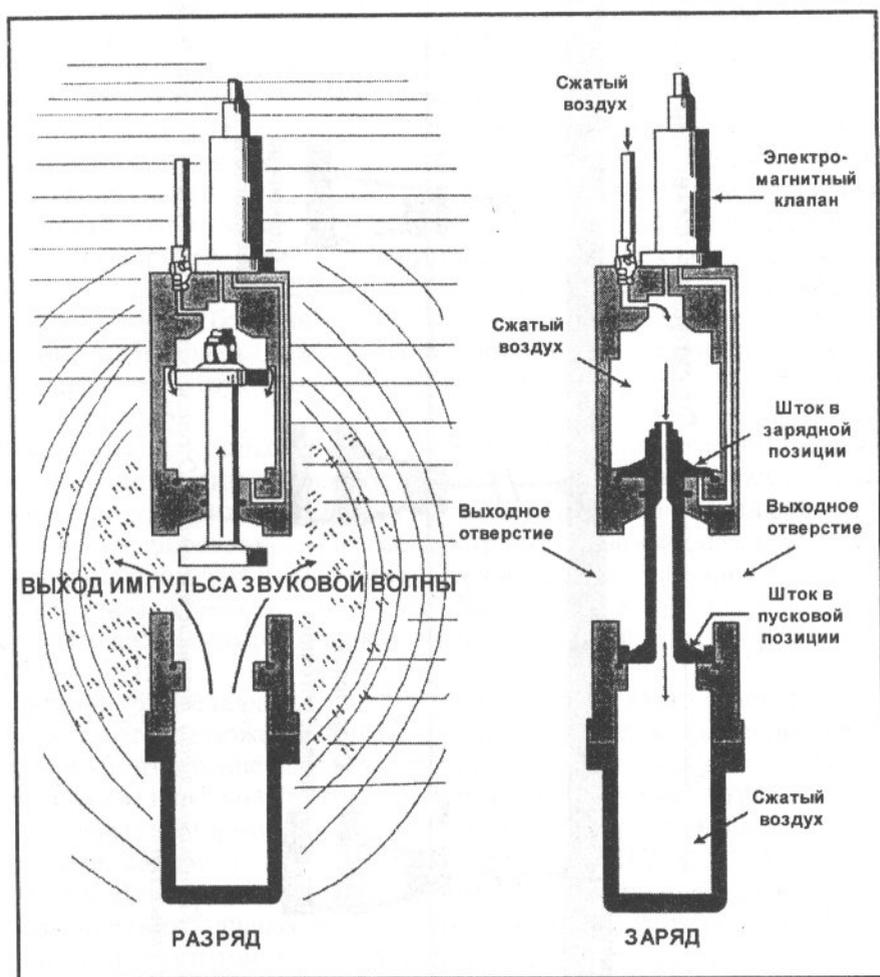


Рис. 2. Схема двухкамерного пневмоисточника упругих волн, применяемого в сейсморазведке

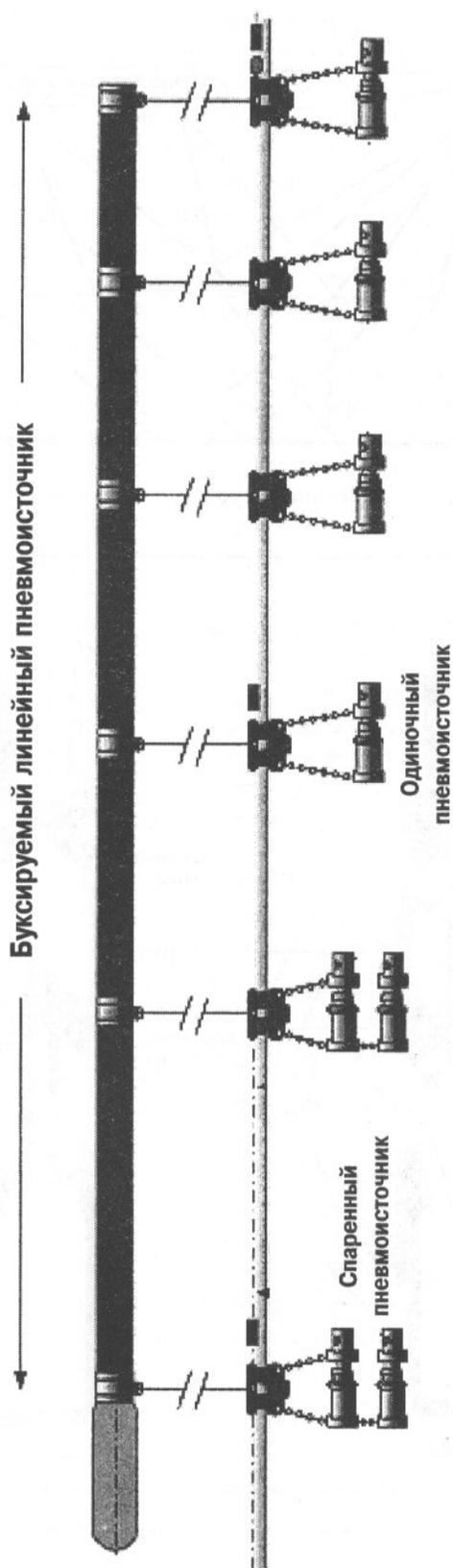


Рис. 3. Компоновка линии пневмоисточников (3D сейсморазведочное судно «Western Trident»). Линия состоит из четырех одиночных ПИ и двух спаренных ПИ

При инициации ПИ наблюдаются несколько физических процессов, оказывающих негативное воздействие на обитателей толщи воды, например:

1. Воздействие головного импульса ударной волны и резкие перепады давления, и в первую очередь негативное давление, или декомпрессия. Данный процесс состоит из трех интервалов (Коул, 1950; Протасов и др., 1982). Рассмотрим их.

Первый интервал относится к фазе образования и увеличения избыточного давления до максимальной величины. Этот пик связан с самим взрывом. Резкое возрастание давления ударной волны, распространяемой со сверхзвуковой скоростью, в первую очередь, нарушает у рыб центральную и периферическую нервную систему, контролирующую и работу плавательного пузыря. В органических тканях, кровеносных сосудах возникают избыточные положительные напряжения, приводящие к разрыву тканей. Чем больше плавательный пузырь наполнен газом в момент взрыва, тем больше, очевидно, будут повреждения. У открытопузырных рыб плавательный пузырь чаще всего разрывается, у закрытопузырных вздувается и смещает другие органы, вызывая их повреждения.

