

Г Е О Ф И З И К А

УДК 550.834.07 (26)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ УПРУГИХ ВОЛН НА ИХТИОФАУНУ ПРИ СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ НА АКВАТОРИЯХ¹

В. И. Гуленко², В. И. Тюхалов³

RESEARCH OF THE IMPACT OF PNEUMATIC SOURCES OF ELASTIC WAVES ON ICHTHYOFAUNA AT A SEISMIC SURVEY ON WATER AREAS

Gulenko V. I., Tyukhalov V. I.

The work considers basic results of the experiment aimed at defining the character of the impact of acoustic radiation of pneumatic sources, which are used at a sea seismic survey, on separate fish species, dependence of a degree of this impact on the parameters of a radiated signal and the distance up to the object of impact. It has been shown that the shock effect is caused not so much by the differences of sources in the energy stored and the differences in the geometry of groups as (and basically) by the differences in the geometry of arrays and by the differences in the spatial structure of a field of peak acoustic pressure in the near-field zone. Experiments have demonstrated that compact arrays cause the greatest shock effect, while linear arrays cause the weakest shock effect.

В последние годы заметно возросло внимание общества к экологическим проблемам, в том числе и связанным с применением морской сейсморазведочной техники на акваториях, относящихся к числу рыбохозяйственных водоемов. Необходимость исследований в этом направлении обусловлена как внедрением в практику морской сейсморазведки новых технических средств, так и постоянной переоценкой предельно допустимой степени воздействия антропогенных факторов на окружающую среду [1].

В этой связи начиная с 1980 г. все вновь разработанные источники для морской сейсморазведки обязательно подвергались изучению в плане их воздействия на ихтиофауну. Так, отделом морских сейсмических источников Краснодарского филиала НИИморгеофизики совместно с трестом «Южморнефтегазгеофизразведка» ПО «Союзморгео» и при участии Краснодарского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (КрасНИИРХ) такие исследования применительно к пневматическим источ-

никам упругих волн были проведены на опытном полигоне Краснодарского завода «Моргеофизприбор».

Цель этих исследований — определение характера воздействия акустического излучения пневматических источников на отдельные виды рыб, зависимости степени этого воздействия от параметров излучаемого сигнала и расстояния до объекта воздействия.

Экспериментальные работы проводились в специальном опытном бассейне размерами 20×40 м и глубиной до 4,5 м, оснащенном техническими средствами для регистрации и измерения параметров акустических сигналов, по методике, разработанной и опробованной ранее комплексной методической партией КМП-7 треста «Южморнефтегазгеофизразведка».

В качестве исследуемых источников в эксперименте использовались одиночные пневматические излучатели «Сигнал-5», «Сигнал-6» и «Сигнал-7» (рис. 1), а также компактная пневматическая группа ИГП-1 и линейная пневматическая группа «Лиман».

¹Работа выполнена при поддержке РФФИ р2003юг (03-05-96576).

²Гуленко Владимир Иванович, д-р техн. наук, доцент Кубанского государственного университета.

³Тюхалов Валерий Иванович, канд. техн. наук, заместитель генерального директора ООО «Ингеосейс», г. Краснодар.

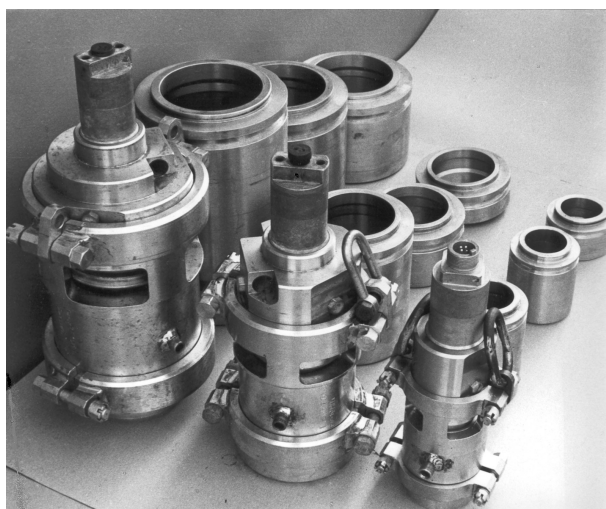


Рис. 1. Пневматические излучатели «Сигнал-5», «Сигнал-6» и «Сигнал-7» с набором сменных крышек рабочих камер [2]

