



УДК 550.834.07 (26)

## ПОЛЕ ПИКОВЫХ ДАВЛЕНИЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ГРУППЫ МОРСКИХ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ



### PEAK PRESSURE FIELD IN THE NEAR ZONE OF THE GROUP MARINE PNEUMATIC SOURCES

**Гуленко Владимир Иванович**

доктор технических наук, профессор,  
и.о. заведующего кафедрой  
геофизических методов поисков и разведки,  
Кубанский государственный университет  
v\_gul@mail.ru

**Захарченко Евгения Ивановна**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
геофизических методов поисков и разведки,  
Кубанский государственный университет  
evgenia-zax@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены основные результаты исследования пространственной структуры поля пиковых давлений в ближней зоне линейных и площадных групп пневматических источников «Малыш», применяемых при морской сейсморазведке, зависимости степени этого воздействия от параметров излучаемого сигнала и геометрии излучающей системы.

Показано, что поражающий эффект обусловлен не столько различиями источников в запасаемой энергии, сколько (и в основном) различиями в геометрии групп и, соответственно, различиями в пространственной структуре поля пиковых акустических давлений в ближней зоне. При этом также показано, что пиковые давления в ближней зоне площадной группы хотя особенно не превышают давлений от линейной группы, однако объем прилегающего пространства, охваченный их воздействием, значительно больше.

**Ключевые слова:** морская сейсморазведка, пневматических источники, экологические проблемы, икhtiофауна, группирование излучателей, поле пиковых давлений, акустические характеристики излучателей.

**Gulenko Vladimir Ivanovich**

Doctor of Engineering, Professor,  
acting Head of department  
geophysical methods  
of search and investigation,  
Kuban State University  
v\_gul@mail.ru

**Zakharchenko Evgenia Ivanovna**

Candidate of Technical Sciences,  
assistant Professor of Department  
geophysical methods  
of search and investigation,  
Kuban State University  
evgenia-zax@yandex.ru

**Annotation.** The main results of the study of the spatial structure of the peak pressure field in the near zone of linear and areal arrays of pneumatic sources «Malysh» used in marine seismic exploration, the dependence of the degree of this impact on the parameters of the emitted signal and the geometry of the emitting system are considered.

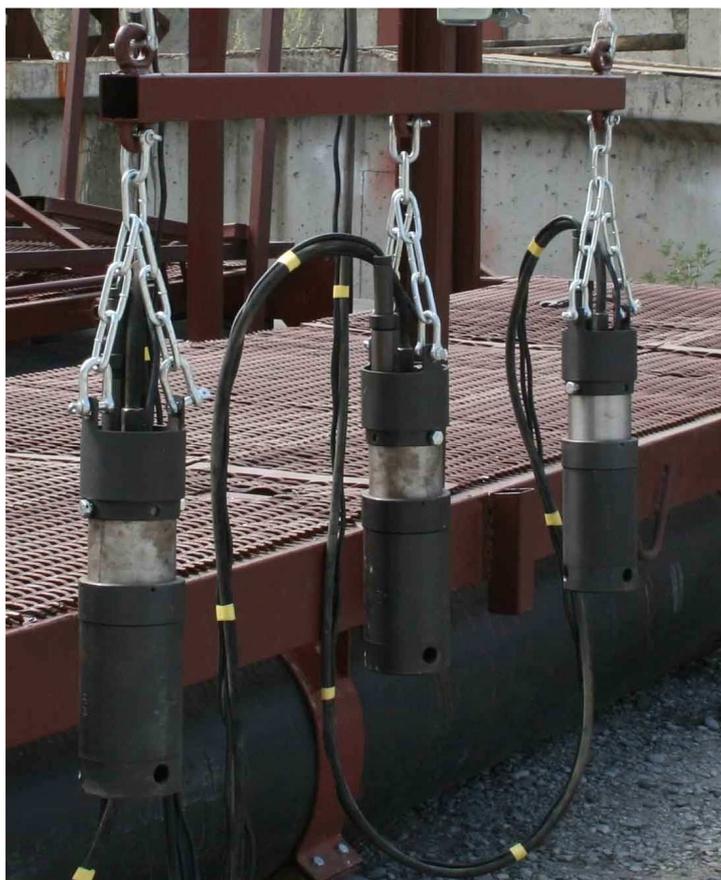
It is shown that the striking effect is caused not so much by differences in the sources of stored energy, but (and mainly) by differences in the geometry of the arrays and, accordingly, by differences in the spatial structure of the field of peak acoustic pressures in the near zone. It is also shown that the peak pressures in the near zone of the areal array, although especially do not exceed the pressures from the linear array, but the volume of the adjacent space covered by their influence is much larger.

