

## Сравнительный анализ технических характеристик гидроакустических средств профилирования донного грунта

А. В. Вагин<sup>✉</sup>, Я. А. Пелагеев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

✉ av.vagin@bk.ru

**Аннотация.** Проведен сравнительный анализ основных технических характеристик востребованных зарубежных и отечественных гидроакустических средств профилирования донного грунта. Для каждого изготовителя рассматривается ряд перспективных образцов. В сравнение приняты гидроакустические профилографы, работающие в линейном, а также в параметрическом (нелинейном) режимах. Рассмотрены гидроакустические профилографы донного грунта, работающие с использованием тональных и линейно-частотно модулированных сигналов. Среди параметров, которые представляют наибольший интерес, представлены частота зондирования донного грунта, глубина профилирования, рабочая глубина, разрешающая способность и др.

**Ключевые слова:** профилограф, глубина профилирования, рабочая глубина, разрешающая способность

**Для цитирования:** Вагин А. В., Пелагеев Я. А. Сравнительный анализ технических характеристик гидроакустических средств профилирования донного грунта // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 5. С. 15–25. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-5-15-25.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Original article

## Comparative Analysis of the Technical Characteristics of Hydroacoustic Bottom Soil Profiling Tools

A. V. Vagin<sup>✉</sup>, Ya. A. Pelageev

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia

✉ av.vagin@bk.ru

**Abstract.** Provides a comparative analysis of the main technical characteristics of some of the most popular foreign and domestic hydroacoustic means for profiling bottom soil. A number of promising samples are considered for each manufacturer. The comparison included hydroacoustic profilers operating in linear mode, as well as in parametric (nonlinear) mode. Hydroacoustic bottom soil profilers operating using tonal and linear frequency modulated signals are presented. Among the parameters that are of the greatest interest are the frequency of bottom soil probing, profiling depth, working depth, resolution, etc.

**Keywords:** profilograph, profiling depth, working depth, resolution

**For citation:** Vagin A. V., Pelageev Ya. A. Comparative Analysis of the Technical Characteristics of Hydroacoustic Bottom Soil Profiling Tools // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2024. Vol. 17, no. 5. P. 15–25. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-5-15-25.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest.

**Введение.** Рынок гидроакустических средств в постоянном развитии, что обусловлено регулярными вызовами, возникающими для задач профилирования донного грунта находится

мышленности в обеспечение решения поисково-обследовательских работ. Гидроакустические профилографы (ПГ) донного грунта используются для поиска заиленных объектов и исследования донного грунта с классификацией осадочных пород [1]. Обоснованность использования ПГ для решения батиметрических задач, задач поиска и обследования протяженных и точечных объектов на достаточно больших глубинах водоемов различного масштаба подтверждается возможностью получения стратифицированного изображения осадочных структур с высокой информативностью, удобным представлением выходной информации и высокими техническими характеристиками [2].

ПГ донного грунта активно применяются в реализации многочисленных международных программ по изучению климата Центральной Азии, геологии и углеводородов Байкальской впадины и др. Так, например, в [3] излагаются основные подходы по комплексному получению гидрографических данных на озере Байкал. В результате применения ПГ «Knudsen CHIRP 3260» («Knudsen», Канада) вместе с многолучевым эхолотом «Kongsberg EM710S» («Kongsberg», Норвегия), установленных на научно-исследовательском судне «Титов» Лимнологического института Сибирского отделения Российской академии наук, была построена цифровая модель подводного рельефа вблизи поселка Большое Голоустное, которая позволила выделить вдоль подводного склона хорошо развитые хребты, а также определить места выхода газа со дна (рис. 1).

Известно, что помимо научных исследований ГАС профилирования донного грунта служат мощным инструментом для проведения поисковых, контрольных, проектно-изыскательских, осмотровых, промерных работ в акваториях морских портов, в руслах рек, шельфовых territori-

ях морей и океанов (в том числе в Южном федеральном округе, в северной части Каспийского моря). ПГ донного грунта уже стали фактически единственным средством визуализации структуры донных отложений, поиска и оконтуривания заиленных и придонных объектов, включая нефте- и газопроводы («Северный поток», «Голубой поток», «Южный поток» и др.), миноподобные и другие потенциально опасные объекты.

Дальнейшее развитие технологий и производств, добыча, транспортировка и сжигание углеводородного сырья приводит к ухудшению экологической обстановки, что в свою очередь вызывает необходимость разработки новых технических решений мониторинга подводных трубопроводов и других размещаемых на шельфе инженерных сооружений. На сегодняшний день традиционной стала классификация типа грунта, особенно при производстве геологоразведочных и гидротехнических работ. Такая классификация локальных участков грунта может быть полезна и при выборе мест взятия «донных проб» при гидробиологических исследованиях, оптимизации размещения объектов «морской аквакультуры» [4].

