

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ОКТЯБРЬ-ДЕКАБРЬ

4/2021

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:



НОВОСТИ РЫНКА И ТЕХНОЛОГИЙ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Интервью с Джимом Холлисом,
Генеральным Директором Корпорации Wireless Seismic

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

СОВЕРШАЕТ ПЕРЕВОРОТ В СТОИМОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

работы ведутся
вдвое быстрее

на 50% уменьшается
количество рабочих бригад
и техники на проекте

на 50% снижена
операционная
стоимость проекта

IGU-16 / IGU-16HR



IGU-16HR 3C



IGU-BD3C-5



IAU-19



ВЫСОКОПЛОТНУЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКУ ТЕПЕРЬ МОЖНО ДЕЛАТЬ ДЕШЕВО!

«ВКонтакте»



Первый в мире интеллектуальный
сейсмический датчик
Высокоплотная и экономичная
сейсморазведка — теперь это возможно

Email: marketing@dtcc.asia
Tel: +86-10-60844158
Website: www.smartsolo.com.ru/www.dtcc.biz

Общие глобальные поставки

300,000
каналов

ТЕМА НОМЕРА:

Тема номера «Новости рынка и технологий»

СОДЕРЖАНИЕ:

Наши партнеры 4

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Главный редактор журнала Слонов Д.Н. 5

ТЕМА НОМЕРА**Тенденции мирового рынка сейсморазведки**

Интервью с Джимом Холлисом, генеральным директором корпорации Wireless Seismic 6

Перспективные возможности ООО «ТНГ-Групп» с новым бескабельным оборудованием

Будяк А.В., Шаймарданов А.Р., Бачков А.П. 14

Первый опыт применения технологий машинного обучения для прогноза глубин заложения сейсмического заряда при планировании и проведении полевых сейсморазведочных работ

Акуленко А.С., Гафаров Р.М. 20

Оптимальный подход к учету статистических и кинематических поправок при обработке сейсмических данных в сложных сейсмологических условиях Восточной Сибири

Емельянова К.Л., Твердохлебов Д.Н., Арутюнянц И.В., Мостовой Д.В., Степанов П.Ю. 33

Расчет петрофизической инверсии на основании гибридных моделей в вулканогенных породах кислого состава доюрского комплекса Западной Сибири

Руденко В.Ю., Гуренцов Д.Е., Гарилов С.С., Смирнова М.Е. 41

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ**Атрибуты компьютерного зрения при количественном контроле качества в ПО «QCVision»**

Молчанов А.Б., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Мостовой Д.В. 50

Методика системного анализа сигналов сейсмо-электрического эффекта при поиске углеводородов

Шайдуров Г.Я. 62

Построение детальных сейсмогеологических 3D моделей на примере Западной Сибири

Гуренцов Н.Е., Попова Л.А., Твердохлебов Д.Н., Шахно В.В. 68

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**К 40-летию импульсного источника «Енисей»: вчера, сегодня, завтра**

Детков В.А. 78

ЛЮДИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ**«По морям, по волнам» (не только сейсмическим) – морское приключение от организаторов ГЕОФЕСТ 2021** 86**Компания «ГЕОСВИП» представила опытный образец виброисточника нового поколения СВ-30Б-МЗ** 89**V юбилейная научно-практическая конференция «ГЕОРАДАР-2021»** 91

НАШИ ПАРТНЕРЫ



Приборы и системы разведочной геофизики.

Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издаётся с 2002 г.

Главный редактор:
Слонов Д.Н.

Редакционная коллегия:

к.т.н. Абдулвалиев М.Т.
к.т.н. Белоусов А.В.
к.г.-м.н. Волкова Е.Н.
Воцалевский В.З.
д.т.н. Гогоненков Г.Н.
к.т.н. Горбачев С.В.
Гурьев С.В.
к.т.н. Детков В.А.
д.т.н. Жуков А.П.
Запорожец Б.В.
д.г.-м.н. Золотая Л.А.
д.т.н. Кострыгин Ю.П.
д.г.-м.н. Михеев С.И.
к.т.н. Тарасов Н.В.
к.т.н. Циммерман В.В.
к.т.н. Череповский А.В.
д.т.н. Шехтман Г.А.

Руководитель проекта
Матвеева И.Э.

Корректор:
Матвеева И.Э.

Учредитель:
СРО МОО ЕАО

Издатель:
ООО «ПСРГео»



Адрес издательства:
г. Саратов. Ул.Осипова, 1
Телефон +7-987-822-68-37

Обложка и оформление:
Мокроусов Д.В.

Вёрстка:
Мокроусов Д.В.

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

Подписано в печать:
20.12.2021

Дата выпуска:
30.12.2021

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

Издание зарегистрирова-
но в Министерстве РФ по
делам печати, телерадио-
вещания и средств мас-
совых коммуникаций за
номером ПИ № 77-7906
от 27.04.2001 г.
ISSN: 2074-8906
Web-сайт: psrgeo.ru

Уважаемые коллеги!

Представляем вашему вниманию четвертый номер за 2021 год журнала «Приборы и системы разведочной геофизики». Мы решили посвятить его актуальным событиям рынка, давая простор нашим авторам, не ограничивая узкой редакционной тематикой.

Конечно, в одном номере рассказать про все новости, происходящие на геофизическом рынке, невозможно: идет общее оживление, появляются новые проекты, геофизические компании входят в зимний сезон, выходят с новыми разработками производители геофизического оборудования.

Открывает номер интервью с генеральным директором компании Wireless Seismic. Джим Холлинс рассказывает о тенденциях мировой сейсморазведки, оценивает перспективы российского рынка геологоразведки, делится планами компании по развитию технологий. Радует оценка лидера крупной международной компании нашего издания как эффективной маркетинговой площадки для продвижения бизнеса. Эта оценка подтверждается также тем, что в журнале регулярно дается информация о новых разработках таких компаний, как Sercel, SmartSolo, INOVA, Геоспейс, СКБ СП и других производителей геофизического оборудования и сервиса.

Сразу три статьи по широкому спектру геофизических тем – от контроля качества до обработки и интерпретации данных – представили сотрудники компании РН-Эксплорейшн. Вопросы интерпретации данных ГИС освещает статья от МИМГО, расширяя тематику, а, значит, и аудиторию нашего издания.

Многим специалистам наверняка будет интересен рассказ Деткова В. А. с соавторами об истории развития источников «Енисей», а также о перспективах развития технологии использования электроимпульсных источников возбуждения методикой «Умный удар», запатентованной авторами в 2021 году.

Специалисты АО «Башнефтегеофизика» снова в числе авторов журнала. Статья Акуленко А.С. и Гафарова Р. М. о технологии машинного обучения для прогноза глубин заложения сейсмического заряда будет полезна при планировании и проведении полевых сейсморазведочных работ.

О первом проекте, выполненном в России нодальной системой SmartSolo в 2021 году недалеко от г. Набережные Челны на Биклянской площади – в статье специалистов ООО «ТНГ-Групп» и ПАО «Татнефть».

Несмотря на продолжающиеся пандемийные ограничения, в нашу жизнь потихоньку возвра-

щаются живые встречи коллег. Репортаж «По морям – по волнам» – рассказ о практическом семинаре «Геофест», организованном компанией «Геосейс» в сентябре, где прошла, в том числе, презентация новой отечественной нодальной системы «Геотом».

Формат редакционной статьи не предполагает рассказ о каждой публикации номера – предлагаем читателю самому выбрать интересную для себя информацию.

Год 2021, несмотря на ковидные катаклизмы, заканчивается на оптимистичной ноте. Уверен, что в следующем году будет еще больше тем и проектов, о которых специалисты-геофизики захотят рассказать на страницах нашего журнала, который в сентябре этого года вновь подтвердил статус реферируемого ВАК издания. (<https://vak.minobrnauki.gov.ru/> п.1639 в перечне изданий)

Редакция нашего журнала предлагает такую тематику номеров на 2022 год:

- №1 – «Сейсморазведка высокой производительности»
- №2 – «Зеленая сейсмика»
- №3 – «Безопасное производство и цифровизация»
- №4 – «Новости рынка и технологий»

Учитывая растущий интерес к журналу, возможно, будут и дополнительные номера, помимо ежеквартальных выпусков.

А пока – приятного вам прочтения.

И новых идей, и проектов, которыми вы захотите поделиться с аудиторией журнала «Приборы и Системы разведочной геофизики» в наступающем 2022 году!

Главный редактор журнала «Приборы и Системы Разведочной геофизики»,



Слонов
Дмитрий
Николаевич

Тенденции мирового рынка сейсморазведки Development trends of the world market of seismic services

*Интервью с Джимом Холлисом,
Генеральным Директором
Корпорации Wireless Seismic*

*Interview with Jim Hollis,
Chief Executive Officer
of Wireless Seismic, Inc.*



ДС: Уважаемый Джим Холлис, сегодня по понятным причинам, количество очных встреч геофизиков на выставках и конференциях значительно сократилось. Это означает, что меньше возможностей для живого общения, во время которого производители оборудования и специалисты геофизических компаний могут обмениваться информацией. Производителям оборудования важно знать, какие проблемы возникают на рынке услуг, а специалистам по сейсморазведке необходимо получать информацию о новых технологиях и оборудовании, и значимых событиях, происходящих на рынке.

Джим, вы относительно новый человек в Wireless Seismic, расскажите немного о себе?

ДХ: Здравствуйте Дмитрий и привет всем уважаемым читателям. По образованию я геофизик, всю свою карьеру проработал в сейсмической отрасли. У меня была возможность работать во всех областях цепочки сейсмических исследований, включая сбор, обработку и интерпретацию. Сначала я стал заниматься разработкой систем сбора данных, работая для Input / Output, где руководил группой Наземных исследований и, в конечном итоге, в компании ION Geophysical работал в качестве главного

Dmitry Slonov: Dear Jim Hollis, today, for obvious reasons, the number of face-to-face meetings of geophysicists at exhibitions and conferences has decreased significantly. This means that there are fewer opportunities for live communication, during which equipment manufacturers and specialists from geophysical companies can exchange information. It is important for equipment manufacturers to know what challenges are emerging in the service market, and seismic specialists need to get information about new technologies and equipment, and significant events taking place in the market.

Jim, you are relatively new to Wireless Seismic, what is your background for our readers?

JH: Hello Dmitry and hello to all your distinguished readers. I am a geophysicist by training and have worked in the seismic industry my entire career. I have had the opportunity to work in all areas of the seismic value chain including acquisition, processing, and interpretation. I first became involved with developing acquisition systems working for Input/Output where I ran the Land Acquisition group and eventually for ION Geophysical as the Chief Operating Officer. Before joining Wireless Seismic I was exploring applications of Machine Learning to oil and gas exploration

операционного директора. Перед тем, как прийти к Wireless Seismic, я изучал приложения машинного обучения в разведке нефти и газа в стартапе из Кремниевой долины под названием NEOS GeoSolutions. Я присоединился к Wireless Seismic в прошлом году, и мне очень понравилось снова работать в отрасли сбора сейсмических данных, работая с нашими превосходными клиентами и командой Wireless Seismic, и узнавая больше о технологии RT2 и преимуществах, которые они приносят нашим клиентам-сейсморазведчикам.

