

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

2/2019

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:

Геофизические исследования: новости рынка и технологий

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Технология возбуждения упругих колебаний в движении



СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

SCOUT-HT

*кабельно-бескабельный
сейсморазведочный комплекс*



КОЛОНКА РЕДАКТОРА**Уважаемые коллеги!**

Главный редактор журнала Д.Н.Слонов - 4

Наши партнеры

Логотипы организаций, финансово участвующих в издании этого
номера журнала

ТЕМА НОМЕРА:**ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: Новости рынка и технологий****УВАЖАЕМЫЕ КОЛЛЕГИ!**

Слонов Д.Н. 5

НЕ МОЖЕТ БЫТЬ!

Коллеги о Турлове П.А. 6

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

**Характеристики потенциальных полей как критерий
ресурсной привлекательности нефтегазоперспективных
участков Саратовского Поволжья**

Волкова Е.Н. ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского» 10

Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE

Детков В.А., НТЦ «ГЕОТЕК-Сейсморазведка»

Баландин П.В., Копылов М.А. , ООО «Эвенкиягеофизика», г. Красноярск 15

**Повышение качества сейсмических данных и снижение рисков травматизма
путем автоматизации и роботизации полевых работ**

А.В. Череповский, Главный специалист НТЦ компании ГЕОТЕК

В.А. Овчинников, рук. отдела продаж и развития новых технологий, ГК «НьюТек
Сервисез» 24

**Вибро-ВРС на рудном поле (Методика полевых наблюдений
высокоразрешающей вибрационной сейсморазведки на рудном поле)**

Колесов С.В., Кузин А.М., Кондрашков В.В..... 30

**Методы и системы инженерной геофизики, применяемые при
изысканиях в районах развития многолетнемерзлых пород**

Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Горячев В.В., Савельев Д.М., ООО

«Ингеоком», г. Саратов 39

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Приборы и системы разведочной геофизики.
Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издается с 2002 г.

Главный редактор:
Слонов Д.Н.

Координатор проекта:
С.А. Матвеев

Обложка и оформление:
Д.В. Мокроусов

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редакция может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов. Контакты с авторами статей ведутся через редакцию.

Редакционная коллегия:

Н.П. Алелюхин,
к.т.н. А.В. Белоусов,
к.т.н. С.В. Горбачев,
д.г.-м.н. В.Я.Воробьев
д.т.н. Г.Н. Гогоненков,
С.В. Гурьев,
к.т.н. В.А. Детков,
д.т.н. А.П. Жуков,
Б.В. Запорожец,
д.г.-м.н. С.И.Михеев,
к.т.н. О.М. Сагайдачная,
к.т.н. Н.В. Тарасов,
д.т.н. Г.Я. Шайдуров,
д.т.н. Г.А. Шехтман,
д.т.н. М.Б. Шнеерсон.

Корректор:
Дурова И.Э.

Учредитель:
СРО МОО ЕАГО

Издатель:
ПСРГео

Адрес издательства:
г. Саратов. Ул.Осипова, 1
Телефон - 987-822-68-37

Вёрстка:
Д.В. Мокроусов

Тираж отпечатан в типографии ООО «Формат»
Тел. +7 (8452) 39-33-77
Тираж: 300 экз.

Подписано в печать:

30.12.2019

Дата выпуска:

24.01.2020

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ № 77-7906 от 27.04.2001 г.
ISSN: 2074-8906
Web-сайт: psrgео.ru

Уважаемые коллеги!

Журнал «Приборы и Системы разведочной геофизики» переживает непростые времена. Ушел из жизни основатель журнала и его бессменный главный редактор Турлов Павел Алексеевич. Журнал был на грани закрытия в связи с ликвидацией учредителя.

Семнадцать лет жило и работало издание.

Журнал, рассказывавший о новейшем оборудовании и инновационных технологиях в геофизических исследованиях, стал трибуной для презентаций интересных проектов и достижений, местом жарких дискуссий и споров.

Журнал, один из немногих в отрасли, относится к журналам, реферируемым ВАК.

Этот статус получен в 2011 году (https://elibrary.ru/title_about.asp?id=27857).

Круг читателей журнала сегодня гораздо шире цифр тиража благодаря интернет-версии, да и актуальность наших статей не теряется со временем, что делает востребованным и полный архив выпусков.

Редакция приняла решение продолжить выпуск журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики», проведя необходимые юридические процедуры, согласно Закона о СМИ и требований Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. На это требуется время, но уже сейчас мы работаем с новым издателем и обновленной командой.

Мы будем рады поддержке постоянных авторов продолжением размещения публикаций. Мы ждем предложений от читателей по расширению спектра совместной работы.

Тема объединенного 3-4 номера за 2019 год – «Современная геофизика – новости рынка и технологии».

Предварительная тематика следующего 2020 года:

- Не только нефть - геофизические работы различных направлений;
- Проектное управление в разведочной геофизике;
- Новые технологии и новые проекты;
- Обработка материалов и геологические результаты исследований.

Контакты издателя:

ООО «ПСРГЕО»

Электронный адрес: psrgeo@mail.ru

Телефон : +7 987 822-68-37

Сергей Матвеев

Главный редактор журнала
«Приборы и Системы»



Слонов Дмитрий Николаевич

Не может быть! Может!

Сделать региональный научный геофизический журнал, создать на его основе дискуссионную трибуну – было очень смелым и даже дерзким решением. Хотя, в Саратове, есть геофизические традиции и предприятия, но нужно было быть большим оптимистом, чтобы мечтать об этом. Чтобы реализовать этот проект.

В 2002 году Турлову Павлу Алексеевичу пришла в голову идея о создании площадки для авторов нашей профессии. Саратовское региональное отделение ЕАГО учреждает журнал, собирает редакцию, начинает выпуск журнала «Приборы и системы разведочной геофизики».

И журнал «пошел»! Геофизическое комьюнити с большим удовольствием встречает новую трибуну для публикаций, рассказывают о своих новациях и смелых проектах. С первых выпусков публикуются материалы, вызывающие жаркие дебаты и споры.

Но именно такая была задача Турлова!

Высокий уровень публикаций определил присвоение ISSN (Международный стандартный номер периодических изданий), а с 2011 года наш журнал стал изданием, включенным в Российский индекс научного цитирования.

Журнал собрал вокруг себя корифеев геофизической науки, была создана авторитетная редакционная коллегия:

- к.т.н. Белоусов Александр Валерьевич,
- д.т.н. Гогоненков Георгий Николаевич,
- к.т.н. Горбачев Сергей Викторович,
- Гурьев Сергей Владимирович,
- Детков Владимир Алексеевич,
- д.т.н. Жуков Александр Петрович,
- Запорожец Борис Владимирович,
- Липовецкий Игорь Александрович,
- д.т.н. Птецов Сергей Николаевич,
- к.т.н. Сагайдачная Ольга Марковна,

- к.т.н. Тарасов Николай Васильевич,
- д.т.н. Шайдуров Георгий Яковлевич,
- д.т.н. Шехтман Григорий Аронович,
- д.т.н. Шнеерсон Михаил Борисович.

К сожалению человек, создавший журнал, ушел из жизни в этом году.

Турлова Павла Алексеевича не стало. Хочется верить, что его дело набрало ход и тормозить не станет, оставаясь локомотивом научной геофизической мысли в нашей стране.

Сергей Матвеев, член редакции журнала «Приборы и Системы» с 2002 года.

С песней по жизни!

Среди многочисленных творческих коллективов Дворца культуры «Техстекло» в г.Саратове, ярко и значительно сверкал своими талантами ансамбль танца «Озорные веснушки». Его музыкальным вдохновителем, автором, аккомпаниатором и аранжировщиком музыкального сопровождения, много лет работал Павел Алексеевич Турлов.

Физик по образованию, кандидат технических наук, но музыкант в душе и в жизни, композитор и поэт. 26 лет назад никто не мог предположить, что творческие эксперименты с исполнением танцевальных номеров в сопровождении вокала, исполненного самими участниками «Озорных веснушек», приведут к созданию песенного коллектива, который Павел Алексеевич так и назвал «Микрофон». Много воды утекло с тех пор, но преемственность поколений продолжается, дети поют песни Павла Алексеевича как 26 лет назад, так и сегодня, а мы радуемся их творчеству и ждем новых творческих побед.

Так вышло, что «Микрофон» — это не только вокальный коллектив, это и театр детской песни, и концертный коллектив, и клубное объединение, собравшее вокруг себя детей и взрослых, занятых одним большим делом — делом воспитания человека с активной гражданской позицией. А средство воспитания — это не только песня, но и личный пример руководителя коллектива с неумной энергией, огромным творческим потенциалом и незаурядными человеческими качествами: добротой к людям и любви к детям.

Через «фабрику талантов» за эти годы прошли сотни ребят. Кто-то стал профессиональным музыкантом, кто-то просто любит петь. Здесь свои первые шаги в песенном творчестве сделала всем известная Полина Гагарина, а Татьяна Ходырева, воспитанница Павла Алексеевича стала руководителем коллектива и продолжателем его традиций.

Все участники ансамбля «Микрофон», который уже имеет звание «Народный самодеятельный коллектив Саратовской области» с благодарностью несут по жизни песню, любить и чувствовать которую их научил Павел Алексеевич Турлов.

Они поют и идут вместе с песней по жизни!

*Заслуженный работник культуры РФ
- Геннадий Штенберг.*

Гражданин своей страны

Павел Алексеевич Турлов фактически являлся основоположником журнала «Приборы и системы разведочной геофизики». И в качестве одной из очевидных причин безусловного успеха журнала можно отметить то обстоятельство, что у Павла Алексеевича были добрые

товарищеские отношения со многими ведущими геофизиками России. И это, естественно, помогало ему ориентироваться в наиболее актуальных проблемах прикладной геофизики и позволило сформировать весьма авторитетный авторский коллектив. Павлу Алексеевичу удалось создать журнал, который в настоящее время является востребованным среди геофизиков России. Это связано с тем, что в журнале публикуются как результаты теоретических исследований, так и материалы практического использования самых различных геофизических технологий.

Важно отметить, что Павел Алексеевич, как главный редактор, предоставлял страницы журнала и для тех, кто поддерживал, и для тех, кто опровергал ту или иную позицию, прозвучавшую на страницах журнала. Вследствие такого подхода редакции к поступающим материалам, журнал, безусловно, становился более интересным для читателей. Хотя, несомненно и то, что любая идея, звучащая на страницах журнала, была обоснована и аргументирована. Требований к размещаемой информации были очень и очень высоки. А авторитет главного редактора как специалиста-геофизика был экспертного уровня.

Павел Алексеевич неоднократно поднимал в журнале вопросы, значимые всей нефтяной отрасли. Так, в ряде случаев указывалось на отсутствие взаимопонимания при решении задач в цепочке: нефтянки — геологи — геофизики — приборостроители. В частности, отмечалось, что российские сервисные геофизические компании и российское геофизическое приборостроение — это параллельные миры, которые существуют на широких российских просторах, не пересекаясь друг с другом.

Журнал не только рассказывал. Думающему человеку, патриоту своей Родины всегда находилась пища для размышлений о том, куда идет страна, когда бюджетобразующая отрасль геологоразведки является пасынком других государственных проектов.

После ухода Павла Алексеевича журнал «Приборы и системы разведочной геофизики» оказался в достаточно сложной ситуации. И очевидная задача для нашего геофизического сообщества заключается в необходимости поддерживать высокий уровень журнала.

Это лучшее, что позволит сохранить добрую память о Павле Алексеевиче Турлове.

Эпизоды из жизни П.А. Турлова.

Воспоминания товарищей

Такой разный

Павел Алексеевич был создателем и художественным руководителем детской группы «Микрофон». Он сочинял музыку для песен на стихи, которые ему предоставляли его друзья. Как то, он узнал, что я написал сборник стихов про свою внучку и попросил меня дать ему его почитать.

Павлу Алексеевичу очень понравилось одно из стихотворений, и он предложил сделать детскую песню на эти слова. Я посчитал, что слог у данного стихотворения несколько сложен, чтобы положить его на музыку, и предложил переписать его. Павел Алексеевич сказал, что ничего переписывать не надо, и через два дня принёс мне диск с макетом новой песни в своём исполнении. Он предложил, чтобы песню исполнила на концерте моя внучка, поскольку стихотворение написано от

первого лица. Но я отказался, поскольку возраст внучки уже не соответствовал тексту песни.

Вскоре Павел Алексеевич пригласил меня с внучкой на юбилейный концерт студии «Микрофон». Там среди множества песен прозвучала наша песня «Я – разная!» в исполнении самой маленькой артистки группы. Моя внучка Юля вышла на сцену и подарила девочке букет цветов. После концерта она не без юмора отметила, что это была лучшая песня.

Текст песни прилагается.

Я - разная

С бантами - девочка, а без бантов я мальчик,
Могу быть громкой или тихой, как овечка,
Хочу - нарочно суну в нос я пальчик,
Могу быть чистой или грязной, как из печки.

Энергию свою безжалостно я трачу,
Хочу - бешусь, иль в уголке играю,
Я улыбаюсь часто, иногда я плачу,
К себе внимание этим привлекаю.

Могу хорошей быть, могу быть и противной,
Могу погладить, а могу и треснуть,
Взгляд озорной сменяет взгляд наивный,
Я разная - и этим интересна!

*Коллега Турлова по работе в СКБ СП
Беляев Владимир Луарсавович*

Душа коллектива и дела

Запомнился Юбилей Павла Алексеевича (70 лет). Собрались друзья, от всей души поздравляли юбиляра, шутили. Одним из подарков был сосуд в виде сабли с коньяком. Подарок сопровождался стихами:

Юбиляру Турлову П.А.

Портрет словесный Юбиляра набросаем,
Его мы все давно, конечно, знаем.
Талантлив и умён, и обаятельный мужчина,
Любимец женщин и не без причины...

Душевная улыбка подкупает,
В любых вопросах он знаток, он много знает!
На курсы он студентов набирает,
Таможня у него добро берет, не отбирает!

Устроил "Встречи" он на Волжском побережье,
Известен стал не только в Ближнем зарубежье!
Напитки крепкие умеренно он пьёт,
К тому же он ещё поёт!

Хороший голос, великолепный слух,
Играет и поёт один за двух,
Мелодии и песни сочиняет,
И в свой ансамбль детский их внедряет!

В работе "трудоголик" он типичный,
При этом - специалист отличный,
С науками давно уже на "ты",
Наводит с ними прочные мосты.

И держит он на пульсе фирмы руку,
Толкает разработчиков в науку,
А те науку двигают вперёд,
Накрутят так, что чёрт не разберёт!

Борец непримиримый он со скукой!
Ему б коня и шашку в руки...
Держись, Братва, ведёт вас в бой Турлов.
Мы победим! Не надо лишних слов.

* * *

Идя желанию навстречу,
И зная, что никто не будет покалечен,
Мы полководцу нашему вручаем эту шашку,
Держи её, сын Алексея - Пашка!

11.10.2008 г.

В этом поздравлении очень точно
подмечены особенности этого неординарного,
удивительно светлого жизнерадостного человека,
память о котором будет с нами.

Коллеги и сослуживцы Турлова П.А по работе в СКБ СП.



Характеристики потенциальных полей как критерий ресурсной привлекательности нефтегазоперспективных участков Саратовского Поволжья

■ Волкова Е.Н. ФГБОУ ВО «СГУ им. Н.Г. Чернышевского»

Аннотация: в статье представлены результаты опробования геологоразведочной сейсмической технологии, созданной на базе экспресс-рационального комплекса геофизических и геохимических методов на месторождении Правобережья Саратовской области. Приведены результаты интерпретации экспериментальных данных. Представлен анализ натуральных и искусственных (преобразованных) характеристик потенциальных полей мелкомасштабных съемок и высокоточных детальных полевых исследований.

Ключевые слова: слабоамплитудные аномалии магнитного поля, поле силы тяжести в редукции Буге, геохимические параметры, комплексные характеристики.