Второй интервал относится к резкому уменьшению давления позади фронта ударной волны, что приводит к появлению перемещающейся в среде области отрицательных избыточных давлений. В этот момент на рыб действует отрицательное давление, «вытягивающее» внутренние органы через ротовое отверстие. И опять же перераспределение давления вызывает разрыв кровеносных сосудов, пузыря, что может привести к гибели рыбы.

Третий интервал времени подводного взрыва характеризуется образованием вновь положительных и отрицательных избыточных давлений за счет «пульсации» газового пузыря – «второй удар». Амплитуда второй пульсации обычно меньше первой и растянута во времени, что снижает ее поражающее действие. Наиболее сильно подвержены такому воздействию открытопузырные рыбы (например, сельдь, лосось). Это наиболее опасный фактор, вызывающий появление у личинок и молоди рыб газовой болезни.

Донные рыбы или рыбы без плавательного пузыря, а также простые организмы, у которых отсутствуют полости и плотность тела однородна, более устойчивы к данному явлению.

В исследованиях на экспериментальной базе «Энергия» в 1991 г. была проведена попытка определить уровень безопасного давления для гидробионтов. В экспериментах он составил 3 бар. В этих же экспериментах был сделан вывод о том, что влияние группированного ПИ распространяется на меньшее расстояние, чем действие одиночного ПИ той же сейсмической мощности. Эксперименты, проведенные в Черном, Азовском, Каспийском, Балтийском, Баренцевом морях, показали, что критическим для рыб является давление порядка 6–10 бар (Расчет ущерба..., 2006, с. 2–15).

Ко второй группе поражающих факторов относится низкочастотное звуковое воздействие, которое может вызывать летальный исход, повреждение слуховых и других органов, изменение поведения, помехи в восприятии акустических сигналов. Пневматические источники излучают прерывистые низкочастотные короткопериодные импульсы в интервале 6–20 сек. Уровень звукового давления для одиночной пушки обычно составляет 215–230 дБ. Для группового ПИ – 230–255 дБ при частоте 10–100 Гц. Для сравнения можно привести данные по иным фоновым шумам, например, шум моря – диапазон 80–120 дБ, шум при землетрясениях (4–6 баллов по шкале Рихтера с частотой 10–50 Гц) достигает 240 дБ в радиусе нескольких километров от эпицентра (Malme et al., 1989). Морские суда производят шум до 190 дБ (при частоте 100–700 Гц), а супертанкеры – свыше 200 дБ (Rusby, 1995).

В настоящее время получены данные по уровню и времени безопасного воздействия искусственного звука на отдельные, наиболее важные группы морских животных (McCaughey et al., 2000). Порог начальных изменений в поведении рыб, например, установлен в пределах 156–161 дБ, а реакция испуга – с 161 до 168 дБ. Такой уровень звука при 3D-сейсмопрофилировании ожидается на расстоянии до 1–2 км. Эффект воздействия на мелководье или в местах, где поверхность дна неблагоприятна для затухания звуковой волны, проявляется более сильно, и расстояние с ощутимым эффектом может значительно возрасти.

2. Кавитация (гидродинамическая и акустическая). Возможна в зоне пониженного давления (Протасов и др., 1982). Она проявляется в образовании и разрыве пузырьков газа в зоне взрыва. У личинок рыб и зоопланктона, сравнимых по размеру с «кавитационными зародышами», прежде всего нарушается целостность покровов тела (микроразрывы).

3. Турбулентность и сдвигающее напряжение. Гидродинамические удары, возникающие в разнонаправленных турбулентных потоках, которые образуются во время подъема пузырей воздуха на поверхность и его пульсации, являются причиной повреждения позвоночника, разрывов тела удлинённых личинок, отрывов глаз, кишечника, у ракообразных ведут к отрыву придатков тела и деформации покровов (Карп, Букина, 1988).

4. Еще один вид воздействия, который отмечается многими исследователями, – это увеличение степени воздействия взрывной волны у поверхности воды, по сравнению с придонным горизонтом. Исследователи связывают это с отражением от поверхности ударной волны, которая идет вниз как волна отрицательного напора за счет сдвига фаз (Lavern, 1968; Протасов и др., 1982).

В зависимости от положения и расстояния относительно ПИ ответная реакция морских животных на «пневмовзрывы» колеблется от отсутствия таковой до различных поведенческих и физиологических изменений на популяционном уровне. Для одних животных смена поведенческих «привычек» может быть только неприятным фактом, а для других продолжительные сейсмические исследования могут перекрывать миграционные пути, быть помехой коммуникационным сигналам.

Наиболее важными понятиями при изучении воздействия пневмоисточников на гидробионтов являются понятия летального и безопасного радиусов. Летальный радиус (R_d) – условная зона вокруг источника, внутри которой наблюдается гибель экспериментальных особей. Радиус безопасности (R_e) – условная зона, охватывающая источник, за пределами которой воздействие импульса давления не вызывает изменений жизненно важных функций организма. На наш взгляд, для оценки влияния пневмоисточников на планктон более удобно использовать понятие *радиуса воздействия*, в границах которого отмечается гибель или значительные повреждения животных, ведущие в дальнейшем к их гибели или снижению продукционных показателей сообщества, или внутри которого наблюдается мгновенная и так называемая «отложенная» смерть гидробионтов (Павлов и др., 1999). Величина радиуса воздействия, главным образом, зависит от давления, наблюдаемого при максимальном расширении воздушного пузыря, рельефа дна (при небольших глубинах), глубины погружения источника, а также от конфигурации группированных пневмоисточников. В связи с тем, что на большой глубине сигнал пневмоисточника распространяется одинаково во все стороны, зона воздействия одиночного источника имеет форму

сферы. В случае линейных и площадных конфигураций форма распространяемого сигнала и, следовательно, зоны воздействия изменяется (Расчет ущерба..., 2006, с. 2–15; McCauley et al., 2000).

На основании многочисленных наблюдений выделено несколько зон по силе воздействия пневмосигналов на морских животных (McCauley, 1994):

а. Зона летального воздействия. Отмечена для планктона, икры и личинок рыб в непосредственной близости от пневмоисточника. Большинство исследований радиус летального воздействия установлен в пределах 1,5–5 м.

б. Зона патологических воздействий. Это зона, в которой воздействие вызывает патологические отклонения от нормы. При довольно продолжительном воздействии может произойти гибель животного или снижение жизненно важных функций (например, потеря слуха). Чем дальше воздействие, тем ниже требуемая интенсивность звука, вызывающая патологические изменения. В данной зоне отмечаются повреждения у планктонных организмов, а также у молоди нектона.

с. Зона избегания. Зона, в которой большинство животных активно избегают области звуковых помех. Разные виды, вследствие индивидуальной восприимчивости, начинают покидать район при более низкой интенсивности звука, чем другие. В данной зоне могут оказаться и подвергнуться воздействию более активные животные, в том числе рыбы и морские млекопитающие.