Так, например, известно, что в Российской Арктике сосредоточено до 70 % углеводородов шельфа России. К морским трубопроводам для транспортировки добытых углеводородов применяются повышенные требования к обеспечению безопасности и надежности в процессе их длительной эксплуатации с учетом особых природно-климатических условий работы, например в условиях донных грунтов, сложенных из многолетних мерзлых придонных пород. Вследствие их промерзания и оттаивания возникают дополнительные нагрузки на трубопровод в виде растягивающих и сжимающих сил, изгибающих моментов. Для безопасного проектирования морских трубопроводов необходимо учитывать располо-

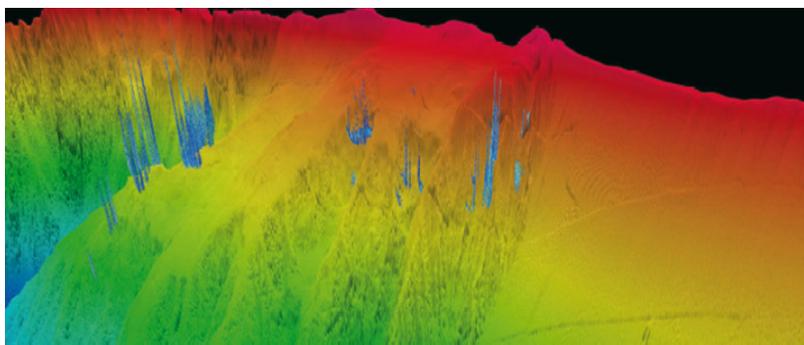


Рис. 1. Цифровая трехмерная модель рельефа дна вблизи поселка  
Большое Голоустное с данными водных столбов  
Fig. 1. Digital 3D model of the bottom relief  
near the Bolshoe Goloustnoe village with water column data

жение мерзлых пород. С целью идентификации подобных грунтов успешно проведены экспедиции на борту ледокола «Polarstern» в 1993, 1995, 1998, 2000 гг. с использованием ПГ «Atlas Parascound» («Atlas Hydrographic GmbH», отделение фирмы «Atlas Elektronik», ФРГ) в северо-восточной части континентального шельфа западнее острова Котельный и прибрежной шельфовой зоне Карского моря. Отмечено, что первые работы геологического картирования на акваториях при инженерно-геологических изысканиях, а также для мониторинга опасных геологических процессов начали проводиться в нашей стране в 60-е гг. XX в. в одноканальном режиме работы ПГ, с развитием технологий исследования проводились в многоканальном режиме – начиная с 1990 гг. [5], [6].

В [7] рассматривается применение гидроакустического ПГ совместно с гидролокатором бокового обзора, многолучевого эхолота в качестве основы геофизического метода районирования прибрежно-шельфовой зоны Западного Ямала по видам и интенсивности ледово-экзарационного воздействия. Исследование проведено в рамках многолетних научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ под цели проектирования и производственного мониторинга подводного перехода газопровода «Бованенково–Ухта» через Байдарацкую губу Карского моря.

В [8] приводятся данные об инспекции газопроводов с помощью подводных систем контроля их состояния в процессе эксплуатации – акустический ПГ в совокупности с гидролокатором бокового обзора и/или многолучевым эхолотом, магнитометрическими и электромагнитными датчиками решает такие задачи, как прослеживание трубопровода или кабеля, уточнение их местоположения, оценка состояния, обнаружение повреждений и точек утечки, выявление других нештатных ситуаций.

В данной статье рассматриваются наиболее востребованные образцы ПГ, работающие в линейном и нелинейном режимах с использованием тональных и линейно-частотно модулированных (ЛЧМ) сигналов. Проведен сравнительный анализ основных технических характеристик (ТХ) ГАС профилирования донного грунта (как отечественных, так и зарубежных). Под основными ТХ понимаются: глубина профилирования, рабочая глубина, разрешающая способность, потребляемая мощность, диапазон рабочей частоты, диапазон частот накачки для параметрических ПГ, выходная (излучаемая) мощность, длительность импульса и ширина характеристики направленности (ХН), а также массогабаритные характеристики.

При использовании тонального зондирующего сигнала, под которым понимается простой

гармонический сигнал, решение задачи стратификации и обеспечения высокой разрешающей способности предполагает короткий импульс и относительно низкую центральную рабочую частоту. Вместе с этим неизбежно падает акустическое давление, вследствие чего уменьшается глубина зондирования, а также ухудшается стабильность амплитуды импульсов, что приводит к затруднению оценки эхо-сигнала, снижению помехозащищенности [9], [10].

Указанные недостатки устраняются при помощи широкополосных сигналов с линейной частотной модуляцией. Использование сложных ЛЧМ-сигналов большой длительности основано на возможности их сжатия с помощью корреляционной обработки. Фрагменты гидроакустической съемки дна средствами гидролокатора бокового обзора с использованием ЛЧМ-сигналов представлены на рис. 2, а, б. При этом их применение совместно с антеннами, работающими в линейном режиме, ограничено:

1) при большой глубине погружения под килем ввиду относительно широкой ХН возникают «блики» от неровностей дна (рис. 2, б), что затрудняет стратификацию донного грунта;

2) сигналы большой мощности излучаются в звуковом диапазоне частот на десятки километров, вследствие чего возникает негативное влияние на экологию [9]–[11].