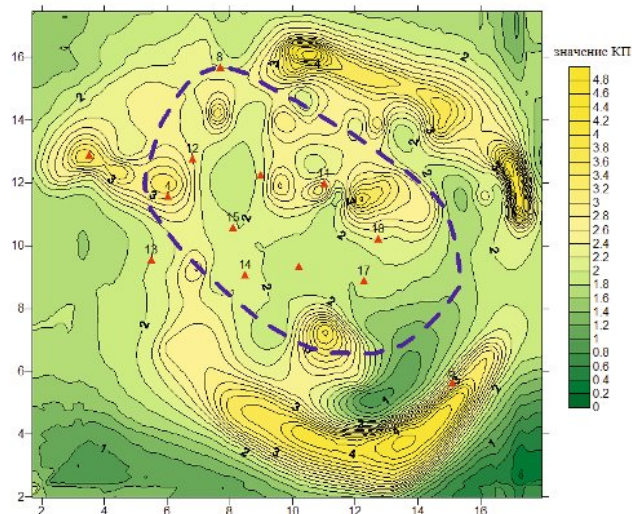
В настоящее время существует много разного рода полевых методик, программ и сложных технологий прогнозирования нефтегазоносности, но проблеме все еще нельзя считать решенной. Представленный полигон продуктивных нефтяных скважин Правобережья Саратовской области приурочен к Иловлинско-Родниковской дислокации в области Рязано-Саратовского прогиба. Подобные месторождения проявляются практически во всех геофизических полях в виде малоразмерных геофизических аномалий. Как объект исследования небольшой участок месторождения был изучен разнородными методическими приемами в рамках геофизических и геохимических сегментов геологоразведочных технологий [1].

Основной решаемой геологической задачей экспрессным комплексом методов является прогнозирование нефтегазоносности разреза. За время полевых работ на полигоне [2,3,4] были проведены разные съемки с использованием современной высокоточной аппаратуры. В результате построены карты М 1:25000 для изучаемой территории. Среди них карта поля силы тяжести в редукции Буге Δg , магнитного поля ΔT ,

распределения термоманитного коэффициента (ТМК), распределения магнитной восприимчивости, распределения концентраций метана и др., подробно представленные в работах [5,1]. Кроме того, для этой территории были вычислены значения искусственных параметров методикой направленного суммирования геопотенциальных полей. Направленное суммирование предварительно отнормированных и лишенных размерности матриц Δg и ΔT позволяет на схеме максимумами комплексного гравимагнитного параметра КП-1 выявить участки, где аномалии моногеничны (прямое суммирование - прямое знаковое сочетание: $+\Delta g, +\Delta T$), а максимумами комплексного параметра КП-2 (обратное суммирование или вычитание - $+\Delta g, -\Delta T$) наметить аномогеничные зоны и осуществить районирование по этому принципу. Схемы распределения комплексного параметра первого рода (КП-1) можно, используя терминологию Д. Дэвиса [6] называть картами или характеристиками «сходства», а карты КП-2 картами или характеристиками «различий» [7].

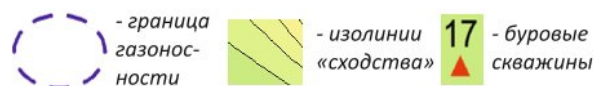
Рисунок 1 демонстрирует совпадение контура Таловского месторождения скольцевой структурой, которая образу-

ется конфигурацией изолиний карты «сходства» [8, 9].

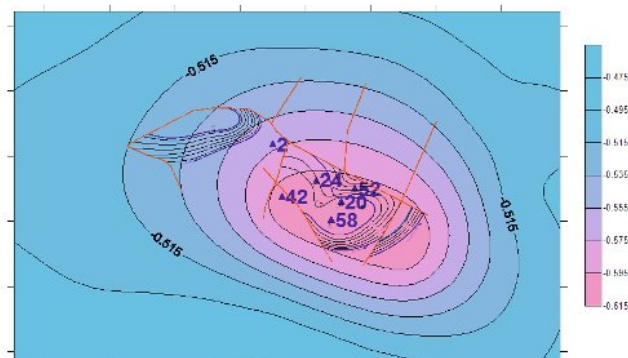


▲ Рис. 1. Таловское месторождение газа. Схема распределения характеристики сходства.

Условные обозначения:

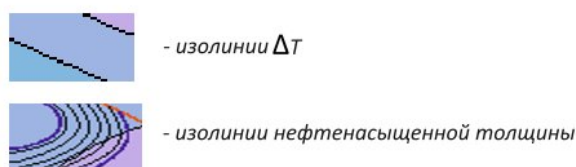


На исследуемом участке сложность интерпретации высокоточных геофизических характеристик (параметров) вызвала необходимость привлечения геофизического материала пятидесяти-тысячного масштаба. Детальные съемки сфокусировали отрицательную аномалию магнитного поля рисунка 2, совпадающую в целом по контуру с месторождением, а конфигурация гравитационных аномалий зафиксировала месторождение особым изгибом изолиний и задержкой максимальных значений, то есть область месторождения характеризуется не резким падением значений гравитационного поля, а затяжкой положительных значений. Знаковая противоположность в соотношении гравитационного и магнитного полей на этом нефтегазоносном участке позволяет оценивать ресурсную привлекательности территории показателем инверсности.

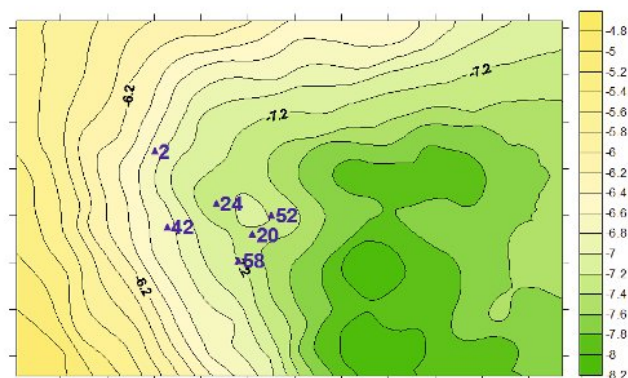


▲ Рис. 2. Схема распределения магнитного поля территории в усл.ед, совмещенная с контурами внешней и внутренней нефтеносности.

Условные обозначения:

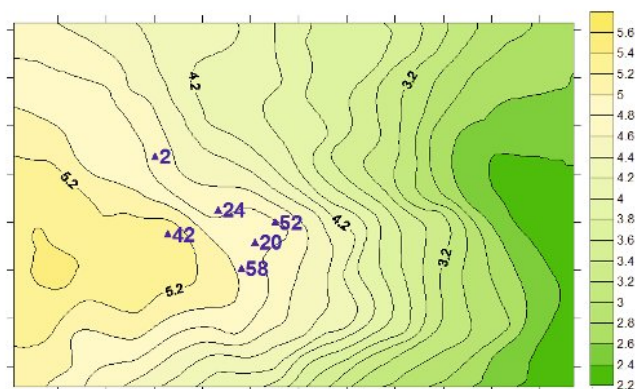


На рисунке 3 и 4 представлены распределения вычисленных характеристик сходства и различия по Дэвису. Рельеф изолиний КП1 отображает локализацию геометрических особенностей глубин отражающего горизонта в юго-восточной зоне скопления скважин, что подчеркивает структурные особенности исследуемого участка.



▲ Рис. 3. Распределение по полигону характеристики сходства КП1

На карте различия геопотенциальных полей рисунка 4 в рисовке изолиний не проявляются структурные конфигурации границ нефтеносных отложений. В зоне



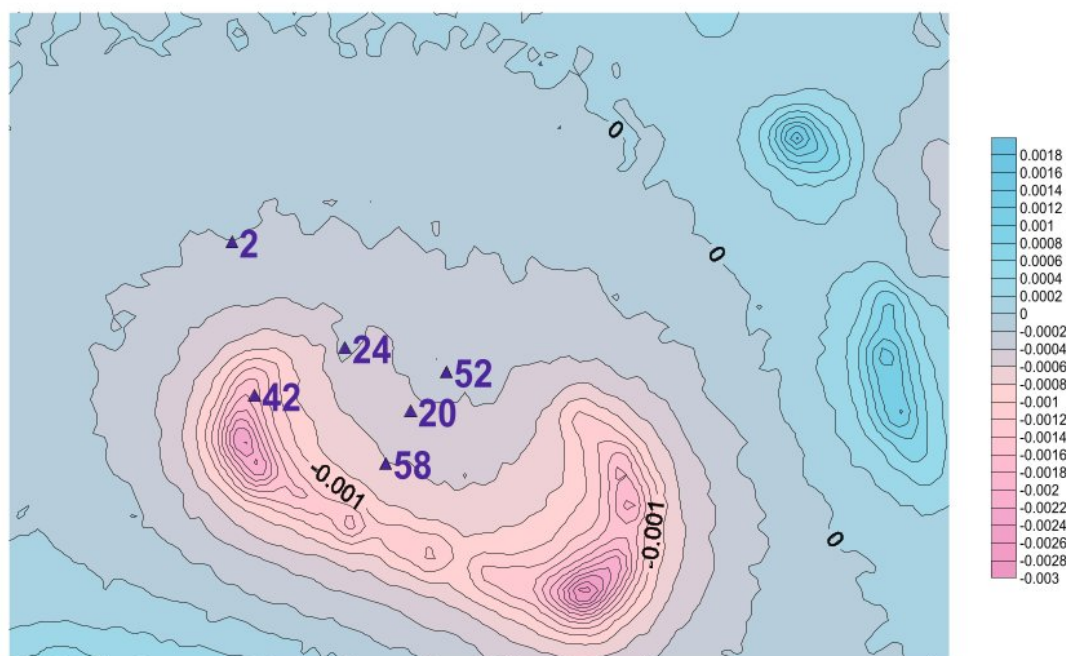
▲ Рис. 4. Распределение по полигону характеристики различия КП2.

между скважинами 24 и 20 наблюдается морфологически незамкнутая область положительных значений КП2. Возможно это эффект от неструктурного фактора. Дальнейшие попытки локализовать существующее месторождение потребовали трансформации наблюденных полей. На схеме остаточного магнитного поля рисунка 5 месторождение совпадает с изменением конфигурации брахиморфной аномальной зоны в северной ее части.

Можно предположить, что месторождение, которое считается выработанным, имеет потенциальное распростра-

нение на юго-восток в зону отрицательных аномалий магнитного поля. Конфигурация склонов магнитного поля в разных направлениях неодинакова. Возможно, что пологий склон глубинной геологической структуры, которую отображает аномальная часть магнитного поля и создал основу для формирования месторождения. Остаточное гравиметрическое поле рисунка 6 создает неклассическую конфигурацию изоаномал, т.е. ярко выраженный минимум фиксируется между второй и двадцать четвертой скважиной, и хотя минимум окружен максимумами, однако контуры полученной кольцеобразной структуры расходятся с границами месторождения.

Рассмотрим сопоставление натуральных и искусственных (преобразованных) характеристик высокоточных полевых работ. Анализируя пространственное распространение аномалий потенциальных полей масштаба 1: 25000, четко видна ортогональность общих направлений конфигурации изолиний потенциальных полей, отмеченная на рисунке 7.



▲ Рис. 5. Схема остаточных аномалий ΔT .

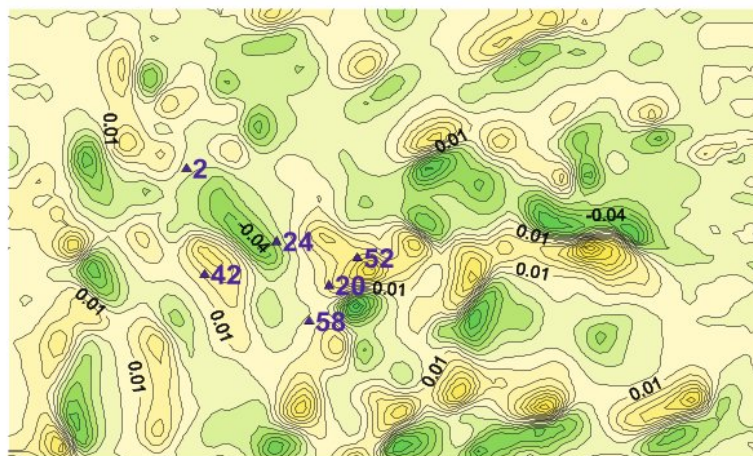


Рис. 6. Схема остаточных аномалий Δg .

Морфологические особенности комплексного параметра, полученного направленным суммированием значений потенциальных полей в сопоставлении с выделенными зонами, полученными в результате моно исследований полевых параметров, представлены на рисунке 8.

Анализируя конфигурацию изолиний и сопоставляя схему сходства по резуль-

татам высокоточной съемки с особенностями распределения термоманнитного поля, получаем проявление кольцеобразной структуры в районе скважины 2, аналогичное центральной кольцеобразной фигуре изоаномал рисунка 1. Есть и другой участок внутри скважин 24, 20, и 58, который также образует кольцевую структуру. Он совмещается с областью отсутствия аутигенных минералов, что

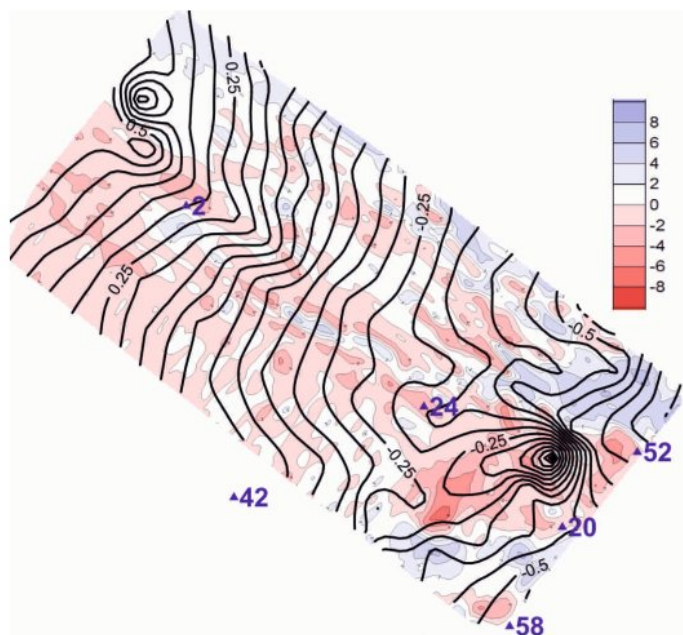


Рис. 7. Качественное совмещение гравитационного и магнитного наблюдаемых полей.
Условные обозначения:

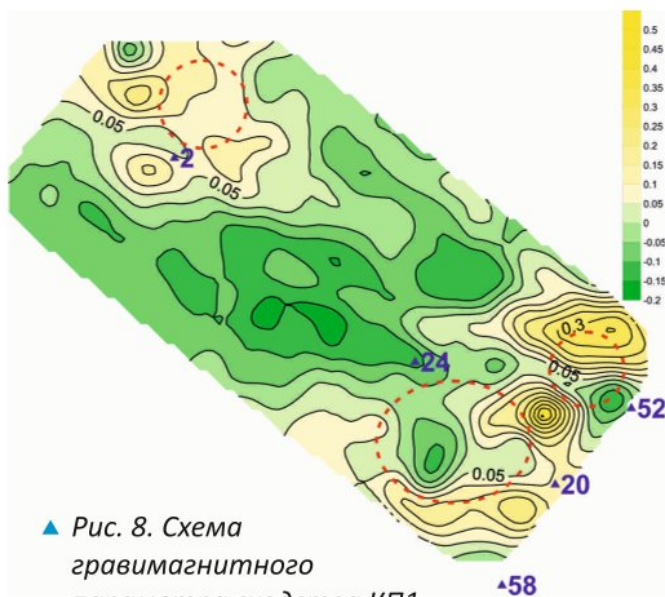


Рис. 8. Схема гравимагнитного параметра сходства КП1 высокоточной съемки масштаба 1:25000.
Условные обозначения:



свидетельствует о ненарушенной покрове по данным термомангнитного метода. Этот же участок характеризуется высоким градиентом - перепадом величин комплексных характеристик от положительных к отрицательным. Качественная интерпретация демонстрирует совпадение областей ресурсной привлекательности с участками высокого градиента комплексного параметра сходства, что может быть еще одним критерием нефтегазоперспективности.

В процессе проведения интерпретационных исследований нефтегазонального полигона получены и проанализированы разнообразные трансформированные схемы малоамплитудных магнитных аномалий и аномалий силы тяжести. Комплексная схема высокоточных характеристик на изучаемом полигоне Саратовской области зафиксировала три перспективные зоны ресурсной привлекательности по результатам интерпретации.

Суммируя особенности и выводы интерпретации, можно сформулировать четыре критериальных момента выделения нефтегазоперспективных участков малоразмерных залежей Поволжья:

- ортогональность направления изолиний потенциальных полей;
- высокий градиент комплексного параметра;
- показатель инверсности;
- кольцевой рисунок расположения локальных аномальных зон.

Литература

1. Рациональное комплексирование геофизических и геохимических методов прогноза нефтегазовых залежей / М.И. Рыскин, Е.Н. Волкова, С.И. Михеев, И.Ю. Фролов, В.Ю. Шигаев // Изв. ВУЗов. Сер. Геология и разведка. №6. 2009 г. С. 64-72.
2. Маслова Е.А. (отв. исполнитель).

Проведение поисковых сейсморазведочных работ МОГТ-2D в пределах Сплавнухинского лицензионного участка с целью уточнения структурного плана нефтегазоперспективных объектов. Отчет по договору № 0208. Саратов. Фонды Филиала «СГЭ» ФГУП «НВНИИГГ», 2008 г.