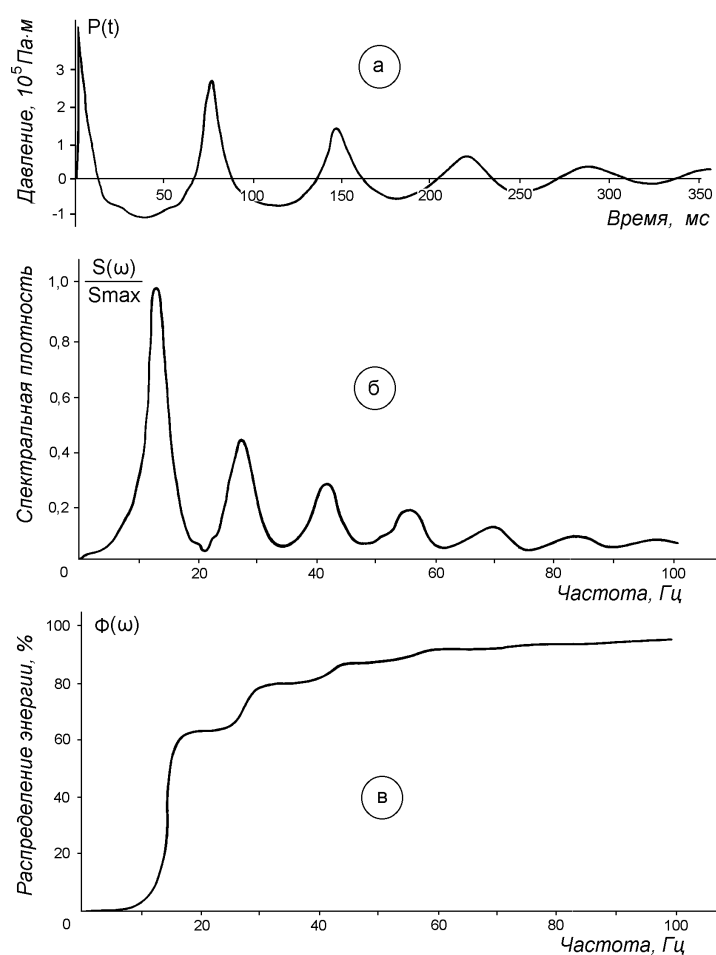


Рис. 2. Сигнал давления пневматического излучателя (в ближней зоне) (а), его амплитудный спектр (б) и интегральная функция распределения энергии (в). Одиночный пневматический излучатель ИГП-1, объем камеры — 3 дм^3 , рабочее давление — 12 МПа, глубина погружения — 7,5 м [2]

Основные технические характеристики этих источников: «Сигнал-5» — одиночный пневмоизлучатель объемом 1,0 дм³, рабочее давление — 15 МПа; «Сигнал-6» — одиночный пневмоизлучатель объемом 3,0 дм³, рабочее давление — 15 МПа; «Сигнал-7» — одиночный пневмоизлучатель объемом 7,5 дм³, рабочее давление — 15 МПа; ИГП-1 — однородная компактная группа из 4 пневмоизлучателей объемом 3 дм³ на раме 2×2 м, рабочее давление — 12 МПа; «Лиман» — однородная линейная группа из 5 излучателей объемом по 1 дм³ на базе 7,5 м, рабочее давление — 15 МПа (табл. 1).