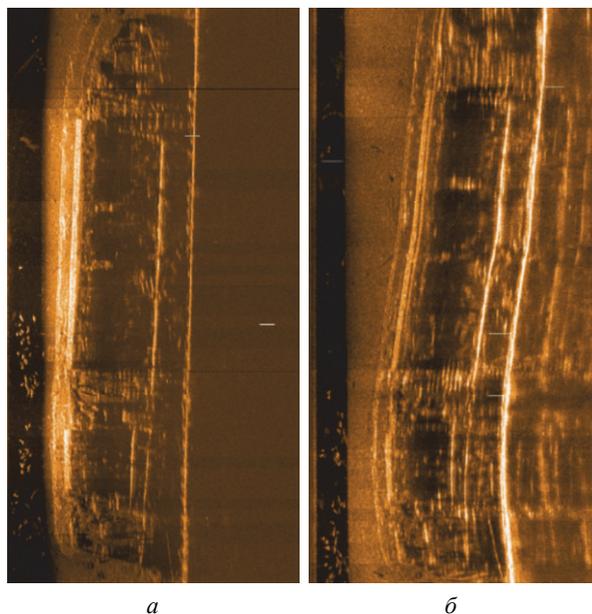


Рис. 2. Фрагменты гидроакустической съемки дна средствами гидролокатора бокового обзора, акватория р. Амур, 2015 г.: а – использование тонального сигнала; б – использование ЛЧМ-сигнала в качестве зондирующего

Fig. 2. Fragments of hydroacoustic bottom survey using side-view sonar, Amur River water area, 2015: а – use of a tone signal; б – use of an LFM signal as a sounding

К недостаткам функционирования ПГ с использованием широкополосных ЛЧМ-сигналов также следует отнести невозможность получения сверхвысокого разрешения в приповерхностном слое вертикального разреза (для этого необходима высокая направленность на низких частотах), а также тот факт, что на разных частотах «озвучивается» различный объем среды (физические характеристики отраженных сигналов с разных частот становятся несопоставимыми) [12].

Вышеперечисленные ограничения и недостатки устраняются применением гидроакустических антенн, работающих в параметрическом режиме, суть которого заключается в одновременном излучении в водную среду двух высокочастотных сигналов (с частотами накачки  $f_1$  и  $f_2$ ), после которого следует их нелинейное, коллинеарное взаимодействие, вследствие чего возникает волна разностной частоты  $F = |f_1 - f_2|$  и суммарной частоты (волны на суммарной частоте не находят практического применения ввиду быстрого затухания). Ширина ХН на низкой частоте  $F$  при этом близка к ширине ХН на высокой частоте. Данная особенность (частотно-независимая ширина ХН) антенн, работающих в параметрическом режиме, определила их дальнейшие перспективы в изучении рельефа дна. ГАС профилирования донного грунта, работающие в параметрическом режиме, привлекательны еще по целому ряду показателей:

- высокая разрешающая способность по углу (за счет узкой направленности ХН);
- высокая разрешающая способность по дистанции (за счет возможности излучать как короткие импульсы, так и сложные широкополосные сигналы);
- высокая помехоустойчивость за счет малого уровня бокового излучения антенны;
- возможность классифицировать объекты локации с помощью сложных широкополосных сигналов;
- малые габариты и вес [10], [12], [13].

Рассмотрим технические характеристики наиболее известных и востребованных образцов гидроакустической техники профилирования донного грунта, начав с линейных ПГ и затем перейдя к рассмотрению ПГ, работающих в параметрическом режиме [14].

**Линейные ГАС профилирования донного грунта, сравнительный анализ образцов.** К рас-

смотрению предлагается ГАС профилирования донного грунта норвежской компании «Kongsberg» (модель «SBP 29») с более чем 200-летней историей, разрабатывающей новейшие инженерные и программные решения для задач, выполняемых в экстремальных условиях (от морского дна до космического пространства). Модель «SBP 29» (рис. 3) – преемник модельного ряда SBP 120 и SBP 300. В новом поколении применена модифицированная технология, обеспечивающая более широкую полосу пропускания и улучшенные количественные показатели разрешения по дальности. Ключевые особенности заключаются в пакетном и многоимпульсном режимах для поддержания высокой скорости отклика, уникальных характеристиках при стратификации на наклонной донной поверхности.



Рис. 3. Пример установки матрицы преобразователей ПГ «SBP 29»  
Fig. 3. Example of the installation of a matrix of «SBP 29» profiler converters

Рынок гидроакустической техники профилирования донного грунта представлен также двумя моделями систем мультимодального акустического профилирования «SUBPRO» немецкого производителя эхолотов, датчиков уровня воды и волн «General Acoustics». Профилографы разработаны для регистрации с высоким разрешением границ донных отложений в слое до 15 м. Возможность настройки системы «SUBPRO» позволяет адаптировать ее к различным задачам, и, значит, эффективно исследовать мягкие осадочные породы, перенос и накопление донных отложений, а также легко обнаруживать даже небольшие по размерам объекты под поверхностью дна. Устанавливаются данные ПГ в качестве как навесной системы, так и стационарной в корпусе судна («SUBPRO2545») (рис. 4, б) преимущественно на малые плавсредства и телеуправляемые носители для работы на малых и



Рис. 4. Профилографы: а – «SUBPRO1210»; б – «SUBPRO2524»  
 Fig. 4. Profilograps: a – «SUBPRO1210»; б – «SUBPRO2524»

сверхмалых глубинах, а «SUBPRO1210» (рис. 4, а) – на суда малого и среднего водоизмещения для глубин от 1.5 м).

В табл. 1 представлены ТХ ПГ компании «General Acoustics». В результате сравнения ТХ двух образцов ПГ наиболее востребованной можно считать модель «SUBPRO2524» ввиду лучших массогабаритных показателей, более узкой ХН, большей глубины профилирования и диапазона по длительности зондирующего импульса.