ДС: Как вы оцениваете объем мирового рынка телеметрических систем сегодня, какие изменения на нем произошли за последнее время и какие изменения ожидаются?

ДХ: По нашим оценкам, сегодня рынок систем сейсморазведки составляет около 400 рабочих партий. Наиболее важной тенденцией, которую мы наблюдаем, является переход к беспроводным технологиям, а также тенденция к более высокой плотности каналов. Сегодня на Ближнем Востоке работают партии, использующие до 150 000 активных каналов. Переход к бескабельным системам имеет много преимуществ, поскольку это снижает общий вес и объем оборудования по сравнению с партиями с кабельной телеметрией, а также уменьшают воздействие на окружающую среду и риски для партии.

Другая важная тенденция, которую следует отметить, - это общее снижение стоимости некоторых из этих нодальных систем за счет снижения функциональности. К сожалению, во многих случаях это влияет на общее качество данных и эффективность работы. Я надеюсь, что рынок расширит использование систем беспроводного сбора данных в сочета-

at a Silicon Valley start-up called NEOS GeoSolutions. I joined Wireless Seismic this time last year and have greatly enjoyed being back in the Seismic Acquisition industry, working with our excellent customers and the Wireless Seismic team, and learning more about the RT2 technology and the benefits that the technology brings to our customers and the seismic industry.

DS: How do you assess the volume of the world telemetry systems market today, what changes have occurred in it recently and what changes are expected?

JH: We estimate that the total seismic acquisition system market today is nearly 400 working crews. The most significant trend we see is the movement to cableless acquisition and the trend towards higher density channel counts on various projects with some Middle Eastern crews using up to 150,000 active channels. Moving to cableless systems has many benefits as they reduce the overall equipment weight and volume when compared to cabled crews, as well as the environmental footprint and hazard to the crew.

The other major trend to note is an overall reduction of cost of some of these nodal systems through reduced functionality. This unfortunately impacts overall data quality and operational efficiency in many cases. I hope to see the market increase the use of cableless acquisition systems coupled with more quality control functionality that reduces the overall cost (capital and operational) and ensures higher quality data. Often reshooting data of low quality is



Теперь можно выполнять проекты в реальном времени там, где раньше работать было невозможно.

Now you can perform projects in real time where it was previously impossible to work.

нии с расширенными функциями контроля качества, что снижает общие затраты (капитальные и эксплуатационные) и обеспечивает более высокое качество данных. Часто повторная съемка данных низкого качества невозможна из-за экологических или геополитических ограничений.

ДС: В каких регионах вы ожидаете роста проектов сейсморазведки, а где активность снижается?

ДХ: Рост количества проектов по сейсморазведке - ведущий индикатор роста всех нефтесервисных услуг, который мы, к счастью, наблюдаем сейчас. По мере того, как цена на нефть растет, коррелируясь со спросом на энергию, в нашей все более постпандемической экономике, мы начинаем видеть увеличение количества проектов. Мы также видим, что некоторые районы становятся менее доступны для разведки нефти и газа из-за растущего геополитического

not even an option due to environmental or geopolitical constraints.

DS: In which regions do you expect the growth of seismic exploration projects, and where is the activity of prospectors declining?

ДХ: The growth of seismic exploration projects is a leading indicator of the growth of all Oil Field Services - which we are thankfully seeing now. With the price of oil ascending correlating with the demand of energy in our increasingly post-pandemic economy we are starting to see more and more projects. We are also seeing certain areas less accessible to oil and gas exploration due to the increasing geopolitical pressure associated with climate change.

давления, связанного с изменением климата. С учетом сказанного, геотермальная энергия требует такого же изучения недр, как разведка нефти и газа, и также потребует активных и пассивных сейсмических съемок с высоким разрешением, по мере развития технологий добычи энергии.

ДС: Как вы оцениваете перспективы российского рынка геофизических услуг?

ДХ: Российский рынок, наряду с некоторыми другими мировыми регионами, такими как Северная Африка один из самых активных на протяжении последних лет. Да, несомненно, и пандемия и экономическая ситуация негативно сказались на объемах работ. Но если сравнивать с североамериканским рынком или даже Ближним Востоком на мой взгляд ситуация выглядит гораздо лучше.

Отдельно хочу отметить, что даже в самый тяжелый период интерес к RT2 не ослабевал. Я вижу в этом три основные причины.

Первая - именно в кризисное время экономика выходит на первый план. Новая технология позволяет добиться существенной экономии во время выполнения работ.

Вторая заключается в том, что сейчас идет постепенное замещение устаревших технологий. То есть Сервисная Компания стоит перед выбором: обновить старое оборудование на новое, но с устаревшей технологией или сразу сделать два шага вперед и приобрести самую современную технологию.

Третья причина заключается в том, что соотношение цен на наше оборудование и оборудование кабельных или слепых систем кардинально изменилось. Да, на старте продаж RT2 цена канала была высокой, но благодаря успешным продажам, а также нашим усилиям мы добились почти нивелированной ценовой разницы.

With that said, Geothermal requires similar subsurface characterization as oil and gas exploration and will require high resolution active and passive seismic acquisition to better delineate as the energy extraction technologies evolve.

DS: How do you assess the prospects for the Russian geophysical services market?

JH: The Russian market, along with some other world regions such as North Africa, is one of the most active in recent years. Yes, of course, both the pandemic and the economic situation negatively affected the volume of work. But when compared with the North American market or even the Middle East, in my opinion, the situation looks much better.

I would also like to note that even during the most difficult period, interest in the RT2 did not wane. I see three main reasons for this.

The first is that it is in times of crisis that the economy comes to the fore. The new technology allows for significant savings during work execution.

The second is that outdated technologies are being gradually replaced. That is, the Service Company is faced with a choice - to upgrade old equipment to new, but with outdated technology, or immediately take two steps forward and purchase the most modern technology.

The third reason is that the ratio of prices for our equipment and equipment for cable or blind systems has changed dramatically. Yes, at the start of RT2 sales, the channel price was high, but due to successful sales, as well as our efforts, we achieved a price difference that has been almost leveled.

ДС: Тенденция к увеличению количества каналов привела к созданию нодального модуля менее чем за 100 долларов. В какой степени вы готовы принять участие в этой гонке за снижение стоимости сейсмического канала во имя увеличения плотности съемки?

ДХ: Я считаю, что ценность систем с высокой плотностью наблюдений и низкой стоимостью / низкой функциональностью зависит от географических и геологических факторов. Высокая кратность и возможность суммирования больших объемов данных всегда были отличным способом улучшить качество изображения за счет уменьшения случайного шума. Проблема в том, что во многих регионах случайный шум не является приоритетной составляющей качества получаемых данных, а обратная связь в реальном времени, показывающая неслучайный шум, такой как ближайшие источники звуковых волн (ветер, дождь, техника и т.п.), аномалии ЗМС и проблемы установки сейсмоприемников, становятся основополагающими в качестве получаемых данных. Как обычно, ответ будет где-то посередине: в одних областях используются системы с высокой плотностью и низкой функциональностью, а в других – бескабельные телеметрические системы в реальном времени.

ДС: Какие новые технологии могут появиться в ближайшие 10 лет и к чему должны готовиться сейсморазведчики?

ДХ: Как обсуждалось выше, я думаю, что специалистам в сейсморазведке потребуется набор инструментов сейсмической съемки, чтобы они могли оптимизировать качество и затраты наилучшим образом в зависимости от требований съемки. Я считаю, что тенденция к исключению кабелей из систе-

DS: The trend towards increased channeling has led to the creation of a nodal module for less than \$ 100. To what extent are you willing to take part in this race to reduce the cost of the seismic channel in the name of increasing the density of the survey?

JH: I believe that the value of high-density acquisition and low cost/low functionality system is geographically and geologically dependent. High fold and the power of stacking large volumes of data has always been a great way to improve image quality by reducing random noise. The problem is that in many areas random noise is not the dominant image quality issue and real-time operational feedback of non-random noise sources, such as nearby acoustic sources (wind, rain, motors, etc.), near-surface velocity anomalies and geophone coupling become more important to data quality. As usual – the answer will lie somewhere in the middle with high-density/low functionality systems being used in some areas and real-time nodal telemetry systems in others.

DS: What new technologies may appear in the next 10 years and what should seismic prospectors prepare for?

JH: As discussed above, I think that seismic acquisition specialists will require a toolbox of seismic acquisition technology so they can optimize quality and cost in the best manner depending on the requirements of the survey. I believe that the trend to eliminate cables from the acquisition system will continue as it benefits cost,



Тысячи каналов на партию – сегодня это совсем немного.

Thousands channels per crew - today it's quite a bit.

мы сбора данных сохранится, поскольку это способствует снижению затрат, безопасности и снижению воздействия на окружающую среду.

Я также вижу, что сбор, обработка и интерпретация данных в реальном времени станут более вероятными благодаря использованию облачных алгоритмов и алгоритмов машинного обучения. Мы уже видим, что это применяется на рынке бурения и интенсификации притока, где данные в реальном времени используются для принятия решений в полевых условиях, чтобы лучше оптимизировать бурение и гидро-разрыв пласта.

Таким же образом можно оптимизировать сейсмический сбор данных в полевых условиях для лучшего изображения целей и уменьшения неслучайных источников шума, что позволяет изыскателям лучше принимать решение, ищут ли они нефть и газ или горячую воду, используемую при производстве геотермальной энергии.

ДС: Каким Вы видите будущее RT2 на российском рынке?

ДХ: На сегодняшний день в Россию поставлено около 30 тысяч каналов. Можно по разному оценивать эту цифру. В сравнении с количеством кабельных каналов это пока немного. А вот если взять только бескабельный рынок, то это

safety and reduces environmental impact.

I also see that real-time data acquisition, processing and interpretation will become more and more likely by leveraging the cloud and machine-learning algorithms. We are already seeing this being adopted in drilling and stimulation market where real-time data is being leveraged to make decisions in the field to better optimize drilling and hydraulic fracturing.

In the same way seismic acquisition can be optimized in the field to better image targets and reduce non-random noise sources yielding better decision by the prospectors, whether they are looking for oil and gas or hot water utilized in geothermal power production.

DS: How do you see the future of RT2 in the Russian market?

JH: To date, about 30 thousand channels have been delivered to Russia. You can evaluate this figure in different ways. In comparison with the number of cable channels, this is not much. But if we take only the cable-free market, then this is

около 90% от общего количества бескабельных систем.

Я не сомневаюсь в успехе RT2 и тот интерес, который показывают наши Заказчики это подтверждает. В России очень разнообразная природа и работы ведутся почти во всех климатических зонах. Особенно надо отметить работы по технологии Зеленой Сейсмики, где RT2 уже несколько лет показывает свою эффективность.