д. Зона поведенческих реакций. Зона, в которой наблюдаются поведенческие реакции на источник шума значительной части популяции, например, временное изменение вертикального распределения скоплений рыб (Dalen, Knutsen, 1987; Løkkeberg, Soldal, 1993).

е. Зона «маскировки». Зона, в радиусе которой от источника шума могут быть полностью или частично завуалированы средства общения и другие коммуникационные сигналы животных.

ф. Зона слышимости. Это зона, внутри которой особь слышит или воспринимает звук сейсмоисточников. Факторы, влияющие на величину (протяженность) этой зоны, могут сильно изменяться в зависимости от региона, сезона, гидрологических условий.

Влияние пневмоисточников на морских и пресноводных рыб и их молодь

При изучении влияния сейсморазведки на рыб исследователей интересовали влияние «пневмовзрывов» на отдельную особь (морфологические и физиологические нарушения) и на крупные скопления рыб (изменение поведенческих реакций, промысловой обстановки в районе сейсморобот).

В ряде работ, проведенных с различными пневмоисточниками, не обнаружено летального воздействия даже на ближайшем расстоянии от ПИ, но отмечены кратковременные поведенческие реакции и незначительные морфологические повреждения.

К таким результатам пришли, например, в 1972 и 1982 гг. Р. Дж. Уейнхольд и Р. Р. Уивер (Weinhold, Weaver, 1972, 1982), которые испытывали действие упругой волны на смолтов кеты и кижуча и не обнаружили пораженной рыбы. В 1989 г. Мурманский морской биологический институт проводил исследования по установлению степени влияния пневмоисточников на гидробионтов различных систематических групп, в том числе рыб (треска, камбала морская, камбала-ерш, сайда и бычки). Были отмечены различные повреждения на расстоянии не далее 2 м (Исследование влияния..., 1989; Оценка влияния..., 1989).

Начиная с 1968 г. и в течение ряда лет были проведены исследования по изучению влияния пневмоисточников на рыб Черного и Каспийского морей (Векилов и др., 1971). При обобщении полученных материалов был сделан вывод о более мягком воздействии данных сейсмоисточников, в отличие от взрывов ВВ. В ходе экспериментов были зафиксированы отклонения в поведении, интенсивности питания отдельных видов и стадий, которые в течение 10 дней восстанавливались. В то же время в экспериментах отмечено значительное уменьшение выживаемости молоди и гибель отдельных экземпляров на расстоянии 1 м от источника.

Другие исследования, проведенные позже и исследовавшие воздействие на более тонкие структуры рыб, наоборот, показали, что звуковая волна достаточно ощутимо влияет на рыб и, в частности, на органы слуха, клетки крови и кровеносную систему в целом, а также может привести к разрыву плавательного пузыря (Enger, 1981; Cox et al., 1987; Kosheleva, 1992; Matishov, 1992).

В исследованиях молоди рыб, которую, скорее, можно отнести к нектону, чем к ихтиопланктону, также отмечены случаи губительного воздействия пневмоисточников, при этом непосредственная гибель молоди может и не происходить, но многочисленные внешние и внутренние повреждения приводят к снижению жизнеспособности рыб.

Так, например, при проведении исследований в 1989 г. воздействия пневмоизлучателя ПИК-200 на молодь нескольких видов рыб: трески, камбалы-ерша, морской камбалы, пятнистой и синей зубаток, было отмечено появление на теле и плавниках рыб сначала мелких рассеянных, а затем обширных кровоподтеков. Наблюдался разрыв кровеносных сосудов жабр и печени. Повреждения глаз, плавательного пузыря и селезенки отсутствовали. У трески повреждения отмечались на расстоянии 0,5 м, у камбалы-ерша – на расстоянии до 3 м, у морской камбалы – на расстоянии 1 м. У зубаток на расстоянии 1 м и более повреждения не наблюдались. Наиболее чувствительна к воздействию пневмоисточника оказалась камбала-ерш.

Исследования, проведенные на сеголетках трески, сайды и бычка также показали появление нарушений некоторых органов и функций при воздействии источника ПИК-200 (объем рабочей камеры одного излучателя – 2,5 дм³, количество излучателей – 2, суммарный объем рабочей камеры – 5 дм³) на рыб, находящихся на расстоянии 0,5 м от него. Первые 15 минут у рыб наблюдалось замедление двигательных реакций и отсутствие стайности, затем произошло возвращение к норме. Анатомирование показало наличие и внутренних повреждений. У трех рыб из 30 наблюдалось повреждение глаз (треска). У части рыб произошло повреждение сосудов каудального отдела печени (треска, бычки). У одной рыбы произошло внутрисполостное кровоизлияние (сайда). Плавательный пузырь, селезенка, почки, сердце, пищеварительная система у всех опытных экземпляров были в норме (Отчет о проведении..., 1989).

Экспериментальные работы в Охотском море показали, что мальки минтая и наваги, оказавшиеся близи одиночного источника объемом 0,49 и 1,15 дм³ (в радиусе 1 м), могут получать локальные кровоизлияния в области жабр и признаки газовой болезни с летальным исходом до 15% (Исследование воздействия..., 2005).

В экспериментах с источником объемом 5 дм³ воздействие звуковой волны не привело к гибели молоди рыб, но через 30 минут после взрыва интенсивность питания рыб, находящихся под источником на расстоянии 1 м от него, была в 5–10 раз ниже, чем в контроле (Векилов и др., 1971). Восстановление нормального питания произошло только через 8–10 суток, а месячный прирост опытной молоди

был в два раза ниже, чем у контрольной. У молоди, находившейся на расстоянии более 1–2 м от источника, прирост был такой же, как в контрольной группе.

Меньшие повреждения отмечены в экспериментах с объемом камеры 0,3 дм³ – отклонений в поведении и функции органов у молоди рыб (русский осетр, лещ, толстолоб, сом, серебряный карась, густера, белый амур) отмечено не было даже на расстоянии 1 м от источника. При испытании пневмоисточника с рабочей камерой 7 дм³ на расстоянии 1 м отмечен фактор беспокойства у всех наблюдаемых рыб. У леща отмечены кровоподтеки на жаберных крышках и повреждения чешуйного покрова. На расстоянии 3 м изменений не наблюдалось (Кулий и др., 2001).

В Краснодаре (1990 г.) при тестировании одиночных и компактных группированных пневмоисточников на рыбах было установлено, что наиболее подвержена влиянию ПИ молодь осетровых. Необратимые повреждения были получены на расстоянии до 3 м от источников. Вместе с тем на расстоянии 3,5–5 м воздействие всех испытываемых видов ПИ сводилось к появлению в отдельных случаях обратимых изменений, исчезающих через 15–30 минут после воздействия (Гуленко, 2003).

