

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-289-301

SEISMIC SURVEY IN THE TRANSIT ZONE. FULL-SCALE TESTS OF THE KRAB SYSTEM. STAGE 1

D. A. Ilinskiy, K. A. Roginskiy, O. Y. Ganzha

Shirshov Institute of Oceanology Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russian Federation

Transit zones occupy a significant area of the coastal seas of the Russian Federation and have a great potential for hydrocarbon production. For exploring the hydrocarbon reserves in the transit zones, it is necessary to apply special equipment and methods of work. Currently, seismic survey in the transit zone is mainly carried out by imported equipment. Testing a new domestic system of KRAB seismic bottom stations is considered in the paper. At the first stage, the task to test 10% of randomly selected seismic bottom stations (SBS) out of 400 pieces is set. The test methodology consists of the following tasks: checking the correct location of the SBS center of mass to ensure proper installation on the bottom, testing the launching and lifting devices to install the SBS on the bottom subject to safety regulations on the vessel, conducting experiments with a seismic source to determine the operability of the SBS receiving channel, testing the bottom stations for the identity of seismic channels, software verification in the field.

A technical description of the system and the results of the first stage of field tests are given in the paper. It can be confidently concluded that, in principle, the equipment in the form of separate SBS works within the parameters of the technical task and complies with the foreign analogues. However, in general, the complex is not ready not only for industrial testing, but even for full-scale testing and needs to be substantially improved. The rework should consist of the following: the compass and tiltmeters alignment, increasing the memory for collecting non-seismic data, reducing the excessive sensitivity of hydrophones, and developing a new complex of launching and lifting devices. The software needs to be modified to service the entire complex of 400 SBS.

The performed tests represent only the first stage of testing the KRAB system since the equipment has a number of significant drawbacks after elimination of which it is necessary to fully test the system.

Keywords: transition zones, import substitution, seismic survey, autonomous seismic bottom station.

For citation:

Ilinskiy, Dmitry A., Konstantin A. Roginskiy, and Oleg Y. Ganzha. "Seismic survey in the transit zone. Full-scale tests of the KRAB system. Stage 1." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 289–301. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-289-301.

УДК 550.834.08

СЕЙСМОРАЗВЕДКА В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ. НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ «КРАБ» (ЭТАП 1)

Д. А. Ильинский, К. А. Рогинский, О. Ю. Ганжа

Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Российская Федерация

Отмечается, что транзитные зоны занимают значительную площадь прибрежных морей Российской Федерации и имеют большой потенциал для добычи углеводородов. Для разведки их запасов в транзитных зонах необходимо применять специальное оборудование и методику работ. Известно, что в настоящее время сейсмическая разведка в транзитной зоне в основном производится импортным оборудованием. В статье выполнено исследование испытаний новой отечественной системы сейсмических донных станций «КРАБ». Задачей первого являлось проведение натурных испытаний 10 % случайно выбранных сейсмических донных станций из общего количества 400 шт. Методика испытаний состояла из следующих задач: проверки корректного расположения центра массы сейсмических донных станций для обеспечения правильной установки на дно, испытания спуско-подъемных устройств для установки сейсмических донных

станций при соблюдении норм техники безопасности на судне, проведения экспериментов с сейсмическим источником для выявления работоспособности приемно-регистрающего тракта сейсмических донных станций, испытания донных станций на идентичность сейсмических каналов, проверки программного обеспечения в полевых условиях.

В статье дано техническое описание системы и приведены результаты первого этапа натурных испытаний, на основе которых можно сделать заключение, о том, что аппаратура в виде отдельных станций работает в пределах параметров технического задания и соответствует зарубежным аналогам, однако в целом комплекс не готов не только к промышленным, но и к натурным испытаниям и нуждается в существенной доработке, которая должна состоять в юстировке компаса и наклономеров, увеличении памяти для сбора не сейсмических данных, уменьшении излишней чувствительности гидрофонов, разработке нового комплекса спуско-подъемного устройства. Программное обеспечение нуждается в доработке для обслуживания всего комплекса, состоящего из 400 сейсмических донных станций. Проведенные испытания представляют первый этап тестирования системы «КРАБ». Аппаратура имеет целый ряд существенных недостатков, после устранения которых необходимо выполнить процедуру тестирования системы в полном объеме.

Ключевые слова: транзитные зоны, импортозамещение, сейсморазведка, автономные сейсмические донные станции.

Для цитирования:

Ильинский Д. А. Сейсморазведка в транзитной зоне. Натурные испытания системы «КРАБ» (этап 1) / Д. А. Ильинский, К. А. Рогинский, О. Ю. Ганжа // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 289–301. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-289-301.

Введение (Introduction)

Транзитные зоны занимают значительную площадь прибрежных морей Российской Федерации и имеют большой потенциал для добычи углеводородов (УВ). Для разведки запасов УВ в транзитных зонах необходимо применять специальное оборудование и методику работ. Фактически, в нашей стране сейсмическая разведка в транзитной зоне в основном производится импортным оборудованием. Статья посвящена обоснованию выбора метода исследований и аппаратуры созданной отечественной системы сейсмических донных станций (СДС) «КРАБ». Отмечается, что выбранный метод отвечает современным трендам мировых стандартов производства работ на шельфе.

Важным этапом внедрения системы в промышленную эксплуатацию являются, наряду с заводскими лабораторными испытаниями, испытания в реальных морских условиях ограниченного количества аппаратуры. Была разработана методика проверки всего комплекса, в соответствии с которой составлен план работ. Описан процесс испытаний, методы обработки данных и сделаны выводы о необходимости проведения масштабных испытаний на втором этапе.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Обоснование метода исследования и выбора аппаратуры для сейсмических работ в транзитных зонах. Транзитной зоной принято считать мелководную часть моря от нулевой глубины до глубин воды, где могут работать суда с буксируемыми сейсмическими косами. Эта граница весьма расплывчата и зависит от конкретных условий. Минимально допустимая глубина для обычных сейсмических судов, которая составляет 20 м, может быть понижена до 4 м для специальных мелководных сейсмических судов. Конкретные условия работы, такие как узкости, течения, препятствия могут отодвигать границу минимально допустимых глубин на десятки метров. К транзитным зонам также следует отнести районы вокруг морских платформ [1].

С точки зрения технических решений транзитные зоны требуют особого подхода в каждом конкретном случае. Буксируемые кабельные системы с регистрацией в реальном времени не всегда легко применимы в зонах с подводными препятствиями: корягами, затонувшими судами, подводными трубопроводами и скальными выходами. Постоянные зацепы и обрывы выводят из строя косы, которые трудно восстановимы в полевых условиях. При этом реальная глубина постановки

донных кос, даже с применением малой механизации, практически ограничена расстоянием 40 м. Суда со специальными укладчиками являются громоздкими, дорогостоящими, имеют большую осадку и не могут работать на мелководье [2], [3].

