



КЛАССИФИКАЦИЯ
МНГС

МОДУЛЬНЫЕ
БУРОВЫЕ
УСТАНОВКИ

СЕЙСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
НА АРКТИЧЕСКОМ
ШЕЛЬФЕ

ДЕЛОВОЙ ЖУРНАЛ

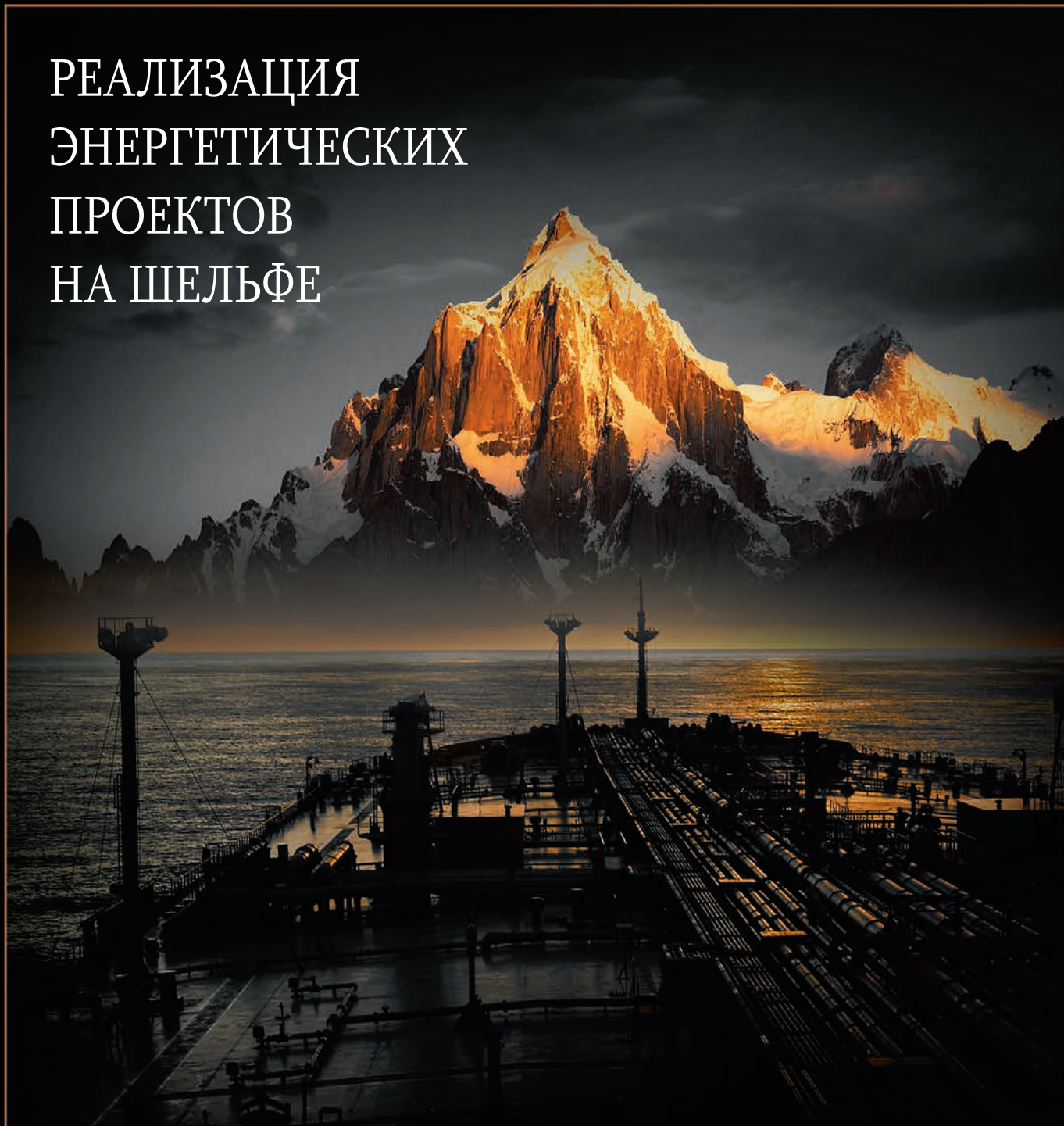
Neftgaz.RU

1 [133] 2023

OFFSHORE

ISSN 2410-3837

РЕАЛИЗАЦИЯ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
ПРОЕКТОВ
НА ШЕЛЬФЕ

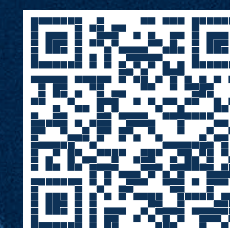


Входит в перечень ВАК

МОРЕ БЕЗ СЕРЫ: ПЕРСПЕКТИВЫ ЕСО- БУНКЕРОВКИ

Проект посвящен современной судоходной отрасли, рыночным изменениям, связанным с новыми требованиями IMO, перспективам экологичного судового топлива и достижениям одного из крупнейших участников бункерного бизнеса — компании «Газпромнефть Марин Бункер»

MARINEBUNKER.NEFTEGAZ.RU



Мультичастотные
высокоразрешающие
сейсмические исследования
на арктическом шельфе



14

Особенности освоения
нефтегазовых ресурсов
континентального шельфа
Арктики



22

СОДЕРЖАНИЕ

БПЛА на объектах
трубопроводного транспорта



34

Классификация МНГС
по функциональному
назначению верхнего
строения



40

Эпохи НГК 4

РОССИЯ *Главное*

Бюджет, налоги, санкции и нефть 6
Все ради науки 8

События 10

Первой строчкой 12

АРКТИКА

Мультичастотные
высокоразрешающие
сейсмические исследования
на арктическом шельфе 14

Особенности освоения нефтегазовых
ресурсов континентального
шельфа Арктики 22

ТРАНСПОРТИРОВКА

Фарватер российской
энергобезопасности. Технологии,
проекты и перспективы
ООО «Газпром флот» 26

Диагностика и контроль
теплотехнического состояния
свайного основания в условиях
вечномерзлых грунтов 32

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

БПЛА на объектах
трубопроводного транспорта 34

НЕФТЕСЕРВИС

Технология манжетного
цементирования, не требующая
нормализации 38

Классификация МНГС
по функциональному назначению
верхнего строения 40

Российские и зарубежные
роторно-управляемые
системы



52

Технологическая независимость
и импортозамещение при
реализации энергетических
проектов в Арктике



68

Энергоснабжение
в Арктике с использованием
ВИЭ



74

Госрегулирование
нефтегазового комплекса
как основа обеспечения
национальной и энергетической
безопасности



80

БУРЕНИЕ

Модульные буровые установки 46

Российские и зарубежные роторно-
управляемые системы 52

Хронограф 59

Анализ возникновения торсионных
вибраций в компоновке низа
буровой колонны 60

Технологическая независимость
и импортозамещение
при реализации энергетических
проектов в Арктике 68

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Энергоснабжение в Арктике
с использованием ВИЭ 74

ГОСРЕГУЛИРОВАНИЕ

Госрегулирование нефтегазового
комплекса как основа обеспечения
национальной и энергетической
безопасности 80

РЫНОК

Нефтегазовый комплекс
России в новых условиях:
геополитическая ситуация,
диверсификация, формирование
новых рынков сбыта 88

ПЕРЕРАБОТКА

Базальтовые волокна.
Комплексное применение и создание
производств материалов для
нефтегазовой отрасли 92

Россия в заголовках 101

Новости науки 102

Нефтегаз *Life* 104

Классификатор 106

Цитаты 112

142 года назад

В 1881 году британский физик У.Томсон, в последствии известный как лорд Кельвин, читает знаменитую лекцию о природных источниках энергии.

141 год назад

В 1882 году в Лондоне заработала первая в мире общественная угольная тепловая электростанция, называвшаяся осветительной станцией Томаса Эдисона.

140 лет назад

В 1883 году в Санкт-Петербурге построена первая угольная общественная ТЭЦ.

139 лет назад

В 1884 году на крыше одного из зданий в Нью-Йорке установлены первые в мире солнечные батареи.

84 года назад

В 1939 году А. Эйнштейн написал письмо президенту Рузвельту, в котором разъяснял необходимость развития атомного проекта в Америке в противовес разработкам в Германии. Вскоре был создан Урановый комитет, положивший начало Манхэттенскому атомному проекту.

82 года назад

В 1941 году Борис Шелищ оформил патент Советского Союза на способ работы автомобильного двигателя на водородном топливе.

81 год назад

В 1942 году году коллективом под руководством лауреата Нобелевской премии по физике Энрико Ферми был запущен первый в мире уран-графитовый ядерный реактор – Chicago Pile 1.

79 лет назад

В 1944 году в Аргоннской национальной лаборатории (ANL) запустили первый в мире тяжеловодный ядерный реактор CP-3.

69 лет назад

В 1954 году в Обнинске запущена первая в мире атомная станция с уран-графитовым реактором, охлаждаемым водой на обогащенном уране.

46 лет назад

В 1977 году Министерство энергетики США открывает Исследовательский институт солнечной энергии, впоследствии известный как Национальная лаборатория возобновляемой энергетики (NREL).