Наша Компания открыта для сотрудничества, в том числе по кооперации разработки и локализации производства, что будет выгодно для обеих сторон.

Можно надеяться, что наша индустрия увидит фазу отложенного спроса, это вопрос времени.

Прогноз цен на нефть это только доказывает. Скорее всего это будет середина 2022 или начало 2023 года.

ДС: Джим, спасибо за Ваше интервью, уверен, что оно будет очень интересно нашим геофизикам. Мы желаем вам успеха и будем ждать новых публикаций о ваших уникальных проектах.

ДХ: Спасибо, Дмитрий, за прекрасные вопросы, и спасибо вашим читателям за проявленный интерес!

about 90% of the total number of channels.

I have no doubts about the success of RT2 and the interest shown by our customers confirms this. In Russia, a very diverse nature and work is carried out in almost all climatic zones. Especially it should be noted the work on the Green Seismic technology, where RT2 has been showing its effectiveness for several years.

Our Company is open for cooperation, including cooperation in the development and localization of manufacturing, which will be beneficial for both parties.

It is hoped that our industry will see a phase of deferred demand, it's a matter of time.

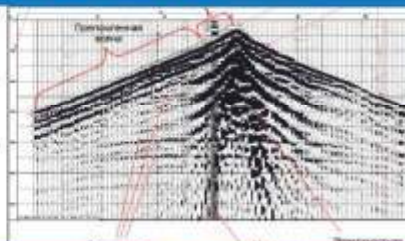
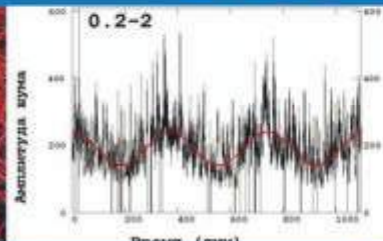
The forecast for oil prices only proves this. Most likely it will be mid-2022 or early 2023.

DS: Jim, thank you for your interview, I am sure that it will be very interesting to our geophysicists. We wish you success and look forward to new publications about your unique projects.

JH: Thank you, Dmitry, for your great questions and thank you to your readers for their interest!

КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

СЛЕПЫЕ СИСТЕМЫ



ВЫХОД ЕСТЬ! wireless SEISMIC



НАДОЕЛИ КУЧИ
КАБЕЛЕЙ?
СПЛОЖНОСТИ РАЗМОТКИ?
ДОЛГАЯ НАЛАДКА?

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
БЕСКАБЕЛЬНАЯ
РЕГИСТРИРУЮЩАЯ
СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО
ВРЕМЕНИ RT2

ШУМНО ИЛИ НЕТ?
КАК ТАМ С
КАЧЕСТВОМ?
ТЕСТЫ В ДОПУСКЕ?



Беспроводные технологии передачи данных

Любые расстояния между приёмными
пунктами



Мониторинг ГРП

Непрерывная регистрация микросейсма в
реальном времени
Гарантия сохранности данных



Технологии Зелёной Сейсмики

Возможность полностью обойтись без рубки
сейсмических профилей



wireless SEISMIC

www.wirelesseismic.com

Москва, Проспект Мира, 106

Тел. +7 926 262 6071

ВРЕМЯ ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ – РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Перспективные возможности ООО «ТНГ-Групп» с новым бескабельным оборудованием

- Будяк А.В., Шаймарданов А.Р., ООО «ТНГ-Групп», г. Бугульма
- Бачков А.П., ПАО «Татнефть», г. Альметьевск

О первом проекте, выполненном оборудованием SmartSolo (DTCC) в России.

Сегодня сейсморазведка уходит все дальше от обжитых краев – в тундру, тайгу, забирается на Крайний Север и в горы. Однако, и в районах, где геологоразведка идет уже более полувека, уже открыто много месторождений, остаются вопросы, ответить на которые помогает современная сейсмика. Но над известными объектами, требующими доизучения, выросли промыслы, появилась развитая инфраструктура. Выполнять сейсморазведку в таких условиях очень сложно. Но сегодняшние технологии позволяют работать и здесь. В статье рассказывается о совместном проекте ТНГ-Групп и ПАО «Татнефть», выполненным в 2021 году на Биклянской площади в районе аэропорта г. Набережные Челны – первом опыте применения системы SmartSolo в России в производственном режиме.

Современные бескабельные системы – возможности и ограничения.

Современные бескабельные телеметрические системы можно разделить на три основные группы:

- возможность работы в режиме реального времени;
- позволяющие вести контроль статусов на расстоянии;
- полностью слепые системы, чья работоспособность проверяется только при обслуживании блоков на базе партии.

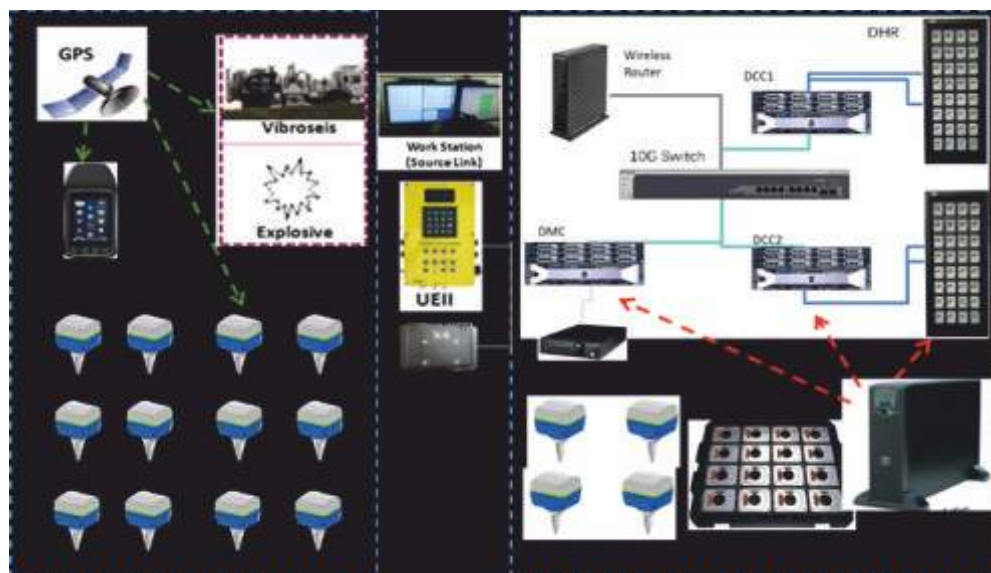
Третья группа - самая распространенная. Здесь стоимость канала наименьшая, относительно иных типов нодов.

«Слепые» системы просты в обслуживании, надежны в работе и устойчивы к механическому воздействию.

Одним из ярких представителей подобных систем является модуль IGU-16 SmartSolo, производства компании DTCC.

Система SmartSolo - это нодальная система, используемая для наземной сейсморазведки, разработана в 2016 году компанией DTCC. Сегодня в мире работает уже более 300 000 таких каналов. Система SmartSolo состоит из узла сбора полевых данных и системы загрузки данных в закрытом помещении. Принцип работы нодального модуля приведен на Рис.1.

► Рис. 1.
Структурная
схема системы
SmartSolo.

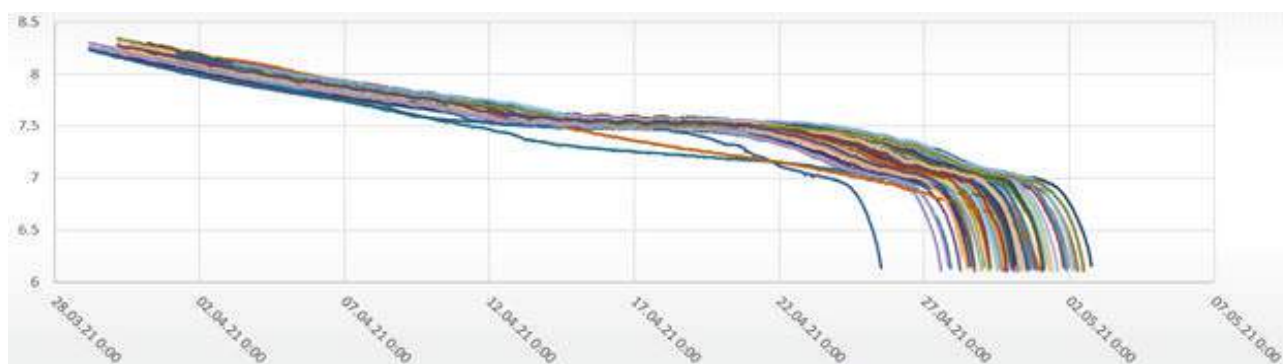




▲ Рис. 2. Подготовка опытного профиля, Оренбургская область. Шаг ПП 3,25 м.



▲ Рис. 3. Расстановка патчевой системы пассивной наблюдения (10x10 м) на базе партии ТНГ-Групп.



▲ Рис. 3а. Тест на разряд батареи до полной разрядки на 100 модулей патчевой системы.

Тестирование работоспособности оборудования

Компания ТНГ-групп, предвзято практическое применение нового для себя типа оборудования, провела серьезное опробование блоков SmartSolo в различных условиях, в том числе, в

сопоставлении с иными телеметрическими системами. В настоящей статье нет задачи сравнения между собой различных систем, поскольку все они показали свою надежность и работоспособность. Отметим, что SmartSolo тестировалось тщательнее и дольше прочих.

▼ Рис. 4. Тест на идентичность.

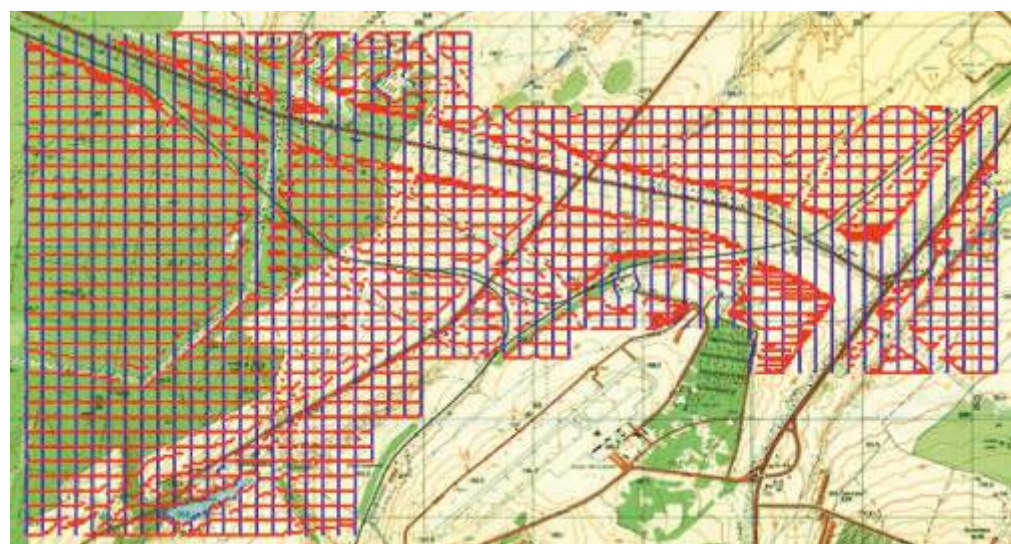


Особенности съемки в условиях развитой инфраструктуры

- Рис. 5.
Инфра-
структура
площади
работ.