В последнее время все большее признание получают *донные системы автономной регистрации*. При этом необходимо отметить, что прием и запись данных на дне дает гораздо больше сейсмической информации, чем при малом заглублении приемных средств от поверхности воды при помощи буксируемых кос [4]. Это связано с ее естественными свойствами, когда приемная система на дне механически не связана с излучающим судном, а также с многокомпонентностью записываемого волнового поля. Прием данных на дне может содержать важную информацию о детальном глубинном строении земной коры для картирования поверхности фундамента или решения вопросов о происхождении углеводородов [5].

Развитие электронной элементной базы привело к большой надежности автономных сейсмических регистраторов (донных станций), которые не требуют проверки работоспособности в реальном времени. Наибольшее распространение получили донные станции компании «Фэрфилд» (Fairfield, <http://fairfieldgeo.com>), которая являлась одной из первых в этой области. Первую в мире трехмерную съемку с донными станциями выполнила в 2002 г. небольшая немецкая компания GEOPRO в Мексиканском заливе [6]. Вслед за компанией «Фэрфилд» создали свои станции и компании «ОЙО Геоспейс» (OYO Geospace, <https://www.geospace.com>), МагСейс (MagSeis, <https://magseisfairfield.com>) и инАйприл (inApril, <http://www.inapril.com>). Отличительной особенностью этой аппаратуры является *гирляндная система постановки*, когда отдельные станции соединены между собой кабель-тросом, образуя гирлянду.

Преимущество автономных систем записи, по сравнению с донными косами и регистрацией в реальном времени, состоит в легком регулировании интервала постановки датчиков, а зацепы троса за неоднородности дна не приводят к выходу из строя всей системы записи. Кроме указанных технических преимуществ, автономные системы с непрерывным циклом записи содержат дополнительную сейсмическую информацию, которая позволяет применять методы пассивной сейсмической обработки для определения важных геологических характеристик разреза [7]. Однако гирляндный метод постановки, как и в случае донных кос, требует использования ручного труда или дорогостоящих механизмов автоматизации, устанавливаемых на относительно больших судах, которые, в свою очередь, тоже имеют ограничения для работы на мелководье. Это обстоятельство также приводит к удорожанию стоимости работ, что является существенным фактором при низкой стоимости углеводородов и ограниченном финансировании. Во всех указанных ранее системах применяются трехкомпонентные датчики OMNI-2400 [8], не требующие определенной ориентации на дне. Собственная частота принимаемых сигналов этих датчиков равна 14,5 Гц, поэтому, к сожалению, в процессе записи данных наблюдается потеря низких частот, которые необходимы для повышения глубинности, а также для интерпретации сейсмических данных на наличие / отсутствие УВ.

Российская сейсморазведка в начале 90-х гг. XX в. полностью перешла на использование импортного оборудования [9]. Исключения составляют донная коса для болот Марш-лайн [8] и станция «ЧЕРЕПАХА» [5]. Однако, ввиду различных причин, это оборудование большого пространства не получило и поэтому не может удовлетворить в полной мере потребности отечественной сейсморазведки в транзитных зонах. Последнее время наблюдается проявление интереса научных организаций и частных компаний к разработке отечественных автономных донных сейсмических станций. В связи с этим появилась надежда, что и отечественные производители смогут производить собственное качественное конкурентоспособное оборудование для работы на дне [5], [10], [11].

Развитие разведки в транзитных зонах является важным направлением работы ввиду следующих причин:

- месторождения на суше легкодоступны и практически исследованы;
- морские месторождения перспективны, но их освоение является весьма дорогостоящим.

Несмотря на то, что месторождения в транзитных зонах более доступны для разработки, они, в отличие от морских зон, требуют особого подхода при выполнении разведки. В этой связи правительством Российской Федерации взят курс на импортозамещение в условиях усиливающихся санкций Запада. В этой связи создание системы «КРАБ», в основе которой лежит передовой метод использования автономных донных сейсмических модулей, является своевременным решением проблем освоения Российских транзитных зон.

Техническое описание системы сейсмических донных станций. Мобильный аппаратно-программный комплекс морской сейсморазведки и мониторинга в транзитных зонах и на шельфе на основе четырехкомпонентных автономных сейсмических донных станций нового поколения предназначен для проведения сейсмических исследований на дне акваторий морей и океанов на глубине до 500 м. Комплекс состоит из четырехсот СДС, транспортировочных стеллажей, находящихся в контейнере-лаборатории, и мобильных спуско-подъемных механизмов (СПУ). Конструктивно все СДС, входящие в состав комплекса, одинаковы и отличаются только идентификационными номерами.



Рис. 1. Один модуль сейсмической донной станции с двумя отвязками с карабинами на концах для подсоединения к общему несущему кабель-тросу

В состав мобильного аппаратно-программного комплекса входит следующее оборудование: СДС (рис. 1) — состоит из аппаратной и программной частей. Аппаратная часть включает корпус с расположенным на нем электрическим разъемом для подзарядки аккумуляторов, управления донной станцией и скачивания информации, светодиод-индикатор и вакуумный порт. Внутри корпуса СДС расположены:

– блок сейсмоприемников, состоящий из правой ортогональной тройки двух горизонтальных геофонов GS-20DX и одного вертикального GS-30CT, имеющих частотный диапазон входных сигналов 8–250 Гц и чувствительность 27,5 В/м/с с допустимым углом наклона от вертикали до 20° [8] (ось X ортогональной тройки параллельна оси магнитного датчика компаса-инклинометра);

– измерительный гидрофон ГС-10 с рабочим диапазоном 2–600 Гц;

– компас-инклинометр, который служит для определения ориентации СДС в пространстве;

– регистратор, обеспечивающий прием, усиление, преобразование и запись в цифровом виде сейсмической информации, получаемой от трех геофонов и гидрофона.

Программная часть СДС включает программное обеспечение низкого уровня, осуществляющее функционирование СДС во всех режимах работы и взаимодействие с оборудованием контейнера-лаборатории.

Контейнер-лаборатория (КЛ) — состоит из аппаратной и программной частей.

Аппаратная часть КЛ имеет в своем составе следующее оборудование:

– стеллажи рабочие, обеспечивающие работу одновременно 384 СДС, еще 16 СДС находятся в резерве и размещены в отдельном стеллаже;

- зарядные устройства;
- соединительные кабели с раземами к СДС.

Аппаратная часть обеспечивает:

- зарядку аккумуляторов СДС;
- синхронизацию часов СДС по сигналам GPS;
- управление режимами работы СДС.