3. Дополнение к технологической схеме разработки Сплавнухинского нефтяного месторождения Саратовской области. Реферат ООО «Имущественный комплекс Геотранс» ЗАО ВолгоградНИПИнефть. Волгоград. 2008.

4. Волкова Е.Н. Результаты применения технологии предварительной оценки нефтегазового потенциала на разведочной площади Саратовской области // Изв.Сарат.у-та. Нов.сер.Сер.Науки о Земле. 2016.Т.16 вып.4 С.232-238.

5. Дэвис Д. Статистика и анализ геологических данных М: Мир. 1973.

6. Рыскин М.И., К.Б. Сокулина, Д.А. Барулин. Повышение эффективности геофизической разведки нефтегазоперспективных объектов путем комплексирования сейсмоданных с гравимагнитными // Геофизика. №4. Саратов. 2005 г. С. 14-21.

7. Использование термомангнитометрии при поисках нефти и газа / Э.А. Молостовский, И.Ю. Фролов // Материалы международного семинара Палеомагнетизм и магнетизм горных пород: теория, практика и эксперимент, г. Казань, 3-7 нояб. 2004. респ. Татарстан, 2004, С. 257-262.

Способ прогнозирования перспективности площадей на нефть и газ / И.Ю. Фролов, Э.А. Молостовский, А.Н. Гришанов. Патент России № 2215309. 27.10.2003

Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE

■ Детков В.А., НТЦ «ГЕОТЕК-Сейсморазведка»

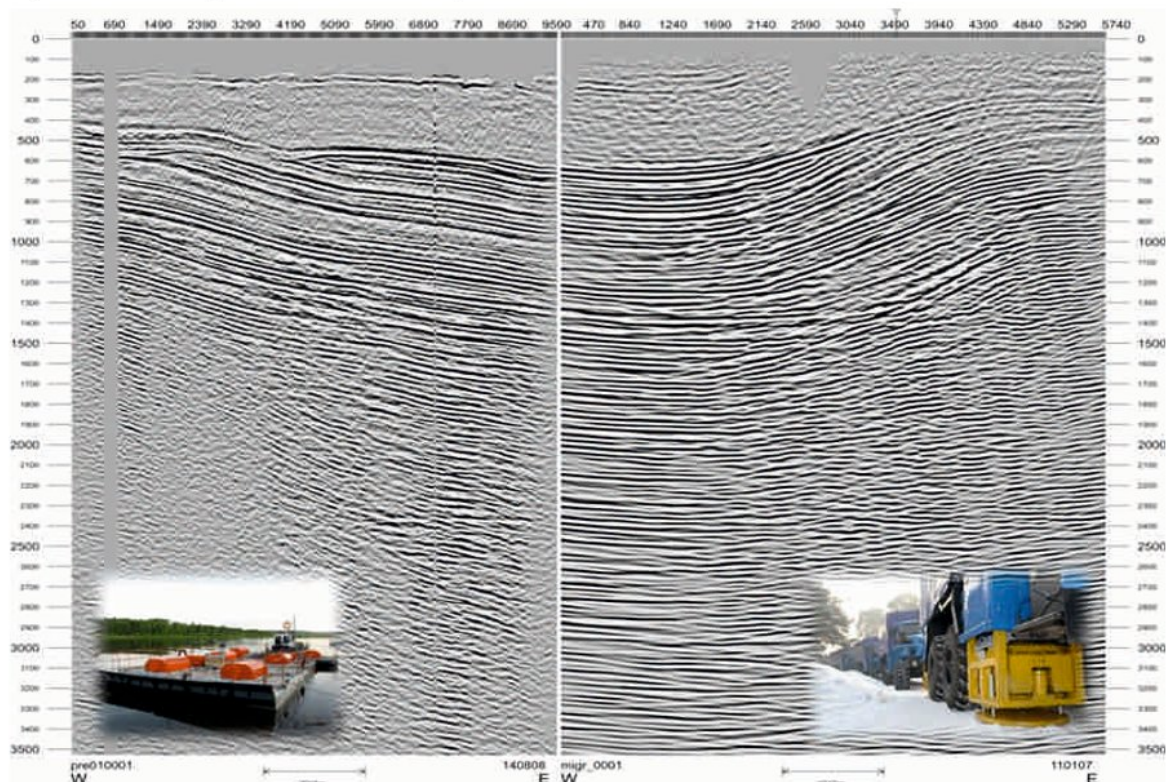
■ Баландин П.В., Копылов М.А., ООО «Эвенкиягеофизика», г. Красноярск

Предпосылки создания технологии и описание эксперимента

Высокоплотные системы наблюдений предполагают увеличение количества пунктов приёма (ПП) и пунктов возбуждения (ПВ) в десятки раз, что приводит к необходимости применения способов установки ПП и отстрелу ПВ, обеспечивающих минимизацию времени проведения данных технологических операций. Если для ПП эта задача частично решена – применение нодальных (бескабельных) систем сбора данных, – то для ПВ вопрос остается открытым. В статье изложены результаты опробования технологии непрерывного возбуждения сейсмического сигнала с применением импульсных источников «Енисей-СЭМ-100», позволяющих значительно увели-

чить плотность ПВ и производительность работ по сравнению со стандартной технологией.

Предпосылкой к проверке возможности использования технологии возбуждения в движении (технология получила название Glide) послужил опыт проведения сейсморазведки на акваториях с применением источников «Енисей-ВЭМ-50», «Енисей-ВЭМ-100». Исследования, проведенные на реках Бирюса, Чуна, Ангара, показали, что даже при очень низком соотношении сигнал/помеха на первичных данных получению качественных и информативных временных разрезов способствует высокая кратность, лежащая в диапазоне от 300 до 3000 (рис. 1.).



▲ Рис. 1. Результаты работ на реке Ангара. Слева – «Енисей-ВЭМ-50». Справа – «Енисей-КЭМ-4»

Начиная с 2015 года предприятием ООО «Эвенкиягеофизика» было проведено несколько экспериментов, целью которых было подтверждение возможности применения движущегося источника на суше. Значимый эксперимент был проведен в сезоне 2017-2018 г. на Юго-Восточном склоне Камовского свода.

Целью опытно-методических работ являлась отработка элементов производственной технологии возбуждения в движении с использованием спарки двух «Енисей-СЭМ-100», обеспечивающих силу воздействия в 200 Тонн-сил.

К основным проверяемым показателям относились:

- получение данных с качеством, позволяющим решать поставленные геологические задачи поискового этапа;
- оценка технологичности непрерыв-

ного возбуждения, включая хронометраж рабочего времени;

- опробование и усовершенствование координатной привязки источников при возбуждении по технологии Glide в условиях сильной залесённости, гористой местности и неблагоприятных погодных условиях.

Работы проводились в два этапа:

1. Работы по стандартной технологии.
2. Работы по технологии Glide.

Следует отметить, что работы по стандартной технологии проводились при хороших погодных условиях при низком уровне микросейсм. Работы по технологии Glide проводились при уровне микросейсм в 10 раз превышающих уровень при проведении стандартных работ. Характеристики технологий приведены в таблице 1.

▼ Табл. 1. Характеристики технологий.

Показатели	Стандартная технология	Технология Glide
Параметры регистрации:		
Система наблюдения	MOB ОГТ 2D	MOB ОГТ 2D
- аппаратура	Sercel 428 XL	Sercel 428 XL
- разрядность АЦП	24	24
- расстояние между ПВ, м	50	7.3
- расстояние между ПП, м	50	50
- номинальная кратность наблюдений	80	460
- количество активных каналов, шт.	161	161
- min удаление ПВ-ПП приема, м	0	0
- max. удаления ПВ в регулярной сети, м	4000	4000
- база приема	8000 м	8000 м
- тип сейсмоприемников	GS -20DX	GS -20DX
- группирование сейсмоприемников, база группирования	6 шт. в точку	6 шт. в точку
- способ группирования сейсмоприемников	последовательное	последовательное
- шаг квантования, мс	2	2
- длина записи, с	6	6
- ФВЧ, Гц	Выкл.	Выкл.
- ФНЧ, Гц	$\frac{3}{4}$ (0,8) F Nyquist , минимально-фазовый	$\frac{3}{4}$ (0,8) F Nyquist , минимально-фазовый
- формат записи	SEG-D	SEG-D
Возбуждение колебаний	«Енисей СЭМ -100»	«Енисей СЭМ -100»
- количество импульсных источников в группе	4-5 шт.	2 шт.
- количество накоплений на ПВ	8-12	1
- база группирования источников	40м	12 м
- уровень шума, мкВ	< 10	не ограничен

Возбуждение по технологии Glide осуществлялось спаркой двух источников СЭМ-100, буксируемых трактором Т-10М (рис. 2.). Трактор двигался со скоростью 0.675 м/с (2.5 км/ч). Интервал между воздействиями составлял 10 сек, шаг ПВ в среднем составлял 7.3 м. Объём работ по технологии Glide составил 10 км, 1390 ф.н, по стандартной технологии 12 км, 256 ф.н.

Определение местоположения источников в момент удара осуществлялось приёмником Trimble R7 с установленной на крышу трактора антенной (рис. 3.). Работы проводились на участке с плотной залесённостью, при высоте деревьев 25 метров и выше. Это обстоятельство затрудняло получение точных координат точки удара при динамическом режиме, что не лучшим образом сказалось на качестве полученного материала.



▲ Рис. 2. Спарка источников «Енисей-СЭМ-100», технология Glide.

Время отработки профиля по технологии Glide составило 4 часа, по стандартной технологии 17 часов (таблица 2)

▼ Табл. 2. Хронометраж работ.

Параметр	ТЕХНОЛОГИЯ	
	СТАНДАРТНАЯ	GLIDE
Длина участка, м	12 000	10 000
Время отработки, час	17	4
Физ. наблюдений, шт	256	1390
Количество накоплений	8-12	1



▲ Рис. 3. Приёмная антенна на тракторе.

Как видно из таблицы, производительность ГРР, проводимых по технологии Glide, в 3.5 раза выше, чем при проведении работ по стандартной технологии. Время отработки не включает в себя простой по ветровой помехе (только для стандартной технологии), наладки линии и т.д.

Качество полевых данных

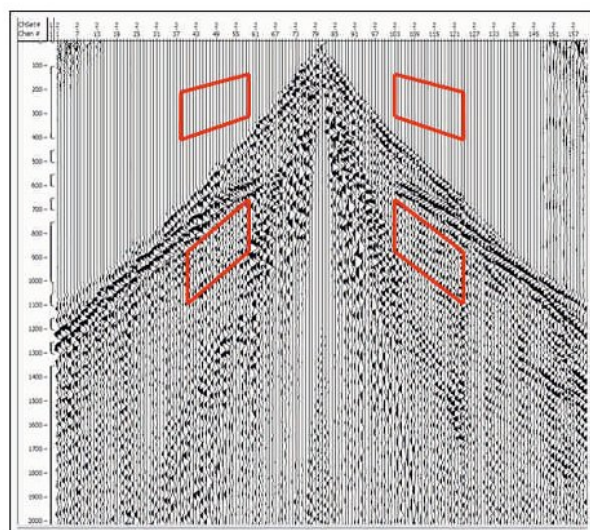
Оценка качества полевых данных производилась в программе ProMax. Конфигурация окон расчёта приведена таблице 3 (рис. 4.).

Оценивались следующие атрибуты:

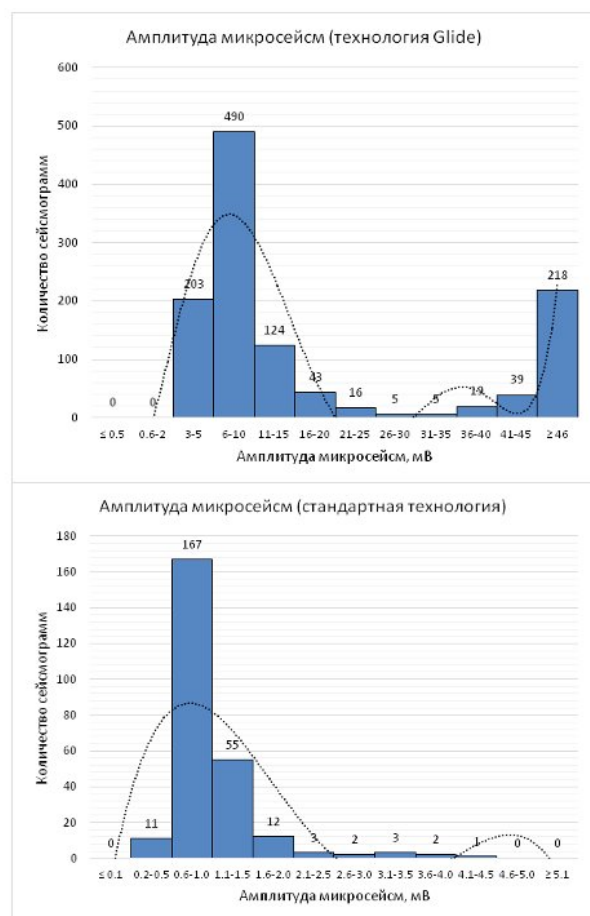
- амплитуда сигнала (As);
- амплитуда микросейсм (An);
- соотношение сигнал/помеха (S/N).

▼ Табл. 3. Конфигурация окон расчёта.

Окно расчёта	Вынос, м	tнач, мс	tкон, мс
Сигнала	1000	700	900
	2000	900	1100
Помехи	1000	110	300
	2000	200	400

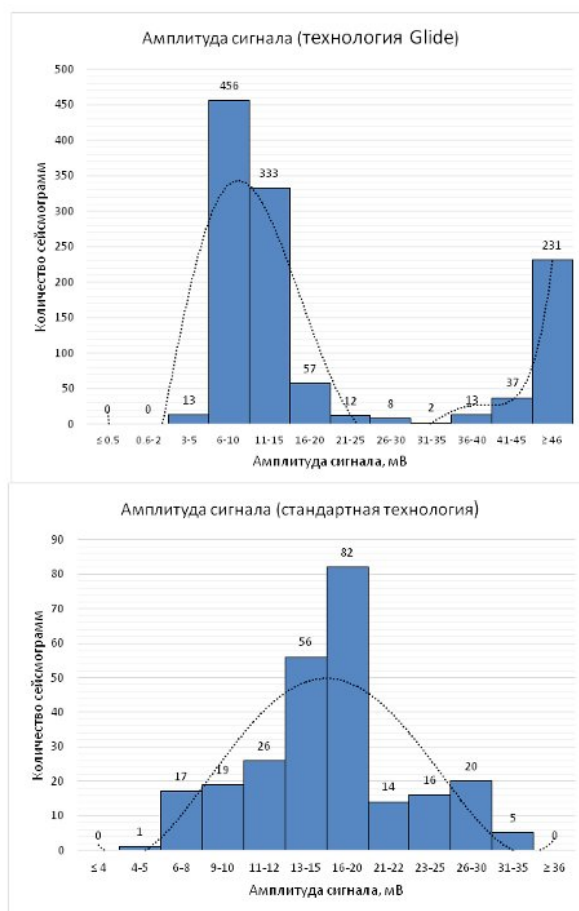


▲ Рис. 4. Конфигурация окон расчёта.



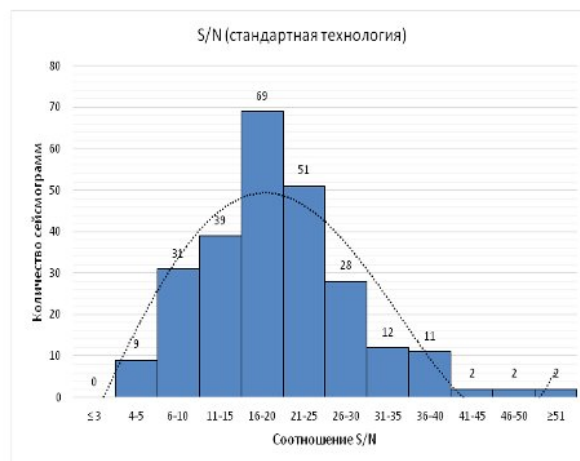
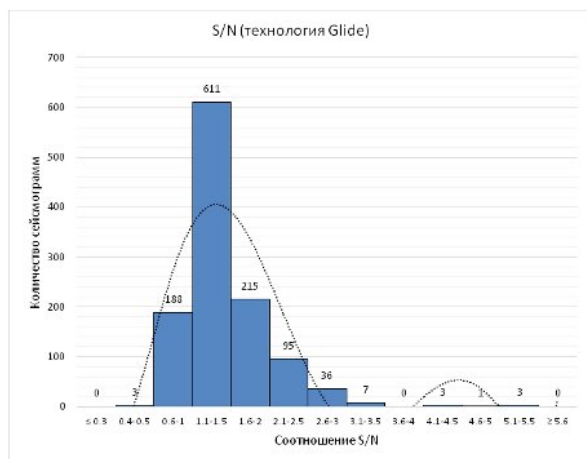
▲ Рис. 5. Амплитуда микросейсм.