- Рис. 6.
Схема
отработки
площади.



- ▼ Рис. 7. Система наблюдения SmartSolo у
Аэропорта г. Бёгишево имени Н. В. Лемаева.



На небольшой площади работ – всего 30 квадратных километров проходят три федеральные автотрассы с развязками, две железнодорожные ветки. Площадь выходит в лесной массив и граничит с крупным аэропортом г. Набережные Челны. Уровень техногенных помех очень высок. Приемные линии пересекают различные дороги в пределах площади исследования сотни раз.

Использование бескабельной системы полностью исключило проблему преодоления препятствий. Размещение пунктов приема реализовано в строгом соответствии с проектной регулярной

системой наблюдения. И это без постройки и согласования арок, поиска возможности «протащить» кабели через редкие проходы под дорожным полотном.

Расстановка системы регистрации осуществлялось в несколько раз быстрее, чем если бы была использована кабельная система. Нодальные модули, подтвердившие свою надежность, не требовали обслуживания в процессе ежедневной регистрации. Для расстановки 200-300 каналов ежедневно требовалась бригада в 4 человека и 2-3 часа рабочего времени.

Однако, отсутствие возможности удаленного контроля работоспособности приборов, требовало постоянного визуального контроля. Сейсморабочие после установки приборов проходили по расстановке, проверяя наличие и индикацию приборов. Таким образом было выявлено несколько случаев выкапывания приборов кабанами в лесу. Постоянный контроль позволил своевременно восстановить нарушенные каналы, но потребовал дополнительных трудозатрат.

Также было зафиксировано и вовремя предотвращено несколько попыток краж узлов местным населением.

Учитывая высокий уровень техногенных шумов было использовано кабельное оборудование, размещенное линейно с пересечением приемных линий 3D. Оператор вел постоянный контроль шумов, давая команду для регистрации, когда уровень шумов был минимален.

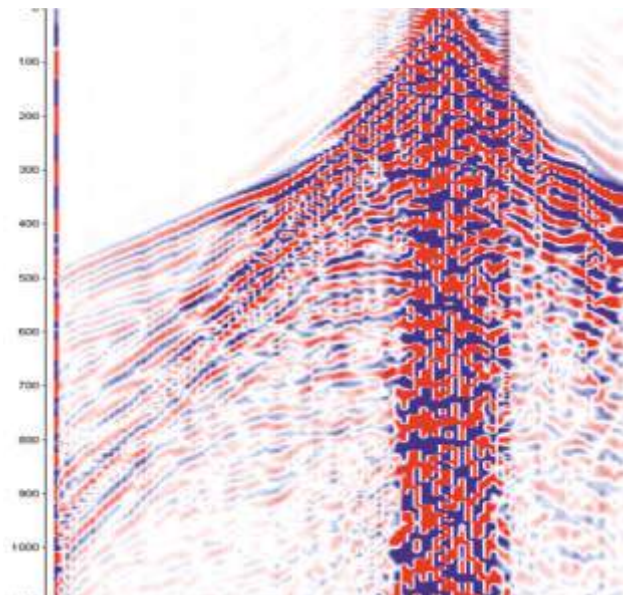
Оценка информативности материалов

В данный момент ведется обработка данных. На рис. 9, 10 представлены фрагменты исходной сейсмограммы и



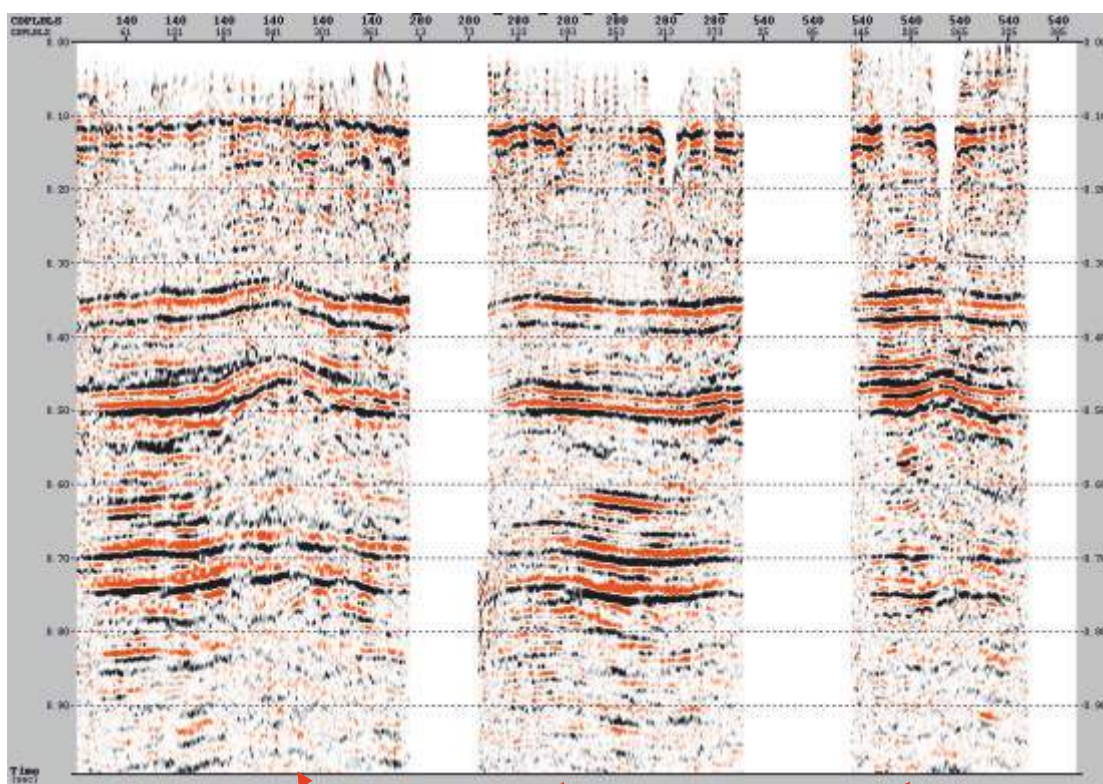
▲ Рис. 8. Предотвращенная попытка кражи полевых блоков SmartSolo.

результаты экспресс-суммирования. Окончательные выводы делать преждевременно, но материал получен качественный, информативный, позволяющий решить геологическую задачу съемки.



◀ Рис. 9. Фрагмент исходной сейсмограммы.

▼ Рис. 10. Результаты экспресс-суммирования разрезов, полученным SmartSolo.



Перспективы развития технологии с использованием нодальных «слепых» систем

У «слепых» нодальных систем есть будущее. Их ценность в простоте, надежности и дешевизне. К сожалению, подход «чем больше, тем лучше», когда вместо одного прибора предлагается поставить 2-3, повышая плотность полевой системы наблюдения работает далеко не всегда. Как далеко не всегда можно лабораторно компенсировать низкое соотношение сигнал/помеха в шумных сейсмограммах.

Использование «слепых» нодальных технологий эффективно в комбинации с традиционными кабельными системами, позволяющими контролировать микросейсмический фон на профиле. Соотношение кабельных и бескабельных каналов в такой гибридной расстановке зависит от задач, которые ставятся перед нодальными модулями, и уровню контроля, требуемому для получения кондиционных материалов.

Наиболее эффективны нодальные системы будут, прежде всего, при создании плотных и сверхплотных систем наблюдения, когда между кабельными каналами или линиям кабельных каналов устанавливается большое количество «слепых» телеметрических блоков, легких в расстановке и надежных в эксплуатации.

Таких, как система SmartSolo.

Литература.

1. Будяк А. В., Мустафин И. Р., Расширя возможности - о задаче внедрения бескабельных систем в производственные работы ТНГ-Групп, «Приборы и Системы разведочной геофизики», №2, 2021.
2. Lei Zou, Методы QC нодальных сейсморазведочных систем SmartSolo,

«Приборы и Системы разведочной геофизики», №3, 2020;

3. Шнеерсон М. Б., Современные полевые технологии наземной сейсморазведки, «Геофизика», 2019 г., DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10032

4. Инновационные технологии сейсморазведки для возрождения старых нефтедобывающих районов России, Neftegaz.ru, №4 (100) 2020

Подробнее об авторах



Будяк
Антон Валерьевич

Главный геофизик
дирекции разведочных
работ ООО «ТНГ-Групп»



Шаймарданов
Андрей Ринатович

технический
руководитель
сейсморазведки
ООО «ТНГ-Групп»



Бачков
Альберт Петрович

начальник управления
по геологии нефтяных
и газовых
месторождений
ПАО «Татнефть»

Первый опыт применения технологий машинного обучения для прогноза глубин заложения сейсмического заряда при планировании и проведении полевых сейсморазведочных работ

- Акуленко А.С., ООО НПЦ «Геостра» (АО «Башнефтегеофизика»), г. Уфа
- Гафаров Р.М., АО «Башнефтегеофизика», г. Уфа

В статье представлены результаты исследований в направлении применения технологий машинного обучения и «глубокого обучения» для прогноза параметров возбуждения упругих колебаний (глубин заложения заряда). Рассмотрены ключевые аспекты, связанные с выбором наиболее перспективного алгоритма, подходы к формированию обучающей выборки. На основе производственных данных подтверждена принципиальная возможность решения задачи прогноза параметров данного типа, определены перспективные направления дальнейшего развития методологии работ.

Введение

На сегодняшний день, процессы цифровизации и автоматизации являются ключевыми драйверами повышения экономической эффективности во многих наукоёмких отраслях. Технологии машинного обучения, представляют собой один из наиболее перспективных инструментов реализации данных процессов и активно внедряются в производственные циклы, что во многом обусловлено сформированным на текущий момент колоссальным объёмом разноплановой статистической информации, на основании которой, программные алгоритмы могут устанавливать сложные зависимости одних параметров от других, учитывая множество факторов и аспектов. На основе данных зависимостей, алгоритмы способны принимать определенные решения, например, открытие турникета на проходной, только в случае если программа распознала, что человек находится в защитной одежде или создавать прогностические данные, например прогноз распространения эпидемии в различных странах.

Алгоритмы машинного обучения активно внедряются и в технологические процессы камеральных сейсморазведоч-

ных работ, прежде всего в направлениях синтеза данных ГИС, кинематической и динамической интерпретации. Внедрение технологий машинного обучения в процесс полевых сейсморазведочных работ также имеет значительный потенциал, например для автоматического проектирования смещений физических наблюдений на основе космоснимков или прогноза оптимальных параметров возбуждения упругих колебаний.