Программная часть КЛ обеспечивает проверку СДС, калибровку часов СДС, задание режимов работы СДС. Связь с программным обеспечением КЛ осуществляется через разъем на корпусе СДС.

Спуско-подъемные механизмы (СПУ), в составе которых находятся следующие элементы:

- грузоподъемное устройство типа «шпиль» — 2 шт.;
- подмотчик грузонесущей линии — 2 шт.;
- кормовые ролы — 2 шт.;
- рабочая площадка;
- рольганг;
- стойки преобразователей для управления мотор-редукторами — 3 шт.

Внешний вид основных элементов комплекса, установленных на судне, приведен на рис. 2.

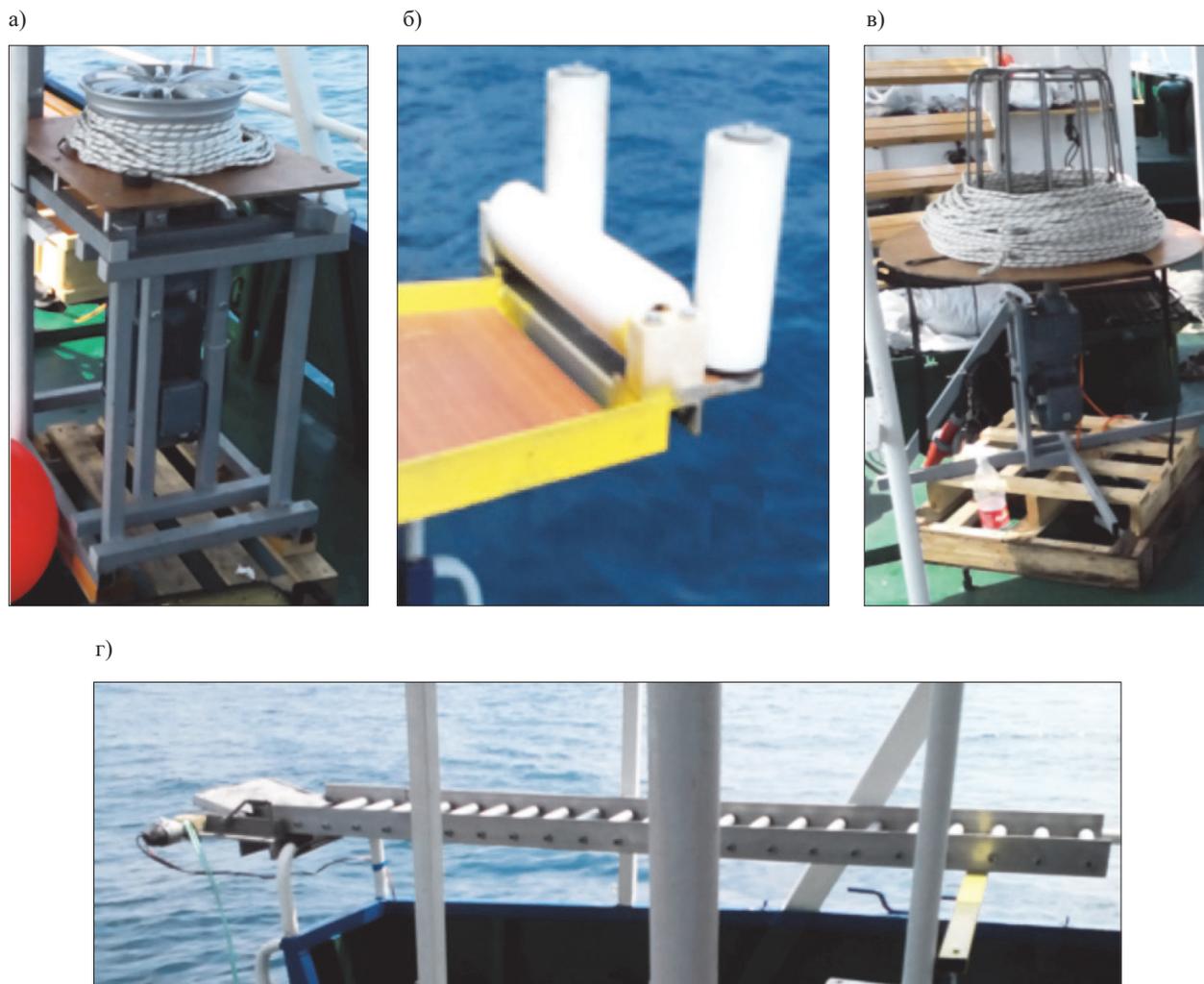


Рис. 2. Спуско-подъемное устройство установленное на корме НИС «Парус»: а — шпиль; б — кормовой ролл; в — подмотчик; г — рольганг с площадкой сброса

Опытные испытания и результаты (Pilot Tests and Results)

Опытные натурные испытания проводились на базе Южного отделения Института океанологии РАН им. П. П. Ширшова РАН в г. Геленджике в августе 2017 г. Далее приведены описания стадий испытаний и их результаты.

Испытание положения СДС на дне. Производился свободный сброс с пирса одиночной СДС, не связанной с остальными СДС в гирлянду при трех начальных положениях корпуса: горизонтальном положении, вертикальное положение и дном вверх. Испытания проводились на пирсе высотой 1,5 м над уровнем воды на глубине 5,5 м. Процесс погружения СДС на дно и ее положение на дне фиксировалось подводной съемкой. Установлено, что независимо от начального положения СДС в момент сброса, СДС встает на дно нижней стороной. Для переворота СДС из горизонтального положения дном вверх в положение дном вниз необходимо приблизительно 2 м. Результаты эксперимента показали хорошую центровку станции и удачное размещение центра тяжести. Это свойство позволяет не контролировать положение станции в момент сброса, что важно при массовой промышленной работе.

Испытание на профиле 40 донных станций, привязанных к общему несущему кабель-тросу. Целью испытаний являлось тестирование элементов системы СДС, элементов КЛ и СПУ. Для испытаний была сделана произвольная выборка из 40 донных станций. СДС с помощью однометровых одиночных отвязок прикреплялись к постановочному кабель-тросу через интервал 27 м и в такой конфигурации устанавливались на дно. В границах линии расстановки станций были установлены концевые буи с грузами. Скорость движения судна-постановщика составляла 3,5 уз, это минимальная скорость, обеспечивающая удержание судна на профиле с техническими характеристиками СПУ. Координаты СДС фиксировались в момент входа станции в воду. Далее было выполнено 149 излучений сейсмического источника, в качестве которого использовался источник с объемом рабочей камеры 1,7 л [12]. Излучения проводились при давлении 130 бар каждые 10 с, что соответствовало расстоянию между каждым излучением 18,5 м с привязкой по времени излучения к определенному PPS-импульсу GPS-приемника. Точное время излучения и его координаты записывались навигационной системой (рис. 3).