Табл. 1. Технические характеристики ПГ компании «General Acoustics»  
 Tab. 1. Technical characteristics of profilers manufactured by «General Acoustics»

Техническая характеристика	SUBPRO1210	SUBPRO2524
Масса, кг	30	8.5
Д × Ш × В, мм	500 × 500 × 300	330 × 230 × 150
Ширина ХН, ...°	10	6; 9
Глубина профилирования, м	<10	>15
Диапазон рабочей частоты, кГц	12; 25...45	25...45
Рабочая глубина, м	>1.5	>0.25
Приборный состав	Акустический преобразователь и аппаратный блок	
Длительность импульса, мс	0.2...1	0.08...1
Разрешающая способность, мм	1	<50

Табл. 2. Технические характеристики ПГ компании «Knudsen»  
 Tab. 2. Technical characteristics of manufactured by «Knudsen»

Техническая характеристика	Knudsen 3212	Knudsen 3260
Масса, кг	<39.5	25
Д × Ш × В, мм	488 × 386 × 185	533 × 483 × 222
Ширина ХН, ...°	30; 12; 9	–
Глубина профилирования, м	40	80
Диапазон рабочей частоты, кГц	3.5; 15; 210	3.5; 210
Рабочая глубина, м	4...300	>10 000
Потребляемая мощность, Вт	<100	<200
Приборный состав	Два излучателя (3.5 и 15 кГц), широкополосная приемная решетка, аппаратная часть	16-ти элементная матрица преобразователей (4 на 4, 3.5 кГц), преобразователь на 12 кГц, аппаратная часть
Длительность импульса, мс	0.0625...64; 0.0625...64; 0.0625...4	<64
Разрешающая способность, мм	3...10 в зависимости от глубины	

Канадская компания «Knudsen» производит модели ПГ «Knudsen 3212» и «Knudsen 3260» (рис. 5). Первый образец предназначен для профилирования дна на мелководье (от 4 до 300 м) с установкой на подвесном устройстве, а второй изготовлен для глубоководной съемки в океане и научных исследований (устройство уже стало стандартом для организации исследовательских судов Национального университета океанографических лабораторий в Северной Америке).

В табл. 2 представлены ТХ ПГ компании «Knudsen».



Рис. 5. ПГ «Knudsen 3260»  
 Fig. 5. PG «Knudsen 3260»

Самый объемный модельный ряд ГАС профилирования донного грунта в различных исполнениях представляет американская компания «EdgeTech», рассматриваются модели «SB-512i», «3300», «3400-OTS» и «3400». В данных ПГ применена запатентованная технология «Full Spectrum Chirp», основанная на использовании широкополосных импульсов с частотной модуляцией [10]. Модели «SB-512i» и «3400» – буксируемые, «3300» устанавливается на корпусе, а «3400-OTS» – на подводном устройстве, как показано на рис. 6.



Рис. 6. ПГ компании «EdgeTech», модели: а – «3200-XS»; б – «3300»; в – «3400-OTS»; з – «3400»

На основе приведенных ТХ ГАС профилирования донного грунта от компании «EdgeTech» (табл. 3) наиболее востребована модель «SB-512i»,

превосходящая остальные ПГ по глубине профилирования, рабочей глубине и разрешающей способности, однако уступающая по массогабаритным показателям.

Далее рассмотрим модели ПГ, представленных на отечественном рынке двумя производителями: как АО «Концерн «Океанприбор» и кооперация предприятий по созданию техники для морских исследований и проектно-изыскательских работ «Наесо».

АО «Концерн «Океанприбор» изготавливает следующие модели профилографов (серия «Корвет»): «ПГ-30», «ПГ-300», «ПГ-1000» (рис. 7). Данные ГАС профилирования донного грунта предназначены для дистанционного обследования донного грунта с надводного судна акустическим методом в реальном масштабе времени, а также для выполнения грунтовой съемки. Применяются для широкого спектра навигационно-гидрографических, инженерных и экологических задач. В сравнение также взято ГАС профилирования донного грунта «Aquazond ПФ 614» производства компании «Наесо», устанавливаемое на буксируемых и автономных подводных аппаратах.

В табл. 4 представлены технические характеристики отечественных моделей ПГ. По массогабаритным показателям и энергопотреблению выигрывает ПГ компании «Наесо»; «ПГ-1000», в свою очередь, опережает конкурента по рабочей глубине и разрешающей способности (табл. 4).