**Keywords:** marine seismic survey, pneumatic sources, environmental problems, ichthyofauna, emitter grouping, peak pressure field, acoustic characteristics of emitters.

**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, 2].

В этой связи все вновь разработанные источники упругих волн для морской сейсморазведки обязательно подвергались изучению их воздействия на икhtiофауну. В прошлом такие исследования по определению характера воздействия акустического излучения пневматических источников «Сигнал», ИГП-1 и «Лиман» на отдельные виды рыб проводились в Краснодарском филиале НИИМоргеофизики совместно с трестом «Южморнефтегазгеофизразведка» НПО «Союзморгео» при участии Краснодарского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (КрасНИИРХ) [3, 5, 6].

Целью настоящей работы является изучение пространственной структуры поля пиковых давлений в ближней зоне различных групп морских пневматических источников типа «Малыш» [4], широко применяемых в отечественной практике в последние годы (рис. 1).



**Рисунок 1** – Пневматические излучатели «Малыш»

При срабатывании любого пневматического источника происходит выхлоп в воду сжатого воздуха при начальном давлении 12–14 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 «Малыш», а также его амплитудный спектр и интегральная функция распределения энергии по частоте приведены на рисунке 2 [2, 3, 4].

При этом поле давления одиночного точечного излучателя в «безграничном» пространстве характеризуется сферической симметрией.