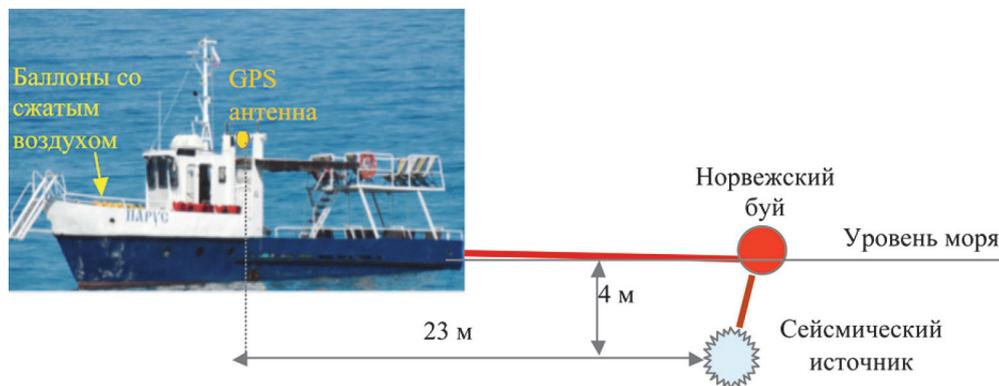


Рис. 3. Схема буксировки сейсмического источника на НИС «Парус» и расположение элементов навигационной системы

На рис. 4 показано положение источников излучения и донных станций в локальной системе координат, за ноль которой был принят самый западный выстрел (№ 149) на профиле, а направление продольной координаты выбиралось как линия линейной регрессии для всех проведенных излучений. Движение судна источника проводилось в сторону уменьшения горизонтальной координаты. Для преобразования локальных координат из системы UTM в локальную применялись следующие формулы:

$$Alf = 45,68582 \text{ град.};$$

$$x_0 = 415350,2 \text{ м};$$

$$y_0 = 4938822,6 \text{ м};$$

$$x = (X_UTM - x_0) \cos(\alpha) - (Y_UTM - y_0) \sin(\alpha);$$

$$y = (X_UTM - x_0) \sin(\alpha) + (Y_UTM - y_0) \cos(\alpha).$$

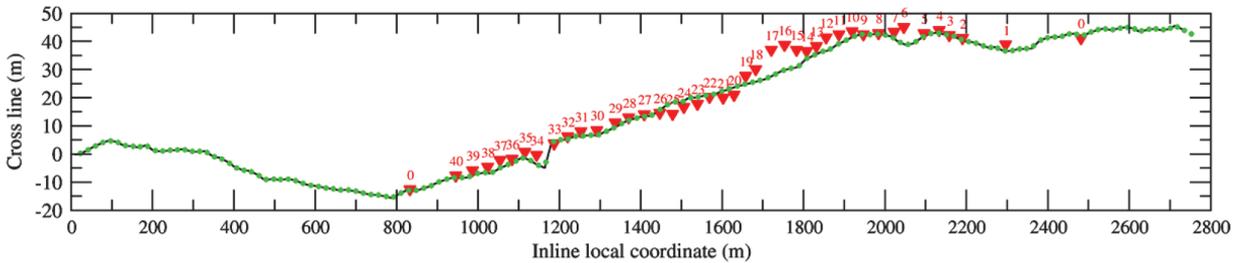


Рис. 4. Положение сорока сейсмических донных станций в локальной системе координат
 Условные обозначения:

красные треугольники с номерами позиций над ними — положение СДС;
 позиции «0» — расположение концевых грузов в начале и конце профиля;
 зеленые точки — положение источника излучения

Положение станций на дне было проинспектировано водолазом с камерой. Анализ съемки показал, что в ряде случаев станции стоят на боковой стороне и в районе скальных выходов не имеют горизонтального положения (рис 5). Причина постановки на ребро состоит в том, что скорость постановки 3,5 уз слишком велика для интервала 25 м. Сброс следующей станции происходил тогда, когда предыдущая еще не легла на дно и станция протаскивалась по дну, становясь вертикально «на ребро».

а)



б)



Рис. 5. Примеры неудачного положения СДС на дне:
 а — положение станции на скальном выходе; б — положение станции «на ребре»

После подъема на борт и опреснения станции отправляли в лабораторию для считывания и анализа информации. Записи всех четырех компонентов для излучения № 20 приведены на рис. 6, где по горизонтали цифрами отмечены номера позиций донных станций. Четыре панели представляют собой данные четырех компонентов, соответственно, сверху вниз — гидрофона H , вертикальной компоненты Z , первой горизонтальной X и второй горизонтальной Y компоненты. При анализе сейсмограм хорошо видны неправильно работающие компоненты. Также СДС с отклонениями от горизонтального положения более чем на 20° дали плохие записи на компонентах герфона.

Анализ сейсмограмм канала гидрофонов показал, что на самых ближних удалениях гидрофона от пункта возбуждения (до ± 13 м, если это знак предельного отклонения, то один знак

под другим) наблюдается превышение максимально возможного значения аналогового сигнала, подаваемого на АЦП. Значения углов дифферента, определенные инклинометрами СДС, находятся в пределах точности датчиков для станций, расположенных на дне горизонтально, и показывают наклоны для негоризонтальных станций. Выполнялось сравнение данных с визуальными наблюдениями водолаза, который сопровождал процесс постановки станций на дне.