Работы по технологии Glide проводились при повышенном уровне микросейсм, о чём свидетельствуют гистограммы. Большая часть сейсмограмм по технологии Glide получена с уровнем 6-10 мВ. Данные по стандартной технологии получены с уровнем микросейсм 0.6-1 мВ.



▲ Рис. 6. Амплитуда сигнала.

Амплитуды сигнала также различны. Большая часть сейсмограмм по технологии Glide получена с уровнем сигнала 6-15 мВ. Данные по стандартной технологии получены с уровнем сигнала 11-22 мВ.



▲ Рис. 7. Соотношение сигнал/помеха.

Большинство сейсмограмм, полученных по технологии Glide, имеют соотношение сигнал/помеха 1.1-1.5. Сейсмограммы, полученные по стандартной технологии, – 11-30.

▼ Табл. 4. Статистические показатели атрибутов записи.

Атрибут	Статистические показатели					
	Стандартная технология			Технология Glide		
	Среднее	Дисперсия	Станд. отклонение	Среднее	Дисперсия	Станд. отклонение
As, мВ	16.1	34.1	5.8	10.3	10.3	3.2
An, мВ	1.0	0.3	0.6	7.6	14.8	3.9
S/N	19.3	82.8	9.1	1.4	0.3	0.53
As norm, мВ	3.8	2.1	1.4	1.3	0.13	0.37

При расчёте статистических показателей (технология Glide) не учитывались сейсмограммы с уровнем сигнала и микросейсм выше 36 мкВ (рис. 5, 6), т.к. в окна расчёта атрибутов попадала интенсивная помеха, вызванная работой тракторов, не задействованных в ходе эксперимента.

Для более точной оценки уровня полезного сигнала данный атрибут был нормирован по количеству задействованных источников и уровню микросейсм. Для стандартной технологии – 4-5 источников, Glide – 2. Нормировка производилась по следующей формуле:

$$As_{norm} = \frac{As - An}{ns}$$

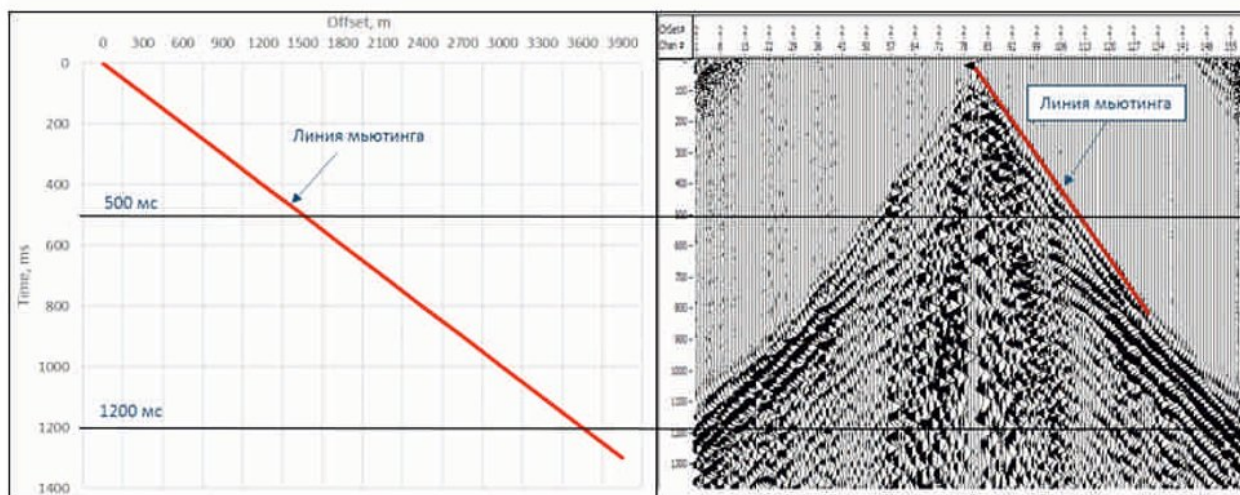
где As_{norm} – нормированная амплитуда сигнала, мкВ;

As и An – рассчитанные в окнах значения амплитуды сигнала и микросейсм, мкВ;

ns – количество источников в группе, шт.

Как видно из таблицы 4 и рис. 5, 6, 7, данные, полученные по технологии Glide, более однородные т.к. имеют меньший разброс амплитуд сигнала по сравнению со стандартными данными за исключением амплитуды микросейсм, т.к. работы по стандартной технологии проводились в благоприятных погодных условиях.

Кратность была рассчитана в програм-

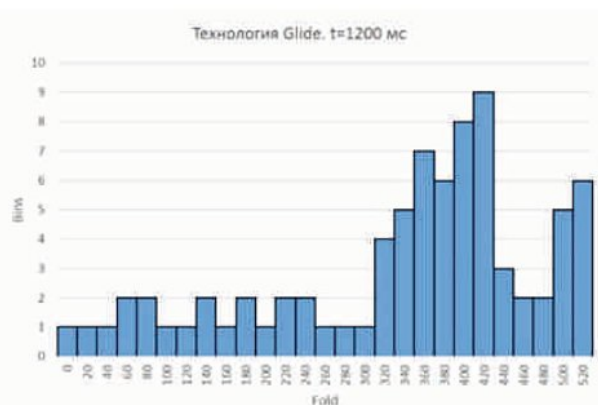
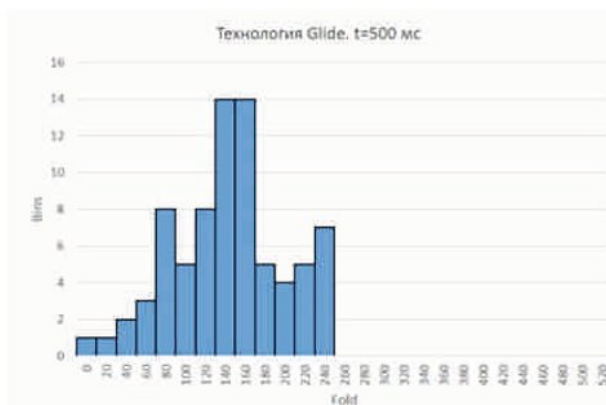


▲ Рис. 8. Линия мьютинга для расчёта кратности.

ме Mesa. На площади работ основные сейсмогеологические комплексы расположены в интервале времен от 500 мс (кровля чехла) до 1200 мс (кровля фундамента). Поэтому при расчёте кратности была использована скорость преломленной волны для моделирования линии

мьютинга (рис. 8.).

Как видно из (рис. 9, 10), кратность технологии Glide на времени 500 мс равна 155, на времени 1200 мс равна 365. Кратность при стандартной технологии на времени 500 мс равна 30, на времени 1200 мс равна 75.



▲ Рис. 9. Кратность. Технология Glide. Слева для $t=500$ мс; Справа $t=1200$ мс.

▼ Рис. 10. Кратность. Стандартная технология. Слева для $t=500$ мс; Справа $t=1200$ мс.



Работы по технологии Glide проводились при ветровой помехе (6-10 мВ) в десять раз превышающей уровень микросейсм при стандартной технологии (0.6-1.0 мВ). Кроме того, при производстве возбуждения по технологии Glide на профиле находилась группа возбуждения, создававшая интенсивную помеху от работы тракторов. Данная группа не задействовалась в эксперименте.

Данные, полученные по технологии Glide, обладают меньшим рассеянием амплитуды полезного сигнала (см. таблица 4). Это обусловлено применением постоянного количества источников в группе равного двум, а также отсутствием накоплений. В то время как при стандартной технологии количество источников и накоплений менялось. Изначально малая по величине амплитуда полезного сигнала при обработке будет компенсироваться более высокой кратностью.

Номинальная кратность составляла: стандарт – 80, Glide – 460. Кратность наблюдений при технологии Glide значительно превосходит кратность по стандартной как на малых, так и на больших временах (глубине исследования). Кратность при стандартной технологии на времени 500 мс равна всего 30, Glide - 155; на времени 1200 мс стандартная - 75, Glide - 365 за счёт высокой плотности ПВ. За счёт высокой кратности на малых временах неглубокие горизонты будут лучше выделяться при технологии Glide. Также высокая плотность ПВ даёт преимущество для создания более детальной модели ВЧР, что необходимо для точного расчёта статических поправок.

Обработка данных

В обработке использовались данные со следующими параметрами системы наблюдения:

1. Стандартная технология: шаг ПВ/ПП=50 м, шаг ОГТ 25 м, кратность 80, максимальное удаление 4000.

2. Технология Glide: Шаг ПВ ≈ 7.3 м, Шаг ПП = 50м, бинирование на шаг ОГТ 10м, кратность ≈ 460 , максимальное удаление ограничено до 4000 м.

Первичный материал технологии Glide имеет существенно более высокий уровень шумов за счёт отсутствия группирования источников, это видно по сейсмограммам с нормировкой по амплитудам (рис. 11.).

Учитывая различное качество исходных материалов, оптимальный граф обработки может существенно различаться для данных стандартной технологии и технологии Glide. Прежде всего, это касается процедур деконволюции и фильтрации помех.

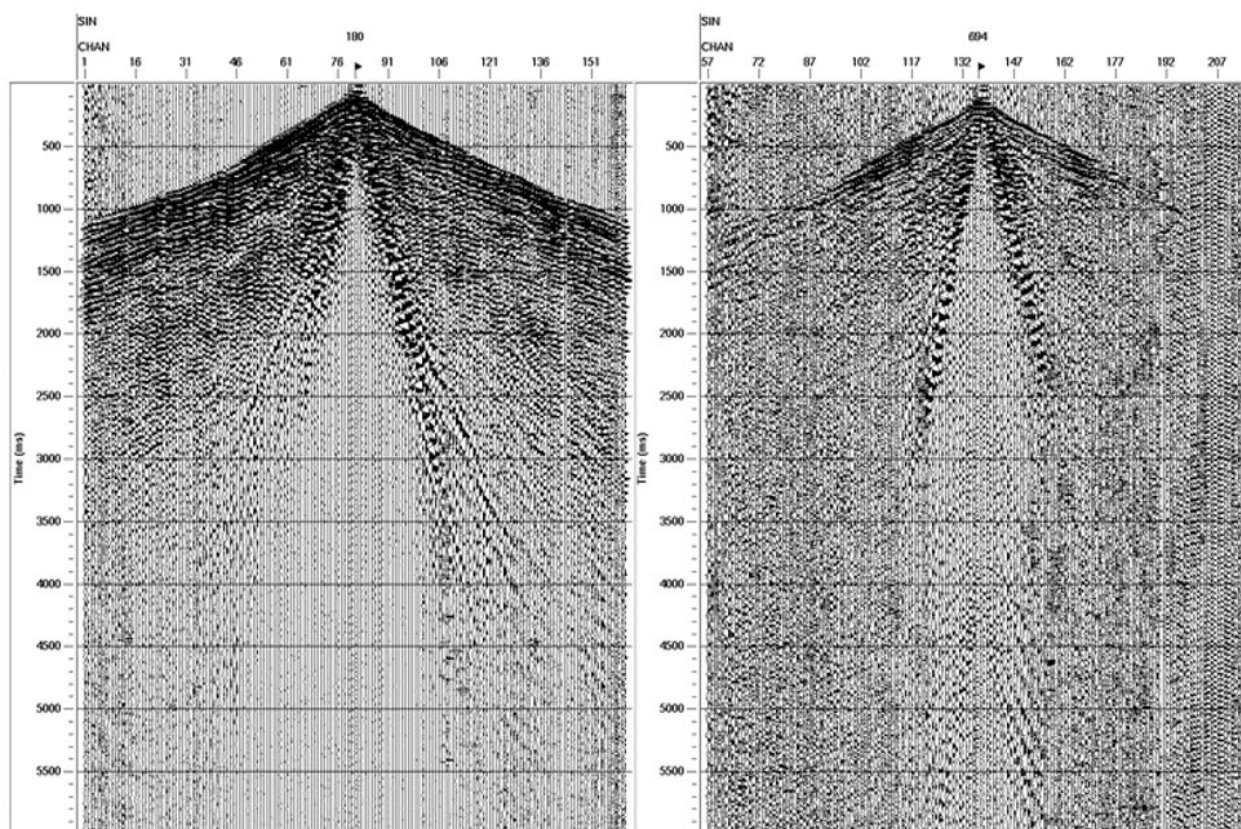
Для каждого набора данных был подобран свой граф обработки, включающий в себя следующие процедуры:

1. Поверхностно-согласованная деконволюция с оптимальными параметрами.
2. Подавление высокоамплитудных помех по сейсмограммам ОПВ.
3. Подавление случайных помех по сейсмограммам ОСТ.
4. Подавление волн помех с линейной кинематикой.
5. Несколько итеративных коррекций высокочастотных статических и кинематических поправок.
6. Суммирование.

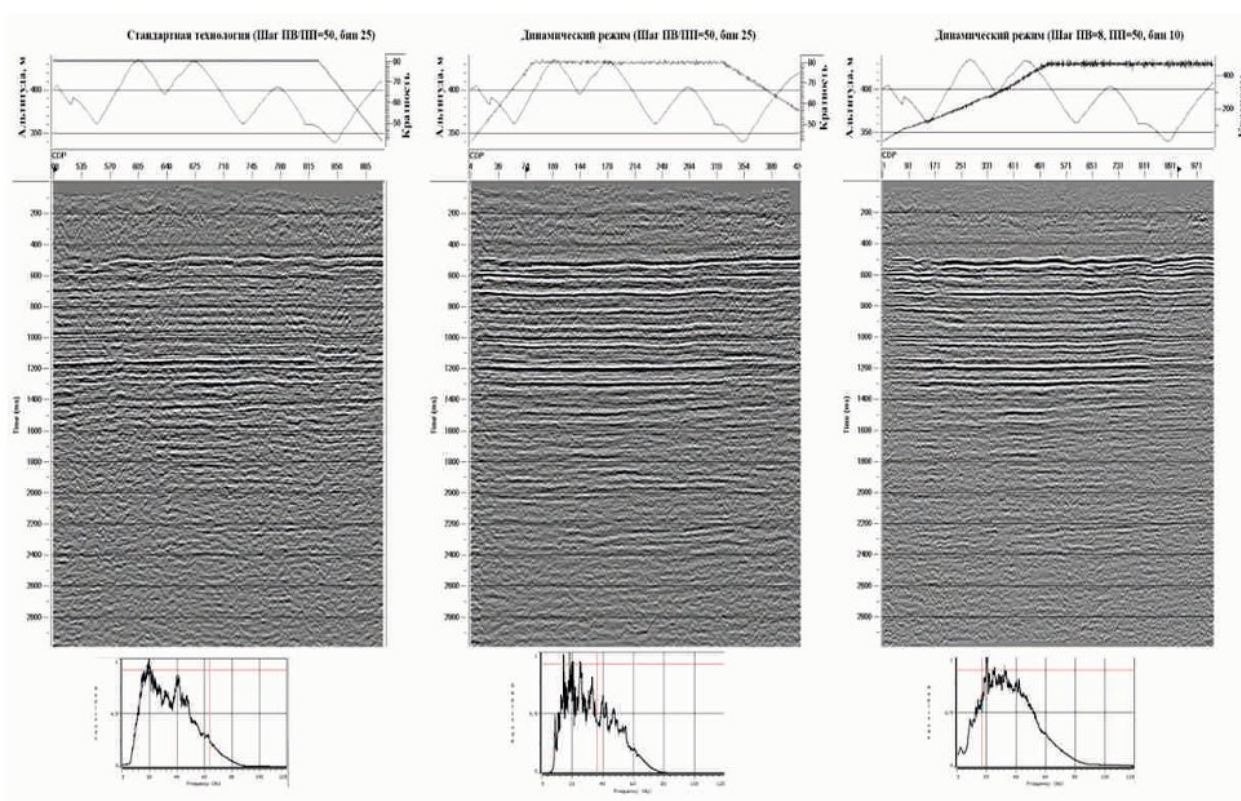
Была проведена обработка профиля в трех вариантах (Рис. 12.):

1. Стандартная технология (шаг ПВ 50 м, шаг ПП 50 м, бин 25 м, кратность 80, макс. Удаление 4000 м, дискрет 2 мс).
2. Технологии Glide (шаг ПВ около 8м, шаг ПП 50 м, бин 10 м, кратность 460, макс. удаление 4000 м, дискрет 2 мс).