Издательство Neftegaz.RU

РЕДАКЦИЯ

Главный редактор
Ольга Бахтина

Шеф-редактор
Анна Павлихина

Редактор
Анастасия Никитина

Аналитики
Артур Гайгер
Дарья Беляева

Журналисты
Анна Игнатьева
Елена Алифирова
Анастасия Гончаренко
Анастасия Хасанова

Дизайн и верстка
Елена Валетова

Корректор
Виктор Блохин

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Ампилов Юрий Петрович
д.т.н., профессор, ИГУ им. М.В. Ломоносова

Алюнов Александр Николаевич
к.т.н., ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»

Бажин Владимир Юрьевич
д.т.н., эксперт РАН, Санкт-Петербургский горный университет

Гриценко Александр Иванович
д.т.н., профессор, академик РАН

Гусев Юрий Павлович
к.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО НИУ МЭИ

Данилов-Данильян Виктор Иванович
д.з.н., профессор, член-корреспондент РАН, Институт водных проблем РАН

Двойников Михаил Владимирович
д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский горный университет

Еремин Николай Александрович
д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Илюхин Андрей Владимирович
д.т.н., профессор, Советник РААСН, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет

Каневская Регина Дмитриевна
действительный член РАН, д.т.н., профессор, РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Макаров Алексей Александрович
д.з.н., профессор, академик РАН, Институт энергетических исследований РАН

Мастепанов Алексей Михайлович
д.з.н., профессор, академик РАН, Институт энергетической стратегии

Панкратов Дмитрий Леонидович
д.т.н., профессор, Набережночелнинский институт

Половинкин Валерий Николаевич
научный руководитель ФГУП «Крыловский государственный научный центр», д.т.н., профессор, эксперт РАН

Салыгин Валерий Иванович
д.т.н., член-корреспондент РАН, профессор МИЭП МГИМО МИД РФ

Третьяк Александр Яковлевич
д.т.н., профессор, Южно-Российский государственный политехнический университет

Издательство:
ООО Информационное агентство Neftegaz.RU

Директор
Ольга Бахтина

Отдел рекламы
Дмитрий Аверьянов
Ольга Щербакова
Валентина Горбунова
Анна Егорова
Марина Шевченко
Галина Зуева
Виктория Мыларщикова
Евгений Короленко
pr@neftgaz.ru
Тел.: +7 (495) 778-41-01

Служба технической поддержки
Сергей Прибыткин
Алексей Лозгачев

Выставки, конференции, распространение
Мария Короткова

Отдел по работе с клиентами
Екатерина Данильчук

Деловой журнал Neftegaz.RU зарегистрирован федеральной службой по надзору в сфере массовых коммуникаций, связи и охраны культурного наследия в 2007 году, свидетельство о регистрации ПИ №ФС77-46285

Адрес редакции:
123001, г. Москва, Благоевский пер., д. 3, с.1
Тел.: +7 (495) 778-41-01
www.neftgaz.ru
e-mail: info@neftgaz.ru
Подписной индекс Урал Пресс 013265

Переписка материалов журнала Neftegaz.RU невозможна без письменного разрешения главного редактора. Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях, а также за политические, технологические, экономические и правовые прогнозы, представленные аналитиками. Ответственность за инвестиционные решения, принятые после прочтения журнала, несет инвестор.

Отпечатано в типографии
«МЕДИАКОЛОР»

Заявленный тираж
8000 экземпляров



9 772410 383004

СПГ 2023 конгресс РОССИЯ

IX Ежегодный конгресс и выставка

Престижная и единственная площадка для руководителей крупно-, средне- и малотоннажных СПГ-заводов

15–16 марта, Москва

www.Ingrussiacongress.com

Ключевые моменты конгресса:

250+ УЧАСТНИКОВ, среди которых руководители предприятий в СПГ-индустрии и представители проектов по производству водорода в России, а также инициаторы инвестиционных проектов, компании-разработчики и производители оборудования и технологий для предприятий, российские и международные инвесторы

30+ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ, среди которых крупнейшие мегапроекты по СПГ, проекты по средне- и малотоннажным СПГ-заводам, проекты по производству водорода

40+ ДОКЛАДЧИКОВ И УЧАСТНИКОВ ДИСКУССИЙ: представители проектов, регуляторные органы, эксперты отрасли. Экспертные мнения по вопросам развития СПГ-индустрии в России и перспективам водородной энергетики в актуальной повестке

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СПГ: актуальные запросы бизнеса и предложения производителей

МАЛОТОННАЖНЫЕ СПГ-ПРОЕКТЫ В РОССИИ. Расширение внутреннего рынка сжиженного газа

Организатор:
VOSTOCK CAPITAL
— 20 лет успеха —

+7 (495) 109 9 509 (Москва)
events@vostockcapital.com



НОВОЕ! АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ: метан, водород, углерод. Перспективы развития проектов в новых реалиях

АКТУАЛЬНО! ТЕХНОЛОГИИ СЖИЖЕНИЯ И РАЗРАБОТКИ КРИОГЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ. Представление опытных образцов и результатов успешных испытаний

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИМЕЮЩИХСЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ СПГ. Инжиниринг и реинжиниринг. Разбор кейсов

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ объектов СПГ на всех производственных этапах: добыча, производство, хранение, логистика

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА технических, технологических и сервисных решений от лидеров отрасли

30+ ЧАСОВ ДЕЛОВОГО И НЕФОРМАЛЬНОГО ОБЩЕНИЯ! Встречи один на один, деловые обеды, кофе-брейки, приветственный коктейль для всех участников и многое другое.



БЮДЖЕТ, НАЛОГИ, САНКЦИИ И НЕФТЬ

Анна Павлихина

В конце прошлого года страны ЕС установили предел цены на российскую нефть и теперь пытаются понять, работает ли ценовой потолок? Зарубежные СМИ уверенно заявляют – «да». CREA – Хельсинский центр исследований в области энергетики и чистого воздуха – приводит данные, согласно которым Россия ежедневно теряет 172 млн долл., которые она могла бы получить, продавая нефть по рыночной цене. Специалисты Центра подсчитали, что с 5 февраля, когда под это же правило попадут нефтепродукты, финансовые потери увеличатся до 280 млн долл. в день.

Этим данным противоречит статистика Минфина РФ. В декабре, когда был установлен потолок цен, доходы бюджета за счет нефтянки увеличились на 7,5%, а по итогам 2022 г. рост составил 27,9%.

В то же время, по прогнозам Министерства, в январе 2023 г. поступления от нефтянки будут меньше базовых. По предварительным оценкам, казна недосчитается 54,5 млрд рублей. В связи с невозможностью получить запланированные доходы от продажи углеводородов с 13 января по 6 февраля в рамках бюджетного правила Минфина Банк России возобновляет торговлю валютой – юанями – на внутреннем рынке,

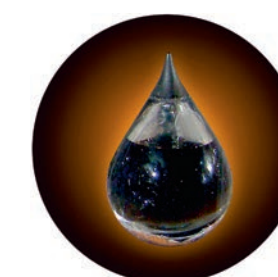


как сообщило ведомство «в целях повышения стабильности и предсказуемости внутренних экономических условий, а также снижения влияния изменчивой конъюнктуры рынка энергоносителей на российскую экономику и государственные финансы».

Чтобы сбалансировать бюджет, нужна более высокая цена на нефть. В начале года балансирующей называли цену в 95 долл. за барр. К середине января подсчеты скорректировались на уровне 110–115 долл. за барр. Этот уровень выглядит еще более недостижимым, учитывая прогнозы по сложности сохранения экспортных доходов хотя бы на уровне не самого удачного прошлого года.

Учитывая это, в бюджет 2023 года заложено сокращение нефтегазовых доходов на 24%. Кроме того, вероятно, возникнут сложности с экспортом нефтепродуктов. Рынки сбыта для них найти сложнее, премиальный для нефти и газа Азиатско-Тихоокеанский регион не может порадовать таким же спросом на нефтепродукты. Этим может объясняться тот факт, что при ожидаемом ведомством сокращении добычи на 5%, в план заложено незначительное увеличение экспорта, из чего следует, что переработка внутри страны и выпуск нефтепродуктов должен сократиться.

В наступившем году состояние бюджета вызывает беспокойство и обсуждения на самых высоких уровнях. Так, Минэнерго поручено разобраться с предоставлением скидок на нефть и при необходимости ограничивать размер дисконта. Сегодня эксперты склонны думать, что по итогам 2023 года размер скидки может быть уменьшен вдвое. ●



ВСЕ РАДИ НАУКИ

Анна Игнатьева

Председатель правительства РФ М. Мишустин подписал постановление (№ 2312 от 15 декабря 2022 г.), которое расширяет перечень видов научных исследований и опытно-конструкторских работ (НИОКР), расходы по которым можно учитывать для уменьшения налоговых платежей. Теперь туда включена разработка и производство отдельных видов химической продукции.

Подписанным документом внесены изменения в Постановление Правительства от 24 декабря 2008 г. № 988. В обновленный перечень вошли еще 26 технологий производства химических веществ, среди которых удобрения и средства защиты растений, составы для нефтедобычи, моющие средства, производные для косметики, добавки для пластика и каучука, присадки к топливу и смазочным материалам, дезинфицирующие вещества, сырье для фармацевтической промышленности, вещества для пищевых добавок.

Расходы по исследованиям и разработкам, включенным в перечень, исключаются из базы расчета налога на прибыль. Они отнесены к прочим расходам с увеличивающим коэффициентом 1,5. Таким образом, снижаются сами налоговые платежи.

Решение позволит простимулировать развитие отечественной малотоннажной и среднетоннажной химии в условиях внешних ограничений.

Другим постановлением правительство выделило более 3,7 млрд руб. из резервного фонда кабмина на повышение заработной платы сотрудников федеральных государственных научных учреждений. Средства выделяют дополнительно к почти 5 млрд руб., ранее предусмотренным на эти цели. Решение было принято с учетом скорректированных прогнозных показателей размера и темпа роста средней заработной платы в России.

За счет дополнительных средств зарплату научных сотрудников в теории должны повысить до 200% средней зарплаты в их регионе. ●

Рейтинги Neftegaz.RU

Россия перешла к активному поиску новых партнеров. С Ираном обсуждается возможность объединения энергосистем, передача газотурбинных технологий и возобновляемая генерация, с Китаем – углубление энергетического сотрудничества, с Белоруссией – совместная промышленная политика, с Казахстаном – проекты по производству пропилена и полиэтилена. Какие отрасли российской промышленности нуждаются в партнерской поддержке?