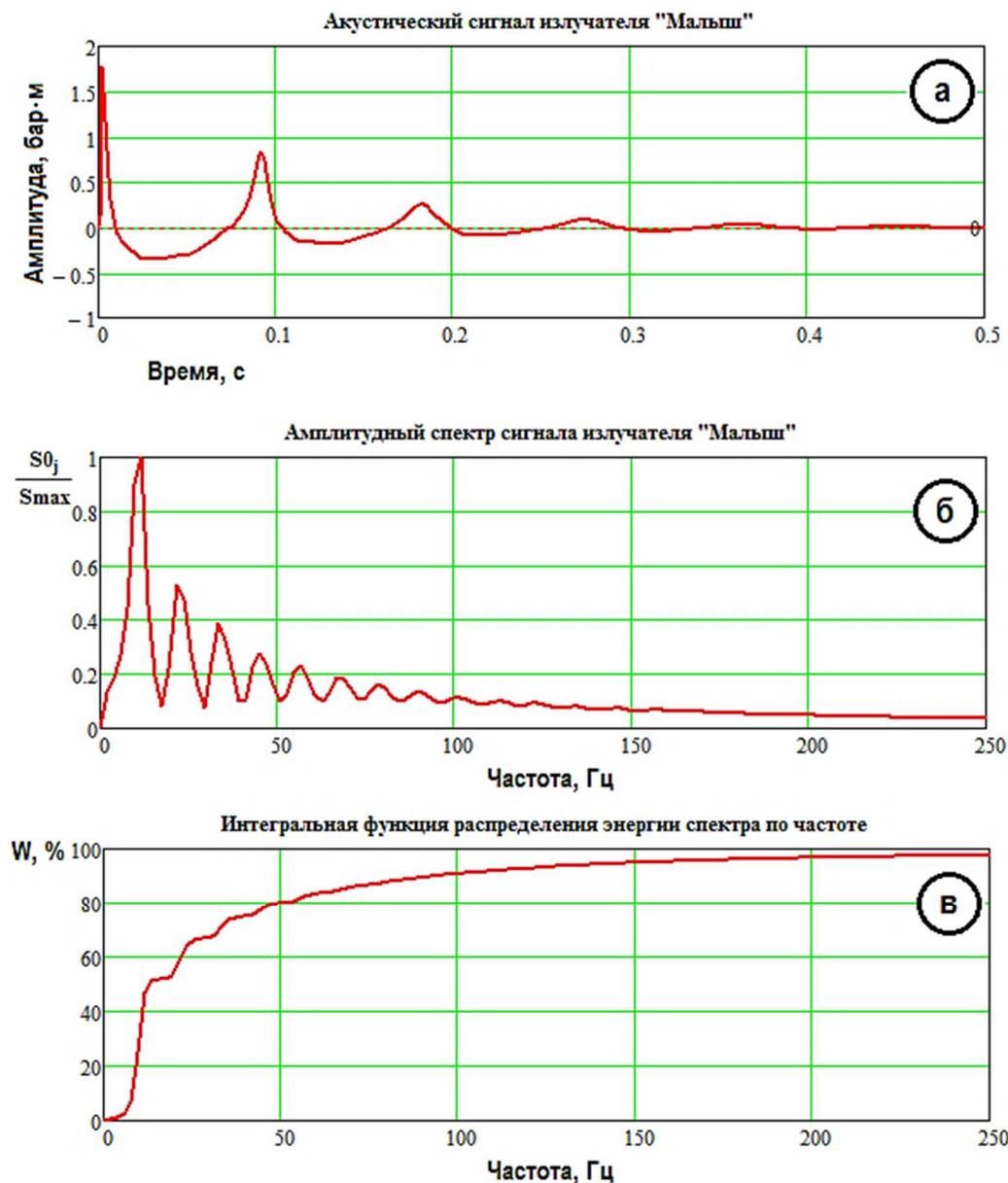
При группировании излучателей структура поля пиковых давлений существенно отличается от сферической и определяется не только геометрией группы, но и акустическими характеристиками всех излучателей группы, а также влиянием близко расположенной границы «вода-воздух».

Изучение структуры поля пиковых давлений в ближней зоне группы пневматических излучателей производилось по результатам расчетов пиковых значений суммарной амплитуды давления от всех излучателей для каждой точки  $A(x, y, z)$  нижнего полупространства, расположенных в ближней зоне группы. Расчеты выполнялись в соответствии с формулой [2]:

$$P_A(t) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_{1iA}} f_i \left( t - \frac{r_{1iA}}{c} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{k}{r_{2iA}} f_i \left( t - \frac{r_{2iA}}{c} \right).$$

где  $P_A(t)$  – суммарный сигнал в ближней зоне синхронной линейной или площадной группы из  $n$  излучателей;  $f_i(t)$  – реальный сигнал, возбуждаемый  $i$ -м излучателем в ближней зоне;  $r_{1iA}$  – расстояние между  $i$ -м действительным излучателем и точкой  $A(x, y, z)$ ;  $r_{2iA}$  – расстояние между  $i$ -м мнимым излучателем и точкой  $A(x, y, z)$ , т.е. длина траектория «волны-спутника» от  $i$ -го действительного излучателя до точки  $A(x, y, z)$  с отражением от поверхности «вода – воздух»;  $c$  – скорость звука в воде ( $c = 1500$  м/с);  $k$  – коэффициент отражения волны давления от поверхности «вода – воздух» ( $k = -1$ ).

В качестве примера на рисунке 3 приведены графики изолиний поля пиковых акустических давлений (в барах, 1 бар =  $10^5$  Па), рассчитанные для двух разных групп излучателей «Малыш» с использованием вышеприведенной формулы. Конфигурации этих групп приведены на рисунке 4.