Технологии Glide (шаг ПВ 50 м (лабораторное группирование), шаг ПП 50 м, бин 25 м, кратность 80, макс. Удаление 4000 м, дискрет 2 мс).



▲ Рис. 11. Сейсмограммы разных технологий с одного участка профиля с нормировкой амплитуд. Слева – стандартная методика, справа – Glide.



▲ Рис. 12. Временные разрезы. Обработка профиля в трех вариантах.

Как видно из (рис. 12.), лабораторное группирование источников на базе 50 м повысило соотношение сигнал/шум на глубоких горизонтах, однако разрешенность целевых горизонтов закономерно снизилась. По временным разрезам видно, что, несмотря на слабую энергию, спарки двух источников «Енисей-СЭМ-100» относительно стандартной группы 4-5 источников, рифейские горизонты (времена 2200-2300 мс) могут быть получены на разрезе технологии Glide после выполнения комплекса процедур по подавлению помех. Ряд процедур, таких как подавление регулярных помех по сейсмограммам, будет работать лучше по более плотным данным (то есть по данным технологии Glide). Временной разрез в интервале основных ОГ выглядит чище по сравнению со стандартной технологией после выполнения одних и тех же этапов обработки. Алгоритмы коррекции высокочастотной статики работают эффективнее по более плотным данным (технологии Glide), анализ скоростей суммирования также приводит к более однозначным результатам по причине существенно большей кратности данных технологии Glide.

Заключение

Результаты проведенных опытно-методических работ показали:

1. Применение технологии Glide не требует серьезного технического переоснащения импульсных источников «Енисей-СЭМ-100». Для более эффективного выполнения такого рода работ необходим независимый источник питания (ДЭС мощностью 25 КВатт). Это даёт возможность работы в таком режиме с более широким диапазоном скоростей движения и интервалов возбуждения сейсмических сигналов, что увеличит плотность ПВ.

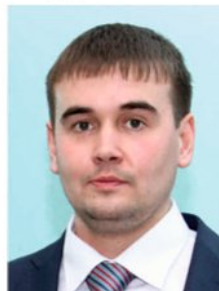
2. В результате использования малых групп источников (спарка двух «Енисей-СЭМ-100») пониженное по сравнению со

стандартной технологией соотношение сигнал/помеха успешно компенсируется высокой кратностью за счёт плотности ПВ.

3. В данный момент ведутся работы по обеспечению технологии специальными ГНСС приемниками с подсистемой инерциальной навигации (ИНС) для более надёжного определения координат в местности с густым лесом, сложным рельефом. При выполнении работ в тундре и степях для надёжного определения координат достаточно стандартной пары ровер-базовая станция.

4. Результаты обработки данных полученных по технологии Glide показали перспективность применения технологии для решения поисковых и разведочных задач методами 2D и 3D, что подтверждается проведением опытов в Восточной Сибири.

Подробнее об авторах



Баландин
Павел Владимирович

главный геофизик
ООО «Эвенкиягеофизика»,
e-mail: pbalandin@gseis.ru



Копылов
Михаил Александрович

управляющий директор
ООО «Эвенкиягеофизика»
e-mail: mkopylov@gseis.ru



Детков
Владимир Алексеевич
к.т.н., заместитель
начальника НТЦ ПАО
«ГЕОТЕК Сейсморазведка»
e-mail: vdetkov@gseis.ru

Повышение качества сейсмических данных и снижение рисков травматизма путем автоматизации и роботизации полевых работ

- А.В. Череповский, главный специалист НТЦ, ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- В.А. Овчинников, рук. отдела продаж и развития новых технологий, ГК «НьюТек Сервисез»

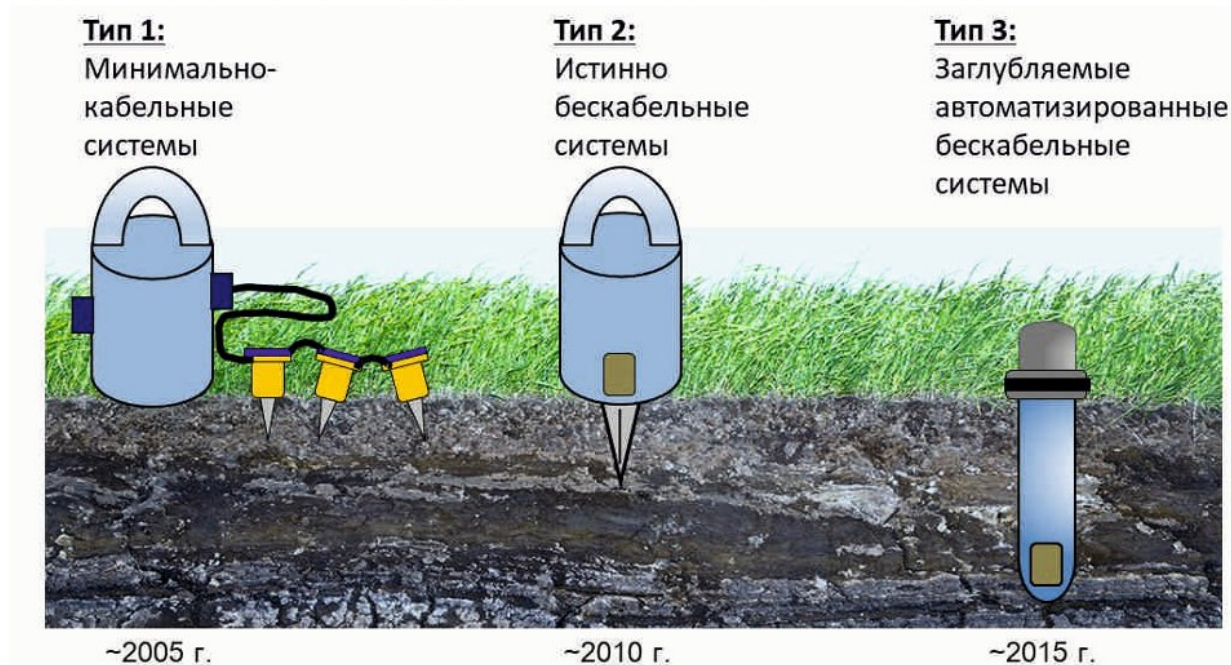
Три типа бескабельных систем

В начале нашего века началась очередная революция в наземной сейсморазведке, а именно переход на бескабельные регистрирующие системы. В течение последнего десятилетия был разработан и введен в эксплуатацию – преимущественно в Западном полушарии – целый ряд автономных и радиотелеметрических бескабельных систем нескольких типов [1], схематически изображенных на Рис.1.

Поначалу наибольшее распространение получили автономные модули первого типа – с подключением внешних групп обычных электродинамических сейсмоприемников или одиночных высокочувствительных сейсмоприемников. Во многих случаях также подключались внешние аккумуляторы для увеличения срока автономной работы модулей.

Чтобы повысить компактность автономных бескабельных систем и технологичность их установки, конструкторы разработали второй тип полевых модулей – со встроенными высокочувствительными геофонами. Таким образом, так называемые «минимально-кабельные» регистрирующие системы превратились в истинно бескабельные, в которых полностью отсутствовали соединительные кабели. Модули (или «ноды») второго типа были снабжены длинными штырями, обеспечивавшими контакт с грунтом.

Многочисленные опытные и производственные работы и сравнения с традиционными кабельными системами показали, что бескабельные регистрирующие системы первого и второго типа обеспечивают такое же качество данных, как и кабельные системы. Это ожидаемо,



▲ Рис. 1. Три типа бескабельных регистрирующих систем, разработанных и введенных в эксплуатацию в течение последних 10–12 лет.

поскольку методика и техника регистрации упругих колебаний на земной поверхности, в рыхлом слое почвы или в снегу, никак не изменилась. Соответственно, такие бескабельные регистрирующие системы не имели никаких преимуществ перед традиционными кабельными системами в условиях сильного ветра или дождя. Для снижения ветровой помехи «ноды» автономных систем иногда заглубляли и прикапывали с помощью кирки или лопаты, но это требует значительного времени и, соответственно, снижает производительность полевых работ.

И только 3 года назад появилась автономная бескабельная система третьего типа: это система NuSeis с регистраторами NRU, снабженными встроенными высокочувствительными приемниками, расположенными в нижней части обтекаемого сигарообразного корпуса длиной около 20 см (Рис.1). Очевидно, что такая конструкция обеспечивает преимущества в амплитуде и достоверности регистрируемых упругих колебаний благодаря почти полному заглублению регистраторов в грунт или плотный снег. Полевые эксперименты, выполненные в Америке консорциумом по изучению упругих волн (CREWES), показали, что отношение сигнал/помеха повышается на 3 дБ на каждые 10 см заглубления и прикапывания сейсмоприемника [2]. Не менее важно и то, что при заглублении существенно ослабляются резонансы в системе сейсмоприемник–грунт, тем более в случае относительно тяжелых регистраторов автономных бескабельных систем (весом от 1 до 2 кг).

В последние годы за рубежом растёт интерес именно к нодальным регистрирующим системам по следующим причинам:

- нодальные регистраторы имеют

меньший вес и размеры и, соответственно, требуют меньше транспортных средств и людей в сейсмопартии;

- нодальные регистраторы легче заглубить в грунт или утрамбованный снег, что решает следующие задачи:

- 1) повышение отношения сигнал/помеха благодаря снижению ветровой помехи, звуковой волны и других помех;

- 2) обеспечение сохранности регистрирующего оборудования, которое можно полностью замаскировать от посторонних глаз.

Лабораторные сравнения

Специалисты американской компании GTI выполнили новые лабораторные сравнительные эксперименты на вибростоле [3]. Цилиндрическая стальная труба высотой 50 см была приварена в стальной пластине, которая была прикручена 20-ью болтами к вибростолу (Рис.2). Это гарантировало, что в интересующем сейсморазведчиков диапазоне частот стальная труба и вибростол будут жестко связаны. В ходе эксперимента стальная труба заполнялась различными образцами грунта на высоту примерно 30 см. Грунт равномерно уплотнялся по мере заполнения трубы. Тестируемые сейсмоприемники и регистраторы устанавливались в грунт обычным образом, как при полевых работах. Высокочувствительный геофон с трехдюймовым штырем устанавливался так, чтобы нижний край его корпуса был ниже поверхности грунта. Что касается заглубляемого модуля NRU, то сначала для него создавалось цилиндрическое углубление в грунте диаметром 5 см, и в это углубление модуль NRU вдавливался вручную.

Чувствительный элемент в корпусе сейсмоприемника был идентичен тому, который был встроен в заглубляемый модуль. Это был 10-Герцовый вертикаль-



▲ Рис. 2. Высокочувствительный геофон и заглубляемый регистратор NRU в стальном цилиндре с уплотненным грунтом (слева). Контрольный геофон был приклеен (справа) к вибростолу, к которому жестко крепился стальной цилиндр.

ный электродинамический сейсмоприемник с высокой чувствительностью (78,7 В/(м/с)). Отклики обоих приемников оцифровывались абсолютно одинаковыми приборами. Весь лабораторный эксперимент был продуман так, чтобы контакт приемника с грунтом был единственной переменной в зарегистрированных данных.

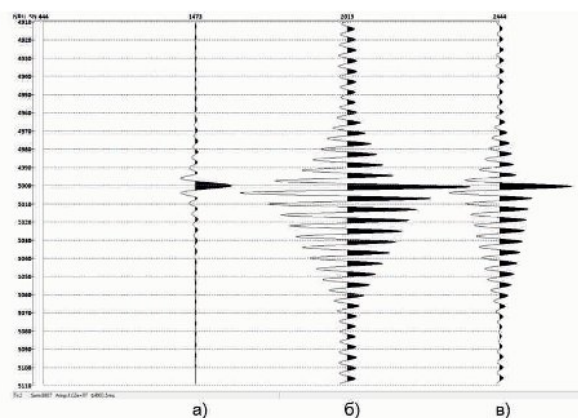
Контроллер вибростола был настроен так, чтобы обеспечивать возбуждение свип-сигналов с постоянной скоростью колебаний. В описываемом эксперименте самая низкая скорость колебаний была равна 0,25 мм/с, а самая высокая скорость – 10 мм/с. Свип-сигналы, при которых пиковая скорость колебаний частиц грунта была меньше, чем 0,25 мм/с, были ниже порогового уровня шума, вызываемого воздушным охлаждением вибростола.

Использовались линейные свип-сигналы с частотной разверткой вниз (от высоких частот к низким) со скоростью 10 Гц/сек. Хотя у вибростола проявлялись некоторые второстепенные резонансы, скорость возбуждаемых колебаний поддерживалась в пределах $\pm 20\%$.

Далее по результатам взаимной корреляции оценивались различия

между идеальным (управляющим) сигналом и откликами тестируемых сейсмоприемников, имеющих разный контакт с грунтом и разную глубину установки. Предполагалось, что сигнал от контрольного геофона, приклеенного к стальной плите, отражает скорость колебаний вибростола, т.е. является идеальным сигналом. Были проанализированы результаты автокорреляции входного сигнала, а также результаты кросс-корреляции сигналов, записанных геофоном и автономным модулем NRU (со встроенным геофоном), с входным сигналом. Для частотного диапазона 10–100 Гц все три импульса нуль-фазовые, с относительно малоамплитудными боковыми максимумами. Но для частотного диапазона 10–150 Гц тестируемые сигналы начинают попадать в область резонанса грунта, хотя все три сигнала по-прежнему синфазны. В этом случае импульс для автономного модуля имеет меньше побочных максимумов, и он более нуль-фазовый, чем импульс для обычного геофона. В частотный диапазон 10–175 Гц попадает резонансная частота грунта. В этом случае на результатах кросс-корреляции видна асимметрия и высокоамплитудные побочные максиму-

мы («звон») в случае применения обычного геофона (Рис.3).

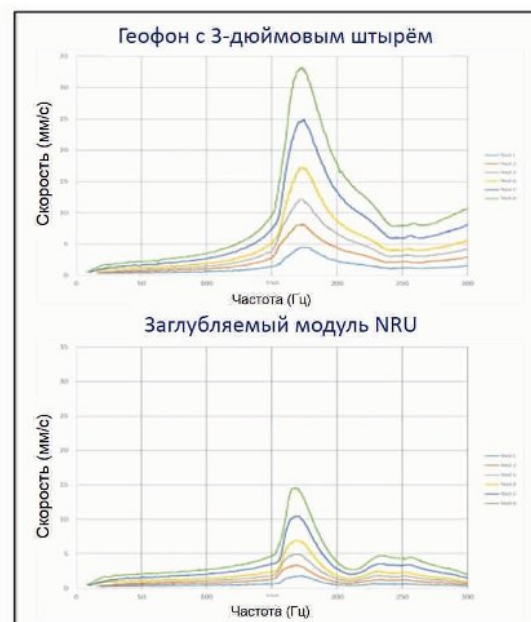


▲ Рис. 3. Формы импульсов, полученных для частотного диапазона 10-175 Гц в результате: а) автокорреляции сигнала приемника на вибростоле; б) взаимной корреляции сигнала приемника на вибростоле и обычного геофона, установленного в стальном цилиндре; в) взаимной корреляции сигнала приемника на вибростоле и заглубленного модуля. Интервал между марками времени равен 10 мс.

Резонансная частота для образца почвы из поймы реки была довольно постоянной и колебалась в диапазоне 167–174 Гц независимо от амплитуды свип-сигнала. Для данного типа почвы коэффициент усиления при резонансе (по сравнению с амплитудой линейного свипа) был равен 16–18 для обычного геофона и около 7 для заглубленного модуля со встроенным геофоном. Эти цифры достаточно устойчивы для различных амплитуд свип-сигнала.

Всего было опробовано четыре образца грунта при нескольких уровнях входного свип-сигнала. Самая низкая резонансная частота – чуть ниже 100 Гц – наблюдалась для садовой почвы, содержащей много органического материала. В данном эксперименте было установлено, что резонансная частота в первую очередь зависит от свойств почвы, а не от

конструкции корпуса приемника. Хотя характер резонанса менялся в зависимости от типа грунта, во всех случаях отклик автономного модуля NRU со встроенным геофоном был существенно сильнее демпфирован, чем отклик геофона на трехдюймовом штыре (Рис.4).



▲ Рис. 4. Сигналы (скорость в мм/с), записанные двумя тестируемыми приёмниками при разных амплитудах свип-сигнала. Диапазон частот от 0 до 300 Гц. Усредненное соотношение резонансов для четырех типов грунта было довольно постоянным и равным 1:2

Стоит подчеркнуть, что в описываемых лабораторных экспериментах свойства грунта не менялись с глубиной, поскольку грунт уплотнялся вручную, по мере заполнения тестового цилиндра. Поэтому результаты измерений в поле могут существенно отличаться от лабораторных экспериментов, так как в реальных условиях обычные сейсмоприемники на трехдюймовых штырях (7,5 см) устанавливаются в почву, верхние 5–10 см которой содержат много органики и имеют гораздо более низкую плотность и гораз-

до более низкие резонансные частоты, чем нижележащие слои грунта.