При срабатывании пневматического источника происходит выхлоп в воду сжатого воздуха при начальном давлении 12–15 МПа. Расширение и последующие пульсации в воде образующейся воздушной полости сопровождаются излучением волн давления, характеристики которых определяются как исходным давлением сжатого воздуха, так и параметрами излучателя. Типичный сигнал давления (в ближней зоне), излучаемый пневматическим источником, а также его амплитудный спектр и интегральная функция распределения энергии по частоте приведены на рис. 2. [2]

В соответствии с обычно применяемой методикой [3–5] в ходе проведения эксперимента испытываемые виды рыб (молодь двух видов осетровых, лещ, чехонь, судак) размещались в бассейне в садках на глубине 2 м на расстояниях 0,5, 1,5, 2,5, 3,5 и 5 м от исследуемого источника возбуждения. Время адаптации рыб до начала воздействия составляло 1 ч. После однократного или многократного воздействия, через определенное время экспозиции (1 мин, 15 мин, 30 мин) рыба извлекалась из садков, и специалистами-ихтиологами изучалось состояние внутренних органов рыб и их поведенческие реакции.

В ходе эксперимента акустические характеристики возбуждаемых сигналов регистрировались гидрофоном на дистанции 1,5 м от источника, пиковые значения амплитуды давления для других точек, в которых располагались садки с рыбой, рассчитывались в соответствии с формулой [2]

$$P_A(t) = \sum_{i=1}^N \frac{1}{r1_{iA}} f_i \left(t - \frac{r1_{iA}}{c} \right) + \sum_{i=1}^N \frac{k}{r2_{iA}} f_i \left(t - \frac{r2_{iA}}{c} \right), \quad (1)$$

где $P_A(t)$ — суммарный сигнал в ближней зоне синхронной линейной или площадной группы из N излучателей; $r1_{iA}$ — расстояние между i -м действительным излучателем и точкой $A(x, y, z)$; $f_i(t)$ — реальный сигнал, возбуждаемый i -м излучателем; c — скорость звука в воде ($c = 1500$ м/с); k — коэффициент отражения волны давления от поверхности «вода–воздух», $k = -1$; $r2_{iA}$ — расстояние между i -м мнимым излучателем и точкой $A(x, y, z)$, т.е. длина траектории «волны-спутника» от i -го действительного излучателя до точки $A(x, y, z)$ с отражением от поверхности «вода–воздух».

Основные результаты исследований, осредненные по трем повторным сериям приведены в табл. 2–9. Соответствующие протоколы и акты даны в приложениях к работе [6].

Как и следовало ожидать, молодь осетровых рыб наиболее уязвима при воздействии акустического излучения и необратимо поражается отдельными пневматическими источниками на расстоянии до 2–3 м. Вместе с тем на расстоянии 3,5–5,0 м воздействие всех типов источников сводится к появлению в отдельных случаях обратимых изменений, исчезающих через 15–30 мин после воздействия.

Наибольшей степенью воздействия на испытываемых рыб характеризуется источник ИГП-1, наименьшей — линейный источник «Лиман». Такой результат обусловлен не столько их различиями в запасаемой энергии, сколько (и в основном) различиями в геометрии групп и соответственно различиями в пространственной структуре поля пиковых акустических давлений в ближней зоне.

В качестве примера на рис. 3 приведены графики изолиний поля пиковых акустических давлений (в барах, 1 бар = 10⁵ Па), рассчитанные для каждой из этих групп с использованием формулы (1). Как видно из сопоставления этих графиков, компактная пневматическая группа ИГП-1 характеризуется в несколько раз большими пиковыми акустическими давлениями в ближней зоне, что и является основной причиной гибели рыб, находящихся на расстоянии до 3,5 м от излучателя. У линейного пневматического источника «Лиман» излучатели разнесены друг от друга на большее расстояние, потому пиковые давления в ближней зоне в несколько раз меньше, и их воздействие даже на близких дистанциях сводится только к разрывам отдельных сосудов у молоди осетровых рыб, не приводящим непосредственно к их гибели.