Одиночный пневматический излучатель «Мальш», объем камеры – 1,0 дм<sup>3</sup>, рабочее давление – 14 МПа, глубина погружения – 2,0 м [4]

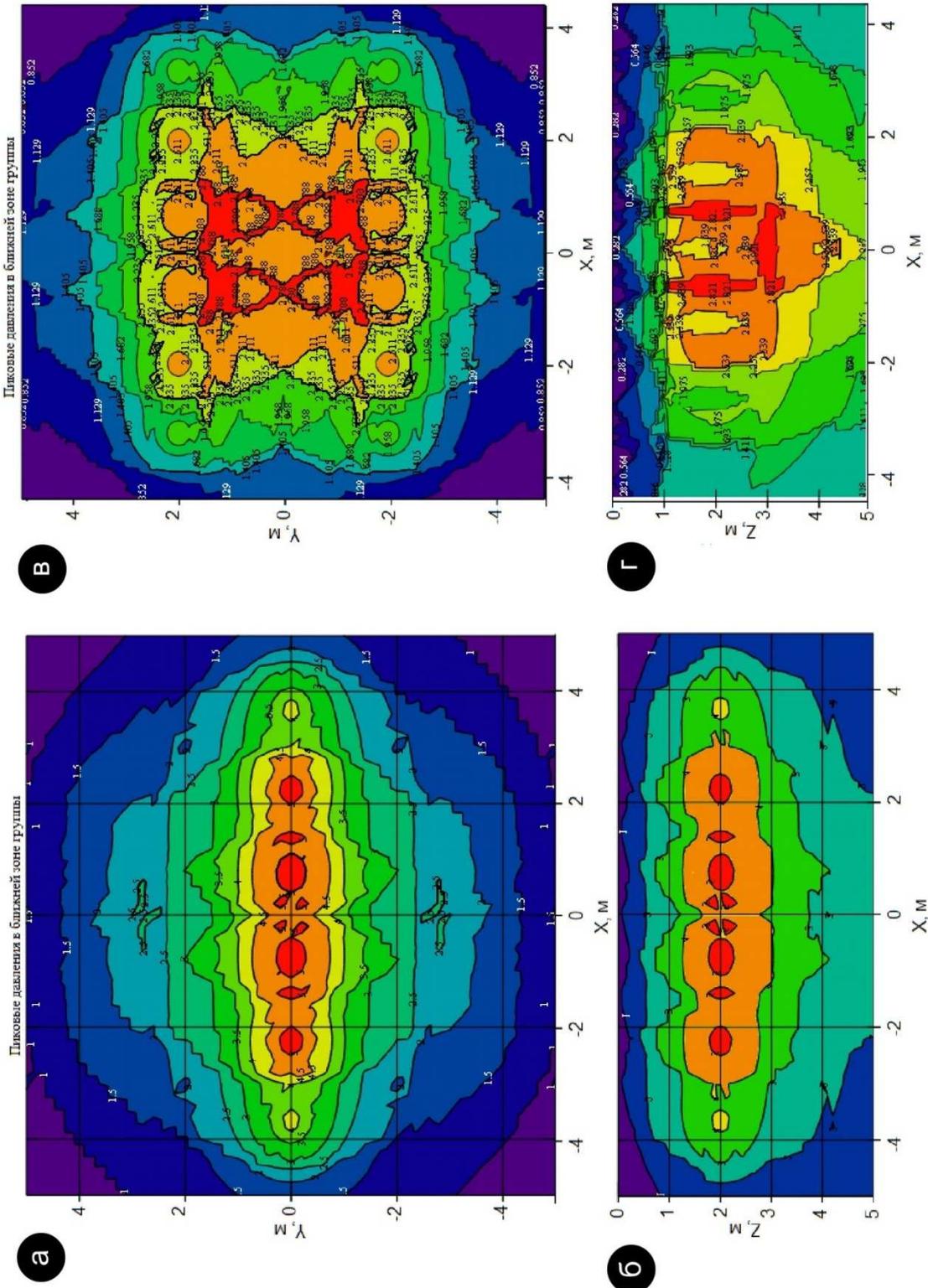
**Рисунок 2** – Сигнал давления пневматического излучателя (в ближней зоне) (а), его амплитудный спектр (б) и интегральная функция распределения энергии (в)