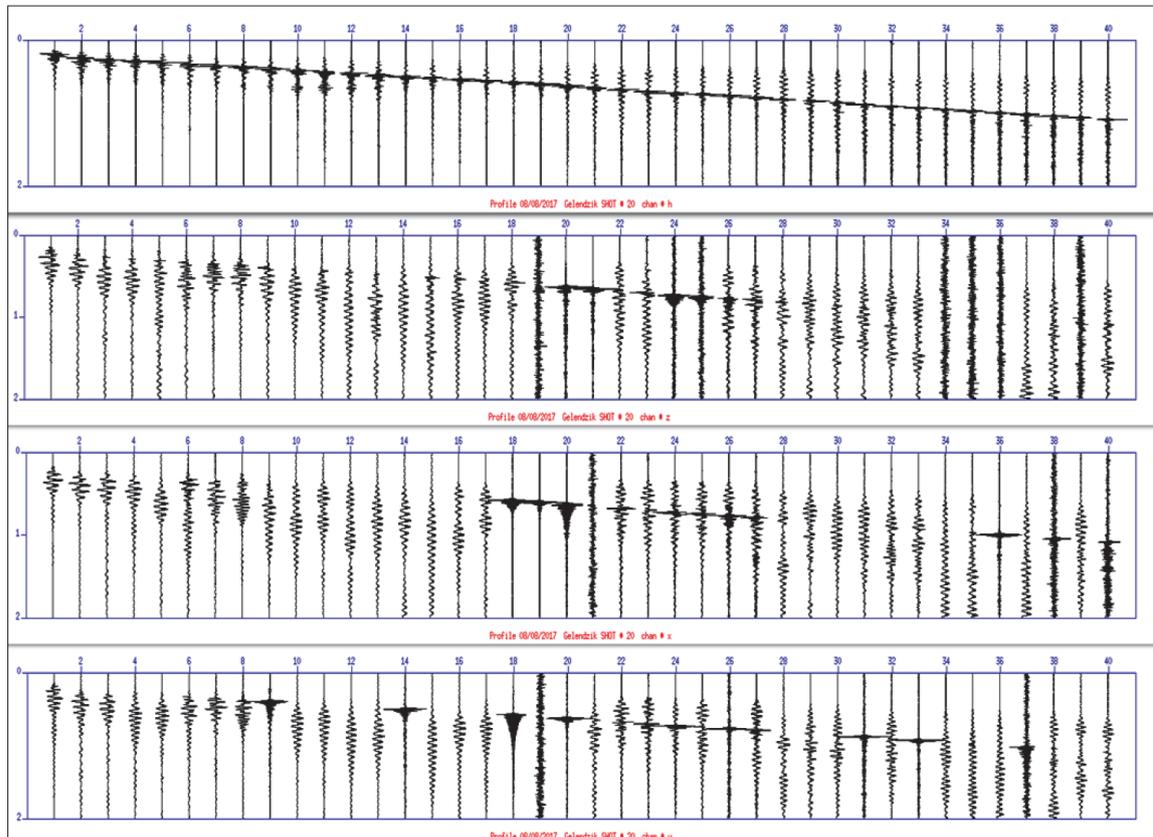


Рис. 6. Сейсмограмма общего пункта взрыва для излучения № 20

Испытания донных станций в одной точке на идентичность каналов, калибровка сигнала по измерениям на контрольной донной станции и изучение диаграммы направленности приема сейсмических сигналов. Группа из восьми станций была уложена на дне на глубине 28,5 м водолазами вокруг контрольной донной сейсмической станции ИО РАН. Станция имеет в своем составе три геофона GX-20 DX, аналогичных установленным на СДС (один вертикальный и два горизонтальных), подвешенных в кардане, гидрофон конструкции ОКБ ОТ и 24-разрядный, четырехканальный сейсмический регистратор «Геонод», имеющий характеристики, удовлетворяющие ТЗ комплекса «КРАБ».

Для максимального обеспечения пространственной ориентации станции устанавливались на дне вручную. Станции были сориентированы на север по положению герморазъемов. Станция ИО РАН была также сориентирована на север по метке на корпусе. После установки станций на дне проводилась отработка постановки сейсмическим источником, описание которого приведено на рис. 6. На рис. 7 показано положение группы станций и путь судна с сейсмическим источником, а также конфигурация станций на дне. Для оценки точности воспроизведения компонентов вектора смещения геофонным пакетом СДС на рисунке выбрано излучение № 120 второй прострелки. Эти данные были использованы для построения диаграммы трехмерных движений частиц грунта в проекциях на горизонтальную плоскость XV и две вертикальные взаимно перпендикулярные плоскости XZ и YZ в течение временного интервала, равного 0,25 с, включающего первые вступления. Для излучения № 120 в первые вступления выходит водная линейно-поляризованная волна.

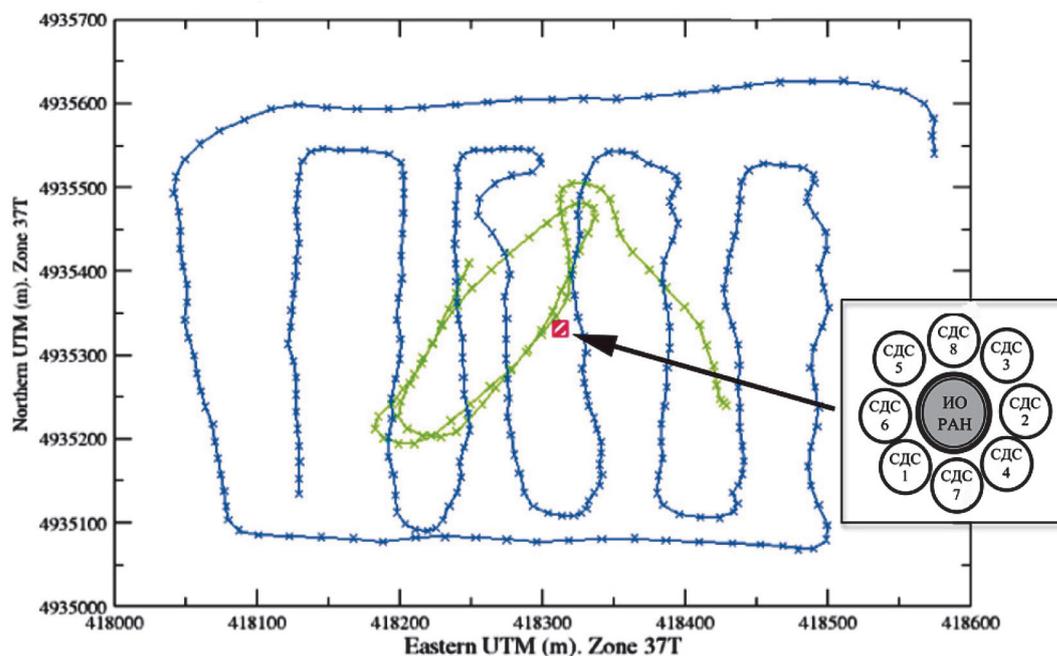


Рис. 7. Положение восьми донных станций КРАБ и станции ИО РАН

Условные обозначения:

красным квадратом отмечены донные станции и станции ИО РАН;

зелеными и синими линиями показаны две серии излучений;

координаты даны в метрах для проекции UTM зоны 37T над эллипсоидом WGS84

На рис. 8 приведена выборка диаграмм, представляющих различную степень поляризации. СДС на поз. 1–3 показывают узкий направленный эллипс колебаний и хорошую воспроизводимость линейно-поляризованной волны. СДС на поз. 6 показывают более размытую, но все же читаемую линейную поляризацию падающей волны. От общего ряда отличается станция на поз. 7 как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. Полученные направления поляризации сигнала на станциях хорошо коррелируют с показаниями компаса, полученными на станциях.