В какой сфере России надо искать технологическое партнерство с другими странами?

34%

Нефтегазопереработка и нефтегазохимия

19%

Компьютерные технологии и искусственный интеллект

17%

Космические программы

3%

В сфере продовольственной безопасности

27%

В области возобновляемой энергетики

Газпром утвердил инвестиционную программу на 2023 год с учетом состояния мирового рынка и хода газификации. Так, компания планирует развитие новых центров газодобычи, развитие МГП Сила Сибири, газоперерабатывающих проектов и проектов, обеспечивающих пиковый баланс спроса. Развитие каких направлений следует считать приоритетными?

Какой должна быть последовательность в финансировании проектов газового рынка в России?

31%

Новые центры газодобычи, развитие экспортных маршрутов, перерабатывающие проекты, газификация населенных пунктов

29%

Развитие экспортных маршрутов, новые центры газодобычи, газификация населенных пунктов, перерабатывающие проекты

25%

Перерабатывающие проекты, газификация населенных пунктов, новые центры газодобычи, развитие экспортных маршрутов

15%

Газификация населенных пунктов, перерабатывающие проекты, развитие экспортных маршрутов, новые центры газодобычи



THE LAGUNA
RESORT & SPA
NUSA DUA, BALI

Обновленная, но такая знакомая Laguna!

Оцените новые интерьеры, вдохновленные океаном,
пышные тропические сады,
чистейший пляж и семь бассейнов с морской водой.

Больше на www.thelagunabali.com

THE LUXURY COLLECTION HOTELS & RESORTS

THE LAGUNA
A LUXURY COLLECTION RESORT & SPA, NUSA DUA, BALI
KAWASAN PARIWISATA NUSA DUA LOT N2 PO BOX 77, BALI 80363, INDONESIA

Go There With
MARRIOTT BONVOY

Выборы президента
Обвал рынка акций
Газовые войны
Запуск нового производства
Северный поток
Смешение капиталов
Новый глава Роснефти
Цены на нефть

В Египте найдено крупное газовое месторождение

Египет обнаружил крупное ГКМ в блоке Наргис – одном из четырех морских разведочных блоку северо-восточного побережья Средиземного моря. Месторождение может содержать до 3,5 трлн кубических футов газа. Это открытие способно придать импульс усилиям Египта по позиционированию себя в качестве энергетического центра в восточном Средиземноморье после объявления в 2015 г. об открытии компанией Eni гигантского газового месторождения Зохр. Сегодня Египет занимает второе место по добыче газа в Северной Африке после Алжира, и на его долю приходится около 1,7% доказанных мировых запасов. В 2022 году Египет ежемесячно экспортировал в Европу газа на 600 млн долл., а в следующем надеется увеличить этот показатель до 1 млрд долл.

ЕС ввел девятый пакет санкций

Совет ЕС подтвердил свою позицию, направленную на обеспечение продовольственной безопасности и избежание сбоев в работе каналов оплаты сельскохозяйственной продукции. В связи с этим было принято решение ввести новое послабление в санкционном режиме, позволяющее размораживать активы и средства лиц, которые до включения

ЕС согласовал потолок цен на газ на уровне 180 евро/МВт·ч с возможностью отмены. К внебиржевым сделкам потолок применяться не будет

в список играли значительную роль в международной торговле сельскохозяйственными и пищевыми продуктами, включая пшеницу и удобрения. Одновременно девятый пакет санкций вводит запрет на поставки в Россию товаров и технологий, связанных с авиацией, сложных генераторов, компьютеров, печатных микросхем, систем радионавигации, камер и объективов. Запрещаются инвестиции в энергетический и горнодобывающий сектор России, за исключением деятельности, связанной с видами критически важного сырья. Гражданам ЕС теперь запрещено занимать руководящие должности в государственных или контролируемых государством компаниях РФ. В санкционный список внесено 168 российских компаний и порядка 200 физических лиц.

За добычей в Венесуэлу

Зампред правительства РФ А. Новак в качестве сопредседателя провел в Каракасе 16-е заседание Российско-Венесуэльской межправительственной комиссии.

По итогам заседания глава венесуэльской государственной нефтегазовой компании PDVSA А. Чавес сообщил, что российские компании готовы развивать проекты по добыче и переработке нефти в Венесуэле в рамках совместных предприятий. Стороны договорились о создании рабочей группы для развития пяти совместных предприятий России и Венесуэлы, деятельность которых сосредоточена в области добычи и переработки нефти.

В Дзержинске займутся переработкой литий-ионных батарей

В Дзержинске в 2023 г. начнется строительство экотехнопарка по переработке литий-ионных батарей. Строительство планируют начать в октябре 2023 г. и запустить производство до конца 2024 г. В экотехнопарке мощностью до 50 тыс. т в год предусмотрены семь технологических линий для переработки батарей, на выходе будет литий, алюминий, медь, железо, никель, марганец, кадмий, кобальт и графит, которые планируют использовать для производства новых литий-ионных аккумуляторов. Проектирование и строительство экотехнопарка будет вести Концерн Титан-2, занимающийся возведением предприятий атомной отрасли.

Канада предоставила Ksi Lisims LNG экспортную лицензию на 40 лет. Объект будет иметь один из самых низких показателей углеродоемкости среди всех крупномасштабных экспортных проектов СПГ в мире

Второй ветка ВСТО
Богуманская ТЭС запущена
Продажа квот
Долли руки до Арктики
Южный поток
Цены на газ
Северный поток достроили

Во Франции заработали еще два энергоблока АЭС EDF

Французская энергокомпания EDF запустила в эксплуатацию два остановленных ранее энергоблока АЭС, увеличив таким образом число работающих реакторов в стране до 40 из 56. Всего сейчас во Франции работают реакторы суммарной мощностью 39 ГВт.

От них питается около 60% предприятий, и они же поставляют энергию в дома 70% жителей страны. В EDF взяли на себя обязательства по перезапуску всех остановленных реакторов к зиме. Еще 15 ноября Electricite de France запустила только 31 из своих 56 атомных реакторов. Это должно помочь стране в преодолении энергетического кризиса.

Плавучий ветропарк

Компании Metsähallitus и Vattenfall подписали соглашение о разработке проекта, который предусматривает строительство первого в Финляндии морского ветропарка у берегов муниципалитета Korsnäs на западе Финляндии.

Проектная площадка занимает 220 км², рядом расположены три крупных порта – Kaskinen, Kristiina и Vaasa. На первом этапе проекта будет построено от 70 до 100 ветрогенераторов

Под Псковом на территории ОЭЗ Моглино появится завод по производству СПГ. Объем инвестиций в проект – 1,5 млрд руб. Мощность производства – 19 тыс. т в год. Это позволит обеспечить газомоторным топливом потребителей регионов СЗФО

мощностью от 12 до 22 МВт и более, которые планируется устанавливать на глубине от 10 до 30 м. Предполагаемая годовая выработка электроэнергии составит 5 ТВт·ч/год, за счет этого электроэнергией будут обеспечены около 250 тыс. частных домов. Инвестиции в проект составят 2–3 млрд евро, ввод в эксплуатацию запланирован на 2030 г. Страна стремится стать углеродно-нейтральным государством к 2035 г. Сегодня на долю ветровой энергетики приходится около 10% всей выработанной в Финляндии электроэнергии, по оценкам экспертов, через 10 лет эта доля увеличится до 25%.

Больше газа

Поставки трубопроводного газа из России в Китай в январе–ноябре 2022 г. в стоимостном выражении составили 3,546 млрд долл, что на 177% больше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Отдельно в ноябре Россия

поставила КНР газа на 449,3 млн долл, что в два раза больше по сравнению с октябрём. Среди государств, поставляющих Китаю газ по газопроводам, первое место продолжает занимать Туркмения: за 11 месяцев она экспортировала газа на 9,28 млрд долл. На втором месте – Россия, на третьем – Мьянма (1,29 млрд долл.), четвертое место занимает Узбекистан (1,03 млрд долл.), пятое – Казахстан (1 млрд долл.).

Газпром запустил Ковыктинское ГКМ и участок МГП Ковыкта – Чаянда

Газпром ввел в промышленную эксплуатацию Ковыктинское ГКМ и участок МГП Сила Сибири-1 от Ковыктинского до Чаяндинского месторождения. Таким образом, МГП введен в эксплуатацию на всей протяженности, превышающей 3000 км. Теперь газ в МГП Сила Сибири-1 подают два ЦГД – Иркутский и Якутский. Ковыктинское ГКМ является крупнейшим по запасам газа на Востоке России и составляет основу для Иркутского ЦГД, наряду с Чаяндинским НГКМ в Якутии, формирует ресурсную базу для МГП Сила Сибири-1. Проектная мощность двух месторождений – более 50 млрд м³ природного газа в год. ●

КазТрансОйл сообщил о получении одобрения от России на транзит 300 тыс. т нефти в Германию в 1-м квартале 2023 г. Казахстан планирует поставить в Германию 1,5 млн т нефти в 2023 г. и может нарастить объем до 6–7 млн т в год

На **19,6%**

снизил добычу газа Газпром по итогам 11,5 месяца 2022 г., поставки в дальнее зарубежье снизились на **45,1%**



1,8 МЛН Т

нефти планирует добыть Белоруснефть по итогам 2022 г.

Такой уровень не достигался страной уже **20 лет**

На **3%**,

до **52** млрд кВт-ч, снизилась выработка электроэнергии в объединенной энергосистеме Северо-Запада за 6 месяцев

700 МЛН М³

достигла суточная добыча газа на месторождении Южный Парс

8 млрд долл.