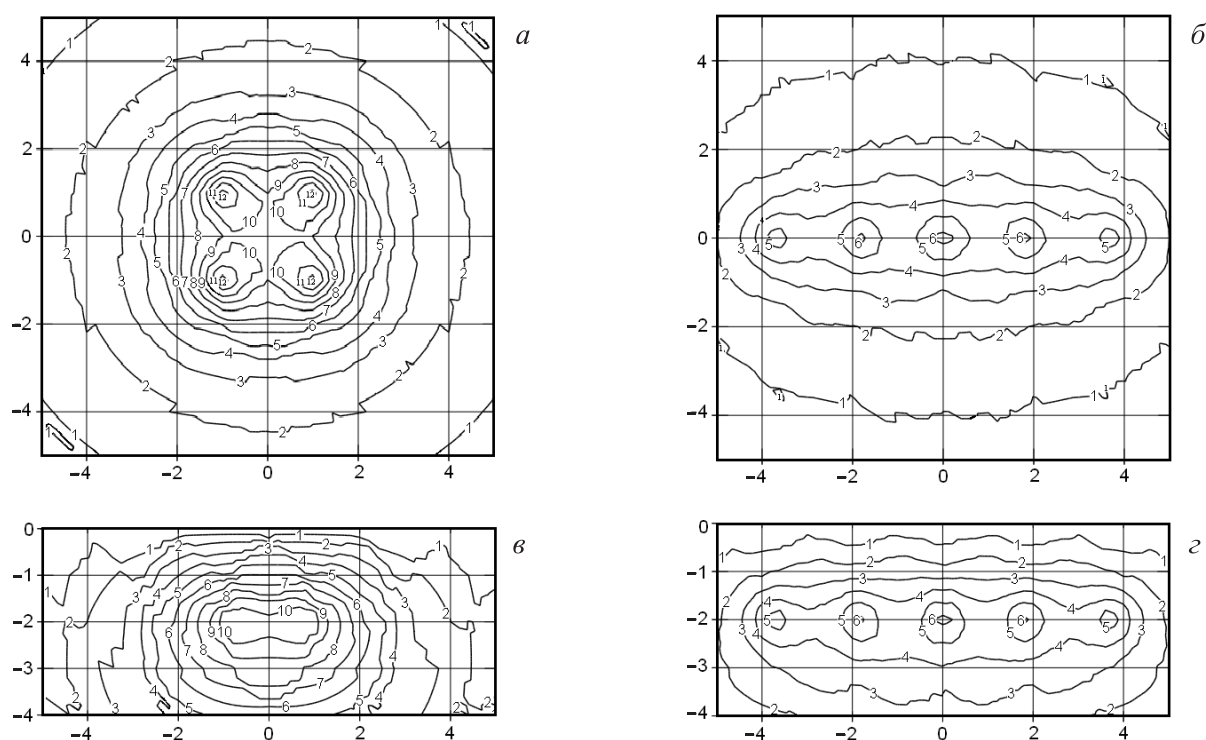


Рис. 3. Поле пиковых акустических давлений в ближней зоне компактной группы ИГП-1 (а, в) и линейной однородной группы «Лиман» (б, г): а, б — в горизонтальной плоскости на глубине $h = 2,5$ м (на 0,5 м ниже группы); в, г — в вертикальной плоскости на удалении 0,5 м от излучателей

Т а б л и ц а 1
Основные характеристики исследуемых источников (глубина погружения — 2 м)

Пневматический источник	Запасаемая энергия, кДж	Мах. амплитуда сигнала, бар·м	Частота мах. спектра, Гц
«Сигнал-5»	37,5	1,4	14,5
«Сигнал-6»	101,3	3,0	10,0
«Сигнал-7»	281,3	4,4	8,0
ИГП-1	360	16,0	10,0
«Лиман»	187,5	8,3	15,0

Т а б л и ц а 2
Результаты воздействия пневматического источника «Сигнал-5» на ихтиофауну (5 срабатываний излучателя)