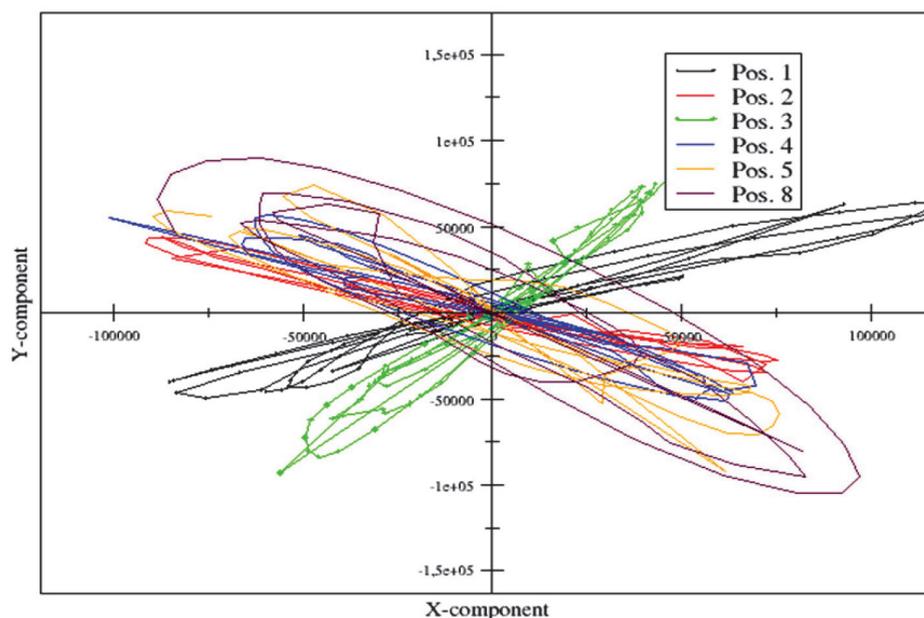


Рис. 8. Траектория движения частиц в горизонтальной плоскости ХУ для станций на поз. 1–5 и 8 в течение временного интервала 0,25 с от момента излучения

На рис. 9 представлены зарегистрированные данные 3Д геофонов без регулировки усиления. Видно ограничение амплитуды сигнала гидрофона на всех донных станциях, кроме поз. 7 и станции ИО РАН, стоящей на позиции 9. Амплитудно-частотная характеристика гидрофона станции на поз. 7 значительно отличается от гидрофонов в большинстве остальных станций. Амплитуда и знак первых вступлений (фаза сигнала) на горизонтальных компонентах станций значительно отличаются друг о друга, что свидетельствует об их случайной ориентации (в каждой станции по-своему) относительно направления на разъем. На рис. 9 по горизонтали отложено время в секундах с момента выстрела, а по вертикали — номер позиции донной станции согласно рис. 8.

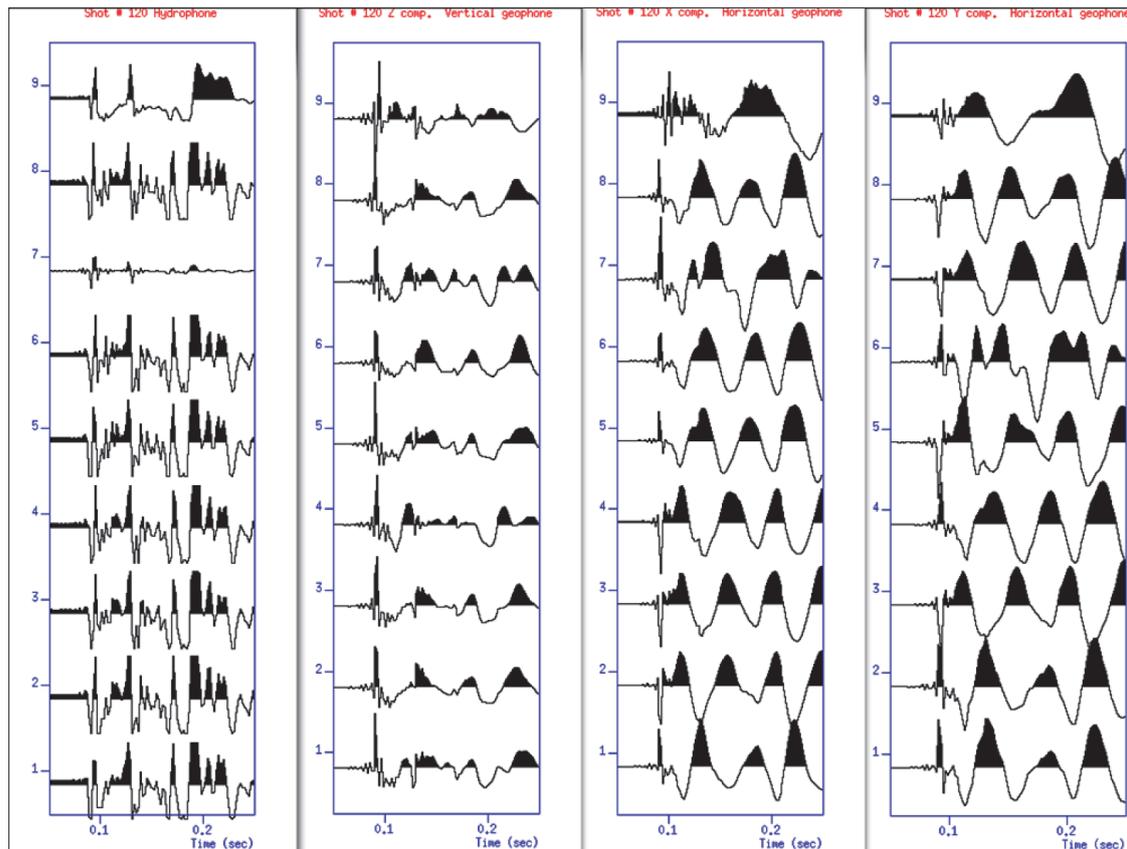


Рис. 9. Сейсмограмма общей точки излучения № 120 для гидрофона и трех компонентов геофонов для станций КРАБ на позициях 1–8

Для изучения диаграмм направленности датчиков донных станций использовались все полученные данные в протрелках 1 и 2 (см. рис. 7) вокруг тестовой расстановки донных станций. Анализируются амплитуды первых вступлений (с учетом знака) преломленной в скалистом дне волны со скоростью 3 км/с. Для каждой станции из расстановки пикировалась амплитуда первых вступлений без регулировки амплитуд и их усечения на всех компонентах. При этом была убрана постоянная составляющая. Пикированной амплитуде ставились в соответствие координаты излучения. Как видно из рис. 7, сейсмический источник отработал полигон не вполне равномерно по вертикальной (юг – север) и горизонтальной (запад – восток) координатам. В этой связи была проведена интерполяция полученных данных на равномерную сетку 10 м (по горизонтали) и 4 м (по вертикали) с помощью решения уравнения Лапласа для поверхности с минимальной кривизной, проходящей через измеренные данные.