Табл. 3. Технические характеристики ПГ компании «EdgeTech»  
Tab. 3. Technical characteristics of profilers manufactured by «EdgeTech»

Техническая характеристика	«SB-512i»	«3300»	«3400-OTS»	«3400»
Масса, кг	186	91.3	145	65
Д × Ш × В, мм	1580 × 1340 × 460	483 × 89 × 411	1168 × 75 × 505	1150 × 554 × 431
Ширина ХН, ...°	16; 24; 32; 41	20...40	4...7	4...7
Глубина профилирования, м	30 (песок); 250 (глина)	6 (песок); 80 (глина)	20 (песок); 200 (глина)	8 (песок); 100 (глина)
Диапазон рабочей частоты, кГц	0.5...12	0.5...12	1...10	2...16
Рабочая глубина, м	3...300	<300; <3000; <10 000 (в зависимости от конфигурации матрицы преобразователей)	<100	<100
Потребляемая мощность, Вт	–	–	средняя: 42; максимальная: 54	средняя: 42; максимальная: 54
Приборный состав	2 излучателя и 4 приемника	5(7) преобразователей и набор датчиков в виде 2-мерной решетки (излучение и прием)	2 преобразователя, приемная матрица	2 преобразователя, блок приемников
Длительность импульса, мс	5...50	3...100	–	–
Разрешающая способность, мм	8; 12; 19	60...100	80...120	60...100



Рис. 7. Внешний вид акустических антенн отечественных профилографов: а – «Корвет ПГ-1000»; б – «Aquazond ПФ 614»

Fig. 7. The appearance of some of the domestic profilers considered in this article: а – «Corvette PG-1000»; б – «Aquazond PF 614»

У всех рассмотренных ГАС профилирования донного грунта, работающих в линейном режиме,

есть как преимущества, так и недостатки. Например, образец «SBP 29» от компании «Kongsberg» имеет лучшие показатели по ширине ХН, разрешающей способности и мощности излучения, при этом значительно уступает по массогабаритным количественным показателям; модель «SUBPRO» от компании «General Acoustics» наиболее компактна, имеет малый вес и минимальную потребляемую мощность, но вместе с тем в основном уступает по остальным показателям конкурентам; «ПГ-1000» производства компании АО «Концерн «Океанприбор» имеет оптимальную глубину профилирования и максимальную рабочую глубину, при этом значительно уступая по разрешающей способности и энергоэффективности. В качестве универсального варианта исполнения ПГ, работающего в линейном режиме, можно рассматривать образец «SB-512» от компании «EdgeTech», сочетающий в себе

Табл. 4. Технические характеристики отечественных моделей ПГ  
Tab. 4. Technical characteristics of domestic profile recording instruments

Техническая характеристика	«ПГ-30»	«ПГ-300»	«ПГ-1000»	«Aquazond ПФ 614»
Масса, кг	45	65	111	35
Диаметр, мм	–	–	–	235×345
Ширина ХН, ...°	–	–	–	40
Глубина профилирования, м	5...15 (песок) <100 (ил, глина)	5...15 (песок) <100 (ил, глина)	5...15 (песок) <100 (ил, глина)	80
Диапазон рабочей частоты, кГц	2...16	2.5...13.5	3...12	6...14
Рабочая глубина, м	<30	<300	5...1000	5...100
Энергопотребление, ВА	–	–	250	95
Длительность импульса, мс	–	0.4...64	4...64	–
Разрешающая способность, мм	60	80	100	<200

Табл. 5. Технические характеристики ПГ компании «Kongsberg»  
Tab. 5. Technical characteristics of profilers manufactured by «Kongsberg»

Техническая характеристика	«PS 18»	«PS 40»	«PS 120»
Масса, кг	695	200	68
Д × Ш × В, мм	Приемопередатчик: 600 × 756 × 1188; преобразователь: 1142 × 1140 × 260	Приемопередатчик: 600 × 574 × 820 преобразователь: 840 × 534 × 118	Приемопередатчик: 700 × 530 × 400; преобразователь: 320 × 420 × 70
Ширина ХН, ...°	(3.5; 4.5) × 4.5	(3.5; 3) × 5	3 × 4; 4 × 5
Глубина профилирования, м	>200	>75	>50
Диапазон разностных частот, кГц	0.5...6	1...10	2...30
Рабочая глубина, м	<20 ... >11 000	<4 ... >2000	2...500
Потребляемая мощность, Вт	–	–	<1000
Приборный состав	Преобразователь (8 × 16 каналов), приемопередатчик и консоль	Преобразователь (1 × 24 каналов), приемопередатчик и консоль	Преобразователь (6 × 4 каналов), приемопередатчик и консоль
Диапазон частот накачки, кГц	15...21	35...45	70...100
Мощность излучения, кВт	>32	>16	–
Длительность импульса, мс	–	–	0.01...30
Разрешающая способность, мм	<150	<100	<5

большую глубину профилирования, оптимальную рабочую глубину и высокую мощность излучения.

**Параметрические ГАС профилирования донного грунта.** Рассматриваются востребованные образцы ГАС профилирования донного грунта, работающих в нелинейном (параметрическом) режиме.

Рассмотрен один из самых мощных из известных ПГ, работающих в нелинейном режиме, – «Atlas Parasound», разработка фирмы «Atlas Hydrographic GmbH». Первые образцы ПГ испытаны в середине 80-х гг. в океанических условиях, в том числе в Индийском океане на глубинах до 10 000 м. ГАС профилирования донного грунта «Atlas Parasound» различных модификаций установлены на научно-исследовательских судах РАН «Академик Сергей Вавилов», «Академик Иоффе», «Академик Борис Петров» [10].

Уже упомянутая ранее норвежская компания «Kongsberg» также имеет модельный ряд параметрических ГАС профилирования донного грун-

та «TOPAS»: «PS 18», «PS 40» и «PS 120», отличающихся высоким разрешением и работающих на глубинах 20...11 000 м и более, 5...1000 м и 3...400 м соответственно. В табл. 5 представлены ТХ ПГ компании «Kongsberg».