Цели и задачи

В связи с тем, что работы по применению технологий машинного обучения, включая «глубокое обучение» для прогноза оптимальных параметров возбуждения упругих колебаний, ранее в компании АО «Башнефтегеофизика» не проводились, и в открытых источниках информация о результатах проведения подобных исследований отсутствовала, основной целью выполненных работ являлось получение подтверждения принципиальной возможности решения задачи в отношении прогноза глубин заложения сейсмического заряда, а также определение ограничений и перспективных путей развития данного направления.

Для достижения указанных целей, посредством проведения серий экспериментов, решены следующие ключевые задачи:

- Определение наиболее перспективного алгоритма машинного обучения;
- Ранжирование параметров, потенциально перспективных для использования в обучающей выборке;
- Определение базовых принципов формирования пространственных зон обучающей выборки.

Исходные данные

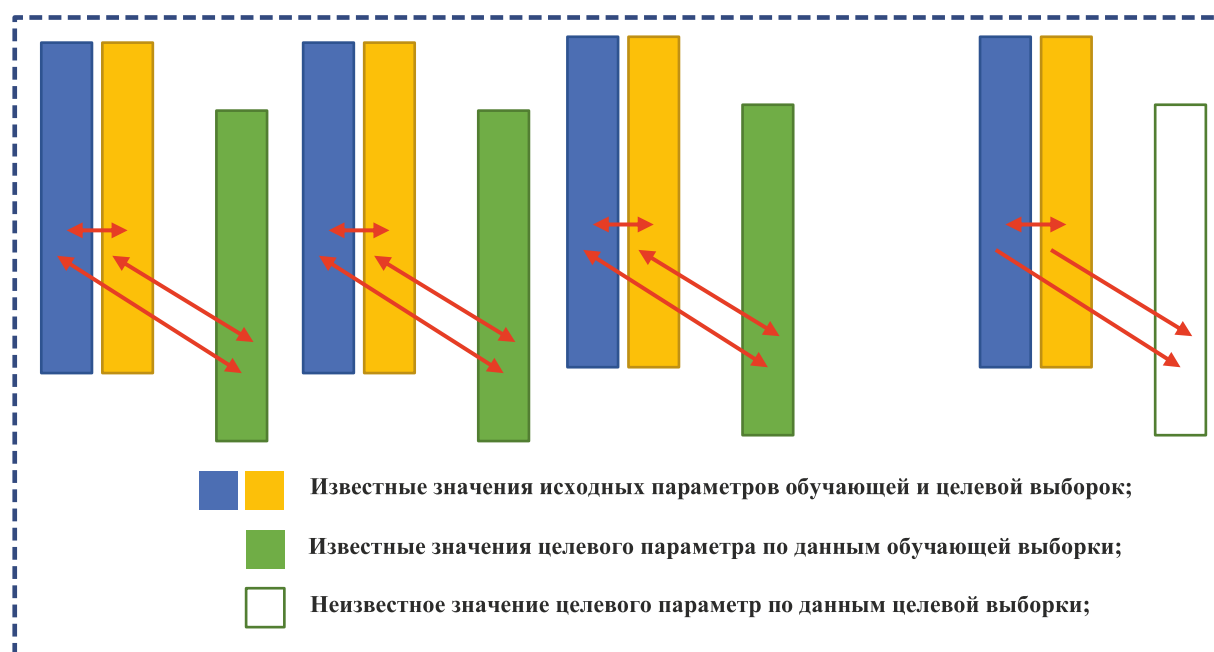
При выполнении работ использован комплекс технологических, динамических и сопутствующих параметров физических наблюдений, отработанных в производственном режиме. Дополнительно привлечена информация о категориях лесных массивов. Указанные данные, на регулярной основе, систематизируются и накапливаются специалистами Департамента разведочной геофизики при выполнении каждого проекта полевых сейсморазведочных работ после внедрения в компании АО «Башнефтегеофизика» системы контроля

качества и мониторинга в 2017 г. [1,2].

При выполнении исследований, в качестве «оптимальных», приняты такие значения глубин заложения заряда, при которых для физических наблюдений обеспечивается величина параметра «доминантная частота» не менее 15HZ и, одновременно, величина «соотношение сигнал/микросейсмы» не менее 10. Значения пороговых критериев определены в соответствии с типовым регламентом приёмки полевых физических наблюдений при выполнении производственных работ.

В процессе выбора априорных параметров, потенциально перспективных для использования при построения прогностических моделей (зависимостей) с помощью алгоритмов машинного обучения, принята во внимание концепция идентичности набора известных параметров (Рис.1), согласно которой известные параметры, которые используются при построении модели, должны быть определены как в массиве обучающей выборки, так и для зон, где целевой параметр необходимо спрогнозировать. При нарушении данного принципа, в

▼ Рис. 1. Схематичное изображение концепции идентичности набора известных параметров.



№П/п	Параметр	Возможность получения параметра до начала регистрации данных
1	Глубина бурения скважин (глубина заложения заряда)	ЦЕЛЕВОЙ ПАРАМЕТР
2	Альтитуда	ДА
3	Соотношение сигнал/микросейсмы	НЕТ
4	Доминантная частота	НЕТ
5	Амплитуда сигнала	НЕТ
6	Амплитуда микросейсм	НЕТ
7	Вертикальное время	НЕТ
8	Вес заряда	НЕТ
9	Приведённая альтитуда	ДА
10	Структурный параметр угла наклона карты альтитуд	ДА
11	Структурный параметр азимута карты альтитуд	ДА
12	Структурный параметр кривизны карты альтитуд	ДА
13	Структурный параметр «шероховатости» карты альтитуд	ДА
14	Литологический состав пород ВЧР (индексация 1-5)	НЕТ
15	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Глина»	НЕТ
16	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Песок»	НЕТ
17	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Плывун»	НЕТ
18	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Суглинок»	НЕТ
19	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Торф»	НЕТ
20	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес1к»	ДА
21	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес2к»	ДА
22	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес3к»	ДА
23	Категории лесов. Бинарный индекс «Болото»	ДА

▲ Табл. 1. Априорный перечень исходных параметров.

областях отсутствия известных параметров, прогноз будет невозможен или некорректен, в зависимости от используемого алгоритма машинного обучения.

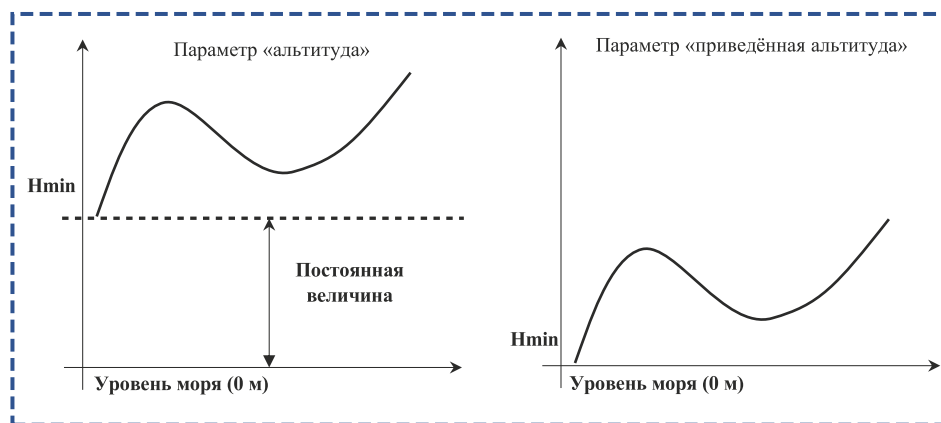
После соответствующей подготовки, включающей редакцию локальных выбросов значений и удаление точек, не удовлетворяющих критериям «оптимальности», для последующих работ были подготовлены двадцать три параметра, перечень которых представлен в Таблице 1, по шести пространственным участкам.

Параметры «литологический состав пород ВЧР» и «категории лесов» рассчи-

таны в бинарном виде, где значение «0» является признаком отсутствия данных конкретного типа, а «1» признаком наличия данных в той или иной пространственной точке.

Параметр «приведённая альтитуда» представляет собой параметр «альтитуда», значения которого изменены посредством вычитания постоянной величины, равной расстоянию от уровня моря до минимального значения параметра (Рис. 2).

С целью определения степени сходимости (наличия устойчивых зависимостей) между целевым параметром «глуби-



▲ Рис. 2. Концепция пересчёта параметра «альтитуда» в параметр «приведённая альтитуда».

на бурения скважин» (глубина заложения сейсмического заряда) и исходными параметрами, рассчитаны соответствующие кросс-плоты как по данным каждого пространственного участка, так и по данным, объединённым в рамках единой пространственной зоны. Анализ зависимостей по данным каждого участка необходим для установления наличия зависимостей параметров на локальном уровне, а анализ по данным после объединения важен для оценки, являются ли зависимости унаследованными, то есть характерными для всех пространственных участков одновременно.

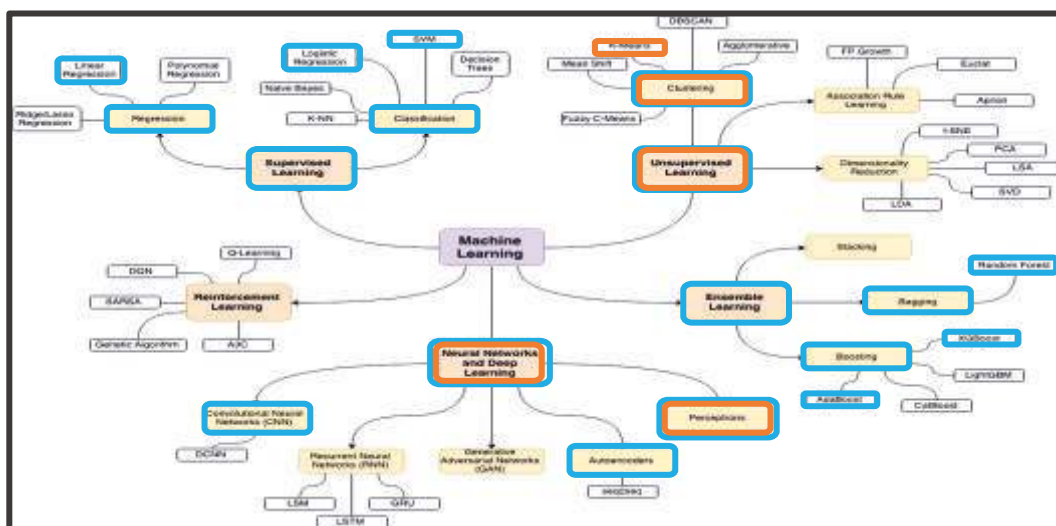
Анализ значений коэффициентов и облик кросс-плотов показал отсутствие устойчивых и унаследованных зависимостей по всем рассматриваемым параметрам. Данный эффект, в целом, являл-