Вид рыбы	Удаление от излучателя, м	Состояние внутренних органов рыбы
Осетр	0,5–3,5	Кровоподтеки в брюшке, жабры обескровлены, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	Жабры слабо обескровлены
Севрюга	0,5–3,5	Разрыв брюшка, жабры обескровлены
	3,5–5,0	Жабры обескровлены
Лещ	0,5–3,5	Кровоподтеки в глазах, жабры обескровлены
	3,5–5,0	В норме
Чехонь	0,5–5,0	В норме

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 3

Результаты воздействия пневматического источника «Сигнал-6» на ихтиофауну (5 срабатываний излучателя)

Вид рыбы	Удаление от излучателя, м	Состояние внутренних органов рыбы
Осетр	0,5–3,5	Кровоподтеки в брюшке, жабы обескровлены, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	Жабы слабо обескровлены
Севрюга	0,5–3,5	Кровоподтеки в брюшке, жабы обескровлены, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	В норме
Лещ	0,5–3,5	Кровоподтеки в глазах, жабы обескровлены
	3,5–5,0	В норме
Чехонь	0,5–3,5	Жабы слабо обескровлены, кровоизлияния в глазах
	3,5–5,0	В норме

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 4

Результаты воздействия пневматического источника «Сигнал-7» на ихтиофауну (5 срабатываний излучателя)

Вид рыбы	Удаление от излучателя, м	Состояние внутренних органов рыбы
Осетр	0,5–3,5	Кровоподтеки в области жабр, кровоподтеки в брюшной полости, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	Жабы слабо обескровлены
Севрюга	0,5–3,5	Кровоподтеки в брюшке, жабы обескровлены, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	Жабы слабо обескровлены
Лещ	0,5–3,5	Кровоподтеки в глазах, жабы обескровлены
	3,5–5,0	В норме
Чехонь	0,5–3,5	Жабы слабо обескровлены, кровоизлияния в глазах
	3,5–5,0	В норме

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 5

Результаты воздействия пневматического источника ИГП-1 на ихтиофауну (5 срабатываний излучателя)

Вид рыбы	Удаление от излучателя, м	Состояние внутренних органов рыбы
Осетр	0,5–3,5	Кровоподтеки в области жабр, в брюшной полости, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	В норме
Севрюга	0,5–3,5	Кровоподтеки в области жабр, в брюшной полости, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	В норме
Лещ	0,5–3,5	Кровоподтеки в глазах, жабрах, брюшной полости, жабы сильно обескровлены, разрывы брюшка, крупных сосудов
	5,0	В норме
	0,5–3,5	Кровоподтеки в глазах, жабы обескровлены, выделение желчи в кишечнике
	3,5–5,0	В норме
Чехонь	0,5–1,5	Кровоподтеки в глазах, жабы слабо обескровлены
	1,5–5,0	В норме

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 6

Результаты воздействия пневматического источника «Лиман» на ихтиофауну (5 срабатываний излучателя)

Вид рыбы	Удаление от излучателя, м	Состояние внутренних органов рыбы
Осетр	0,5–3,5	Жабры слабо обескровлены, кровоизлияния в глазах
	3,5–5,0	В норме
Севрюга	0,5–3,5	Кровоподтеки в брюшке, жабры обескровлены, разрыв крупных кровеносных сосудов
	3,5–5,0	В норме
Лещ	0,5–5,0	В норме
Чехонь	3,5–5,0	В норме
Сазан	0,5–5,0	В норме

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 7

Результаты влияния источника ИГП-1 на некоторые виды рыб при однократном воздействии на удалении 3,5 м