В условиях промышленного профилирования изучались более общие последствия воздействия, касающиеся поведенческих реакций крупных скоплений рыб. В естественных условиях рыбы попадают под опосредованное воздействие в зонах с–f, что имеет прямое отношение к изменению численности рыб, их реакциям, и, следовательно, к величине уловов в промысловых районах, подвергнутых сейсмическому воздействию. Например, в работах С. Дж. Чэпмена и А. Д. Хокинса сообщалось, что сельдь и мерланг реагируют на звуковое давление 180 дБ, уходя от источника стрельбы (Charman, Hawkins, 1969). Дж. Р. Скалски с соавторами получили сокращение уловов при ярусном промысле морских окуней, воздействуя на рыб максимальным давлением ПИ 186–191 дБ в среднем на 52,4% (Skalski et al., 1992).

Значительный блок работ был проведен в Северном море. Дж. Дален и Г. М. Кнатсен попытались определить воздействие работающего сейсмического судна на движение и распределение трех экологических категорий рыб: демерсальных или придонных (треска, пикша, мерланг, аргентина, мольва, меньки и другие редкие виды); пелагических видов (северная путассу); малых пелагических видов (тресочка, миктофиды, глубоководный гадикул, океаническая сельдь). Результаты показали, что во время работы сейсмоаппаратуры пелагические рыбы мигрируют из района работ, а придонные рыбы уходят на дно. После проведения сейсмических работ акустическая съемка также дала резкое уменьшение количества придонных рыб в этой зоне на 36%, для пелагических – на 54% и на 13% для мелких пелагических видов. Справедливость такой гипотезы была поддержана проведением более тонких вероятностных оценок. Авторы делают вывод, что во время «взрывов» демерсальные рыбы уходят на дно – прижимаются, а пелагические уходят из зоны сейсмической деятельности (Dalen, Knutsen, 1987). Испытания по влиянию сейсмозврывов на численность трески Северного моря показали также снижение уловов, но объяснить природу такого снижения уловов не удалось (Løkkeborg, 1991; Løkkeborg and Soldal, 1993). Более полные исследования были проведены в 1993 г. на треске и пикше (Engas et al., 1993). Авторы изучали численность этих рыб до воздействия (семь дней), во время сейсмических работ (пять дней) и после окончания работ (пять дней), используя акустические методы, а также траловый и ярусный лов. Траловые уловы показали 50%-ное сокращение на расстоянии до 33 км от района сейсморабот с 70%-ным уменьшением уловов не-

посредственно в зоне «обстрела». Акустические методы подтвердили, что у дна скоплений не стало больше, а доля рыб в зоне сократилась на 45%. Ярусные уловы трески сократились на 44%. Для пикши получены схожие результаты – уловы сократились на 50%. Наибольшее влияние отмечено на крупных рыб: более 60 см и более 2 кг весом. Большие пелагические рыбы – скумбриевые и акулы, реагировали на сейсмические источники средне, по сравнению с треской и пикшей, так как у них более медленное сердцебиение и нет плавательного пузыря.

В 1990–1992 гг. Норвежский Совет по рыбохозяйственным исследованиям (NFFR) провел ряд экспериментов по программе «Селективные средства физического воздействия на рыб». Основные результаты четырех экспериментов показали, что при воздействии десяти и более выстрелов с максимальным уровнем 175 дБ рыба не приходит в район нагула. Причем, крупные особи (>60 см) отсутствовали 100%-но, численность мелких (<60 см) сократилась на 60%. Через четыре дня рыбы стали возвращаться.

Физиологические отклонения, выражающиеся в увеличении частоты сердцебиения, были использованы Ф. Р. Кнадсеном с соавторами (Knudsen et al., 1992) как показатель возросшего стресса у рыб во время сейсмического обстрела. У свободноплавающих рыб изменений не наблюдалось, у рыб, попавших в сети, зафиксировано увеличение частоты на 25–30%. При исследовании воздействия ПИ (214 дБ) на треску на близком расстоянии (6 м) было отмечено кровоизлияние в плавательном пузыре. При тестировании этих рыб на потерю или ухудшение слуха также отмечалась заторможенность нервной деятельности.

В. Пирсон с соавторами (Pearson et al., 1992) установили, что морские окуни (*Sebastes spp.*) после воздействия на них звуков до 173 дБ восстанавливают свои поведенческие реакции в течение нескольких минут. К сожалению, период наблюдений за уловами в экспериментах не указан.

Большинство исследований крупных скоплений рыб показывают, что основной реакцией на звук является поиск укрытия на дне.

Исследования по изучению влияния пневматических источников на кормовую базу рыб также показывают различную степень влияния – от летального исхода в пределах радиуса воздействия до полного отсутствия воздействия.

Первые отечественные исследования на беспозвоночных были проведены на Черном и Каспийском море в 1968–1971 гг. В качестве экспериментальных объектов, кроме рыб, были выбраны планктонные рачки-дафнии. Результаты эксперимента зафиксировали 100%-ную гибель рачков (Векилов и др., 1971).

М. М. Хлопниковым изучено влияние ПИ ($V=5 \text{ дм}^3$) на различные гидробионты в Балтийском море. Выявлено, что до 50% планктонных ракообразных младших стадий и половозрелых самок гибнут на удалении 1–3 м от работающего пневмоисточника (Влияние на гидробионты..., 1995).

Результаты экспериментальных работ в 1998 г. в Охотском море также выявили негативное воздействие спаренного пневмоисточника на массовые группы зоопланктона (Саматов, Немчинова, 2000). В ходе экспериментов получены результаты о воздействии одиночного и множественного импульса ПИ на зоопланктон в радиусе 1–3 м. Для большинства групп при одиночном импульсе влияние пневмоисточника отслеживается только в радиусе до 1 м, при множественном сигнале радиус воздействия может превышать 2–3 м, в зависимости от группы гидробионтов.

В 2004 г. в Охотском море были проведены обширные исследования с буксируемыми линиями пневмоисточников и с одиночными источниками двух объемов. Данные работы показали наличие значительных повреждений у отдельных групп зоопланктона при работе буксируемых ПИ. В экспериментах с одиночными источниками радиус воздействия на зоопланктон не превышал 3,5–4,5 м (табл.). Интересным является тот факт, что при отборе экспериментальных проб значительно выше уровня буксировки пневмоисточников наблюдалась гибель зоопланктона, достигающая для отдельных групп 27,9–62,4%, по сравнению с контролем (Исследование воздействия..., 2005; см. статью Немчиновой, Мухаметовой в наст. сб.). Возможно, это связано с тем, что в верхних горизонтах, относительно пневмоисточников, на гидробионтов воздействуют турбулентность, ведущая к механическим повреждениям тела и его отростков, а также эффект отраженных от поверхности волн и, возможно, кавитация, создающие дополнительные повреждения.