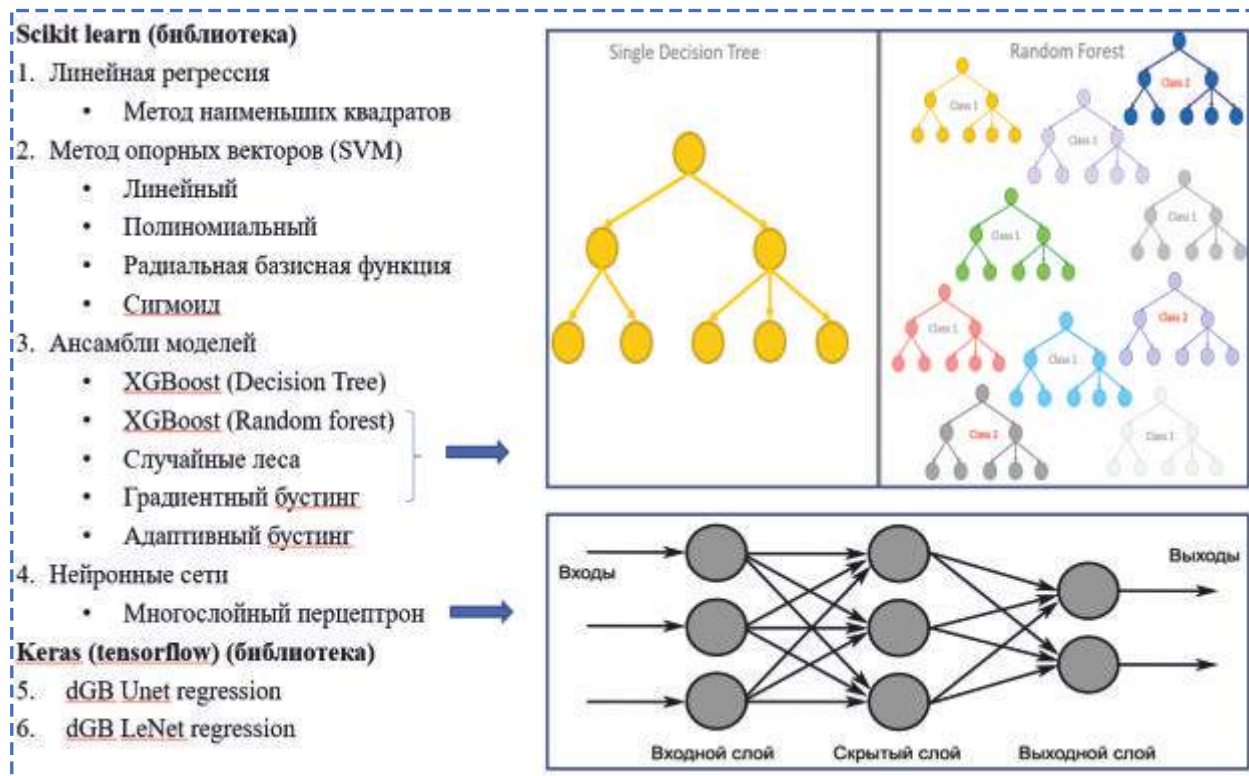
ся ожидаемым, т.к. определение необходимого и достаточного значения глубины заложения заряда в процессе производственных работ определяется на основе комплекса критериев, но в то же время отсутствие стабильных априорных зависимостей значительно усложняет вопрос выбора исходных параметров для формирования обучающей выборки и анализ получаемых результатов.

Определение наиболее перспективного алгоритма машинного обучения

В настоящее время, количество разработанных алгоритмов машинного обучения исчисляется десятками (Рис.3). Математический базис данных алгоритмов, во многих случаях, находится в свободном доступе, так как сами по себе алгоритмы представляют гораздо мень-

▼ Рис. 3. Пример классификации алгоритмов машинного обучения.





▲ Рис. 4. Перечень тестируемых алгоритмов машинного обучения.

шую ценность, чем модели, созданные на их основе и позволяющие решать ту или иную задачу с требуемой точностью.

Большинство алгоритмов машинного обучения, априорно не имеет специализации в отношении решения той или иной задачи, поэтому процесс их тестирования представляет собой неотъемлемую часть выполнения работ при решении задач, отраслевой опыт реализации которых не значителен или отсутствует.

В рамках выполненных исследований, априорный перечень алгоритмов был определен по критерию оперативной доступности и являлся достаточно представительным (Рис. 4), так как включал в себя не только классические алгоритмы машинного обучения, но и «глубокого обучения» (Deep Learning).

Исходя из принципов работы алгоритмов, ожидалось получение наиболее эффективных решений при построении моделей с помощью классов «Ансамбли моделей» (Ensemble models) и «Нейронные сети» (Neural Network), но для того,

чтобы осуществить объективный выбор, тестирование выполнено для полного перечня алгоритмов.

В рамках серии экспериментов, проводимых для решения задачи выбора наиболее перспективного алгоритма, использовались различные наборы параметров обучающей выборки. Данный подход позволил имитировать различные сценарии работы и оценить степень устойчивости алгоритмов к таким ситуациям как: наличие в обучающей выборке параметров «параллельного переноса», то есть параметров, значения которых крайне схожи на участке прогноза и участках, выбранных для обучения, но при этом значения целевого параметра, которые им соответствуют, являются различными; наличие в обучающей выборке «противоречивых данных», то есть наличие большого количества параметров взаимная сходимость значений которых крайне низкая и т.д.

По итогам реализации более тридцати разноплановых экспериментов, в качес-

тве наиболее перспективного, определённого алгоритм «Random forest». Данный алгоритм характеризуется наиболее стабильными результатами реализации при наличии в обучающей выборке данных «параллельного переноса», высокой устойчивостью к наличию «противоречивых данных», отсутствием аномальных локальных значений после реализации рассчитанной модели.

Важно отметить, что результаты, полученные с помощью алгоритма «Многослойный перцептрон» (Multi-Layer Perceptron), который рассматривался перед выполнением тестирования как один из наиболее перспективных, оказались в значительной степени нестационарными, то есть зависимы от внутренней тестовой выборки, которую использует любой алгоритм для валидации модели и принятия решения о прекращении обучения. Данная выборка случайным образом формируется из общей обучающей выборки (15-20% от общего объёма точек), предоставляемой алгоритму для обучения, и является разной при каждом запуске. Таким образом, при условии запуска одного и того же алгоритма с одними и теми же параметрами

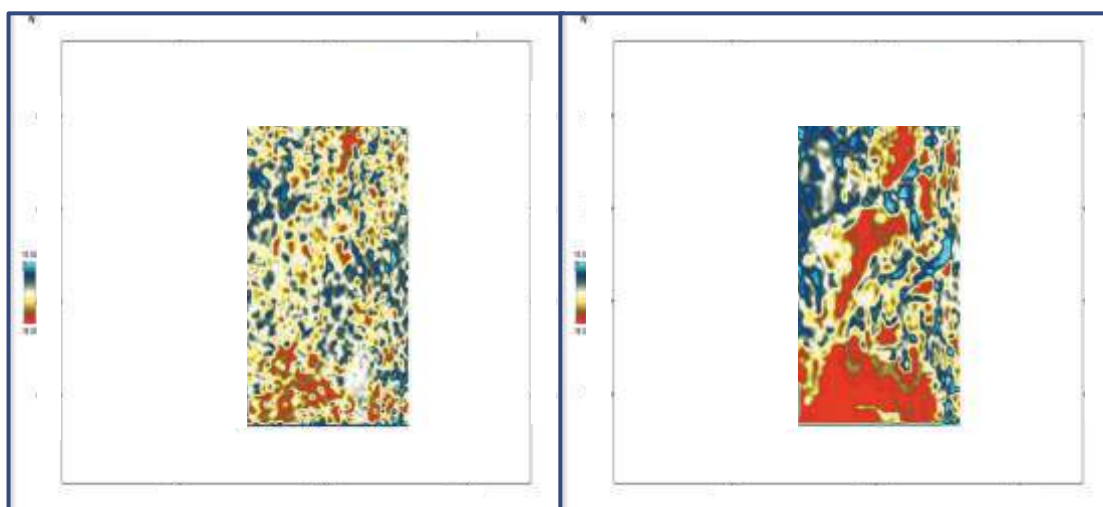
и массивом данных для обучения, результирующая модель и, как следствие, результаты прогноза целевого параметра, будут отличаться.

В процессе тестирования установлено, что для алгоритмов «глубокого обучения» различие результатов реализации моделей не является значимым и составляет не более 2%, тогда как для алгоритма «Многослойный перцептрон» расхождение результатов, полученных при прочих равных условиях, составило от 1% до 20%. Таким образом, несмотря на априорную перспективность, дальнейшее применение алгоритма «Многослойный перцептрон» класса «Нейронные сети» для решения текущей задачи было признано нецелесообразным.

Дополнительно, в процессе выполнения тестирования алгоритмов, был проведен анализ целесообразности сглаживания параметров перед их использованием в обучающей выборке.

Эксперименты показали, что пространственное сглаживание, даже на небольших базах, позволяет значительно снизить осцилляцию результатов прогноза (Рис.5). По данной причине при выполнении дальнейших экспериментов, апри-

▼ Рис. 5. Пример результатов реализации алгоритма «Random forest» с параметрами обучающей выборки без предварительного сглаживания (слева) и после предварительного сглаживания (справа).



орные параметры были сглажены, за исключением значений целевого параметра и параметров, представленных в бинарном виде.

Ранжирование параметров, потенциально перспективных для использования в обучающей выборке

Принимая во внимание опыт, полученный в рамках экспериментов предшествующего этапа, а также учитывая физический смысл параметров, было проведено их ранжирование (Таблица 2) по критерию перспективности использования в обучающей выборке.