Вид рыбы, размер, мм	Состояние рыбы сразу после воздействия	Состояние через 15 мин.	Состояние через 30 мин.	% погибших от общего количества в эксперименте
Осетр, 28–78–130	Дыхательные движения прерывисты, реакция слабая	Пришел в норму	В норме	25
Севрюга, 26–43	То же	То же	В норме	32
Лещ, 70–100	На дне, на боку, реакция слабая	Нарушена координация, реакция ослаблена	В норме	30
Чехонь, 250–270	В норме	В норме	В норме	—
Судак, 350–450	В норме	В норме	В норме	—

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Т а б л и ц а 8

Результаты влияния источника ИГП-1 на некоторые виды рыб при пятикратном воздействии на удалении 3,5 м

Вид рыбы, размер, мм	Состояние рыбы сразу после воздействия	Состояние через 15 мин.	Состояние через 30 мин.	% погибших от общего количества в эксперименте
Осетр, 28–78–130	Дыхательные движения прерывисты, реакция слабая	Нарушена координация	В норме	33
Севрюга, 26–43	То же	То же	В норме	37
Лещ, 70–100	Вверх брюхом, реакция отсутствует	Нарушена координация, реакция ослаблена	В норме	33
Чехонь, 250–270	В норме	В норме	В норме	—
Судак, 350–450	Дыхательные движения прерывисты, реакция слабая	В норме	В норме	—

Примечание. Состояние рыбы до испытаний нормальное, без повреждений.

Коэффициенты поражения отдельных видов рыб при воздействии группового пневматического источника ИГП-1

Вид рыбы	Размер рыбы, мм	Коэффициент поражения				
		$R = 0,5 \text{ м}$	$R = 1,5 \text{ м}$	$R = 2,5 \text{ м}$	$R = 3,5 \text{ м}$	$R = 5,0 \text{ м}$
Осетр	28–78–130	0,73	0,67	0,36	—	—
Севрюга	26–43	0,80	0,73	0,32	—	—
Лещ	70–100	0,70	0,41	0,20	—	—
	150–200	—	—	—	—	—
Чехонь	250–270	—	—	—	—	—
Судак	350–450	—	—	—	—	—

Вместе с тем данные, полученные при эксперименте с источниками ИГП-1, «Сигнал-5», «Сигнал-6», «Сигнал-7», хотя и свидетельствуют о небезопасности их для рыб, однако нуждаются и в некоторых оговорках. Во-первых, эти источники предназначены для использования на глубокой воде, вне мест постоянного сосредоточения гидробионтов. Во-вторых, серьезные поражения внутренних органов рыб наблюдаются только при многократном воздействии на небольших расстояниях, в то время как в реальных условиях в режиме непрерывной буксировки источников при сейсморазведке кратные воздействия на одни и те же экземпляры рыб практически исключены. И наконец, при обычно применяемых технологиях морских сейсморазведочных работ буксируемый за судном источник работает с интервалом запуска 8–15 с, а поэтому появление каких-либо рыб на пути следования приближающегося судна с источником, периодически возбуждающим интенсивные акустические сигналы, представляется маловероятным.

Литература

1. Глумов И. Ф., Кочетков М. В. и др. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. М.: Недра, 1996. 502 с.
2. Гуленко В. И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки: Монография. Краснодар: КубГУ, 2003. 313 с.
3. Выскребенцев Б. В., Пинус Г. Н., Солодилов Л. Н. О действии взрыва на рыбу // Рыбное хозяйство. 1968. № 1. С. 44–51.
4. Векилов Э. Х. Исследование влияния упругих и электрических полей на ихтиофауну в связи с повышением геологической эффективности морских геофизических работ: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1973.
5. Векилов Э. Х. Исследование влияния пневмоизлучателей на рыб. Морская геология и геофизика. Рига: Зинатне, 1974. Т. 4. С. 135–139.
6. Поисковые работы по созданию источников возбуждения, основанных на новых конструктивных принципах и способах преобразования энергии: Отчет по теме 95-90 / КФ НИИМоргеофизики: Отв. исполнители В. И. Тюхалов, В. И. Гуленко. № ГР 01900020388 (инв. № 02910012838). Инв. № 2936. Краснодар, 1990.