Практически все диаграммы направленности для всех СДС показывают равномерную диаграмму направленности для вертикального геофона и гидрофона. Диаграммы имеют схожий между собой, а также с контрольной станцией ИО РАН вид. Различие диаграмм горизонтальных

компонентов между станциями объясняется их произвольной ориентацией из-за неверной калибровки компаса.

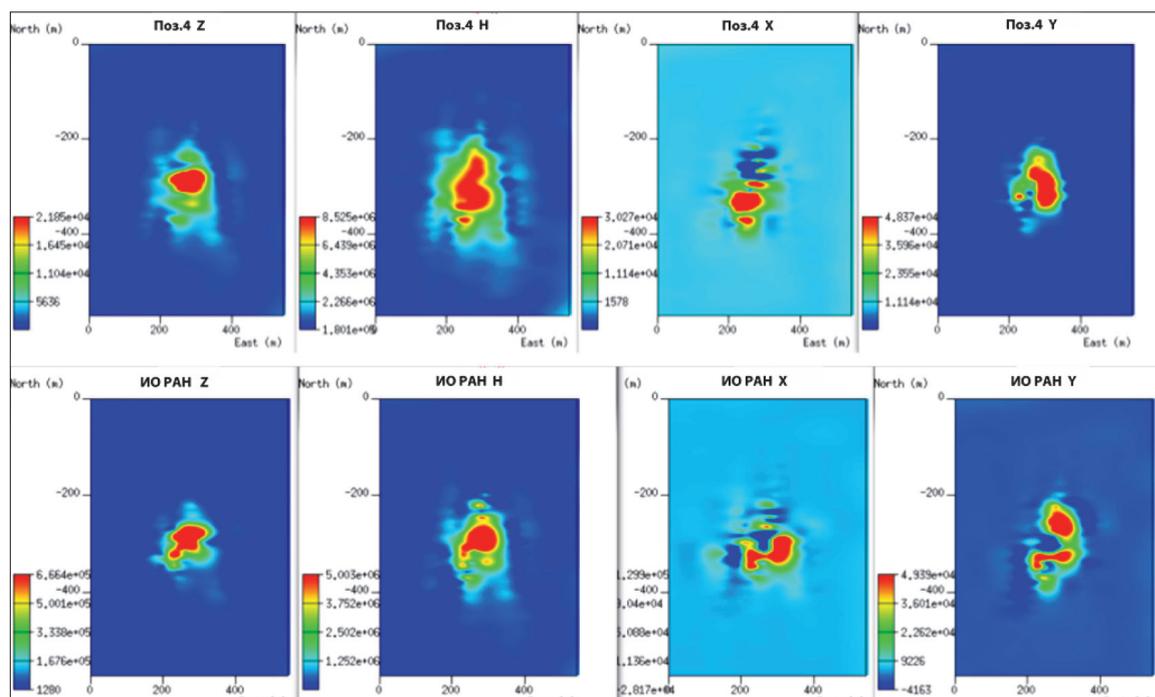


Рис. 10. Сравнение четырех компонентов диаграмм направленности приема сейсмического источника для СДС на позиции 4 и контрольной станции ИО РАН

В качестве примера на рис. 10 приведены диаграммы направленности контрольной станции (ИО РАН) и СДС на позиции 4 (см. рис. 7). Горизонтальные и вертикальные шкалы даны в метрах и составляют от 0 до 500 м.

Обсуждение и заключение (Discussion and Conclusion)

Натурным испытаниям подверглась выборка из 40 СДС, что составляет 10 % всего комплекса «КРАБ». На основе этой выборки можно уверенно сделать заключение, что принципиально аппаратура в виде отдельных СДС может работать в пределах технических параметров ТЗ и соответствовать зарубежным аналогам. Однако по результатам постановок на двух линейных профилях с активным источником были получены сейсмические данные недостаточного качества с точки зрения производственных сейсмических работ. Прежде всего на качестве данных отрицательно отразилось положение, которое заняли СДС на дне. Работа с СПУ не позволила реализовать это условие, в результате при постановке станций на двух профилях процент брака сейсмического материала в среднем составлял 25 %.

В целом комплекс не готов не только к промышленным, но и к натурным испытаниям и нуждается в доработке, которая должна состоять в следующем:

- проведение тщательной юстировки компаса и наклониметров;
- увеличение памяти для сбора данных об азимуте, крене и дифференте станций для последующей фильтрации случайных наблюдений;
- уменьшение излишней чувствительности гидрофонов в 6–8 раз;
- разработка нового комплекса СПУ и метода его использования;
- программная часть КЛ нуждается в доработке для обслуживания всего комплекса 400 СДС.

После устранения указанных недостатков система КРАБ должна быть подвергнута натурным испытаниям в полном объеме.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИО РАН (тема 0149-2019-0012).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ампилов Ю. П. Сейсморазведка. Время действий или упущенных возможностей? / Ю. П. Ампилов, М. Ю. Токарев // Бурение и нефть. — 2017. — № 3. — С. 3–13.
2. Ampilov Y. P. Broadband marine seismic acquisition technologies: Challenges and opportunities / Y. P. Ampilov, M. L. Vladov, M.Y. Tokarev // *Seismic Instruments*. — 2019. — Vol. 55. — Is. 4. — Pp. 388–403. DOI: 10.3103/S0747923919040030.
3. Monk D. J. Survey Design and Seismic Acquisition for Land, Marine, and In-between in Light of New Technology and Techniques / D. J. Monk. — Society of Exploration Geophysicists, 2020. — 214 p. DOI: 10.1190/1.9781560803713.
4. Ильинский Д. А. Инновационный подход и мобильная технология реализации сейсморазведки в приливно-отливной зоне в труднодоступных районах Арктики / Д. А. Ильинский [и др.] // Сейсмические приборы. — 2013. — Т. 49. — № 2. — С. 58–70.
5. Лаверов Н. П. Перспективы донной сейсморазведки в Российской Федерации / Н. П. Лаверов [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 4 (4). — С. 004–013.
6. Ray A. First nodal OBS acquisition from the Thunder Horse Field in the deep water of the Gulf of Mexico / A. Ray, B. Nolte, D. Herron // *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004*. — Society of Exploration Geophysicists, 2004. — Pp. 406–409. DOI: 10.1190/1.1851281.
7. Behm M. Passive Processing of Active Nodal Seismic Data: Estimation of V_p/V_s Ratios to Characterize Structure and Hydrology of an Alpine Valley Infill / M. Behm, F. Cheng, A. Patterson, G. S. Soreghan // *Solid Earth*. — 2019. — Is. 10. — Pp. 1337–1354. DOI: 10.5194/se-10-1337-2019.
8. Крутов А.Л. ООО «СИ Технолоджи» – новации, достижения, внедрение / А. Л. Крутов, И. В. Леонтьев // Нефть. Газ. Новации. — 2019. — № 9 (226). — С. 75–79.
9. Костюченко С. Л. К 50-летию юбилею деятельности Центра ГЕОН / С. Л. Костюченко [и др.] // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 2. — С. 28–37.
10. Казанин Г. С. Результаты испытаний отечественных 4-компонентных автономных донных станций «КМС» в юго-восточной части Баренцева моря / Г. С. Казанин [и др.] // Материалы VI Международной конференции молодых ученых и специалистов «Новое в геологии и геофизике Арктики, Антарктики и Мирового Океана», посвященная 70-летию основания НИИГА — ВНИИОкеангеология / Отв. ред. А. С. Бич. — СПб.: ФГБУ «ВНИИОкеангеология», 2018. — С. 29–30.
11. Ильинский Д. А. Геофизические технологии для изучения процессов образования глубинной нефти / Д. А. Ильинский, К. А. Рогинский, О. Ю. Ганжа // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 936–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-936-950.
12. Бадиков А. Н. Источник упругих волн для сейсморазведки на предельном мелководье и в транзитных зонах / А. Н. Бадиков, В. И. Гуленко // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2009. — Т. 29. — № 3. — С. 24–26.