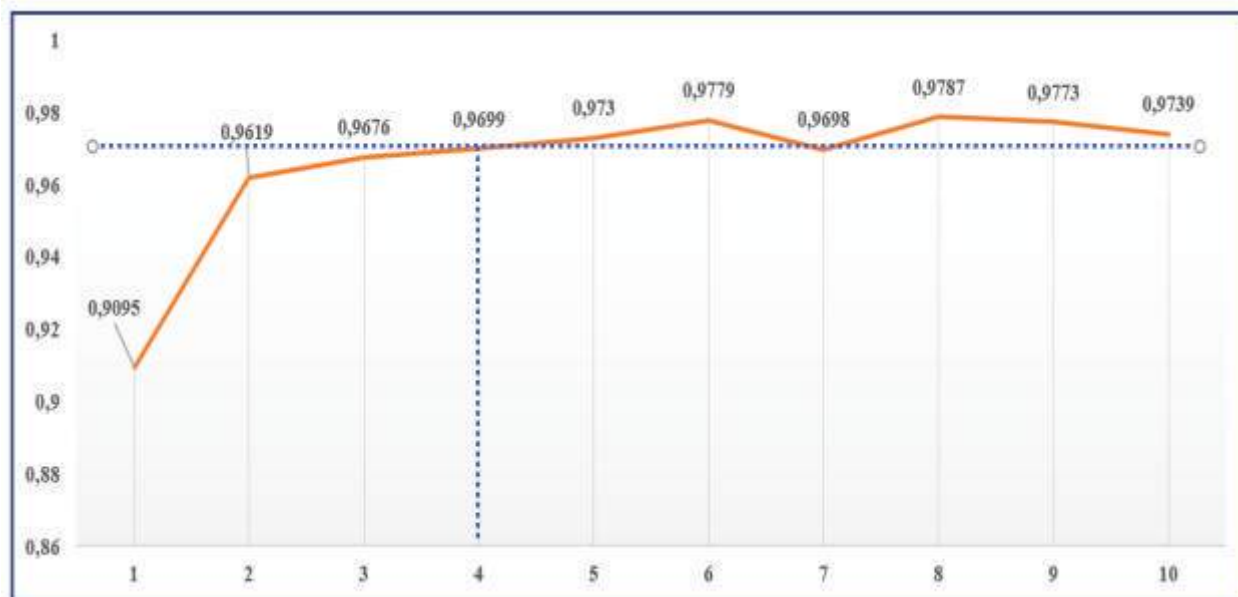
Наибольший приоритет отдан параметрам, которые в той или иной степени описывают литологические и упругие

свойства ВЧР. Исключение составляет параметр «приведённая альтитуда» и группа структурных параметров (геометрические свойства поверхности альтитуд). Данные параметры, как и группа параметров «категория лесов», так же включены в ранжированный перечень, так как они могут быть получены до начала регистрации производственных данных. Некоторые параметры, по различным причинам, были исключены из перечня, например:

- Использование в дальнейших экспериментах параметра «альтитуда» признано нецелесообразным, так как значения имеют постоянную составляющую в виде расстояния от уровня моря до минимального значения параметра.

▼ Табл. 2. Перечень исходных параметров, ранжированных по критерию перспективности использования в обучающей выборке.

№П/п	Параметр	Ранг
1	Доминантная частота	I Параметры являются критериями оптимальности при выборе значений упругих колебаний в процессе производственных работ и косвенно описывают упругие свойства верхней части разреза
2	Амплитуда сигнала	
3	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Глина»	II Параметры напрямую или косвенно описывают литологические свойства верхней части разреза
4	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Песок»	
5	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Плывун»	
6	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Суглинок»	
7	Литологический состав пород ВЧР. Бинарный индекс: «Торф»	
8	Вертикальное время	
9	Приведённая альтитуда	III «Структурные» параметры, которые могут быть получены до начала производственных работ
10	Структурный параметр угла наклона карты альтитуд	
11	Структурный параметр азимута карты альтитуд	
12	Структурный параметр кривизны карты альтитуд	
13	Структурный параметр «шероховатости» карты альтитуд	
14	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес1к»	
15	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес2к»	
16	Категории лесов. Бинарный индекс «Лес3к»	
17	Категории лесов. Бинарный индекс «Болото»	



▲ Рис. 6. Гистограмма изменения значений коэффициента валидации от количества используемых параметров обучающей выборки.

Наличие данной составляющей значительно ограничивает зоны пространственных границ обучающей выборки и усиливает фактор «противоречивости данных». Для решения целевой задачи в большей степени важным является степень пространственного изменения значений превышения рельефа, что в полной мере отражается в параметре «приведённая альтитуда».

- Значения параметра «амплитуда микросейсм» и, как следствие, параметра «соотношение сигнал/микросейсм», во многих случаях отражают различные внешние (наземные) факторы, которые не имеют причинно-следственных связей с целевым параметром. Перспективы использования данных параметров являются спорными, в связи со значительными рисками искажения модели. По данной причине, в процессе последующих работ указанные параметры не рассматривались.

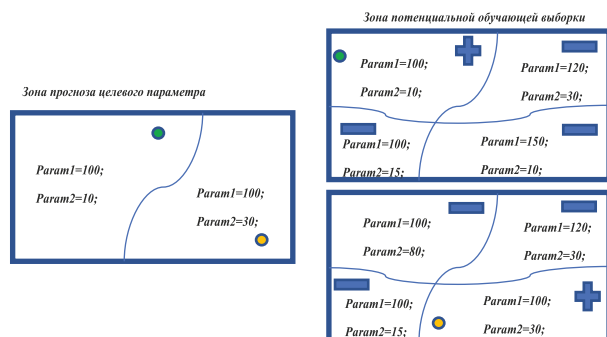
С целью определения минимально необходимого количества параметров обучающей выборки, которое обеспечивает построение достаточно сложной модели для получения стабильных

результатов её реализации, проведены эксперименты с последовательным увеличением количества параметров и анализом коэффициентов валидации модели.

На основе гистограммы (Рис.6), отражающей изменение значений коэффициента валидации от количества используемых параметров обучающей выборки, а также комплексного анализа результатов прогноза, установлено, что минимальное количество параметров обучающей выборки должно составлять не менее четырёх. Данное количество параметров использовано при выполнении последующих экспериментов.

Определение базовых принципов формирования пространственных зон обучающей выборки

Определение пространственных зон обучающей выборки является одной из наиболее важных и, в то же время, сложных стадий решения целевой задачи. Учитывая отсутствие устойчивых исходных взаимосвязей целевого параметра и параметров ранжированного перечня, принимая во внимание, что фактические

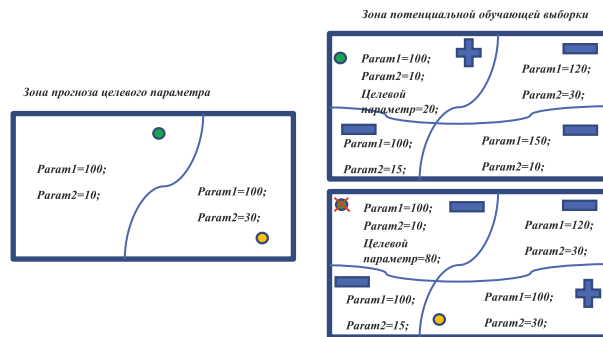


▲ Рис. 7. Схематичное изображение реализации принципа селективного подхода формирования обучающей пространственной выборки.

значения параметров возбуждения упругих колебаний в целом и глубины заложения сейсмического заряда в частности, зависят не только от литологических свойств ВЧР, но и нередко от иных, субъективных, факторов, в процессе последующих экспериментов сформулированы основные принципы формирования пространственных зон обучающей выборки:

Принцип селективного подхода формирования обучающей пространственной выборки - в обучающей выборке должны превалировать такие пространственные точки (зоны), параметры которых, в комплексе, наиболее схожи с параметрами зоны прогноза значения целевого параметра. То есть, для каждой комбинации параметров зоны прогноза значений должны быть найдены схожие комбинации параметров на пространственных участках, перспективных для использования в качестве обучающей выборки (Рис.7).

Принцип непротиворечивости известных значений целевых параметров обучающей выборки - для пространственных зон, определенных в качестве перспективных для формирования обучающей выборки, значения целевого параметра не должны иметь значимых противоречий (Рис.8.).



▲ Рис. 8. Схематичное изображение реализации принципа непротиворечивости известных значений целевых параметров обучающей выборки.

Несмотря на относительную простоту сформулированных принципов, их комплексная реализация становится крайне сложной задачей при условии работы с большими массивами пространственных участков.

Python-скрипты, разработанные в АО «Башнефтегеофизика» и применяемые для автоматического определения наиболее перспективных элементов обучающей выборки при выполнении работ в направлении синтеза данных ГИС, для решения текущей задачи оказались не эффективны. Требовалась значительная модернизация скриптов, которая бы позволила автоматизировать решение следующих задач:

- Кластеризация целевой пространственной зоны по критериям гомогенности той или иной комбинации параметров, на основе которых планируется выполнять прогноз с возможностью настройки и управления количеством кластеров;
- Поиск зон на всех доступных пространственных участках, в максимально высокой степени сходимых, при выбранной комбинации параметров, с тем или иным кластером целевой пространственной зоны, с возможностью настройки критерия выбора зоны в зависимости от указанного допустимого процента сред-

неквадратичного интегрального расхождения параметров;

- Проверка на отсутствие противоречий в значениях целевого параметра, осуществляемая на основе допустимой величины и вторичная селекция зон по данному критерию.

Учитывая необходимость дополнительной адаптации для работы со значительными (сотни тысяч точек анализа для каждого параметра) объёмами данных, разработка скрипта, который позволил бы автоматизировать процесс определения пространственных границ обучающей выборки, однозначно является отдельной трудоёмкой задачей, решение которой было запланировано в рамках отдельных работ.