Немецкий производитель электроприборов, электрических и электронных товаров «INNOMAR Technologie GmbH» – один из ведущих разработчиков ПГ, работающих в нелинейном режиме. Среди них по 4 модели мелководных и глубоководных, 2 мультитрансдюсерных ГАС профилирования донного грунта (3D-профилирование), а также 4 образца, интегрируемых в беспилотные аппараты. ПГ собирают полноводные данные, которые обрабатываются с любого сейсмического ПО. В данной статье рассмотрен один мелководный (модель «Standart») и два глубоководных ПГ (модели «Medium-100» и «Medium-70»), выбранные согласно средним значениям рабочих глубин среди всех перечисленных ранее моделей (рис. 8). Модель «Standart» отличается универсальностью:



Рис. 8. Образцы ПГ, работающих в нелинейном режиме, компании «Innomar»:

а – «Medium-70»; б – «Medium-100»; в – «Standart»

Fig. 8. Samples of NG operating in a nonlinear mode from Innomar:

а – «Medium-70»; б – «Medium-100»; в – «Standart»

Табл. 6. Технические характеристики ПГ компании «Innomar»  
Tab. 6. Technical characteristics of profilers manufactured by «Innomar»

Техническая характеристика	«Medium-70»	«Medium-100»	«Standart»
Масса, кг	203	104	65
Д × Ш × В, мм	Электронный блок: 520 × 400 × 440; преобразователь: 600 × 600 × 250	Электронный блок: 520 × 440 × 400; преобразователь: 500 × 120 × 500	Электронный блок: 520 × 400 × 340; преобразователь: 340 × 260 × 80
Ширина ХН, ...°	1.5 с пятном в 5.5 % от возвышения над дном	1 с пятном в 3.5 % от возвышения над дном	2 с пятном в 7 % от возвышения над дном
Глубина профилирования, м	<100	<70	<50
Диапазон разностных частот, кГц	1.5...15	2...22	2...22
Рабочая глубина, м	5...2500	2...2000	0.5...500
Потребляемая мощность, Вт	<450	<400	<300
Диапазон частот накачки, кГц	60...80	85...115	85...115
Мощность излучения, кВт	7.5	5.5	3.5
Длительность импульса, мс	0.1...1; 5	0.07...1; 3.5	0.07...1; 1.5
Разрешающая способность, мм	<70	<50	<5

достаточно компактная для использования на небольших судах при выполнении прибрежных съемок, но при этом достаточно мощная, что и позволяет использовать ее для морских съемок на глубинах до 500 м. Все образцы устанавливаются как на корпусе судна, так и на забортной штанге.

В табл. 6 представлены ТХ ПГ компании «Innomar».

Среди отечественных ПГ, работающих в нелинейном режиме, в сравнительный анализ включены «ГАЛС-П-20» и «ГАЛС-П-150» («Нелак», Таганрог), а также «Н5р1» и «Н5р3» (ООО «Экран», Санкт-Петербург) (рис. 9). «ГАЛС-П-150» предназначен для установки на судах с различным водоизмещением, включая маломерные (катера и лодки), «Н5р1» устанавливается на борту любого судна, а «Н5р3» – на борту телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов, автономных необитаемых подводных аппаратов, буксируемых тел и других подводных аппаратов.

В табл. 7 представлены ТХ ПГ компаний «Нелак» и ООО «Экран».

У всех рассмотренных ГАС профилирования донного грунта, работающих в нелинейном режиме, есть свои положительные и отрицательные

стороны. Например, «Atlas Parasound» от «Atlas Hydrographic GmbH» имеет наилучшие показатели по глубине профилирования и мощности излучения, рабочая глубина также на высоком уровне, при этом разрешающая способность у данного ПГ одна из худших. Модель «Н5р3» от отечественного производителя «ООО «Экран» обладает лучшими массогабаритными показателями и высокой разрешающей способностью, при этом по глубине профилирования и рабочей глубине данный ПГ в основном уступает аналогам. Модель ПГ «Standart» компании «Innomar» обладает узкой ХН и лучшей разрешающей способностью, что достигается за счет высокого энергопотребления и небольшой глубины профилирования. В качестве универсального варианта исполнения параметрического ПГ можно рассматривать образец «TOPAS «PS 40» от компании «Kongsberg», сочетающий в себе оптимальную ширину ХН и глубину профилирования, наибольшую глубину погружения с приемлемыми показателями мощности излучения и разрешающей способности.

**Заключение.** Эффективное применение ГАС профилирования донного грунта неразрывно свя-



Рис. 9. Образцы отечественных ПГ, работающих в нелинейном режиме:  
а – «ГАЛС-П-150»; б – «Н5р1»; в – «Н5р3»

Fig. 9. Samples of domestic NG operating in a nonlinear mode:  
а – «GALS-P-150»; б – «Н5р1»; в – «Н5р3»

Табл. 7. Технические характеристики ПГ компаний «Нелак» и ООО «Экран»  
Tab. 7. Technical characteristics of profilers manufactured by «Nelaks» and LLC «Ekran»