Как видно из сопоставления графиков пиковых давлений, линейная пневматическая группа ( $n = 6$ ,  $V_{\Sigma} = 6$  дм<sup>3</sup>,  $h = 2$  м) характеризуется заметно меньшими пиковыми акустическими давлениями в ближней зоне – рисунок 3 (а, б), поэтому такое акустическое воздействие на рыб, даже на близких дистанциях, обычно не приводит к их гибели [2, 3].

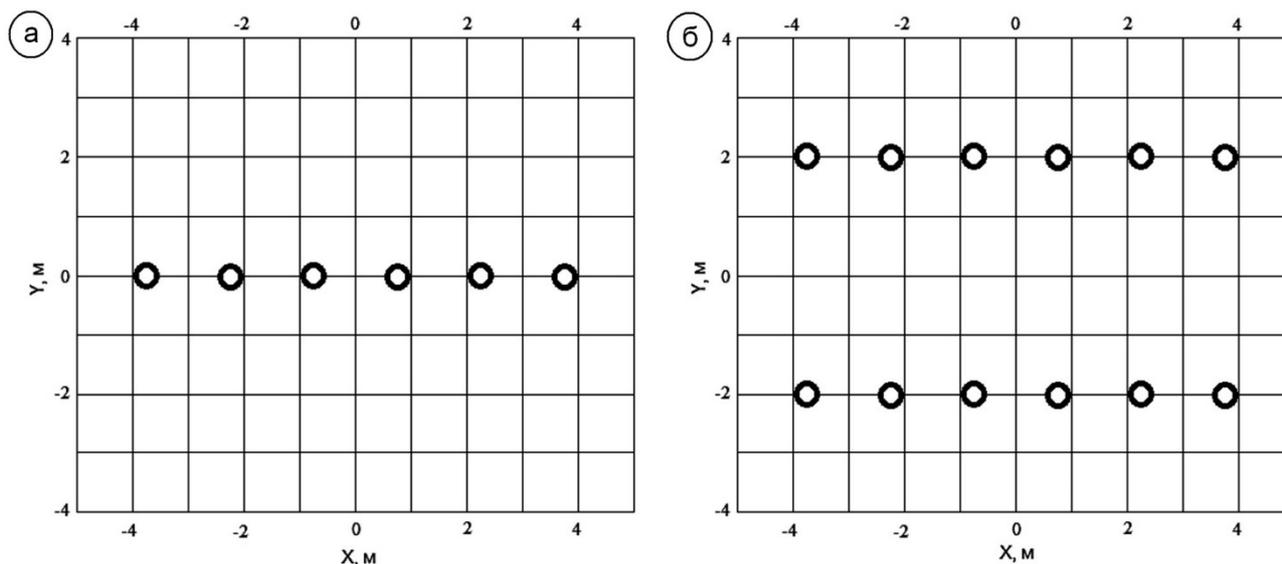
У площадной пневматической группы ( $n = 2 \times 6$ ,  $V_{\Sigma} = 2 \times 6$  дм<sup>3</sup>,  $h = 2$  м) аналогичные линейные подгруппы разнесены друг от друга на расстояние 4 м, потому что пиковые давления в ближней зоне хотя и не превышают давлений от линейной группы, однако объем прилегающего пространства, охваченный их воздействием, значительно больше.

Вместе с тем результаты, полученные с пневматическими группами на основе излучателей «Мальш», хотя и свидетельствуют о небезопасности их для ихтиофауны, однако нуждаются и в некоторых оговорках.