Автоматизированные установщики линий приема или «автоматоры»

Важная особенность конструкции заглубляемого модуля NRU – возможность механизации и автоматизации полевых работ. Колесные и гусеничные «автоматоры» различной конструкции (Рис.5), управляемые одним человеком, уже прошли полевые испытания в США и других странах и готовы к применению в различных поверхностных условиях, от песчаных пустынь до Арктики. Эти «автоматоры» позволяют по команде оператора-водителя выдавить (или, как вариант – пробить, просверлить) углубление в земле в заданной точке, сбросить туда модуль NRU из заранее заряженных кассет, и затем придавить (обжать) его для обеспечения хорошего контакта с грунтом. В настоящее время «автоматоры» должны останавливаться на 10–15 секунд для подготовки очередного пункта приёма, но близится выпуск беспилотного «динамического автоматора», который сможет устанавливать и собирать модули NRU на ходу, что резко повысит производительность полевых

работ.

В сложных поверхностных условиях, когда использование даже малогабаритных автотранспортных средств с низким давлением на грунт невозможно, предусмотрена ручная установка модулей NRU и их извлечение из земли с помощью специально разработанных инструментов (это скользящие молоты и мотобуры).

Выводы

Бескабельные системы третьего типа с автономными заглубляемыми регистраторами («нодами»), снабженными встроенными высокочувствительными геофонами, обеспечивают значительные преимущества в амплитуде и достоверности регистрируемого сигнала по сравнению с традиционными кабельными или бескабельными системами, в которых используются группы геофонов, устанавливаемых на поверхности земли, или одиночные высокочувствительные геофоны. Кроме того, конструкция заглубляемых регистраторов NRU удобна для механизации и автоматизации процесса их установки.

Автоматизированные комплексы



▲ Рис. 5. Автоматизированные прицепы на колесном или гусеничном ходу, несущие до 300 регистраторов NRU, вдавливаемых в грунт по команде оператора в специально подготовленные лунки.

(«автоматоры»), несущие до 300 модулей NRU, буксируются колесными или гусеничными малогабаритными вездеходами и снабжены дизелями и устройствами для подготовки глубоких лунок в земле, в которые потом вдавливаются модули. Новая технология выполнения полевых работ с автоматизированной установкой заглубляемых регистраторов, а также с их автоматизированным сбором, зарядкой внутренних аккумуляторов и бесконтактным считыванием сейсмической информации во время транспортировки модулей, позволит резко сократить численность сейсморазведочных партий и повысить производительность и безопасность полевых работ.

Благодарности

Авторы выражают благодарность компании Geophysical Technology Inc. (GTI) за разрешение опубликовать результаты их лабораторных исследований. Анализ данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов, был выполнен с использованием пакета программ RadExPro российской компании ДЕКО Геофизика.

Литература

1. Череповский, А.В., 2017, Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. Издание второе, дополненное. М., ЕАГЕ Геомодель. – 252 с.
2. Bland H.C. and Gallant E.V., 2001, Wind noise abatement for 3-C geophones. CREWES Research Report, Volume 13.
3. Fleure T., Halvorson W., and Miller R., 2017, Receiver ground coupling revisited; a laboratory experiment to investigate the effects of an autonomous nodal recording system. 87th SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts.

Подробнее об авторах:



Череповский
Анатолий Викторович,

Главный специалист
НТЦ компании ГЕОТЕК
Сейсморазведка. Ранее
– эксперт по сейсморазведке ГК
«НьюТек Сервисез».

Автор образовательного
онлайн курса лекций
по современной
наземной сейсморазведке.
Автор англо-русского
и русско-английского
словаря по прикладной
геофизике



Овчинников
Василий Андреевич

Руководитель отдела продаж и развития новых технологий ГК «НьюТек Сервисез».
Выпускник МГТУ им. Н. Э. Баумана, специалист по ультразвуковому методу контроля

Вибро-ВРС на рудном поле (Методика полевых наблюдений высокоразрешающей вибрационной сейсморазведки на рудном поле)

■ Колесов С.В., Кузин А.М., Кондрашков В.В.

Аннотация. На одном из рудных полей выполнены сейсмические работы по методике высокоразрешающей вибрационной сейсморазведки (ВРВС), включавшей плотную систему наблюдений, использование высокочастотных вибраторов и нелинейно-частотно модулированных свип - сигналов. Это позволило получить исходный полевой сейсмический материал с заданной шириной рабочей полосы частот – до 160Гц с высоким отношением сигнал/помеха на всех частях профиля при довольно заметном изменении условий возбуждения.

Введение

Сейсморазведка большей частью используется для поисков и разведки месторождений углеводородов и в значительно меньшей степени – для рудных объектов. Для месторождений углеводородов доминирующим является структурный фактор; для рудных он имеет подчинённое значение. На первый план выходит задача определения зональности упруго-деформационных свойств.

Наибольшее число месторождений углеводородов размещается в осадочных породах и представлено структурными ловушками, имеющими «покрышку», непроницаемую для поднимающихся углеводородных флюидов и «коллектор», в котором могут накапливаться углеводороды. Границы коллекторов отображаются на сейсмических разрезах в виде достаточно пологих осей синфазности; они, как правило, связаны с изменениями условий осадконакопления отложений. Только в последнее время в связи с повышением разрешающей способности сейсморазведки стали отслеживать и изучать структуры, подстилающие резервуары, например зоны интенсивной или прозрачной сейсмической записи, воздействие которых возможно приводит к накоплению флюидов.

Рудная минерализация образуется при флюидной проработке вмещающей среды. Поэтому зона оруденения, точнее зона измененных вмещающих пород в результате воздействия флюидов уже не имеет таких относительно чётких сейсмических границ, как обычная залежь углеводородов, хотя тоже находит отображение в свойствах сейсмического волнового поля [2, 5]. Месторождения углеводородов в основном расположены на глубинах 1-3 км, тогда как рудные – на глубинах до 1,5 км от дневной поверхности. Помимо этого залежи углеводородов и руд, как правило существенно различаются по своим размерам. Отсюда следуют определённые различия в методиках полевых сейсмических работ и обработки. Если для месторождений нефти и газа, образующихся обычно в осадочных толщах, пригодны пластовые модели среды, то рудным месторождениям больше соответствуют гетерогенные сейсмические модели [2, с.98-106]. Глубины расположения рудных объектов, размеры и характер их строения приводят к специфике методики высокоразрешающей сейсморазведки.

Одной из задач описываемых работ было исследование возможностей использования современной высокоразрешающей сейсморазведки для оценки мощности вулканогенно-терригенных и

терригенных отложений, перекрывающих и включающих колчеданосные комплексы.

Полевая методика высокоразрешающей сейсморазведки основана на возбуждении и регистрации сейсмических колебаний с расширенным в стороны низких и высоких частот спектром. При этом предполагается, что широкой должна быть именно рабочая («активная» или «эффективная») полоса частот сейсмической записи, там, где полезный сигнал превышает помеху в заданное число раз [7].

Частотный состав отраженного сигнала напрямую связан с разрешающей способностью сейсмических работ по глубине и латерали. Обычно разрешённость по глубине оценивается через длину волны сигнала $\lambda = V/F$ (V – скорость в среде, F – средняя частота сигнала) в настоящее время – как $\lambda/8$. Латеральная разрешённость Dr – расстояние между разделяющимися по латерали объектами оценивается (Голосов В.П., 2001г.) как одна треть 1й зоны Френеля, $Dr = 0.3 \cdot (\lambda h_0)^{1/2}$, где h_0 – глубина разделяемых объектов.

Исходя из априорной сейсмической модели согласно проекту работ были взяты следующие параметры системы наблюдений:

- регистрация: шаг пунктов приёма – 12.5м, шаг пунктов возбуждения – 25м, число каналов – 240, длина косы – 3км, центральная система наблюдений;
- отработка профиля по методу многократных перекрытий с кратностью 60 производится телеметрической сейсмостанцией I/O-2.
- возбуждение: два вибратора СВ-14/150 МТК (высокочастотный вариант), стоящих последовательно встык друг с другом на ПВ (база группирования – 10м); возбуждаемые частоты – от 10Гц

до 160Гц.

Для уточнения проектных параметров возбуждения был проведен цикл опытных работ, первоначально с ЛЧМ (линейными) свипами – всего 98 вариантов, а затем – с НЧМ (нелинейными) свипами ещё – 11 вариантов.

1. СЕРИЯ ОПЫТОВ – С ЛИНЕЙНЫМИ (ЛЧМ) СВИПАМИ

Большой объём опытов с ЛЧМ свипами был проведен для того, чтобы затем использовать эти выводы для планирования и проведения серии опытов с НЧМ свипами. Помимо сейсмограмм просматривались силовые характеристики: АЧХ, при ЛЧМ свипе соответствующие АЧХ действующей силы, а также спектры ошибок фазы для обоих вибраторов в зависимости от установочного значения прижима.

В опытах менялись параметры свип-сигналов, линейных и нелинейных, сила «прижима», параметры групп вибраторов и число накоплений, а также характер грунта («мягкий» (суглинок, чернозём) и «жесткий» (асфальт, скальный грунт)).

Анализ результатов опытов с ЛЧМ свипами, позволил рекомендовать следующие параметры: ЛЧМ свип 20 – 160Гц/12с, конуса по 0.5с, при 2-х вибраторах и би накоплениях на ПВ; сила «прижима» $P = 65\%$ от максимума.

Выводы первой серии опытов

1) Необходимо уменьшение «прижима» P до 50% для уменьшения разброса силы, её фазы и коэффициента гармоник относительно прижима в 65%, что даст возможность расширить диапазон частот свипов от 10 до 170Гц.

2) Энергия свипа для НЧМ свипов должна быть уменьшена преимущественно на относительно низких частотах – до 70Гц, за счёт увеличения там скорости

частотной развертки, Например, на частоте 25 – 30Гц – в 2-3 раза по сравнению с ЛЧМ свипами.

3) Необходимо увеличить энергию возбуждения на частотах свыше 70 Гц за счёт увеличения общей длительности свипа (времени Т) и частичной перекачки энергии с низких частот на относительно высокие с помощью выбора соответствующего значения коэффициента «нелинейности» «О».

2.ВТОРАЯ СЕРИЯ ОПЫТОВ – С НЕЛИНЕЙНЫМИ (НЧМ) СВИПАМИ

2.1. Вторая серия опытов проводилась для выбора параметров нелинейных свипов вида. Опыты выполнялись на мягком грунте, где наблюдается более сильное затухание высокочастотных составляющих сейсмического сигнала по сравнению с твёрдым грунтом.

2.2. Комментарии к выбору параметров НЧМ свипов

2.2.1 Цель выбора параметров НЧМ свипов: обеспечить во всём диапазоне возбуждаемых частот такие значения отношения сигнал/ помеха, чтобы все эти частоты присутствовали бы в спектре временного разреза МОГТ на временах до 1с.

2.2.2 Был использован свип вида децибел-на-октаву, как наиболее часто используемый и имеющийся на БУСВ.

2.2.3 Основные задачи выбора параметров НЧМ свипов были следующие:

- добавить (по сравнению с ЛЧМ свипом) энергию на высокие частоты (более 65 70Гц) за счёт увеличения длительности свипа Т и частичной перекачки энергии с низких частот;

- уменьшить энергию (явно излишнюю при ЛЧМ свипе) на низких частотах, ослабив тем самым уровень низкочастотных помех, при сохранении качества прослеживания осей синфазности на

низких частотах.

2.2.4 При рекомендуемой величине прижима $P = 65\%$ (силы в % от максимума) были сильные искажения фазовой характеристики, поэтому в дальнейшем бралась величина прижима $P = 50\%$.

2.2.5 Опыты на частотах более 160Гц показали, что один вибратор имеет завал ошибки фазы более 8° . Поэтому решено брать $F_2 = 160\text{Гц}$. Вибратор № 2 имел «образцовые» характеристики на частотах более 20Гц.

2.2.6 При выборе параметров НЧМ свипов учитывалось, что реальный частотный диапазон уже, чем «установочный».

При расчётах контролировались в основном значения F_{1p} , V_{fp} , dV_p и учитывались амплитудно – частотные и фазовые характеристики свипов,

2.2.7 После начала отработки профиля из-за ухудшения вида АЧХ и ФЧХ посылаемых свипов, был взят свип 15 – 160Гц/16с -6дБ/окт, конуса по 0.5с, работали 2 вибратора при 6 накоплениях и прижме $P = 50\%$. База группирования – 10м, т.е. стык двух вибраторов приходился на ПВ.

3. РАБОТЫ МОГТ НА ПРОФИЛЕ

При профильных работах постоянно контролировался исходный полевой материал в разных частотных диапазонах и разных предварительных усилениях. Работы проводились в основном с выбранным НЧМ свипом 15 – 160Гц/16с -6дБ/окт и только небольшая часть профиля была пройдена для сравнения с выбранным после 1_й серии опытов ЛЧМ свипом – 20 – 160Гц/12с. Использование НЧМ свипов позволило повысить разрешающую способность проводимых полевых работ. Для этого менялась фильтрация на плоттере станции. Для НЧМ свипов при фильтре 15 – 90Гц нача-

ли следиться новые чёткие оси синфазности (на временах 0.6 – 0.85с), а при фильтре на плоттере 15 – 120Гц сейсмограммы стали заметно отличаться мелкими деталями, что означало вклад энергии частот между 90Гц и 120Гц, а при фильтре 15-180Гц обнаружались значимые, но небольшие различия записей, что свидетельствует о наличии полезной энергии на частотах после 120Гц.

4. АНАЛИЗ СЕЙСМОГРАММ И ИХ СПЕКТРОВ

4.1. Анализ сейсмограмм

В полевых условиях можно оценивать только вид сейсмограмм в разных частотных диапазонах их вывода на плоттере. Спектральный анализ был проведен в камеральных условиях, но одно не заменяет полностью другое.

Сейсмограмма рис. 1, выведенная в поле, от ЛЧМ свипа 20- 160Гц/12с, с конусами- по 0.5с и прижимом $P = 50\%$ (1й серия опытов), заметно перегружена низкими частотами. Известно, что низкочастотные волны-помехи, образующиеся в ВЧР, возрастают по амплитуде быстрее, чем полезные волны более глубоких отражений, причём от этих волн-помех трудно полностью избавиться с помощью полосовой фильтрации. Гораздо более эффективный способ - это уменьшение энергии сигнала на этих частотах при возбуждении. Именно так (см.рис. 2) получается при НЧМ свипе 15-160Гц/16с – 6дБ/окт, (конуса- по 0.5с, прижим $P=50\%$). Здесь слабее энергия низкочастотной записи, в том числе волн-помех, и сейсмограмма в целом выглядит более высоко-частотной.

На рисунках №1 и №2 реальная скорость частотной развёртки $V_{fr} = 11.7\text{Гц/с}$ для ЛЧМ свипа, а для НЧМ свипа №10 - $V_{fr} = 26.6\text{Гц/с}$, то есть энергия (как обратная величина для V_{fr}) на низких частотах

у ЛЧМ свипа по меньшей мере в 2.3 раза БОЛЬШЕ, чем у НЧМ свипа.

Сравнение спектров сейсмограмм от ЛЧМ свипа (20- 160Гц/12с) и рабочего НЧМ свипа (15- 160Гц/16с – 6дБ/окт) на одном и том же ПВ (поле, мягкий грунт), приведенное на рис.3 подтверждает сравнение сейсмограмм и также оправдывает выбор НЧМ свипа для профильных работ.

Спектры сейсмограмм в сейсмогеологической обстановке, где проходил данный профиль, зависят от изменений условий возбуждения и геологии разреза. Ранее, при рассмотрении результатов 1й серии опытов с ЛЧМ свипами упоминалось, что на жестком грунте запись получается более высокочастотной. Вследствие этого сравнение спектров сейсмограмм от рабочего НЧМ свипа (15-160Гц/16с – 6дБ/окт) и ЛЧМ свипа (20-160Гц/12с, с которым отработано 6 последних километров профиля), на соседних ПВ (ПК, где проходит дорога и под плитой вибратора жёсткий грунт, не показывает такого заметного различия в форме спектра от НЧМ и ЛЧМ свипов, которое ожидалось бы по результатам сравнения спектров на «мягком» грунте (по рис. 3). На рис. 4 видно, что выигрыш у НЧМ есть, но небольшой: энергия на высоких частотах здесь все же больше, чем у ЛЧМ. Правда на низких частотах у НЧМ свипа энергия (и, разумеется, интенсивность низкочастотных волн-помех) ниже, чем у ЛЧМ, но это различие не столь значимо, как на мягком грунте.