Техническая характеристика	«ГАЛС-П-20»	«ГАЛС-П-150»	«Н5р1»	«Н5р3»
Масса, кг	–	–	2	1.7
Диаметр, мм	–	–	160 × 55	160 × 48
Ширина ХН, ...°	–	3	3...6	6
Глубина профилирования, м	<300	<30	2...50	2...10
Диапазон разностных частот, кГц	1...5	7...21	6...30	6...30
Рабочая глубина, м	10...900	<100	0.5...50	<50
Потребляемая мощность, Вт	–	–	<15	<20
Приборный состав	–	–	ВЧ-антенна (прием и передача), НЧ-антенна (прием)	ВЧ-антенна (прием и передача), НЧ-антенна (прием)
Диапазон частот накачки	17...23	127.5...172.5	290...340	290...340
Разрешающая способность, мм	500	100	200; 30	<20

зано с определением унифицированного варианта исполнения среди огромного многообразия представленных на рынке моделей. В данной статье

было рассмотрено 24 образца ПГ, работающих в линейном и параметрическом режимах.

### Список литературы

1. Нестеров Н. А. Некоторые аспекты технологии гидролокационного поиска донных объектов // Навигация и гидрография. 2014. № 38. С. 57–65.
2. Вагин А. В., Воротынцева А. С. Теоретическое и экспериментальное обоснование принципов построения гидролокаторов обзора донной обстановки // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2022. Т. 15, № 5/6. С. 5–14. doi: 10.32603/2071-8985-2022-15-5/6-5-14.
3. Комплексное представление гидрографических данных по исследованию озера Байкал / Н. А. Губин, К. А. Григорьев, Д. А. Ченский, А. Г. Ченский // Региональная геология и металлогения. 2023. № 95. С. 34–41. doi: 10.52349/0869-7892\_2023\_94\_34-41.
4. Адаптивное управление гидроакустическими системами / И. Б. Старченко, И. А. Кириченко, В. Л. Сахаров, П. С. Голосов // Прикаспийский журн.: управление и высокие технологии. 2013. № 3. С. 26–33.
5. Мансуров М. Н., Лаптева Т. И., Никитин Б. А. Эксплуатационная надежность морских трубопроводов в транзитной зоне арктического шельфа // Деловой журн. Neftegaz.RU. 2017. № 5(65). С. 12–18.
6. Гайнанов В. Г., Токарев А. М., Потемка А. К. Мультичастотные высокоразрешающие сейсмические исследования на арктическом шельфе // Деловой журн. Neftegaz.RU. 2023. № 1(133). С. 14–21.
7. Современный ледово-экзарационный рельеф на шельфе Западного Ямала: натурные исследования и моделирование / С. А. Огородов, А. С. Шестов, В. В. Архипов, А. В. Баранская, А. П. Вергун, О. В. Кокин, А. В. Марченко, А. С. Цвезинский // Вестн. НГУ. 2013. Т. 13, № 3. С. 77–89.
8. Буссугу У. Д. Проблемы создания подводных систем контроля за состоянием морских трубопроводов // Вестн. науки и образования. 2019. № 2(56). С. 93–100. doi: 10.20861/2312-8089-2019-56-004.
9. Имитатор модели сигналов гидроакустических станций интегрированной системы подводного наблюдения / Е. Л. Шейнман, А. Н. Афанасьев, М. С. Куприянов, Д. М. Клионский, С. Н. Ежов, П. Н. Максимов, А. М. Голубков // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2016. № 10. С. 8–18.
10. Информационная гидроакустика: методы информационного обеспечения гидроакустическими средствами / А. В. Вагин, А. А. Войтов, А. А. Волкова, Л. Е. Гампер, В. И. Ермолаев, С. В. Ерошенко, Н. С. Каришнев, А. Д. Консон, В. З. Кранц, Е. А. Острианский, Д. Б. Островский, С. Н. Потапычев, И. А. Селезнев, О. П. Сопина; под общ. ред. А. Д. Консона. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. 368 с.
11. Миронов А. С., Фомина Е. С. Методы обработки сигналов в гидролокационных системах при решении задачи зондирования донной поверхности // Тр. СПИИРАН. 2018. № 59. С. 140–163. doi: 10.15622/sp.59.6.
12. Пути совершенствования гидроакустических технологий обследования морского дна с использованием автономных необитаемых подводных аппаратов / Ю. В. Матвиенко, В. А. Воронин, С. П. Тарасов, А. В. Скарня, Е. В. Тутынин // Подводные исследования и робототехника. 2009. № 2(8). С. 4–15.
13. Пивнев П. П. Особенности применения широкополосных гидроакустических систем для мониторинга мелководных районов // Изв. ЮФУ. 2018. № 6(200). С. 42–51.
14. Автономные необитаемые подводные аппараты / М. Д. Агеев, Л. В. Киселев, Н. И. Рылов, А. В. Инзарцев; под общ. ред. акад. М. Д. Агеева. Владивосток: Дальнаука, 2000. 272 с.