Таблица

Рекомендуемые для расчетов потерь гидробионтов радиусы воздействия и величины гибели планктеров по результатам исследований ФГУП «СахНИРО» в 2004 г.

Группа	Группированный линейный ПИ, гибель внутри блока ПИ, %	Одиночный ПИ, объем 1,15 дм ³	
		внешний радиус, м	гибель, %
Микропланктон	0	0–1,5	–
Медузы и гребневики	62,37	0–4,5	22,4
Ветвистоусые рачки	1,49	0–3,5	7,17
Многочетинковые черви	30,9	0–1,5	16,7
Веслоногие рачки	27,86	0–4,5	10,6
Пелагические амфиподы	–	0–1,5	0,25
Эвфаузиевые рачки	3,26	0–4,5	10,8
Десятиногие раки (личинки)	7,2	0–2,5	25,6
Усоногие раки (личинки)	1,14	0–3,5	7,14
Крылоногие моллюски	12,21	0–2,5	6,84
Пелагические личинки двусторчатых и брюхоногих моллюсков	7,12	0–2,5	4,27
Щетинкочелюстные	0	0–3,5	12,2
Зоопланктон, в целом	12,8*	0–3,5	9,83
Икра рыб (общая)	42,6	0–4,5	22,1
Икра минтая	26,4	0–4,5	–
Личинки рыб	99,2	0–4,5	57,6
Молодь рыб	15	0–4,5	15

* Средневзвешенная средняя с учетом вклада каждой группы в общую биомассу зоопланктона.

Имеется большой блок работ, в которых действие пневмоисточников расценивается как незначительное или приравненное по величине воздействия к судоходству.

Например, в 1989–1990 гг. ММБИ проводил ряд исследований по установлению степени влияния сейсмоизлучений на гидробионтов различных систематических групп. При проведении экспериментов использовали пневмоизлучатели типа «Пульс-1А» и его зарубежный аналог «Volt-1900». Исследования показали, что в зоне расположения группового пневмоисточника на расстоянии до 1,5 м действие

пневмоудара проявляется лишь в изменении придатков тела копепод. Главным выводом в данных экспериментах является утверждение, что воздействие пневмоисточников на гидробионтов совершенно не влияет на уровень продуцирования и в результате повреждается не более 1–7% от общей численности гидробионтов в верхнем 20-метровом слое (Оценка влияния..., 1989; Davis et al., 1991; McCauley, 1994; Влияние на гидробионты..., 1995).

Наиболее чувствительным к условиям внешней среды тест-объектом является ихтиопланктон, и в первую очередь личинки рыб, которые концентрируются в верхних слоях воды и имеют небольшую скорость передвижения (Kostyuchenko, 1973; Влияние на гидробионты..., 1995; Исследование воздействия..., 2005; см. статью Немчиновой, Мухаметовой в наст. сб.). Икра, в силу физических свойств оболочки, более устойчива к воздействию ПИ.

В 1973 г. Л. П. Костюченко были опубликованы результаты исследований влияния различных источников сейсмических сигналов на икру нескольких видов рыб – хамсы, ставриды, карася и султанки. По результатам эксперимента, поражающее действие упругой волны для икры рыб удалось проследить до 5 м от пневмоисточника. Патологические изменения икры выражались в скручивании зародыша, вдавлении оболочки внутрь икринки, нарушении плазматической поверхности желтка. У некоторых икринок наблюдалось поперечное смещение желточной массы к одному из полюсов оболочки. При изучении полутонких срезов наблюдалась вакуолизация клеток кишечного и жаберного эпителия и его разрыхление, расширение синусов печени, микроотслоение сетчатки глаз, деструкция ее нервных элементов и расслоение хрусталика глаза. Менее выраженное отслоение сетчатки наблюдалась и у личинок на расстоянии 2 м от источника. В случае отслоения сетчатки даже внешне здоровые личинки становятся нежизнеспособными. Нарушение зрения снижает жизнеспособность личинок и, в конечном итоге, приводит их к гибели (Kostyuchenko, 1973; Муравейко и др., 1992а, б; Ивакина, 1998).

Наибольший радиус воздействия на икру рыб отмечен в экспериментах с хамсой в Черном море. На расстоянии 10 м гибель икры составила 2,1%, а на ближайшем расстоянии от пневмоисточника гибель достигала 16,9% (Влияние на гидробионты..., 1995).

В экспериментах и натурных исследованиях в Охотском море также было отмечено довольно значительное воздействие на икру и личинок рыб прибрежного и надшельфового комплекса (Исследование воздействия..., 2005). Воздействия на икру рыб затрагивали, главным образом, бластодиск и эмбрионы, в то время как оболочки оставались неповрежденными. Основное воздействие выражалось в возросшем количестве мертвых и эмбрионов с сердечной аритмией (см. статью Немчиновой, Мухаметовой в наст. сб.). Повреждения личинок выражались в травмировании позвоночника и миомеров, повреждении плавниковой каймы, разрывах кишечника. Такие повреждения наблюдались в основном у удлинённых личинок корюшковых, сельдевых и песчанковых.

В отдельных случаях повреждающее действие пневмоисточников в экспериментах вообще не обнаруживается. Например, в опытах с пушками 0,64 л не выявлено вредного воздействия на икру и личинок трески на расстоянии от 1 до 10 м. Даже при трехкратном воздействии (расстояние 1–3 м) группового пневмоисточника на икру трески стадий ранней и поздней гастрюлы не было отмечено заметного воздействия. Выклюнувшиеся из опытной икры личинки не отличались по поведению и выживаемости от личинок из контрольной партии. Отмечается лишь кратковременная потеря балансировки у молоди рыб, правда, при этом невозможно исключить негативное влияние на слуховую систему (Dalen, Knutsen, 1987).

Исследование влияния пневмоисточника, состоящего из 12 пневмоизлучателей (рабочее давление 140 атм.), выявило снижение выживаемости личинок на расстоянии 1,0–1,5 м от пневмоисточника на 5–10%, по сравнению с контролем. При этом непосредственно после излучения гибели личинок не наблюдалось (Муравейко, 1992).