4.2. Анализ спектров сейсмограмм

При полевых работах можно было наблюдать смену условий возбуждения: профиль проходил по степи, иногда с выходами плотных метаморфических пород, иногда на лугах и в поймах рек, по каменистому грунту, по сельхозугодьям. Соответственно менялись и условия

возбуждения вибросейсмических сигналов, что находит отражение в форме спектров зарегистрированных сейсмограмм. На рис.3 и рис.4 показаны спектры сейсмограмм ЛЧМ и НЧМ, с двух участков профиля: на мягком грунте (рис.3) и на жёстком (рис.4). И в том и другом случае на рисунках слева – спектры от ЛЧМ свипа, а справа – от НЧМ свипа.

Спектры строились в одном условном масштабе, что дало возможность сравнивать их не только по форме, но и по величине амплитуд на одних и тех же частотах.

На спектрах сейсмограмм с НЧМ свипами, чётко видна правая граница спектра (около 160Гц), тогда как на сейсмограммах с ЛЧМ свипами хорошо виден завал спектральных амплитуд высокочастотных составляющих. При этом если по спектрам первой половины сейсмограмм с ЛЧМ можно судить о высокочастотных составляющих (как и при НЧМ свипах – до 160Гц), то у сейсмограмм второй половины спектр значительно сужен со стороны высоких частот.

Близость спектров сейсмограмм НЧМ и ЛЧМ, относящихся к участку их наложения объясняется тем, что их ПВ были расположены на дороге – вибраторы работали на жёстком грунте, который благоприятен для генерации высоких частот, тогда как сейсмограммы ЛЧМ второй половины получены на мягком грунте. Вместе с тем у сейсмограмм, полученных с НЧМ свипами, рабочая полоса частот спектра - 25 - 160Гц на всех грунтах – и мягких и жёстких при относительно небольших вариациях отношения сигнал/помеха на всех частотах!

5. ВЫВОДЫ ПО МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

5.1. Условия возбуждения в пределах профиля довольно сильно меняются, и

чтобы обеспечить во всех частях профиля заданную ширину рабочей полосы частот – до 160Гц с высоким отношением сигнал/помеха следует подкачивать, там где это нужно, энергию свипа на высокие – более 70Гц -частоты. Подкачка на высокие частоты и частично перекачка с низких частот на высокие необходима на «мягких» грунтах и может быть уменьшена или убрана на участках профиля с «жёсткими» грунтами. Изменение параметров возбуждения целесообразно проводить по методике адаптивной вибросейморазведки ([1] - разработка ООО «ГСД»), включающей помимо алгоритмических решений ещё и аппаратные разработки (новые БУСВ - блоки управления вибраторами).

5.2. В дальнейших работах, если они будут проводиться с подобными вибраторами, с теми же блоками управления вибраторами и на сходном объекте, целесообразно использовать НЧМ свип вида «дБ/окт» в полосе частот 15 – 160Гц (и более), примерно с той же реальной начальной скоростью частотной развёртки – 25-30Гц/с, но с меньшим значением $\text{ОдБ/окт} = 5$ или 4дБ/окт . Верхняя частота определяется в зависимости от технических возможностей вибраторов, а время T – вычисляется по заданным значениям $F1, F2, V_{\text{фр}}$ и O .

5.3. Рассчитывать на «балансировку» спектра ЛЧМ свипа при работе на мягких грунтах, видимо не следует, так как в этом случае выравнивание спектра на частотах более 60 – 70Гц даст подъём уровня высокочастотных помех и не изменит исходного отношения сигнал/помеха, что нежелательно скажется на результатах интерпретационной обработки.

5.4. Метод многократных перекрытий (ММП), ориентированный, большей частью на обработку по ОГТ, благодаря отличному техническому и технологическому

кому обеспечению полевых работ, разработке и широкому распространению современных компьютерных систем обработки и интерпретации, стал как бы стандартом для решения разнообразных геологических задач с помощью сейсморазведки, несмотря на свои принципиальные ограничения. В первую очередь это - справедливость использования пластовых моделей для описания строения изучаемой среды, с углами наклона пластов до 10° - 12° . Вместе с тем для многих рудных месторождений, наличие многочисленных субгоризонтальных сейсмических границ – не характерно.

Если от ММП (Метод Многократных Перекрытий) отказываться не целесообразно, то обработку полевых данных следует модифицировать, учтя специфику решения рудных задач. Повышение разрешённости первичных полевых материалов теряет свой смысл при неадекватной полевой отработке и некачественной обработке.

Одним из способов обработки данных рудной сейсморазведки является скоростной анализ волн, преломленных на 1й жесткой границе. В методе ОГТ эти данные являются как бы побочными, но для рудных задач они могут иметь самостоятельное значение [2]. Работы МПВ заметно дешевле чем МОГТ и должны проводиться в большем объёме по площади. Вывод это далеко не нов: он относится к разряду «хорошо забытого старого».

Эффективность использования МПВ в данных условиях может быть продемонстрирована рисунком 5, где показаны результаты скоростного анализа преломленных (рефрагированных) волн на 1_й жесткой границе. Исходные данные взяты с сейсмограмм ОГТ- с одной сотой части их общего количества.

На рис.5 с ПК 1800 до ПК 2900 можно видеть зону подъёма скорости более чем

на 1км/с. Скачки скорости в районе ПК 2350 и ПК 2550 могут быть вызваны изменением геологического строения ВЧР, а также искривлением линии профиля.

6. К ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

Рис.6 интересен тем, что вследствие высокой разрешённости (методика ВРС - высокоразрешающей сейсморазведки, в данном случае – вибрационной), обусловленной широким спектром отрабатываемых вибраторами частот - от 20 до 160Гц (3 октавы) и при качественной обработке (оригинальный комплекс программ ПРО: «Параметрическая развёртка отражений», автор Кондрашков В.В.), на фрагменте временного разреза можно видеть множество мелких разломов, соединяющихся между собой (при рассматривании) и образующих подобие субвертикальных «трещин», по которым возможна миграция флюидов, формирующих рудное месторождение. Следует отметить, что мы здесь видим не сами трещины, а их сейсмическое отображение в данном диапазоне частот, которое близко к реальности, но по точности не соответствует действительности.

Расположение рудного месторождения в плане можно связать со скачком изменения скорости преломлено - рефрагированных волн на первой жесткой границе (рис.5) по профилю ВРС». Интерпретация скоростей ПРО (рис. № 7) может дать расположение предполагаемых рудоносных участков (белый цвет) по глубине пород сейсмического профиля.

Помимо устоявшихся способов полевых вибросейсмических работ и методик интерпретации их результатов следует обратить внимание на возможность

проявления на месте проводимых работ нелинейных сейсмических эффектов, результаты которых могут дать дополнительную информацию о строении изучаемого геологического разреза. Известно (см.[6]), что наиболее ярко нелинейные сейсмические эффекты (возникновение кратных гармонических составляющих, волн комбинационных частот и т.п.) проявляются в трещинных, пористых, проницаемых, флюидонасыщенных горных породах, как можно также охарактеризовать рассматриваемый данный геологический разрез. Разумеется, что для этого должна использоваться соответствующая методика сейсмических наблюдений (подобная той, которая описана в [6] – применительно к месторождениям углеводородов). Разумеется, что это дело будущих исследовательских работ, но важно то, что использование нелинейных сейсмических явлений можно применять и для поисков и разведки рудных месторождений, не ограничиваясь углеводородами.

Авторы благодарны руководству ОП «Спецгеофизика» за возможность анализа полевых материалов, в получении которых один из авторов принимал непосредственное участие.

Литература

1. Жуков А.П., Шнеерсон М.Б. Адаптивные и нелинейные методы вибрационной сейсморазведки. / "Недра" М. 2000
2. Караев Н.А., Рабинович Г.Я. Рудная сейсморазведка. // МПР РФ, РАН РФ, ВИРГ Рудгеофизика, М., ЗАО «Геоинформмарк» 2000.

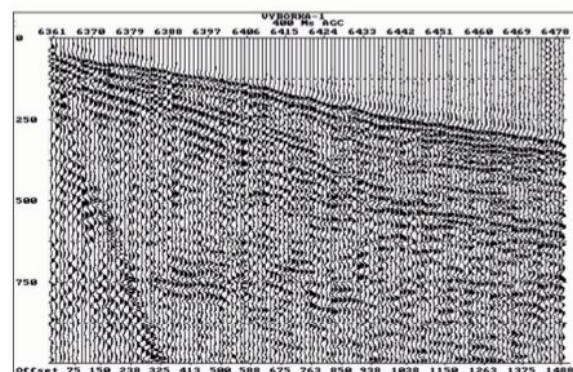
3. Колесов С.В., Потапов О.А., Иноземцев А.Н., Захарова Г.А. Использование нелинейных свипов при высокоразрешающей вибросейсморазведке. //ЕАГО, «Геофизика» №1 2002г., стр.18-28

4. Колесов С.В., Потапов О.А. Комплекс программ для расчета реальных параметров нелинейных свипов. ЕАГО, Геофизический вестник №2, 2001г., с.18 – 21).

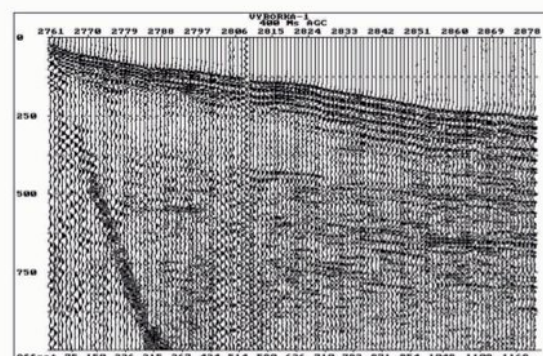
5. Кузин А.М. Разработка методики прогноза залежей флюидального генезиса по данным сейсмических методов. // «Прикладная геофизика», вып 131, М., Недра, 1994. с. 396-406

6. Логинов К.И., Жуков А.П., Шнеерсон М.Б., Логинов И.В. // Нелинейные волновые поля в акустическом каротаже и вибрационной сейсморазведке. М. 2012.

7. Харкевич А.А. //Спектры и анализ, М. ГИ ФМЛ, 1962



▲ Рис.1 Типичный пример сейсмограммы ЛЧМ свипа 20-160Гц/12с.



▲ Рис.2 Пример сейсмограммы НЧМ свипа 10(15)-160Гц/16с-6дБ/окт.

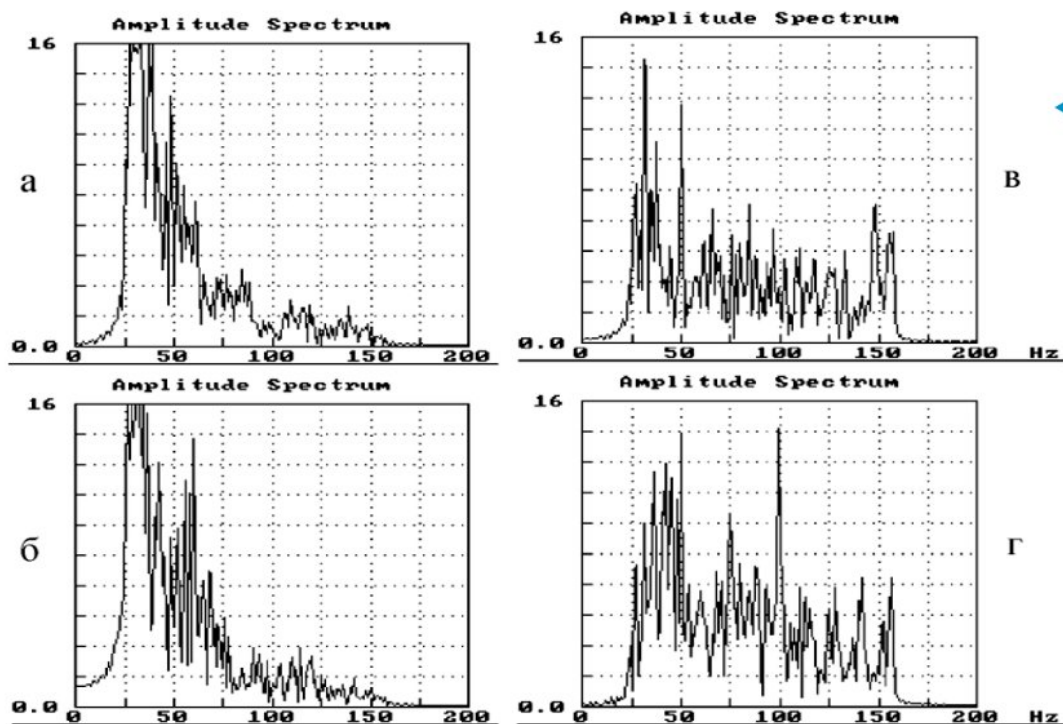


Рис.3 Спектры сейсмограмм на «мягком» грунте от ЛЧМ свипов (а,б) и НЧМ свипов (в,г).

Рис. 3

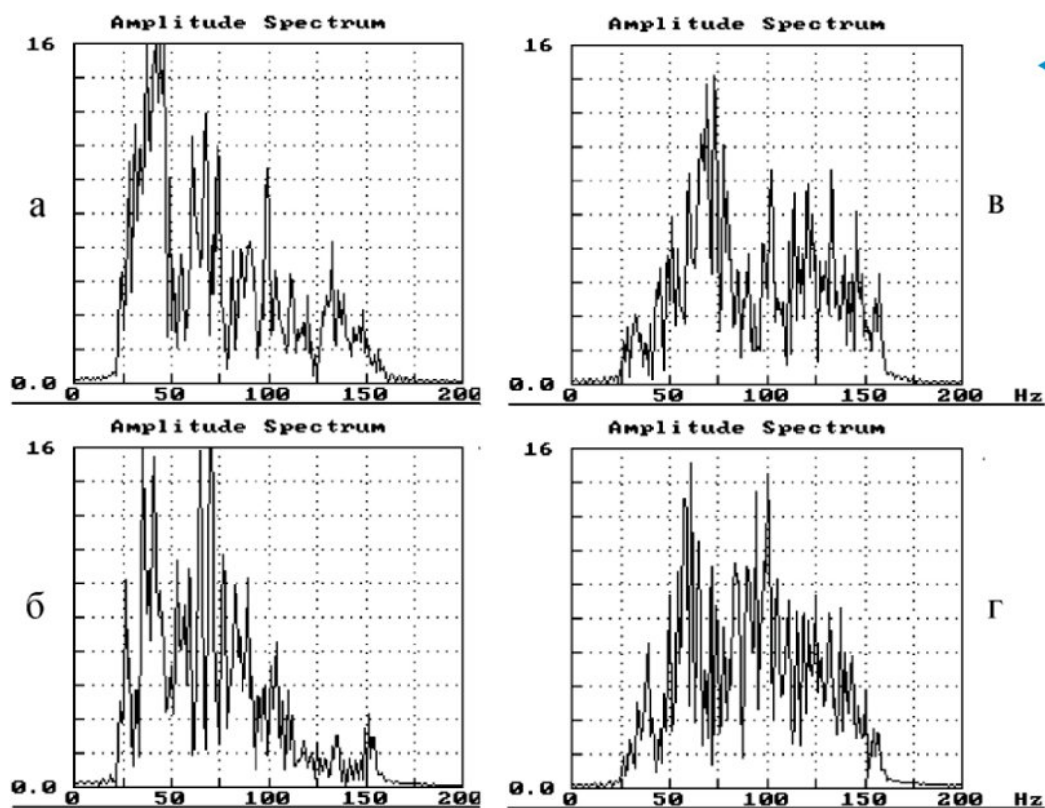


Рис. 4. Спектры сейсмограмм на жёстком грунте от ЛЧМ свипов (а,б) и НЧМ свипов (в,г).

Рис. 4

Скорости рефрагированных волн

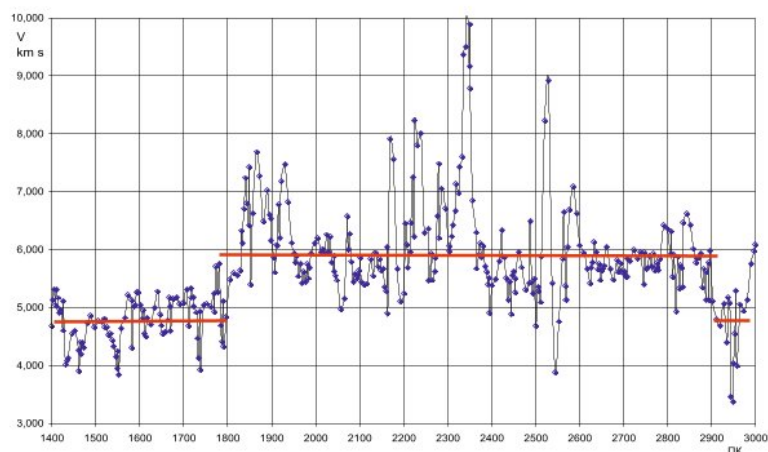


Рис. 5 Характер изменения скорости преломлено - рефрагированных волн на первой жесткой границе по профилю ВРС

Рис. 6. Фрагмент временного разреза ПРО, на котором видно изменение характера «трещиноватости» по латерали. По мере роста глубин изображения «трещин» и разломов «размываются» из-за снижения латеральной разрешённости.