потратит Египет на разведку нефтяных и газовых месторождений в стране

Минэнерго РФ предлагает построить новые ГЭС общей мощностью

3,8 ГВт и ГАЭС на **2,9 ГВт**

Совкомфлот разместил замещающие облигации, призванные заместить евробонды, на сумму

377,1 МЛН долл.

На **1,2%**

в годовом сравнении упало производство электроэнергии

в 1-й ценовой зоне энергорынка (около **80%** выработки в России)

3 НОВЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СТАНЦИИ

общей мощностью **500 МВт** планируют запустить в Узбекистане к 2024 г.

с **21** до **66**

увеличили портфель заказов на СПГ китайские верфи, что составляет **21%** от мировых заказов на сумму около **60 млрд долл.**



На **52,6%**

до **146,57** млрд долл. вырос импорт Индией сырой нефти в апреле – ноябре.

Импорт угля и кокса увеличился на **97,7%**, до **37,25** млрд долл.

На **54%**,

до **1,6** млн барр. в сутки, сократились поставки российского топлива в первую неделю действия санкций

\$ 35 млрд

вложит Иран в нефтехимическую отрасль, **15** млрд из этой суммы предназначены для PGIC

До **40** МЛН Т

малосернистой нефти расширены экспортные мощности порта Новороссийска

Ведутся работы по увеличению экспорта до **52** млн т

СУЭК инвестирует в развитие

\$ 2 млрд в 2023 г. **1** млрд направят в сектор энергетики и **1** млрд — в угольные активы

65 млн евро

выделил ЕИБ на реконструкцию Клайпедского порта

Общая стоимость проектов, под которые привлекался кредит, составляет **137** млн евро

8,9 млрд руб.

инвестируют Россети в энергосистему Курской области до 2025 г.

9,7 млрд евро

достигнут затраты Германии на FSRU за период с 2022 по 2038 годы

Нигерия увеличила объем производства нефти до

1,6 МЛН барр. в сутки

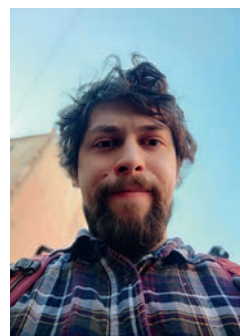
50-51 МЛН Т нефти

прокачает КТК вместо запланированных **63** млн т

МУЛЬТИЧАСТОТНЫЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ на арктическом шельфе



**Гайнанов
Валерий Гарифьянович**
профессор кафедры
сейсмометрии и геоакустики
геологического факультета МГУ,
д.т.н.



**Токарев
Александр Михайлович**
геологический факультет МГУ,
аспирант



**Потемка
Андрей Константинович**
геологический факультет МГУ,
аспирант

РАССМОТРЕНЫ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ШЕЛЬФЕ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ПОВЫШЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ДЕТАЛЬНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПУТЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ РАЗНОЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ И КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ, ПРЕДСТАВЛЕНЫ НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ АВТОРАМИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭТИХ ТЕХНОЛОГИЙ

AUTHORS PRESENT A PREVIEW OF UP TO DATE HIGH RESOLUTION SEISMIC TECHNOLOGIES ON THE SHELF AREAS BASED ON THE MULTIPLE FREQUENCY OBSERVATIONS AND COMBINED PROCESSING OF ACQUIRED DATA FOR ACHIEVING BETTER RESOLUTION AND PENETRATION. THE EFFICIENCY OF THE TECHNOLOGIES IS DEMONSTRATED NOT ONLY ON THE PUBLISHED DATA, BUT ON THE AUTHORS OWN MATERIALS

Ключевые слова: высокоразрешающая сейсморазведка, сверхвысокоразрешающая сейсморазведка, ультровысокоразрешающая сейсморазведка, мультимастотная сейсморазведка.

Высокоразрешающие сейсмические исследования широко применяются для целей геологического картирования на акваториях, при инженерно-геологических изысканиях, а также для мониторинга опасных геологических процессов, таких как газовые сипы, деградация мерзлоты, оползневые процессы.

Требования к результатам таких исследований постоянно возрастают – первые такие работы начали проводиться в нашей стране в 60-е годы 20 века (Калинин и др., 1964; Калинин, 1976), за рубежом несколько ранее (Beckmann et al, 1959; Ewing and Tirey, 1961; Edgerton, 1963).

Технология работ заключалась в одноканальном профилировании – за бортом судна буксировались один источник (электроискровой – спаркер, бумер или пневматический источник) и одноканальная пьезоприемная коса. Работы проводились при постоянном движении судна, поэтому получили название «непрерывное сейсмическое профилирование» (НСП). Результаты регистрировались на бумажном носителе и получили название «сейсмический

временной разрез», по аналогии с геологическим разрезом. Для тех времен технология оказалась очень эффективной, и метод получил широкое распространение.

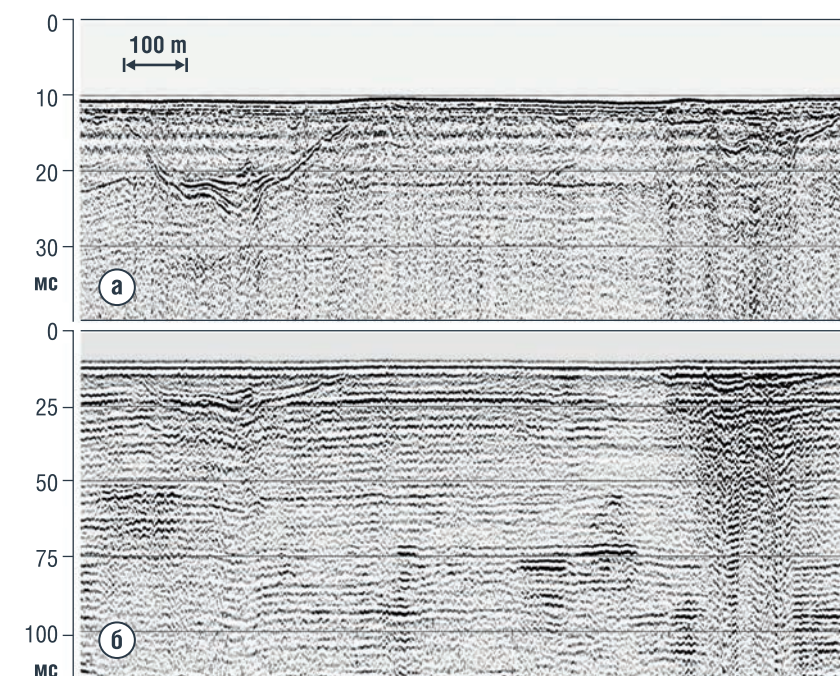
Однако простота метода была и причиной его недостатков – по одноканальным данным невозможно было определять скорости сейсмических волн в среде, были ограничены возможности подавления многочисленных помех.

Когда появились технические возможности начали применять многоканальную регистрацию данных. Это позволило повысить помехоустойчивость метода, дало возможность определять скорости волн в среде и тем самым повысить точность и достоверность построений (Бондарев и др., 1988; Гайнанов и др., 2006; Гайнанов и Токарев, 2008).

По мере развития способов цифровой обработки данных технологии проведения таких работ также начали совершенствоваться. Целями были повышение разрешающей способности и глубинности исследований, а также определение физико-механических, литологических и коллекторских свойств грунтов при комплексной

УДК 550.832.4

РИСУНОК 1. Временные разрезы, полученные при одновременном профилировании с бумером (а) и со спаркером (б) (Гайнанов и др., 2008)



интерпретации сейсмических данных с данными скважинных исследований и инженерно-технических испытаний.

Многие из таких новых методических приемов описаны в нашей предыдущей публикации в данном журнале (Гайнанов и др., 2021), но технологии быстро совершенствуются, и здесь мы хотим рассмотреть новые тенденции в этой области.

Технологии высокоразрешающих сейсмических исследований на акваториях

Прежде чем перейти к основной теме нашей работы, следует сделать краткий обзор высокоразрешающих сейсмических

исследований верхней части геологического разреза вообще. Если придерживаться классификации методов по работе (Thomas et al., 2012), то наибольшую глубинность (до 1 км) для таких исследований при относительно высокой вертикальной разрешающей способности (4–1 м) может обеспечить так называемая «сейсморазведка высокого разрешения» (СВР), работающая на частотном диапазоне колебаний 80–375 Гц. Далее идет «сейсморазведка сверхвысокого разрешения» (ССВР) на частотном диапазоне колебаний 375–1500 Гц с разрешающей способностью около 1 м и менее, наиболее востребованная в такого вида исследованиях. Последним в такой классификации называют

«сейсморазведку ультравысокого разрешения» (СУВР), в прежнем у нас названии – «акустические исследования» на частотном диапазоне колебаний 1,5–13 кГц с разрешающей способностью около 25 см и менее.

Для каждого диапазона частот существуют свои источники колебаний, приемные системы и соответствующая методика наблюдений. Поэтому достаточно долгое время каждый из этих методов (или методик) применялся в отдельности, в разное время или с разных судов, что, конечно, удлиняло сроки проведения исследований и удорожало работы.

Идея проводить сейсмические наблюдения в различных частотных диапазонах для получения данных с различной разрешающей способностью, будучи совершенно очевидной, начала внедряться на практике достаточно давно. Наиболее часто применяется сочетание сейсмического источника и профилографа или локатора бокового обзора, но встречаются и работы, где применялись либо различные типы источников, либо источники, помещавшиеся на различной глубине.

В нашей стране пионерской можно считать методику двухчастотных высокоразрешающих сейсмических исследований с применением бумера и спаркера (Безродных и др., 2002), несколько позже мы также стали применять такую методику (Гайнанов и др., 2008).