Изучение воздействия различных по конфигурации пневмоисточников показало, что группированный источник менее опасен для морских животных, чем одиночный той же сейсмической эффективности. Это связано с тем, что при наложении импульсов от разнесенных в пространстве источников наблюдается снижение пиковых давлений в ближней зоне в несколько раз, что ведет к подавлению пульсации воздушного пузыря (Карп, Букина, 1998; Гуленко, 2003). Данный факт подтверждается, например, исследованиями «следа» буксируемой линии ПИ. Планктон, отобранный на горизонте буксировки пневмоисточника, показал единичные повреждения, сравнимые с контролем (Исследование пространственно-временных..., 1991). В то же время исследования в Охотском море, проведенные при буксировке линий ПИ, дали противоположный результат (Исследование воздействия..., 2005). Зоопланктон, отобранный в подповерхностном горизонте (выше уровня буксируемых ПИ), имел значительную долю поврежденных особей (в среднем 12–13%).

Таким образом, проведенный обзор исследований показал, что воздействие пневмоисточников на зоо- и ихтиопланктон наблюдается на более отдаленном расстоянии от ПИ и выражается как во внешних морфологических аномалиях, так и в повреждениях более тонких структур и внутренних органов. Наибольший радиус воздействия для планктонных организмов отмечается на расстоянии 10 м от пневмоисточника.

Значительно меньшему воздействию, по сравнению с планктонными организмами, подвергается бентос (моллюски и ракообразные), имеющие твердые раковины и крепкие внешние покровы тела. Наиболее ранние исследования на ракообразных и устрицах были встречены в обзорах 1966 г. (Анон, 1966). Они показали, что значимых повреждений, а тем более гибели экспериментальных особей при работе пневмоисточников не происходит. И только для таких групп, как морские ежи, морские звезды, моллюски (гребешок и трубач), радиус безопасности находится в пределах 1 м (Оценка влияния..., 1989). Эксперименты на Балтийском море, проведенные с мизидами, полихетами и моллюсками, также не показали достоверных отличий в смертности между контрольными и экспериментальными пробами (Влияние на гидробионты..., 1995).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературных данных показал, что большинство исследований, посвященных влиянию пневмоисточников на гидробионтов, дают, как правило, качественную характеристику процесса и не могут предоставить приемлемых количественных данных по величине воздействия ПИ. Противоречивость и неоднозначность результатов многочисленных экспериментов можно объяснить несколькими важными моментами.

При проведении садковых экспериментов довольно сложно учесть влияние всех физических факторов, воздействующих на живые организмы при срабатывании пневмоисточников. Например, при расположении садков на одной горизонтали с ПИ (или ниже ПИ) автоматически исключается действие турбулентности и кавитации, которые могут наблюдаться на границах воздушного пузыря над ПИ.

Результаты также в значительной степени зависят от условий и места проведения эксперимента, в том числе заглубления ПИ и глубины водоема, в котором проводятся исследования, и связаны с отражающей способностью поверхности воды и особенностями рельефа дна. Важным фактором, который также влияет на результат эксперимента, например, Р. Д. МакКоли считает и метод закрепления ПИ относительно садков с гидробионтами: для неподвижно закрепленного и перемещающегося ПИ форма звуковой волны различна, что влияет на расстояние, на котором проявляется эффект от источника (McCouley, 2000). Конфигурация самих источников также коренным образом влияет на величину воздействия. Так, в ближайшей зоне пространственной излучающей системы (частным случаем которой является линейный источник) возникает нестационарная, сложная интерференционная картина, так как сигналы, излучаемые каждым входящим в систему источником, не являются гармоническими (Исследование пространственно-временных..., 1991). В ней могут возникать давления (положительные и отрицательные), опасные для гидробионтов и приводящие к гибели. В это же время группирование ПИ способствует тому, что волны давления от соседних источников «гасят» друг друга и зона с опасным давлением меньше, чем у одиночного источника, равного по объему линейному. Но следует учитывать, что при инициации линейного источника увеличивается объем воды, в котором возникают дополнительные эффекты (например, турбулентность), ведущие к повреждению организмов.

Таким образом, многофакторность физического воздействия ПИ приводит к сложной зависимости изменения смертности (убыли) гидробионтов на разных расстояниях от ПИ. Это позволяет, на сегодняшний день, получить только ориентировочные показатели убыли по основным группам зоопланктона при работе одиночных и линейных пневмоисточников.

К наиболее информативным исследованиям по зоопланктону можно отнести исследования ФГУП «СахНИРО» и ОАО «Дальморнефтегеофизика» в Охотском море в 2004 г., на основании которых получены относительные показатели убыли зоо- и ихтиопланктона при работе пространственной излучающей системы и одиночного пневмоисточника. Негативное воздействие пневмоисточников на зоопланктон прослеживается довольно четко, оно носит локальный характер и для большинства групп планктеров находится в пределах 1,5–4,5 м. Наибольшие потери в этих экспериментах отмечены для таких важных кормовых групп, как веслоногие раки, крылоногие моллюски, пелагические полихеты и ихтиопланктон. Из групп, частично используемых рыбами в питании, наибольшая гибель от ПИ отмечена для желетелого планктона (медузы и гребневики) (см. табл.).

Имеющиеся в литературе данные по влиянию ПИ на пространственное распределение рыб на сегодняшний день не позволяют количественно оценить потери рыбного хозяйства из-за уменьшения уловов, связанного с перераспределением скоплений. Работа пневмоисточников на акватории вызывает значительное уменьшение численности и изменение батиметрического распределения рыб на расстоянии до 32–33 км в течение четырех–пяти дней, с наиболее значительным воздействием в ближайшей зоне – до 7 км. Непосредственное воздействие на рыб в условиях непрерывной буксировки пневмоисточников исключается вследствие периодически возбуждаемых сигналов, слышимых на значительном расстоянии и вызывающих реакцию избегания.

При продолжительной работе на ограниченной акватории площадных и линейных пневмоисточников можно говорить о значительном увеличении негативного влияния сейсмических исследований.

В заключение необходимо отметить, что, к сожалению, до сих пор не существует нормативных документов о предельно допустимых нагрузках данного физического фактора на морскую экосистему, что затрудняет проведение биологической экспертизы для данного вида хозяйственной деятельности.