### Информация об авторах

**Вагин Антон Владимирович** – аспирант, ассистент кафедры электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».  
E-mail: av.vagin@bk.ru

**Пелагеев Ярослав Алексеевич** – магистрант гр. 9583, кафедра электроакустики и ультразвуковой техники СПбГЭТУ «ЛЭТИ».  
E-mail: ypelageev@mail.ru

### References

1. Nesterov N. A. Nekotorye aspekty tehnologii gidrolokacionnogo poiska donnyh ob#ektov // Navigacija i gidrografija. 2014. № 38. S. 57–65. (In Russ.).
2. Vagin A. V., Vorotynceva A. S. Teoreticheskoe i jeksperimental'noe obosnovanie principov postroenija gidrolokatorov obzora donnoj obstanovki // Izv. SPbGJeTU «LJeTI». 2022. T. 15, № 5/6. S. 5–14. doi: 10.32603/2071-8985-2022-15-5/6-5-14. (In Russ.).
3. Kompleksnoe predstavlenie gidrograficheskikh dannyh po issledovaniju ozera Bajkal / N. A. Gubin, K. A. Grigor'ev, D. A. Chenskij, A. G. Chenskij // Regional'naya geologija i metallogenija. 2023. № 95. S. 34–41. doi: 10.52349/0869-7892\_2023\_94\_34-41.

nal'naja geologija i metallogenija. 2023. № 95. S. 34–41. doi: 10.52349/0869-7892\_2023\_94\_34-41. (In Russ.).

4. Adaptivnoe upravlenie gidroakusticheskimi sistemami / I. B. Starchenko, I. A. Kirichenko, V. L. Saharov, P. S. Golosov // Prikaspijskij zhurn.: upravlenie i vysokie tehnologii. 2013. № 3. S. 26–33. (In Russ.).

5. Mansurov M. N., Lapteva T. I., Nikitin B. A. Jekspluatacionnaja nadjozhnost' morskikh truboprovodov v tranzitnoj zone arkticheskogo shel'fa // Delovoj zhurn. Neftegaz.RU. 2017. № 5(65). S. 12–18. (In Russ.).

6. Gajnanov V. G., Tokarev A. M., Potemka A. K. Mul'tichastotnye vysokorazreshajushhie sejsmicheskie issledovanija na arkticheskom shel'fe // Delovoj zhurn. Neftegaz.RU. 2023. № 1(133). S. 14–21. (In Russ.).

7. Sovremennij ledovo-jekzaracionnyj rel'ef na shel'fe Zapadnogo Jamala: naturnye issledovanija i modelirovanie / S. A. Ogorodov, A. S. Shestov, V. V. Arhipov, A. V. Baranskaja, A. P. Vergun, O. V. Kokin, A. V. Marchenko, A. S. Cvecinskij // Vestn. NGU. 2013. T. 13, № 3. S. 77–89. (In Russ.).

8. Bussugu U. D. Problemy sozdaniya podvodnyh sistem kontrolja za sostojaniem morskikh truboprovodov // Vestn. nauki i obrazovanija. 2019. № 2(56). S. 93–100. (In Russ.). doi: 10.20861/2312-8089-2019-56-004.

9. Imitator modeli signalov gidroakusticheskikh stancij integrirovannoj sistemy podvodnogo nabljudenija / E. L. Shejman, A. N. Afanas'ev, M. S. Kuprijanov,

D. M. Klionskij, S. N. Ezhov, P. N. Maksimov, A. M. Golubkov // Izv. SPbGJeTU «LJeTI». 2016. № 10. S. 8–18.

10. Informacionnaja gidroakustika: metody informacionnogo obespechenija gidroakusticheskimi sredstvami / A. V. Vagin, A. A. Vojtov, A. A. Volkova, L. E. Gamper, V. I. Ermolaev, S. V. Eroshenko, N. S. Karishnev, A. D. Konson, V. Z. Kranc, E. A. Ostrijskij, D. B. Ostrovskij, S. N. Potapychev, I. A. Seleznev, O. P. Sopina; pod obshh. red. A. D. Konsona. SPb.: Izd-vo SPbGJeTU «LJeTI», 2023. 368 s.

11. Mironov A. S., Fomina E. S. Metody obrabotki signalov v gidrolokacionnyh sistemah pri reshenii zadachi zondirovanija donnoj poverhnosti // Tr. SPIIRAN. 2018. № 59. S. 140–163. (In Russ.). doi: 10.15622/sp.59.6.

12. Puti sovershenstvovanija gidroakusticheskikh tehnologij obsledovanija morskogo dna s ispol'zovaniem avtonomnyh neobitaemyh podvodnyh apparatov / Ju. V. Matvienko, V. A. Voronin, S. P. Tarasov, A. V. Sknarja, E. V. Tutynin // Podvodnye issledovanija i robototehnika. 2009. № 2(8). S. 4–15. (In Russ.).

13. Pivnev P. P. Osobennosti primenenija shirokopolosnyh gidroakusticheskikh sistem dlja monitoringa melkovodnyh rajonov // Izv. JuFU. 2018. № 6(200). S. 42–51. (In Russ.).

14. Avtonomnye neobitaemye podvodnye apparaty / M. D. Ageev, L. V. Kiselev, N. I. Rylov, A. V. Inzarcev; pod obshh. red. akad. M. D. Ageeva. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. 272 s. (In Russ.).

#### Information about the authors

**Anton V. Vagin** – postgraduate student, assistant of the Department of Electroacoustics and Ultrasound Technology, Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: av.vagin@bk.ru

**Yaroslav A. Pelageev** – master's student gr. 9583 of the Department of Electroacoustics and Ultrasound Technology, Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: ypelageev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 13.02.2024; принята к публикации после рецензирования 10.03.2024; опубликована онлайн 24.05.2024.

Submitted 13.02.2024; accepted 10.03.2024; published online 24.05.2024.