Дальнейшее совершенствование технологии таких исследований имело главной целью повышение разрешающей способности исследований (что равносильно расширению спектра сигнала), как за счет использования более сложных систем наблюдений, так и применения современных способов цифровой обработки данных.



РИСУНОК 2. Принципиальная схема многоканальных сейсмоакустических наблюдений с двухуровневой расстановкой



Одним из таких способов является буксировка источника и приемника на достаточно большой глубине, такой, что волны-спутники от поверхности воды регистрируются с достаточно большим запаздыванием от основной волны и не ухудшают разрешенности записей для верхних частей разреза (Tokarev et al., 2006).

Другой подход заключается в буксировке наклонной косы, и за счет разной глубины погружения приемников разных каналов при суммировании таких данных волны-спутники также ослабляются (Гайнанов, 2019; Soubaras et al., 2013).

Практически одновременно с наклонными косами появились

системы двухуровневой буксировки (Moldoveanu et al., 2007). При регистрации данных на сейсмокосы, буксируемые на двух разных уровнях, «провальные» низкие и высокие частоты, регистрируемые на приповерхностной косе, будут обогащены данными с глубокой косы.

Соответственно, после обработки можно получить широкополосную запись с высоким разрешением.

Хотя такая идея появилась давно, несовершенство технологии проведения наблюдений и способов обработки не позволяло реализовать ее на практике даже для нефтегазовой сейсморазведки. Только не так давно появилась

возможность реализовать ее при высокоразрешающих сейсмических исследованиях (Tokarev et al., 2016; Токарев и др. 2018).

В 2015 году на шельфе моря Лаптевых в рамках региональных инженерно-геологических исследований была применена разработанная под руководством М.Ю. Токарева методика двухуровневых трехчастотных сейсмических наблюдений (рис. 15). Целью исследования было обнаружение и картирование геологических опасностей в верхней части разреза.

В качестве излучателей сигнала использовались спаркер с центральной частотой сигнала

РИСУНОК 3. Сейсмические разрезы по профилю, отработанному с двухуровневой расстановкой в трех частотных диапазонах, разрезы сверху вниз: по профилографу; по заглубленной приемно-излучающей системе (ССВР); по приповерхностной приемно-излучающей системе (СВР)

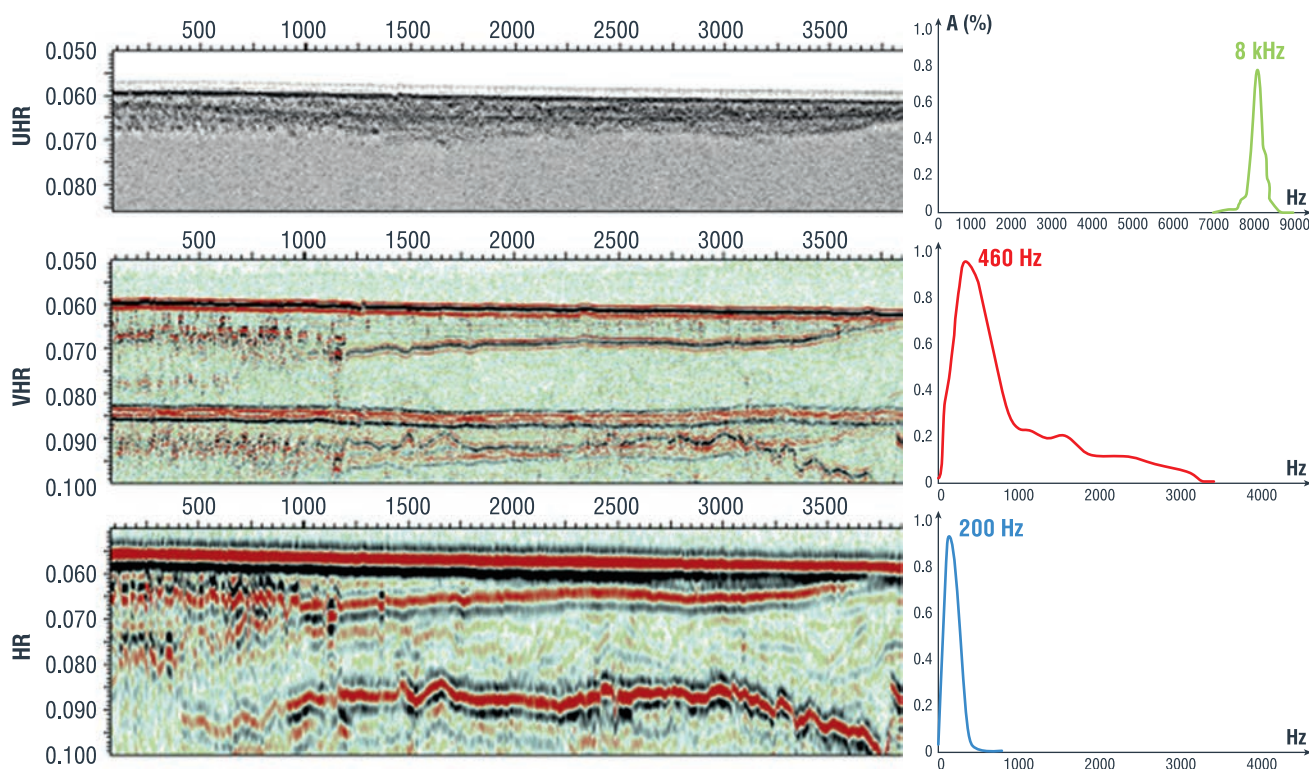
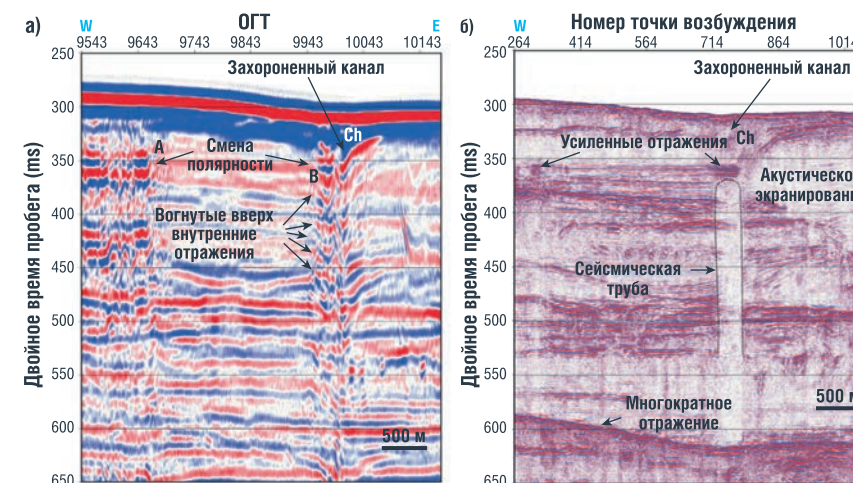


РИСУНОК 4. Сравнение разрешающей способности двух сейсмических методов. Слева – данные, полученные с пневмопушкой, справа – со спаркером (Kim et al., 2020)



около 500 Гц и пневмоисточник с центральной частотой порядка 250 Гц с попеременным возбуждением. Источники буксировались на двух уровнях: пневмопушка на глубине погружения поверхностной косы, электроискровой источник на уровне заглубленной приемной системы. Приповерхностная пьезокоса, состоящая из 96 каналов, расположенных с шагом 3,125 метра, была заглублена примерно на 1,5 метра, 16-канальная пьезокоса (шаг между одиночными приемниками 2 метра) заглублялась в среднем на 25 метров. В качестве третьего приемно-излучающего устройства использовался параметрический профилограф, работающий на частоте 8 кГц. Для определения особенностей рельефа дна использовались гидролокатор бокового обзора (ГЛБО) и многолучевой эхолот (МЛЭ).

Дополнение многоканальных наблюдений высокочастотным непрерывным сейсмоакустическим профилированием в набортном или заглубленном варианте позволяет за один проход судна получать данные в трех частотных диапазонах сейсмических наблюдений. Пример таких наблюдений приведен на рисунке 16.

Отражение от кровли газонасыщенных отложений имеет много общего с отражением от кровли многолетнемерзлых пород. Обе эти поверхности характеризуются повышенными амплитудами отражений, неровным рельефом, краевыми дифракционными эффектами, могут располагаться резко дискордантно по отношению

к отражениям от геологических слоев. При высокочастотных сейсмоакустических исследованиях (профилографы SES, Parasound и др.) обе поверхности почти всегда являются акустическим фундаментом, что не позволяет изучить нижележащую часть разреза. Единственным надежным критерием, позволяющим идентифицировать газонасыщенные отложения, является отрицательная полярность отражения от их кровли (т.е. обратная по отношению к полярности отражения от дна), что связано с резким понижением скорости волн в газонасыщенных интервалах разреза. В многолетнемерзлых породах скорости упругих волн, наоборот, выше, чем фоновые, и полярность отражений от их кровли – положительная. В то же время при применении только высокочастотных профилографов определить полярность отражений практически невозможно, поскольку используется огибающая сигнала.

Сейсмические исследования на шельфе моря Лаптевых в трех частотных диапазонах позволили не только решить эту проблему, но и получить дополнительные преимущества при интерпретации. Представленная технология сейсмических исследований в широком диапазоне частот от 50 Гц до 3,5 кГц позволяет достичь оптимальных параметров съемки по глубинности и вертикальной разрешающей способности за один проход судна. Применение методики сейсмических работ с комбинированной, приповерхностной и заглубленной

приемно-излучающей установкой впервые позволило применить методы динамического анализа и инверсии для сейсмоакустических данных в характерных для Арктического региона сейсмогеологических и гидрометеорологических условиях.