В настоящее время в расчетах непредотвращаемого ущерба от сейсморазведки, проводимой на акваториях Охотского, Японского моря, а также в прилегающих тихоокеанских водах Курильских островов, используются данные по потерям зоо- и ихтиопланктона, полученные в исследованиях СахНИРО в 2004 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашканд, М. И. Источники возбуждения упругих волн при сейсморазведке на акваториях / М. И. Балашканд, С. А. Ловля. – М. : Недра, 1977. – 112 с.
2. Новые источники сейсморазведки, безопасные для ихтиофауны / М. И. Балашканд, Э. Х. Векилов, С. А. Ловля и др. – М. : Наука, 1980. – 79 с.
3. Бирзняк, О. А. Влияние подводных взрывов на рыб / О. А. Бирзняк, Л. В. Кузичкина // Науч.-техн. информ. ВНИРО. – 1966. – № 6. – С. 9–21.
4. Векилов, Э. Х. Влияние новых невзрывных способов сейсморазведки на ихтиофауну / Э. Х. Векилов, В. Д. Пименов, Н. М. Арабкина // Рыб. хоз-во. – 1971. – № 8. – С. 22–25.
5. Векилов, Э. Х. Исследования влияния упругих и электрических полей на ихтиофауну в связи с повышением геологической эффективности морских геофизических работ : Автореф. дис. ... канд. геолого-минерал. наук / Э. Х. Векилов. – М., 1973. – 24 с.
6. Влияние на гидробионты упругих волн от сейсмоисточников для морской геофизической разведки / МГУ; ЦУРЭН. – М., 1995. – 64 с.
7. Выскребенцев, Б. В. О действии взрывов на рыб / Б. В. Выскребенцев, Г. Н. Пинус, Л. Н. Солодилов // Рыб. хоз-во. – 1968. – № 1. – С. 22–24.
8. Гуленко, В. И. Пневматические источники упругих волн при морской сейсморазведке / В. И. Гуленко. – Краснодар : Кубан. гос. ун-т, 2003. – 313 с.
9. Ивакина, Ю. И. Влияние упругих колебаний на хрусталик глаза личинок трески / Ю. И. Ивакина // Материалы науч. сес. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН. – Мурманск : МИП-999, 1998. – С. 21–25.
10. Исследование влияния геофизических методов разведки шельфа северных морей на пелагические и донные биоценозы / Кольский науч. центр им. С. М. Кирова, Мурман. мор. биол. ин-т АН СССР; Отв. исполн. Л. Б. Завалко. – Мурманск, 1989. – 11 с.
11. Исследование воздействия сейсмоисточников на зоо- и ихтиопланктон прибрежных вод северо-восточного Сахалина : Отчет о НИР / СахНИРО; Отв. исполн. И. А. Немчинова. – Ю-Сах., 2005. – 128 с. – Арх. № 9958.
12. Исследование пространственно-временных характеристик полей давления, создаваемых пневмоисточниками, их воздействие на морские организмы (для разработки экологических нормативов при проведении морской сейсморазведки) : Отчет по ХД № 5–6/11 от 28.11.90 / Рук. ВТК В. В. Емельяненко. – Харьков : Комплекс «Энергия», 1991. – 38 с.
13. Карп, Б. Я. Группирование пневматических источников при сейсморазведке на акваториях / Б. Я. Карп, Г. И. Букина. – М. : Наука, 1988. – 80 с.
14. Коул, Р. Подводные взрывы / Р. Коул. – М. : Иностран. лит., 1950. – 311 с.
15. Оценка безопасного радиуса воздействия пневмоисточников «Пульс-6» и «Пульс-7С» / О. Л. Кулий, Г. С. Корниенко, Е. Н. Марченко и др. // Проблемы сохранения экосистем и рац. использ. биоресурсов Азово-Черномор. бассейна : Материалы Междунар. науч. конф. – Ростов н/Д, 2001. – С. 116–118.
16. Маттер, Д. Сейсмические изображения границ литосферных плит / Д. Маттер // В мире науки. – 1986. – № 4. – С. 28–39.
17. Муравейко, В. М. Влияние морских геофизических работ на арктические биоценозы / В. М. Муравейко // Теорет. подходы к изуч. экосистем морей Арктики и Субарктики. – Апатиты, 1992. – Гл. 12. – С. 100–112.

18. Биоэкспертиза групповых пневмоисточников / **В. М. Муравейко, В. Б. Зайцев, Л. В. Тимашова, Ю. И. Ивакина.** – Апатиты, 1992а. – 45 с.
19. Действие групповых пневмоисточников на сетчатку личинок трески / **В. М. Муравейко, В. Б. Зайцев, Л. В. Тимашова, Ю. И. Ивакина** // Докл. РАН. – 1992б. – Т. 323, № 3. – С. 595–599.
20. **Отчет** о проведении экологических работ на судне «Академик Немчинов» 16–20 июля 1989 года в бухте Ура-Губа / НИИМоргеофизики; Л. Б. Завалко. – Мурманск, 1989. – 3 с.
21. **Оценка** влияния упругих колебаний на поведение и выживаемость гидробионтов : Год. отчет разд. 2 темы «Влияние на гидробионтов электр. полей и упругих колебаний, применяемых в мор. геофиз. работах» / Кольский науч. центр им. С. М. Кирова, Мурман. мор. биол. ин-т АН СССР; Отв. исполн. В. М. Муравейко. – Дальние Зеленцы, 1989. – 13 с.
22. Павлов, Д. С. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС / **Д. С. Павлов, А. И. Лупандин, В. В. Костин.** – М. : Наука, 1999. – 255 с.
23. Протасов, В. Р. Низкочастотные колебания в общении и ориентации рыб / **В. Р. Протасов, В. М. Круминь** // Проблемы навигации и автоматического управления. – М., 1969. – Вып. 1. – С. 97–122.
24. Протасов, В. Р. Способы сохранения ихтиофауны при различных видах подводных работ / **В. Р. Протасов, П. Б. Богатырев, Э. Х. Векилов.** – М. : Легкая и пищ. пром-ть, 1982. – 88 с.
25. **Расчет** ущерба, наносимого рыбным запасам Байдарацкой Губы при проведении сейсморазведочных работ, вызывающих гибель кормовой базы рыб и ихтиопланктона : Отчет по ХД / ММБИ; Отв. исполн. С. В. Бердников. – Мурманск, 2006. – С. 2–15.
26. Саматов, А. Д. Оценка воздействия пневмоисточников на зоопланктон при проведении сейсморабот в шельфовой зоне восточного Сахалина / **А. Д. Саматов, И. А. Немчинова** // Междунар. семинар «Охрана вод. биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутр. вод. объектах РФ» : Сб. материалов. – М., 2000. – С. 196–207.
27. Действие взрывов сосредоточенных зарядов на рыб Каспийского моря / **Л. Н. Солодилов, Ю. П. Неласов, Л. К. Скребницкая, Г. С. Абасов** // Вопр. ихтиологии. – 1962. – Т. 2, вып. 4. – С. 725–730.
28. **Солодилов, Л. Н.** Действие взрыва на живые организмы, населяющие моря / Л. Н. Солодилов // Разведочная геофизика. – 1965. – № 8. – С. 64–68.
29. **Тавризов, В. М.** О мерах уменьшения вреда от подводных взрывов / В. М. Тавризов // Рыб. хоз-во. – 1959. – № 10. – С. 17–20.
30. **Экспертное** заключение о воздействии сейсморабот на зоопланктон шельфовой зоны северо-восточного Сахалина : Отчет по договору № ХД 23/98 / СахТИНРО. – Ю-Сах., 1998. – 35 с. – Арх. № 7962.
31. Яковлев, Б. Е. Взрыв под водой / **Б. Е. Яковлев, В. А. Масляников.** – М. : Воениздат, 1963. – 78 с.
32. **Anon.** Effect of underwater explosives on fish / Anon // Australian Fisheries Newsletter. – 1966. – 25 (3). – P. 8–9.
33. Chapman, C. J. In importance of sound in fish behaviour in relation to capture by trawls / **C. J. Chapman, A. D. Hawkins** // FAO Fish. Rep. – 1969. – 3 (62). – P. 717–729.
34. Anatomical effects of intense tone stimulation in the goldfish ear: Dependence on sound-pressure level and frequency / **M. Cox, P. H. Rogers, A. N. Popper, and W. M. Saidel** // J. Acoust. Soc. Am. – Spring 1987. – Suppl. 1, vol. 81. – P. S7.
35. Dalen, J. Scaring effect in fish and harmful effects on eggs, larvae and fry by offshore seismic exploration / **J. Dalen, G. M. Knutsen** // Progress in Underwater Acoustics, Ass. Symp. on Underwater Acoustics, Halifax, N. S. – New York : Plenum Publishing Corp., 1987. – P. 93–102
36. Davis, T. L. Advection, dispersion and mortality of a patch of southern bluefin tuna larvae (*Thunnus maccoyii*) in the East Indian Ocean / **T. L. Davis, V. Lyne, G. P. Jenkins** // Mar. Ecol. Prog. Ser. – 1991. – 73. – P. 33–45.
37. Effects of seismic shooting on catch availability of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) / **A. Engas, S. Løkkeborg, E. Ona, A. V. Soldal** // Can. J. Fish. Aquat. Sc. – 1993. – No. 53. – P. 2238–2249.