Так, во-первых, эти групповые источники реализованы на основе сравнительно малообъемных пневматических излучателей «Мальш», объемы рабочих камер которых не превышают 1,2 дм<sup>3</sup>, а максимальные амплитуды возбуждаемых сигналов не более 2,0 бар·м.



**Рисунок 3** – Поле пиковых акустических давлений в ближней зоне линейной группы ( $n = 6, V_{\Sigma} = 6 \text{ дм}^3, h = 2 \text{ м}$ ) – (а, б) и площадной группы ( $n = 2 \times 6, V_{\Sigma} = 2 \times 6 \text{ дм}^3, h = 2 \text{ м}$ ) – (в, г): в горизонтальной плоскости на глубине  $h = 2,5 \text{ м}$  (на  $0,5 \text{ м}$  ниже группы) – (а, б) и в вертикальной плоскости на удалении  $0,5 \text{ м}$  и  $2,0 \text{ м}$  от излучателей – (в, г)



**Рисунок 4** – Конфигурации двух вариантов пневматических групп на основе излучателей «Малыш»: а – линейная группа  $n = 6$ ,  $V_{\Sigma} = 6 \text{ дм}^3$ ,  $h = 2 \text{ м}$ ; б – площадная группа  $n = 2 \times 6$ ,  $V_{\Sigma} = 2 \times 6 \text{ дм}^3$ ,  $h = 2 \text{ м}$

Во-вторых, как следует из результатов натуральных экспериментов [2, 3, 5, 6], 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 8–20 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. [и др.]. Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. – М. : Издательство Недр, 1996. – 502 с.
2. Гуленко В.И. Пневматические источники упругих волн для морской сейсморазведки : монография. – Краснодар : Издательство КубГУ, 2003. – 313 с.
3. Гуленко В.И. Исследование влияния пневматических источников упругих волн на ихтиофауну при сейсморазведке на акваториях / В.И. Гуленко, В.И. Тюхалов // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – Краснодар : Издательство КубГУ. – 2004. – № 1. – С. 110–116.
4. Гуленко В.И. Источник упругих волн для сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитных зонах / В.И. Гуленко, А.Н. Бадиков // Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов : Издательство Саратовского отделения ЕАГО. – 2009. – № 13. – С. 124–26.
5. Векилов Э.Х. Исследование влияния пневмоизлучателей на рыб // Морская геология и геофизика. – Рига : Издательство Зинатне, 1974. – Т. 4. – С. 135–139.
6. Поискные 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. – Краснодар, 1990.

**References**

1. Glumov I.F. [et al.] Technogenic pollution and processes of natural self-cleaning of the Black Sea Prikavkaz zone. – Moscow: Nedra Publishing House, 1996. – 502 p.
2. Gulenko V.I. Pneumatic sources of elastic waves for marine seismic exploration : monograph. – Krasnodar : Kuban State University Publishing House, 2003. – 313 p.
3. Gulenko V.I. Investigation of the Influence of Pneumatic Elastic Wave Sources on Ichthyofauna during Seismic Exploration in Water Areas / V.I. Gulenko, V.I. Tyukhalov // Ecological Bulletin of Scientific Centres of the Black Sea Economic Cooperation. – Krasnodar : Kuban State University Publishing House. – 2004. – № 1. – P. 110–116.
4. Gulenko V.I. Elastic Wave Source for Seismic Exploration in Extreme Shallow Water and Transit Zones / V.I. Gulenko, A.N. Badikov // Instruments and Systems of Exploration Geophysics. – Saratov : Publishing house of Saratov branch of EAGO. – 2009. – № 13. – P. 124–26.
5. Vekilov E.Kh. Investigation of the pneumoirradiator influence on fish // Marine geology and geophysics. – Riga : Zinatne Publishing House, 1974. – Vol. 4. – P. 135–139.
6. Search works on creation of excitation sources based on new constructive principles and methods of energy conversion : Report on the topic 95-90 // KF NIIMorgeophysics: abstract by V.I. Tyukhalov, V.I. Gulenko. – № GR 01900020388. – Krasnodar, 1990.