Ярким примером применения разночастотных источников для решения задачи выявления неглубоких газопоявлений может служить работа (Kim et al., 2020).

Набор данных представляют данные многоканальной 2D-сейсморазведки, одноканального сейсмопрофилирования, профилографа и многолучевого эхолота. Источником в методе 2D-сейсморазведки служила пневмопушка с доминирующей частотой порядка 60 Гц. В качестве источника при одноканальном профилировании использовался спаркер с центральной частотой порядка 700 Гц. Рабочая полоса частот профилографа составляла 2–7 кГц. Использование разночастотных источников позволило выявить проявления свободного газа и различные признаки этих газопоявлений.

В работе (de Souza et al., 2015) описывается совместное применение для инженерных целей следующего набора: однолучевой эхолот (две частоты: 38 и 200 кГц), гидролокатор бокового обзора (двухчастотный: 100 и 500 кГц), двойная система профилирования ЛЧМ (чирп) (2–8 кГц и 10–18 кГц) и бумер (500–2000 Гц) (рис. 5).

Однако эти методики не являются в полном смысле слова мультимастерными, поскольку данные обрабатываются и интерпретируются по отдельности.

Мультимастерная высокоразрешающая сейсморазведка

По современным представлениям мультимастерная сейсморазведка, это когда данные, зарегистрированные в разных частотных диапазонах, при обработке объединяются в единые композитные сейсмические трассы с расширенным частотным спектром.

Существует ряд работ, посвященных объединению данных с существенными различиями в частотных диапазонах.

РИСУНОК 5. Пример разрезов, полученных с источниками (сверху вниз): эхолот (две частоты), чирп (2–8 кГц), чирп (10–20 кГц), бумер (400–2000 Гц) (de Souza et al., 2015)

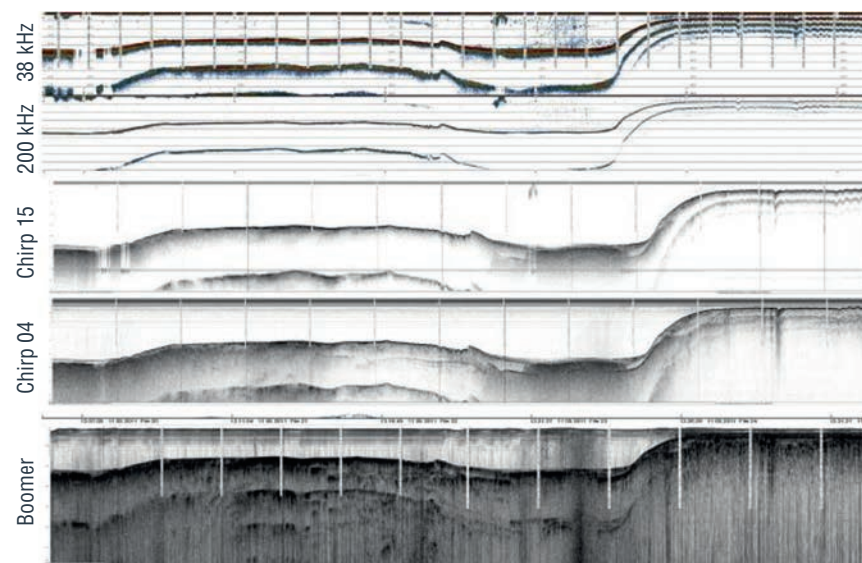


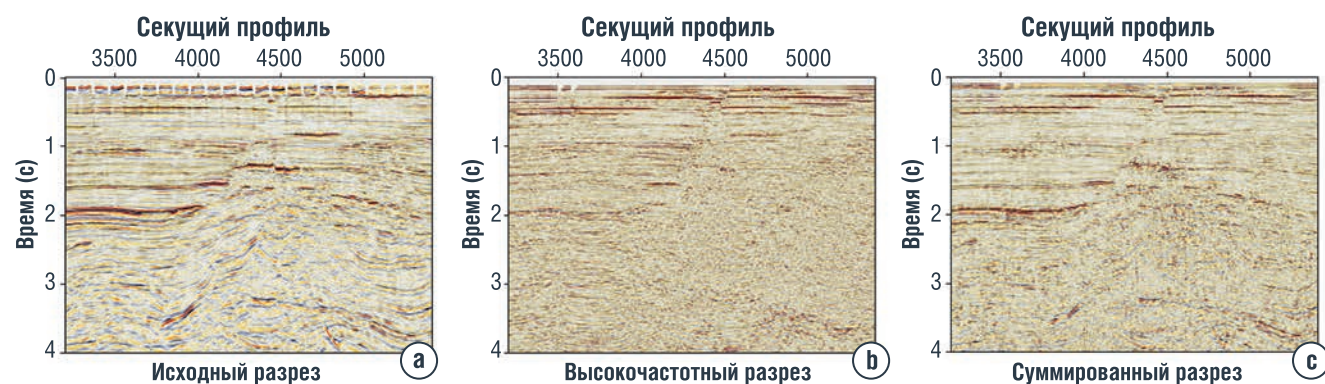
РИСУНОК 6. Приведение спектров для суммирования: (а) – спектры до балансировки; (б) – после балансировки (Greer and Fomel, 2018)



Так, например, в работе (Deplante, 2009) описывается методика SpectralFusion – уникальный метод объединения данных с перекрывающимся спектром для получения набора данных с большей информативностью. Авторы подчеркивают, что слияние спектров будет полезно в тех

случаях, когда объединенные спектры двух исследований дают преимущество по сравнению с анализом отдельных исследований. Объединение позволило проводить инверсию на имеющихся данных по упрощенным алгоритмам и корреляцию со скважинными данными.

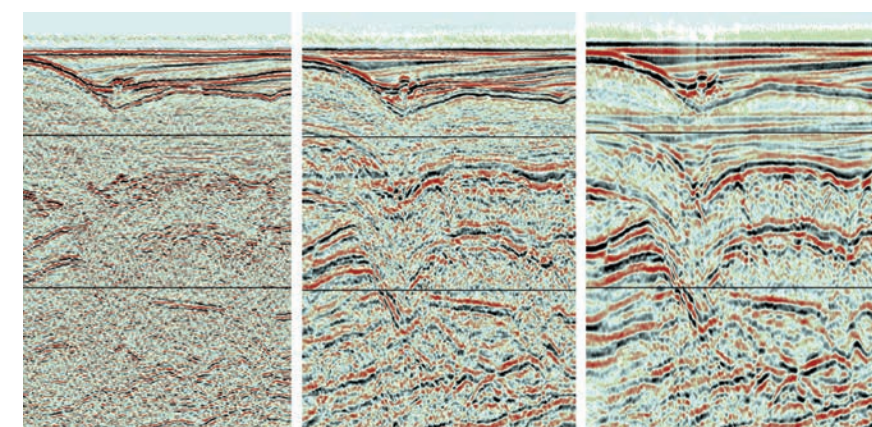
РИСУНОК 7. Пример объединения данных: исходный разрез (а), высокочастотный разрез (b), суммированный разрез (с) (Greer and Fomel, 2018)



В работе (Greer and Fomel, 2018) описывается процесс объединения данных, полученных при помощи спаркера и пневматической пушки. Авторы обращают особое внимание на два пункта. Первый – поиск временных поправок, требуемых для корректного суммирования данных, второй – определение весов исходных данных в финальном наборе. Вычисление временных поправок для высокочастотного изображения проводилось в два этапа. На первом этапе из высокочастотного набора убиралась высокие частоты, чтобы получившийся частотный диапазон максимально соответствовал частотному диапазону низкочастотных данных (рис. 6). После «балансировки» спектров вычислялся атрибут «локальной фазовой схожести» (Fomel and Jin, 2009) который отражает статические поправки, необходимые для синфазного суммирования данных. На втором этапе веса, с которыми производилось объединение данных, определялись так, что в верхней части разреза при суммировании большая часть данных бралась из высокочастотного набора, а на больших глубинах – из низкочастотного набора. В итоге складывались два исходных набора данных с определенными весами и вычисленными временными задержками для высокочастотного набора данных (рис. 7).

Еще одна работа (Nørmark et al., 2014) посвященная объединению данных, полученных с помощью пневмоисточника и спаркера, опирается на те же принципы с небольшими различиями. Если в предыдущей работе производилось объединение данных, полученных в разное время, то есть архивных данных

РИСУНОК 8. Пример объединения данных: разрез, полученный с помощью спаркера (слева); разрез, полученный с помощью пневмопушки (справа); объединение данных (в центре) (Nørmark et al., 2014)



и новой съемки с использованием системы P-cable, и приходилось применять относительно «сложные» процедуры корреляции, то в этой работе данные были получены за один проход судна, и для синфазного суммирования никаких процедур, кроме приведения к нуль-фазовому виду, не применялось. Алгоритм определения весов также упрощен во второй работе, веса присвоены линейно: больше от пневматического источника на больших глубинах, больше от спаркера на малых глубинах (рис. 8).

Авторы отмечают, что преимущество комбинированного набора данных заключается в том, что в нем присутствует как низкочастотная, так и высокочастотная информация. При правильной балансировке полученных сумм, такой набор данных может быть полезен при проведении инверсии, для оценки скоростей продольных волн.

Работа (Yang et al., 2022) объединяет несколько приемов обработки. В ней приводится пример получения и объединения данных спаркера с частотным диапазоном (50–500 Гц) и пневмопушки с центральной частотой порядка 200 Гц, полученных практически по одному профилю. Авторы отмечают, что такая технология является удачным подходом для задач разведки, которые требуют не только большой глубины разведки, но и точной визуализации неглубоких слоев. В работе предлагается граф совместной обработки данных от различных источников, в который, помимо стандартных процедур, включена коррекция остаточной

статистики, коррекция трим-статистики и предсказывающая деконволюция до суммирования. На рис. 13 а приведены амплитудные спектры сигналов спаркера и пушки, а также объединенных данных, а на рис. 9 а – амплитудные спектры для сигналов пневмопушки, спаркера и объединенных данных; б – результаты миграции до суммирования тех же данных.