38. **Enger, P. S.** Frequency discrimination in teleosts – Central or peripheral? / P. S. Enger // Hearing and sound communication in fishes. – New York : Springer-Verlag, 1981. – P. 243–255.
39. **Hill, S. H.** A guide to the effects of underwater shock-waves on Arctic marine mammals and fish / S. H. Hill // Pacific Marine Science Report. – 1978. – No. 8. – 26 p.
40. Knudsen, F. R. Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon / **F. R. Knudsen, P. S. Enger, O. Sand** // J. Fish Biol. – 1992. – No. 40. – P. 523–534.
41. **Kostyuchenko, L. P.** Effect of elastic waves generated on fish and on fish eggs in the Black Sea / L. P. Kostyuchenko // Hydrobiological J. – 1973. – No. 9. – P. 45–48.
42. **Kosheleva, V.** The impact of airguns used in marine seismic explorations on organisms living in the Barents Sea / V. Kosheleva // Fisheries and Offshore Petroleum Exploitation 2nd International Conference F-5, Bergen, Norway, 6–8 April. – 1992. – P. 6.
43. **Løkkeborg, S.** Effects of a geophysical survey on catching success in longline fishing / S. Løkkeborg // ICES CM B:40. – 1991. – P. 1–9.
44. Løkkeborg, S. The influence of seismic exploration with airguns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates / **S. Løkkeborg, A. V. Soldal** // ICES Mar. Sci. Symp. – 1993. – 196. – P. 62–67.
45. Analysis and ranking of the acoustic disturbance potential of petroleum industry activities and other sources of noise in the environment of marine mammals in Alaska / **C. L. Malme, P. R. Miles, G. W. Miller et al.** // Report BBN 6945 OCS Study MMS 89-0006. Rep. From BBN Systems and Technologies Corp., Cambridge, MA, for U. S. Minerals Manage Serv., Anchorage, AK. Var. pag. NTIS PB 90-188673. – 1989. – P. 1–307.
46. **Matishov, G. G.** The reaction of bottom-fish larvae to airgun pulses in the context of the vulnerable Barents Sea ecosystem / G. G. Matishov // Fisheries and Offshore Petroleum Exploitation 2nd International Conference F-5, Bergen, Norway, 6–8 April. – 1992. – P. 12.
47. Marine seismic surveys: analysis and propagation of air-gun signals; and effects of air-gun exposure on Humpback whales, sea turtles, fishes and squid / **R. D. McCauley, J. Fewtrell, A. J. Duncan et al.** // APPEA Journal. – 2000. – P. 692–708.
48. **McCauley, R. D.** In environmental implications of offshore oil and gas development in Australia – the findings of an independent scientific review seismic surveys / R. D. McCauley // APPEA, Sydney; J. M. Swan, J. M. Neff and P. C. Young (Eds.). – 1994. – P. 19–122.
49. Pearson, W. H. Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Behavior of Captive Rockfish (*Sebastes spp.*) / **W. H. Pearson, J. R. Skalski, C. I. Malme** // Can. J. Fish. Aqu. Sci. – 1992. – No. 49 (7). – P. 1343–1356.
50. Behavior of bowhead whales *Balaena mysticetus* summering in the Beaufort Sea: reactions to industrial activity / **W. J. Richardson, M. A. Fraker, B. Wursig, R. S. Wells** // Biol. Conserv. – 1985. – 32:195–230.
51. Reactions of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, to seismic exploration in the Canadian Beaufort sea / **W. J. Richardson, M. A. Fraker, B. Wursig, C. R. Greene Jr.** // J. Acoust. Soc. Am. – 1986. – 79 (4). – P. 1117–1128.
52. Effects of noise on marine mammals / **W. J. Richardson, C. R. Jr. Greene, C. I. Malme et al.** // US Department Interior Minerals Management Service. Atlantic OCS Region, Herndon. MMS 90–0093. Prepared by L. G. L. Ecological Research Association Incorporated, King City Ontario, L. G. L. report No. TA834–1. – 1991. – 462 p.
53. **Rusby, R. I.** Effect of seismic surveys on marine fish and mammals / R. I. Rusby // Report EP95-1405 April. – 1995. – P. 1–20.
54. Skalski, J. R. Effects of sounds from a geophysical survey device on catch-per-unit-effort in a hook-and-line fishery for rockfish (*Sebastes spp.*) / **J. R. Skalski, W. H. Pearson, C. I. Malme** // Can. J. Fish. Aqu. Sci. – 1992. – No. 49 (7). – P. 1357–1365.
55. Weinhold, R. J. Seismic airguns effect on immature coho salmon / **R. J. Weinhold, R. R. Weaver** // Contribution to the 42nd annual meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Anaheim, California. – 1972. – P. 1–15.