REFERENCES

1. Ampilov, Ju., and M. Tokarev. “Seismic survey. Time for action or missed opportunities?” *Burenie i neft'* 3 (2017): 3–13.
2. Ampilov, Yu P., M. L. Vladov, and M. Yu Tokarev. “Broadband marine seismic acquisition technologies: Challenges and opportunities.” *Seismic Instruments* 55.4 (2019): 388–403. DOI: 10.3103/S0747923919040030.
3. Monk, David J. *Survey Design and Seismic Acquisition for Land, Marine, and In-between in Light of New Technology and Techniques*. Society of Exploration Geophysicists, 2020.
4. Ilinski, D. A., A. U. Razumov, A. A. Korneev, A. M. Rusalina, and I. A. Gotz. “Application of new approach and mobile technology for offshore seismic acquisition project in the remote arctic transition areas.” *Seismic Instruments* 49.2 (2013): 58–70.
5. Laverov, N. P., Yu. V. Roslov, L. I. Lobkovskii, A. V. Tulupov, Voronov, and O. Yu. Ganzha. “Perspektivy donnoi seismorazvedki v Rossiiskoi Federatsii.” *Arktika: ekologiya i ekonomika* 4(4) (2011): 004–013.
6. Ray, Amal, Bertram Nolte, and Don Herron. “First nodal OBS acquisition from the Thunder Horse Field in the deep water of the Gulf of Mexico.” *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2004*. Society of Exploration Geophysicists, 2004. 406–409. DOI: 10.1190/1.1851281.

7. Behm, Michael, Feng Cheng, Anna Patterson, and Gerylyn S. Soreghan. "Passive Processing of Active Nodal Seismic Data: Estimation of V_p/V_s Ratios to Characterize Structure and Hydrology of an Alpine Valley Infill." *Solid Earth* 10 (2019): 1337–1354. DOI: 10.5194/se-10-1337-2019.

8. Krutov, A. L., and I. V. Leontiev. "OOO SI Technology: Innovations, Achievements and Application." *Oil. Gaz. Novation* 9(226) (2019): 75–79.

9. Kostyuchenko, S. L., A. V. Mauhin, I. N. Kadurin, V. V. Nedyadko, V. A. Rakitov, Yu. G. Chernyshev. "To the 50-th anniversary of the activities of the GEON Center." *Prospect and protection of mineral resources* 2 (2018): 28–37.

10. Kazanin, G. S., S. O. Bazilevich, A. V. Zimovskii, I. A. Matveev, D. G. Kuoma, D. A. Il'inskiy, K. A. Roginskiy, and O. Yu. Ganzha. "Rezultaty ispytaniy otechestvennykh 4-komponentnykh avtonomnykh donnykh stantsii "KMS" v yugo-vostochnoi chasti Barentseva moray." *Materialy VI Mezhdunarodnoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov «Novoe v geologii i geofizike Arktiki, Antarktiki i Mirovogo Okeana», posvyashchennaya 70-letiyu osnovaniya NIIGA – VNIIOkeangeologiya*. Edited by A. S. Bich. SPb.: FGBU «VNIIOkeangeologiya», 2018. 29–30.

11. Ilinskiy, Dmitry A., Konstantin A. Roginskiy, and Oleg Y. Ganzha. "Geophysical technologies for study of deep oil genesis." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.5 (2018): 936–950. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-936-950.

12. Badikov, A. N., and V. I. Gulenko. "Istochnik uprugikh voln dlya seismorazvedki na predel'nom melkovod'e i v tranzitnykh zonakh." *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki* 29.3 (2009): 24–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ильинский Дмитрий Анатольевич —
 кандидат физико-математических наук,
 ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное
 учреждение науки

Институт океанологии им. П.П. Ширшова
 Российской академии наук

117997, Российская Федерация, г. Москва,
 Нахимовский проспект, 36

e-mail: dilinskiy61@mail.ru

Рогинский Константин Александрович —

кандидат технических наук,

ведущий научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное
 учреждение науки

Институт океанологии им. П.П. Ширшова
 Российской академии наук

117997, Российская Федерация, г. Москва,
 Нахимовский проспект, 36

e-mail: roginskiy@list.ru

Ганжа Олег Юрьевич —

главный специалист

Федеральное государственное бюджетное
 учреждение науки

Институт океанологии им. П. П. Ширшова
 Российской академии наук

117997, Российская Федерация, г. Москва,
 Нахимовский проспект, 36

e-mail: ganzhaoy@mail.ru

Ilinskiy, Dmitry A. —

PhD,

Senior Research Scientist

P. P. Shirshov Institute
 of Oceanology of Russian

Academy of Sciences

36, Nakhimovsky prospekt,
 Moscow, 117997,

Russian Federation

e-mail: dilinskiy61@mail.ru

Roginskiy, Konstantin A. —

PhD,

Senior Research Scientist

P. P. Shirshov Institute
 of Oceanology of Russian

Academy of Sciences

36, Nakhimovsky prospekt,
 Moscow, 117997,

Russian Federation

e-mail: roginskiy@list.ru

Ganzha, Oleg Y. —

Chief Specialist

P. P. Shirshov Institute
 of Oceanology of Russian

Academy of Sciences

36, Nakhimovsky prospekt,
 Moscow, 117997,

Russian Federation

e-mail: ganzhaoy@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 февраля 2020 г.

Received: February 11, 2020.