Анализ рассмотренных статей показывает, что уже существуют

наработки алгоритмов для обработки разночастотных данных, которые наглядно показывают улучшение качества результирующих материалов для интерпретации.

При выполнении высокоразрешающей сейсмической съемки в Карском море в 2021 году мы возбуждали колебания двумя источниками с центральными частотами 220 и 600 Гц. Повышение качества сейсмического изображения среды достигалось за счет совместной обработки мультичастотных наборов данных. Низкочастотный источник обеспечивал необходимую глубину съемки, а высокочастотный повышал детальность сейсмических данных. Работа источников производилась в режиме поочередной стрельбы (flip-flop). Прием колебаний осуществлялся на две 16-канальные косы, буксируемые на соответствующих глубинах для оптимального приема сигналов низкочастотного и высокочастотного источников (рис. 10). Таким образом, данная методика позволяла при одном

РИСУНОК 9. а – амплитудные спектры для сигналов пневмопушки, спаркера и объединенных данных; б – результаты миграции до суммирования данных пушки; с – спаркера; д – объединенных данных (Yang et al., 2022)

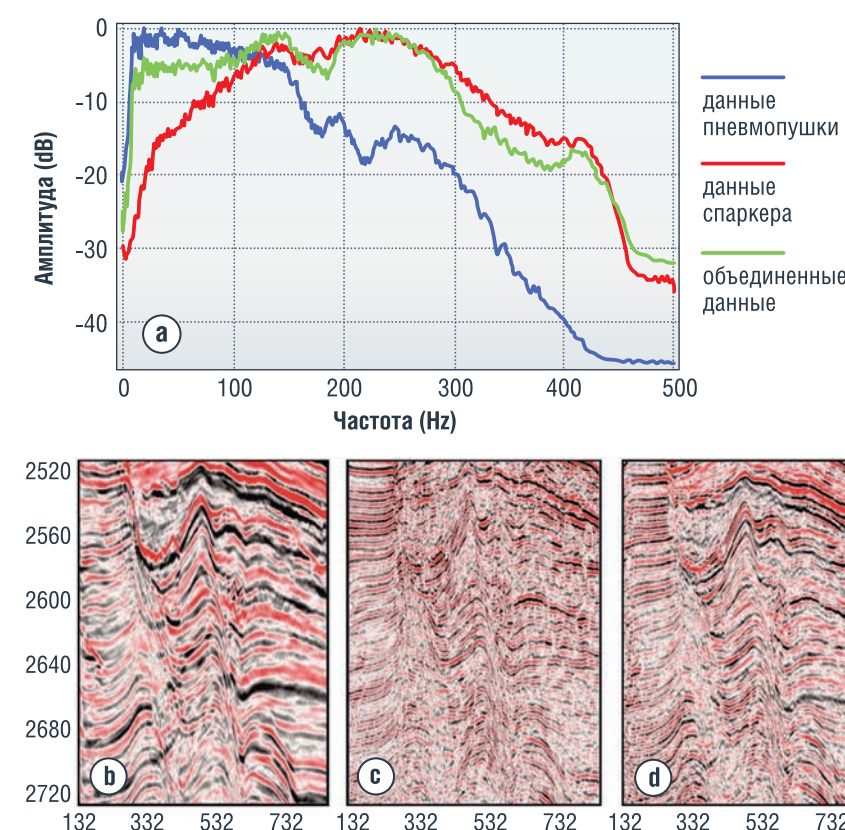


РИСУНОК 10. Схема расположения буксируемого оборудования при проведении мультимастотной сейсмической съемки: красным треугольником показано положение источников, оранжевыми треугольниками – положение приемников на сейсмокосе

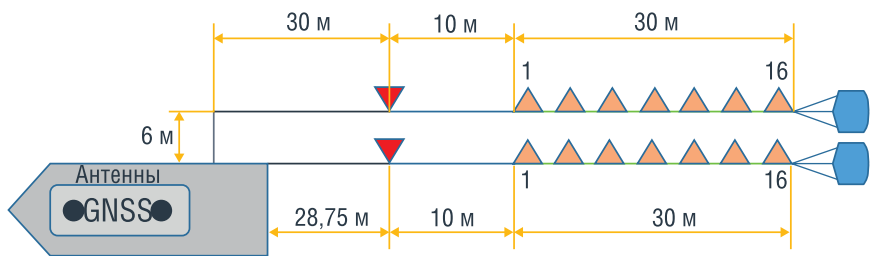


РИСУНОК 11. «Низкочастотный» (слева) и «высокочастотный» (справа) разрезы

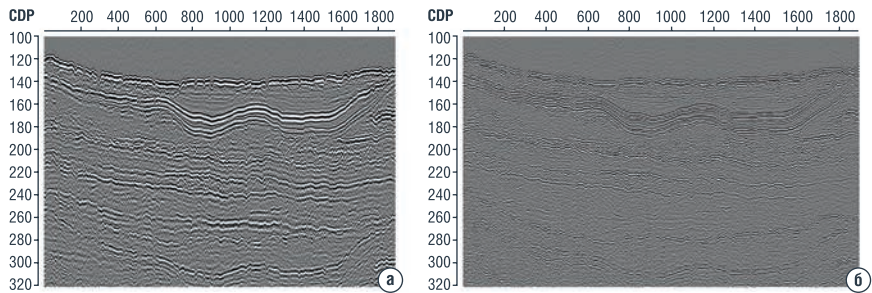
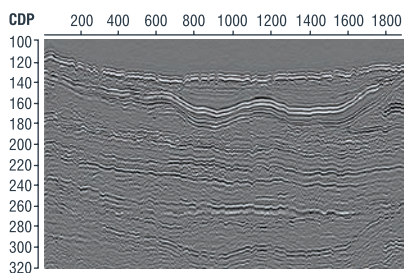


РИСУНОК 12. Мультимастотный разрез



проходе судна получать данные, соответствующие частотным диапазонам СВР и ССВР.

Результатом наблюдений являлись четыре набора данных, отвечающих комбинациям «низкочастотных» (НЧ) и «высокочастотных» (ВЧ) источников и приемных кос. Соответствующие разрезы (рис. 11) убедительно доказывают преимущества «низкочастотного» в глубинности и «высокочастотного» в разрешающей способности.

Однако «суммированный» мультимастотный разрез (рис. 12) сохраняет достоинства того и другого.

Так, отражение в центре записи на времени ≈ 260 мс почти не прослеживается на «высокочастотных» данных, а тонкий слой на времени ≈ 140 мс не различим на «низкочастотном».

В работе (Ампилов и др., 2018) приводится пример сейсмической

части разреза, дифференцировать области распространения газонасыщенных отложений и многолетнемерзлых пород (рис. 13).

В работах (Пирогова и др., 2021; Пирогова и др., 2021а, Pirogova et al., 2021) приводятся примеры использования мультимастотных сейсмических данных при изучении особенностей строения верхней части геологического разреза с выявлением и оценкой геологических рисков для строительства буровых сооружений на шельфе.

В ходе исследований были использованы следующие типы данных: 3D стандартная сейсморазведка (3D CP) (частотный диапазон – 5–120 Гц, вертикальная разрешающая способность – 4–12 м, глубинность – до 1 км), 2D/3D-сейсморазведка высокого разрешения (СВР, частотный диапазон – 90–500 Гц, вертикальная разрешающая способность – первые метры, глубинность – до 1 км), 2D/3D-сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР, частотный диапазон – 150–750 Гц, вертикальная разрешающая способность – 0,5–2 м, глубинность – до 300 м) и 2D-сейсморазведка ультравысокого разрешения с заглубленной установкой (СУВР, частотный диапазон – 150–750 Гц,

РИСУНОК 13. Предполагаемая кровля реликтовых многолетнемерзлых пород (стрелки 1). Признаки: высокая амплитуда отражения, прямая полярность, неровная конфигурация отражающей границы, экранирование разреза под отражающей границей. Стрелки 2 – подозрительные талики, стрелки 3 – термокарстовые впадины в кровле ледового комплекса (Ампилов и др., 2018)

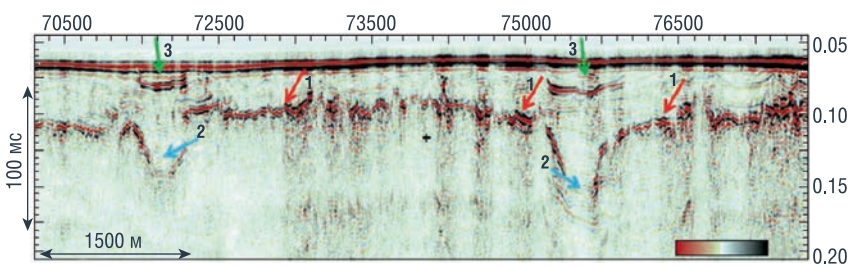


РИСУНОК 14. Импульсы донного отражения на исходных трассах 3D СВР и 3D ССВР после выравнивания данных по времени – до и после применения процедур дегостинга и деконволюции