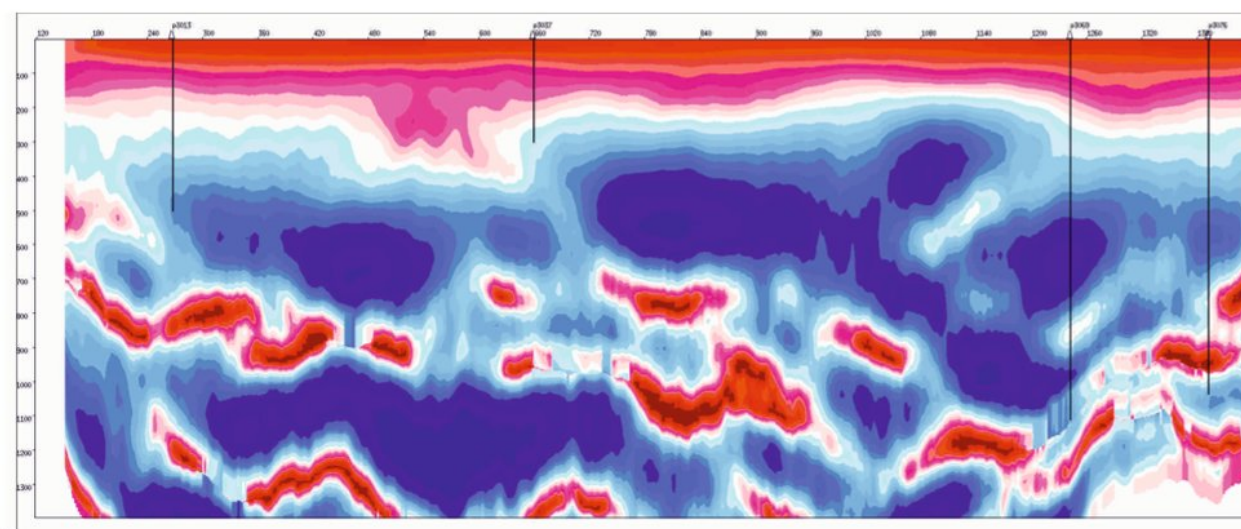
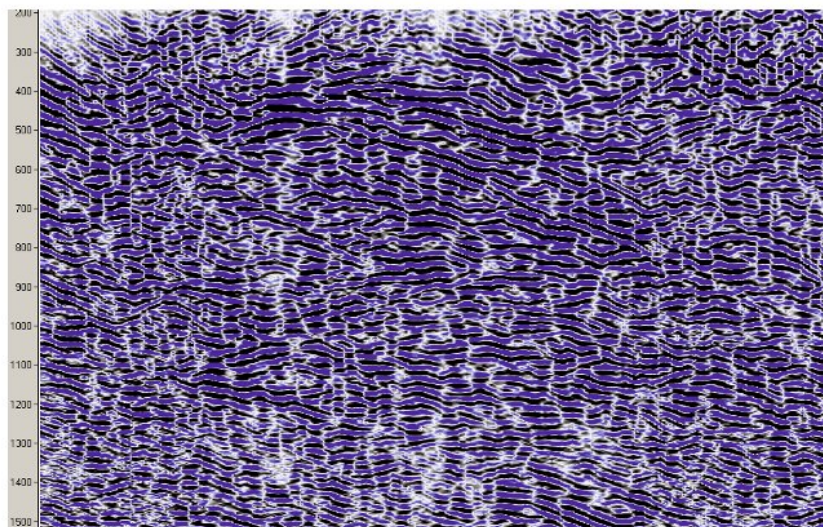


Рис. 7. Фрагмент глубинного разреза интервальных скоростей ПРО Шкала глубин дана через 100м, скорости: темно-красный цвет – 1500м/с, белый – 4600м/с, тёмно-синий – 8000м/с.

Методы и системы инженерной геофизики, применяемые при изысканиях в районах развития многолетнемерзлых пород

■ Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Горячев В.В., Савельев Д.М., ООО «Ингеоком», г. Саратов

При выполнении инженерных изысканий в зимний период и в районах развития многолетнемерзлых толщ (республика Саха-Якутия) для получения дополнительной оперативной информации о строении верхнего интервала изучаемых разрезов используют бесконтактные геофизические исследования. Бесконтактные методы и системы, используемые в инженерной геофизике, основаны на современных методиках, аппаратурных средствах и технологиях, развиваемых и создаваемых для дистанционного изучения электрических и скоростных характеристик слоистых разрезов.

Основной задачей геофизических исследований на стадии проектной документации по объектам обследования подъездных автодорог к месторождениям полезных ископаемых в районах развития многолетнемерзлых толщ является определение рельефа поверхности дисперсных, скальных пород и мощности перекрывающих их насыпных грунтов. Геофизические исследования на стадии рабочей документации выполняются с целью получения дополнительных материалов и данных для оценки инженерно-геологических условий. В задачу геофизических исследований входит:

определение глубины подошвы насыпных грунтов, выявление аномальных неоднородностей разреза в подстилающих грунтах.

При инженерных изысканиях в зимний период и в районах развития многолетнемерзлых толщ районах применяются следующие методы: электроразведка методом вертикального электроразведывания (ВЭЗ) в бесконтактной модификации (БЭЗ), метод георадиолокационного обследования (георадиолокационное профилирование), сейсморазведка МПВ.

Электроразведка

Электроразведка ВЭЗ в модификации бесконтактной технологии (БЭЗ) применяется в условиях развития с поверхности скальных и многолетнемерзлых пород (ММП). Для выполнения работ используется аппаратура «ERA-MAX», с рабочей частотой 4.88 Гц. При работе методом БЭЗ для обеспечения глубины исследований до 20 м используется экспресс-установка (линия АВ длиной 54 м, с закрепленной линией MN=1 м). Действующие значения разносов линии АО: 1.4; 2.0; 2.7; 3.7; 5.2; 7.2; 10; 14; 20; 27. Всего 10 разносов. Шаг между установками БЭЗ по профилю ~ 200 м.

► Рис. 1. Подъездная автодорога к месторождению.



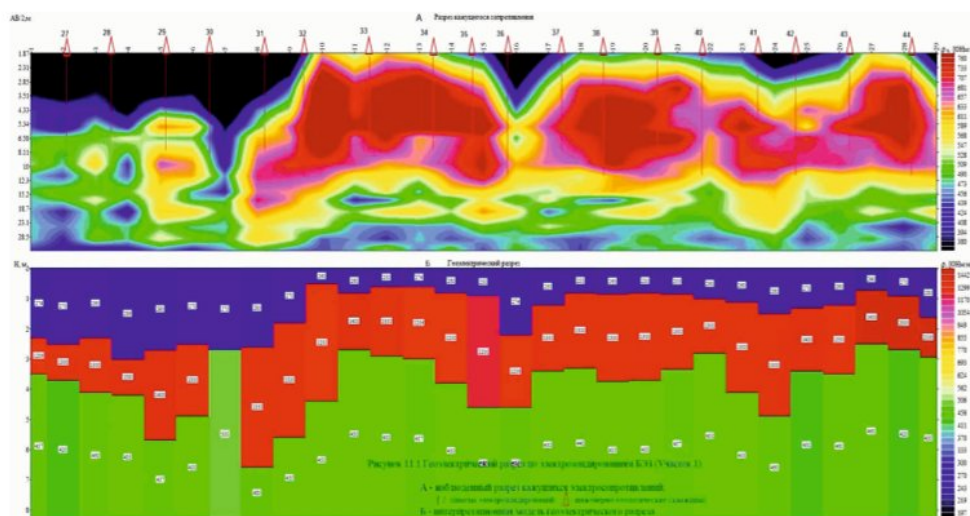


Рис. 2. Пример геоэлектрического разреза по профилю подъездной автодороги (Результаты электроразведки БЭЗ).

Обработка полевых записей электроразведки БЭЗ выполняется по программе «IPI2WIN» с трансформацией в параметры электрического сопротивления и построением геоэлектрических разрезов наблюдаемых кажущихся значений электрического сопротивления и интерпретационной геоэлектрической модели (рис.1).

Георадиолокация

Георадиолокационное профилирование выполняется с помощью георадара «ОКО-2» с антенным блоком 250 МГц, с шагом наблюдений по профилю - 10 см. Управление, регистрация и запись георадарограмм производится на ПК планшетного типа. Количество накоплений определяется в процессе опытных работ на объекте.

Метод георадиолокационного профилирования заключается в излучении импульсов электромагнитных волн в исследуемую среду и регистрации сигналов, отраженных от границ раздела слоев, имеющих различные электрофизические свойства.

Основная задача, решаемая методом георадиолокационного профилирования, определение положения границ раздела сред или объектов в зондируемых средах. Модель изучаемой среды представляется

в виде слоистой толщи с постоянными электрофизическими свойствами каждого слоя и наличием локальных и протяженных объектов, отличающихся по электрофизическим свойствам от вмещающей среды.

Результатом георадиолокационного исследования является георадиолокационный профиль или радарограмма – массив амплитуд отраженных сигналов с дополнительной информацией по каждому шагу зондирования, записанный в файл и визуализируемый в виде вертикального разреза исследуемой среды.

Георадиолокационное профилирование выполняется по профилю оси автодорог с учетом прохождения георадара через инженерно-геологические скважины, размещенные в пределах полотна отсыпки.

Технология и режимы регистрации определяются перед началом производственных работ в ходе проведения опытно-методических исследований. Технология полевой методики и регистрации реализуется с учетом зимних климатических условий (низкие отрицательные температуры). Антенный блок георадара буксируется по профилю автодороги на жесткой сцепке спецавтотранспортом со скоростью пешехода.



▲ Рис. 3. Технология георадарного профилирования при обследовании подъездной автодороги.

Регистрация радарограмм выполняется в непрерывном режиме в отапливаемом салоне технологического транспорта. Накопление зондирующих импульсов 8-16. Привязка георадарных профилей осуществляется к пикетажу автодороги. Длина георадарных профилей ~ 1000 м.



▲ Рис. 4. Наблюденная на ПК радарограмма по георадиолокационному профилю подъездной автодороги.

Сейсморазведка (МПВ)

Сейсмозондирования методом преломленных волн (МПВ) выполняется по профилям подъездных автодорог, дамб гидротехнических сооружений (ГТС), хвостов, хранилищ промстоков для решения задач выделения аномалий скоростных неоднородностей, обусловленных

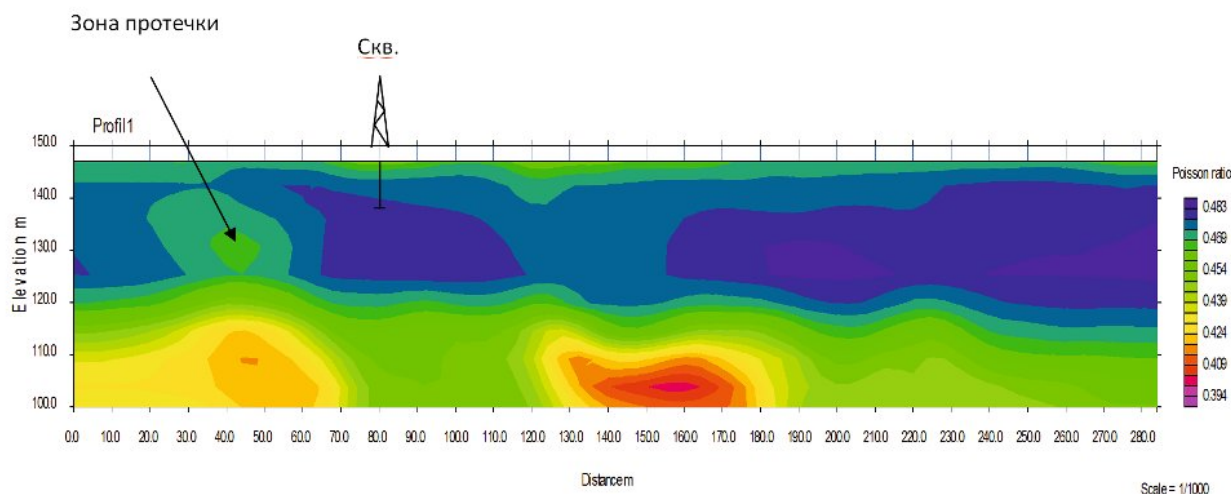
изменением литологического состава, физико-механических характеристик пород, зонами протечки плотин и дамб. Профили точечных зондирований располагаются по гребню плотин, дамб. При выполнении работ МПВ используются блоки системы бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей «SCOUT» (СБТС), (разработка СКБ СП, г. Саратов). На профиле по оси дамбы отрабатываются расстановки, на каждой из которых располагаются по 24 канала (БСД) с шагом между пунктами приема 2-5 м. Длина одной расстановки составляет 92 м. Возбуждение упругих колебаний производится с использованием ударного источника (кувалда) сейсмических колебаний в пределах расстановки с шагом 8 метров между пунктами возбуждения (ПВ) и с отработкой выносных ПВ на удалении от флангов в 18-24 метра.



▲ Рис. 5. Фото 4 Технология сейсмозондирования МПВ на дамбе хранилища промстоков.

На каждом ПВ выполняется последовательно возбуждение продольных и поперечных волн. Для регистрации этих типов волн используются сейсмоприемники, ориентированные вертикально и горизонтально. На каждом ПВ проводится запись сейсмограмм продольных и поперечных волн.

Длина записи, шаг дискретизации, усиление подбираются в ходе опытных работ. Число накоплений устанавливается



▲ Рис. 6. Вертикальная карта значений коэффициента Пуассона по разрезу дамбы.

опытным путем по достижению уверенной корреляции волн в первых вступлениях. В обработку передаются файлы сейсмограмм в формате «sgy».

На рис. 2 представлена вертикальная карта значений коэффициента Пуассона, полученная по результатам профильного сейсмозондирования дамбы. На карте выделена локальная зона пониженных значений коэффициента Пуассона, которая отражает скоростную неоднородность, обусловленную сменой литологического состава (песчаная линза в толще суглинков).

Рассмотренные выше геофизические методики и системы, успешно применяются при решении инженерно-геологических задач в районах развития многолетнемерзлых толщ и в периоды сезонного промерзания верхней части разреза, обеспечивают оперативное получение необходимой информации о физико-механических характеристиках грунтов. Результативные геофизические разрезы дополняют инженерно-геологические разрезы изучаемых линейных объектов на междускважинных участках.

Автономный модуль с непрерывной регистрацией сейсмических данных **NRU 1C™**

АВТОНОМНЫЙ МОДУЛЬ С НЕПРЕРЫВНОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Модуль NRU 1C™ – это автономный регистратор сейсмических данных, включающий 1 канал записи с 24-разрядной оцифровкой, встроенный и/или внешний аккумулятор, встроенный или внешний сейсмоприёмник, высокочувствительный приёмник глобальной навигационной системы (GPS/Глонасс) и средства беспроводной выгрузки сейсмических данных. Все перечисленные элементы komponуются в прочном водонепроницаемом пластиковом корпусе, состоящем из двух частей, которые удерживаются вместе алюминиевыми кольцами. В верхней части корпуса модуля имеются четыре покрытые нержавеющей сталью контакта, которые служат для зарядки встроенного аккумулятора и скачивания памяти.

СИСТЕМА УСТАНОВКИ И ЗАГЛУБЛЕНИЯ РЕГИСТРИРУЮЩИХ МОДУЛЕЙ

ADS^{v3} – автоматизированная система установки и заглубления регистрирующих модулей NuSeis™ NRE 1C™



Жизнь связала с сейсморазведкой?



Рекомендуем: новейшая беспроводная телеметрическая система **Sercel UNITE**



Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428; бескабельной системы UNITE. Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования. Производство импульсных источников «Геотон»

Холдинг «ГЕОСЕЙС»
Контактная информация:
Тел. (Москва):
+7 (495) 694-19-07
+7 (495) 694-19-97
Тел. (Тюмень):
+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:
geoton@geoton.ru
geoseis-servis@yandex.ru
geoseisltd@gmail.com
http:
www.geoseisholding.ru
www.geoton.ru