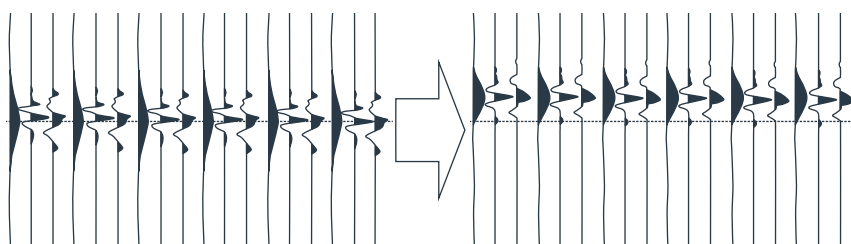
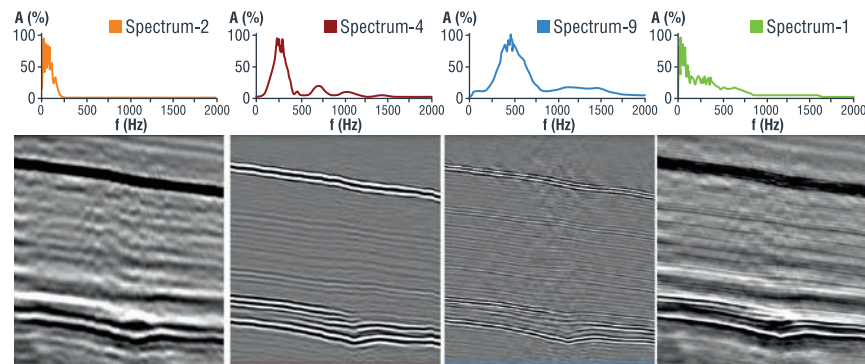


РИСУНОК 15. Результат суммирования данных (слева направо): 1 – сейсмического диапазона частот (CP), 2 – сейсморазведки высокого разрешения (СВР), 3 – сейсморазведки сверхвысокого разрешения (ССВР), 4 – результат суммирования данных всех трех частотных диапазонов – CP + СВР + ССВР. Сверху показаны частотные спектры этих данных



вертикальная разрешающая способность – 0,5–0,1 м, глубинность – до 30 м).

Особое внимание при совмещении данных уделялось определению статических поправок для синфазного суммирования данных и подбору весов при суммировании изображений. Для расчета статических поправок, связанных с волнением моря, для каждой сейсмограммы ОГТ, после учета кинематической поправки, применялась высокочастотная статика. Пример «выравнивания» данных представлен на рис. 14, а на рис. 15 представлены фрагменты разрезов по трем разночастотным методам и суммарный разрез.

Таким образом, мультимастотные сейсмические исследования открывают обширные возможности для получения качественных высокоразрешающих сейсмических данных и их интерпретации. Использование низкочастотных данных позволяет выделить и охарактеризовать более глубокие объекты. Использование методов позволяет детализировать и уточнить строение среды в ВЧР, идентифицировать и охарактеризовать приповерхностные и малоглубинные объекты. Использование данных разных частотных диапазонов обеспечивает возможности для динамического анализа данных сейсморазведки. Например, на мультимастотных данных возможно применение методики последовательной динамической инверсии, позволяющей построить детальную модель упругих свойств отложений в верхней части разреза. ●

Литература

- Ампилов Ю.П., Владов М.Л., Токарев М.Ю. Технологии морской сейсморазведки в широком частотном диапазоне: проблемы и возможности // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54. № 4. С. 42–65.
- Безродных Ю.П., Лисин В.П., Федоров В.И., Кузнецов А.Н. Опыт применения сейсмоакустики и комплексирование ее с другими методами при инженерных изысканиях и исследовании подводных трубопроводов // Разведка и охрана недр. 2002. № 1. С. 2–5.
- Бондарев В.И., Вейцман Б.А., Федоров В.И., Захарченко В.В., Онищенко С.В., Шипилов А.И. Применение данных многоканальной цифровой сейсмоакустики для прогнозирования физико-механических свойств морских грунтов // Морская инженерная геофизика, Рига: ВНИИморгео, 1988. С. 3–10.
- Гайнанов В.Г. Методы сейсмоакустических исследований на акваториях. Теория и практика. М. ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2019. 146 с.
- Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю. Возможности и ограничения многоканального сейсмоакустического профилирования в инженерных целях: теория и практика // Вестник МГУ. Серия Геология. 2008. № 4. С. 53–62.
- Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Зверев А.С., Росляков А.Г. Многоканальное сейсмоакустическое профилирование на разных частотных диапазонах – реальные возможности // Разведка и охрана недр. 2008. № 1. С. 35–38.
- Гайнанов В.Г., Токарев М.Ю., Старовойтов А.В., Шалаева Н.В. Сейсмоакустические исследования при инженерных изысканиях на акваториях – методы и примеры // Деловой журнал Neftegaz.RU, М. 2021, № 2 (110), с. 22–33.
- Калинин А.В. Теория, методика и техника сейсмоакустических исследований на море с электроискровым источником упругих волн. Автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра физ.-мат. наук. М., МГУ, 1976.
- Калинин А.В., Азими Ш.А., Калинин В.В. Разведочные возможности метода эхолотирования и высокочастотной сейсморазведки при исследовании придонных отложений // Геофизические исследования, сб. 1, Изд. МГУ, 1964, с. 269–278.
- Пирогова А.С., Замотина З.С., Чегодаева А.Е., Щуплов П.А., Шилова М.А., Яковенко А.Д., Рыбин Н.А. Динамический анализ данных 3D-сейсморазведки для характеристики потенциально опасных геологических процессов и явлений на шельфе Охотского моря // Геофизика. М. 2021, № 6, с. 76–86.
- Пирогова А.С., Токарев М.Ю., Сучкова А.В., Щуплов П.А., Рыбин Н.А. и Хоштария В.Н. Инверсия данных сейсморазведки высокого и сверхвысокого разрешения для оценки акустических свойств придонных грунтов в условиях мелководного шельфа Карского моря // Геофизика, М., (Спецвыпуск), 13. 2021а.
- Токарев М.Ю., Исаенков Р.И., Иванова В.В. & Понимаскин А.И. Контроль качества и обработка данных двухуровневых многочастотных сейсмоакустических наблюдений для количественной интерпретации // ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии, с. 898–902.
- Beckmann W.C., Roberts A.C., Luskin B. // Sub-Bottom Depth Recorder // Geophysics, v. 24, 1959. № 4, pp. 749–760.
- Deplante, Christian. «Spectral Fusion: a tool to merge low and high frequency datasets». International Petroleum Technology Conference. OnePetro, 2009.
- Edgerton H.E. Sub-Bottom Penetrations in Boston Harbor // Journal of Geophysical Research, Vol. 68, 1963. №. 9, pages 2753–2760.
- Ewing J.I., Tirey G.B. Seismic Profiler // Journal of Geophysical Research, Vol. 66, 1961. № 9. P. 2917–2927.
- Fomel S., Jin L. Time-lapse image registration using the local similarity attribute // Geophysics. 2009. Т. 74. № 2. С. А7–А11.
- Greer S., Fomel S. Matching and merging high-resolution and legacy seismic images // Geophysics. 2018. Т. 83. № 2. С. V115–V122.
- Y.-J. Kim, S. Cheong, J.-H. Chun, D. Cukura, S.-P. Kim, J.-K. Kim, B.-Y. Kim Identification of shallow gas by seismic data and AVO processing: Example from the southwestern continental shelf of the Ulleung Basin, East Sea Korea // Marine and Petroleum Geology 117 (2020).
- Nick Moldoveanu, Leendert Combee, Mark Egan, Gary Hampson, Larry Sydora, and William Abriel Over/under towed-streamer acquisition: A method to extend seismic bandwidth to both higher and lower frequencies // The Leading Edge 26: 2007. PP. 41–58.
- Nørmark E. et al. Simultaneous Acquisition of Airgun Seismic and High Resolution Sparker Data—Combining the Two Types of Data // Near Surface Geoscience, 20th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics. 2014. № 1. PP. 1–5.
- Pirogova, A., Tokarev, M., Zamotina, Z., Roslyakov, A., Suchkova, A., Biryukov, E., & Rybin, N. New geophysical approaches to the study of subaquatic permafrost in the Russian Arctic shelf // Engineering and Mining Geophysics. 2021, № 1, pp. 1–5.
- Soubaras, Robert, and Yves Lafet. Variable-depth streamer acquisition: Broadband data for imaging and inversion // Geophysics. 2013.78.2. WA27–WA39.
- de Souza, J. A., do Carmo Barletta, R., Franklin, L. & Benedet, L. Utilization of multiple geophysical sources and geotechnical sampling to search for offshore sand deposits for beach restoration in Brazil // Acoustics in Underwater Geosciences Symposium (RIO Acoustics), 2015. IEEE/OES. PP. 1–4.
- Thomas Y., B. Marsset, G.K. Westbrook, C. Grall, L. Geli, P. Henry, G. Cifci, A. Rochat and H. Saritas, Contribution of high-resolution 3D seismic near-seafloor imaging to reservoir-scale studies: application to the active North Anatolian Fault, Sea of Marmara // Near Surface Geophysics, 2012, 10, 291–301.
- Tokarev, M., Biryukov, E., Potemka, D., Tokarev, A., Ivanova, V., Isaenkov, R., & Kolyubakin, A. Two-level three-frequency technique of the seismic acoustic marine observations, data quality control and processing // Near Surface Geoscience Second Applied Shallow Marine Geophysics Conference. 2016. № 1, pp. 1–5.
- Tokarev M.Y., Kuzub N.A., Pevzner R.L. Deep-towed high-resolution seismic system for investigation of the uppermost subbottom sediments at shallow waters // EAGE Near Surface 2006.
- Z. Yang, X. Wang, X. Hao H.i Qian, X. Chen. Research on combined processing techniques of air gun and sparker source towed streamer seismic data // Marine Geophysical Research. 2022. 43.2. pp. 1–14.

KEYWORDS: *high resolution seismic, very high resolution seismic, ultra-high resolution seismic, multi-frequency seismic.*

Полная версия журнала
доступна по подписке