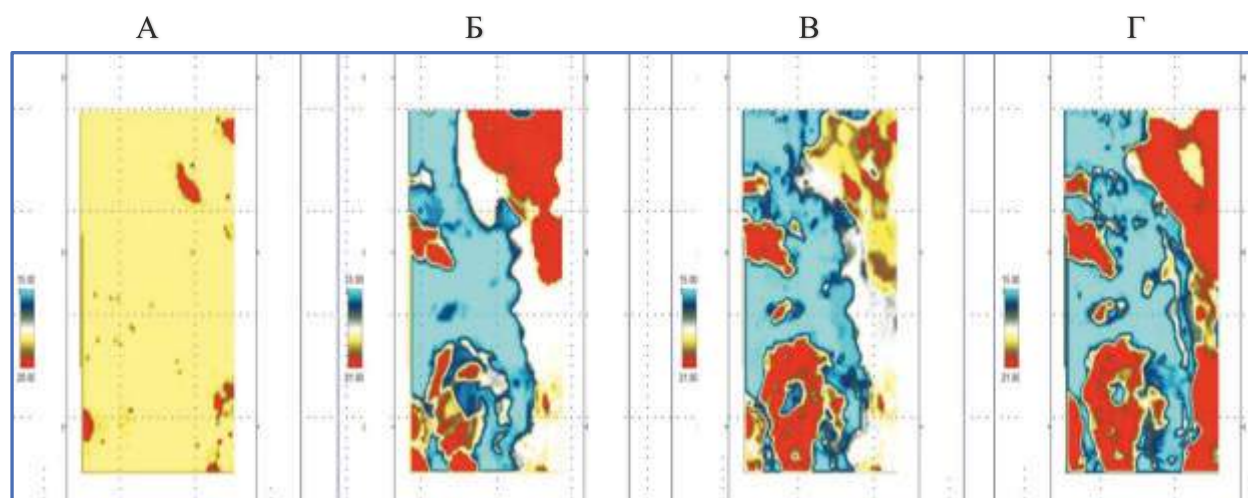
Реализация базовых принципов

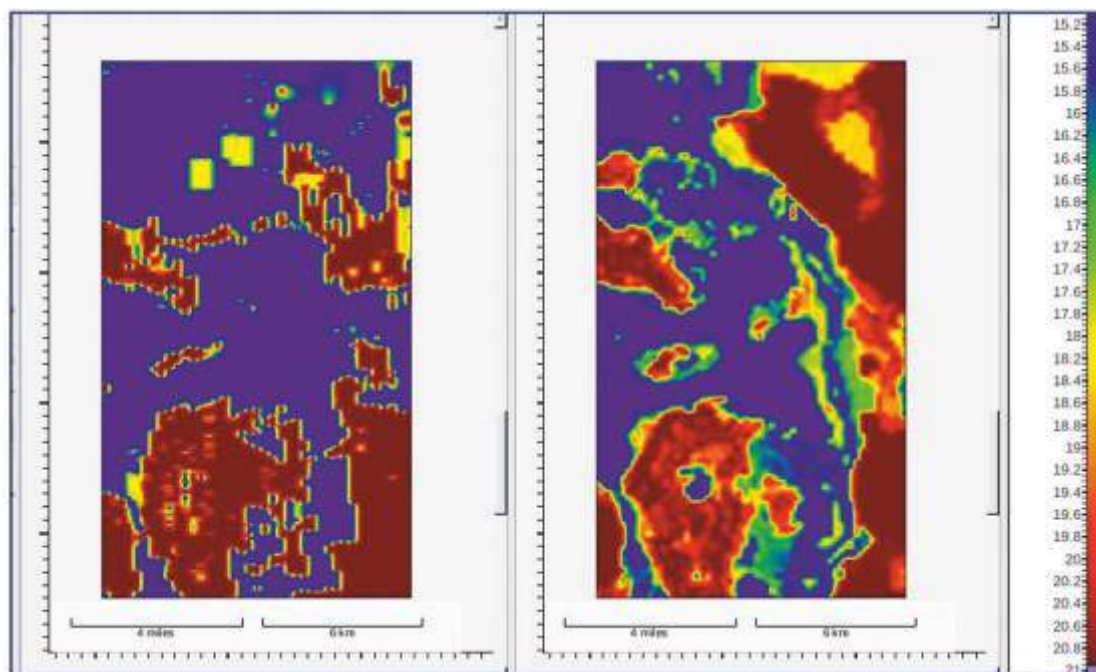
На заключительном этапе работ, консолидировав накопленный в рамках предшествующих экспериментов опыт, с использованием материалов всех шести загруженных пространственных участков, был выполнен цикл расчётов, направленный на получение результатов прогноза при имитации различных

стадий работ, а именно: на стадии «подготовки (планирования) к выполнению производственных работ» – в данном случае обучающая выборка формировалась исключительно из данных участков, не являющихся целевыми; на стадии «производственных работ», при условии отработки 10% и 30% целевого участка – обучающая выборка формировалась как из данных целевого так и иных участков.

Перед выполнением расчётов, на основе сформированных принципов, был проведен анализ зон, перспективных для включения в обучающую выборку на основе кластеризации целевого участка. К сожалению, параметры целевого участка оказались достаточно уникальными и только один из пяти оставшихся участков, частично удовлетворял необходимым условиям. Значения целевого параметра в пределах данного участка являлись постоянными и составляли 18 метров. Как следствие, результат прогноза (Рис.9, а) так же соответствовал этой величине, в то время как фактические значения прогнозируемого параметра на целевой площади составляли 15, 21 метр.

▼ Рис. 9. Результат прогноза глубины заложения заряда при различных способах формирования обучающей выборки: а – использованы данные стороннего участка; б - использованы данные стороннего участка и 10% данных целевого участка; в - использованы данные стороннего участка и 30% данных целевого участка; г – использованы данные целевого участка (30%);





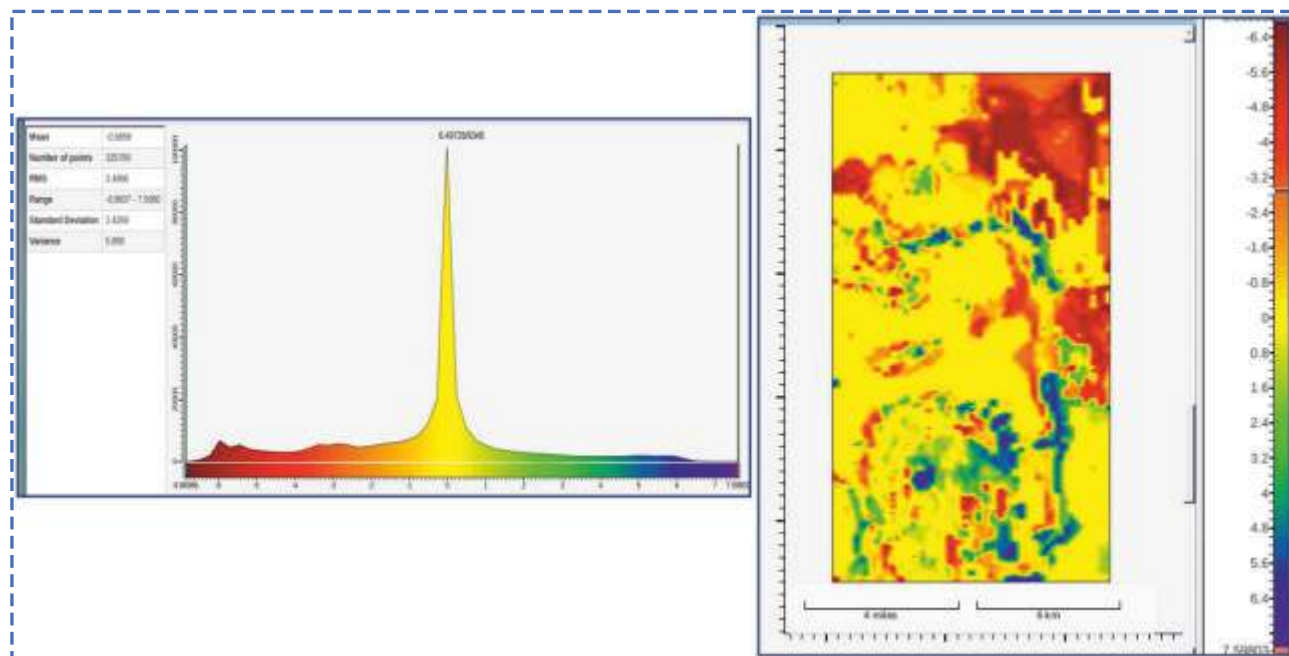
▲ Рис. 10. Сравнение фактических и прогнозных глубин.

Полученный результат, с одной стороны, подтверждает возможность значительного расхождения прогнозных и фактических значений целевого параметра на начальной стадии работ, то есть до момента, когда будут отработаны первые физические наблюдения и полученный диапазон значений целевого параметра позволит провести более корректный выбор зон обучающей выборки. С другой стороны, данный результат, позволяет сделать однозначное заключение о целесообразности подготовки и загрузки полного объема накопленной информации по всем пространственным участкам, отработанным ранее для того, чтобы иметь возможность увеличить количество зон потенциально перспективных для включения в обучающую выборку и, как следствие, повысить точность прогноза на данной стадии.

Привлечение в качестве обучающей выборки не только данных стороннего участка, но и всего 10% данных целевого, позволило получить результаты прогноза, которые в большей мере соответство-

вали фактическим значениям целевого параметра (Рис.9, б). Данная тенденция логичным образом сохранилась и при дальнейшем увеличении процента (30%) данных целевого участка (Рис.9, в), но на северо-востоке, в связи с высокой схожимостью исходных параметров целевого и стороннего участков, прогнозируемые значения имели значительные отклонения от фактических, что было компенсировано при формировании обучающей выборки исключительно из 30% данных целевого участка (Рис.9, г), после чего полученный результат был сопоставлен с фактическими глубинами заложения заряда, полученными при отработке площади (Рис.10). Дополнительно были рассчитаны отклонения фактических и прогнозных глубин в метрах, (Рис.11).

Анализ отклонений показал, что около 20% прогнозных глубин имеют отклонения от фактических более чем на 1,5 метра (длина бурового шнека), что говорит о том, что полученные данные не полностью удовлетворяют необходимым критериям точности, но в то же время неоспоримым положительным



▲ Рис. 11. Гистограмма и карта распределения значений отклонения величин прогнозированных значений целевого параметра от фактических, в метрах.

аспектом является тот факт, что разница суммарных глубин фактических и прогнозных скважин составляет менее 2%, то есть прогнозируемые результаты можно использовать для планирования объема буровых работ (количество бурстанков, персонала, техники и т.д.).

Заключение

Первый опыт применения технологий машинного обучения для прогноза глубин заложения сейсмического заряда, подтвердил принципиальную возможность решения целевой задачи, но, в то же время, выполненный комплекс исследований показал, что данное решение требует значительного объема аналитических работ и представляет собой многостадийный и нетривиальный процесс.

В рамках работ выполнено более ста различных экспериментов, по итогам анализа результатов которых, осуществлен выбор наиболее перспективного алгоритма машинного обучения, проработаны и определены основополагаю-

щие принципы выполнения таких ключевых этапов, как определение априорных наборов параметров, перспективных для включения в обучающую выборку, формирование пространственных зон обучающей выборки.

Несмотря на то, что фактические значения целевого параметра, полученные по отработанным ранее пространственным участкам, не являются эталоном и вполне возможно, что прогнозные значения, наоборот, могут быть более оптимальны, достигнутые на данный момент результаты, не полностью удовлетворяют требованиям точности предсказаний по глубине конкретной скважины, но позволяют более обоснованно планировать объем буровзрывных работ.

Продолжение исследований признано целесообразным в следующих направлениях:

- Подготовка и загрузка полного объема накопленной информации по всем пространственным участкам, отработанным ранее;

- Разработка адаптированного Python–скрипта для автоматизации определения пространственных зон, перспективных для включения в обучающую выборку;
- Верификация получаемых результатов прогноза непосредственно в процессе выполнения полевых сейсморазведочных работ.

Литература

1. Ахметшин И.Н. Сейсморазведка. Испытание временем / И.Н. Ахметшин, Р.М. Гафаров, И.А. Сираев // Геофизика. - 2017. - №3. - С.9-13.
2. Система контроля качества полевых сейсморазведочных работ / Р.М. Гафаров [и др.] // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. - 2021. - № 6 (354). - С. 34-41.

Подробнее об авторах



Акуленко
Александр Семёнович

Главный геофизик ООО
НПЦ «Геостра»
(АО «Башнефтегеофизика»)
Окончил Гомельский ГТУ
имени П.О. Сухого в 2007 г.
Научные интересы –
– полевые и камеральные
сейсморазведочные
работы.



Гафаров
Радий Марсович

Главный геофизик
Дирекции разведочной
геофизики
АО «Башнефтегеофизика».
Окончил Свердловский
Горный Институт в 1985г.
Научные интересы –
– поиск и разведка
нефтяных и газовых
месторождений.

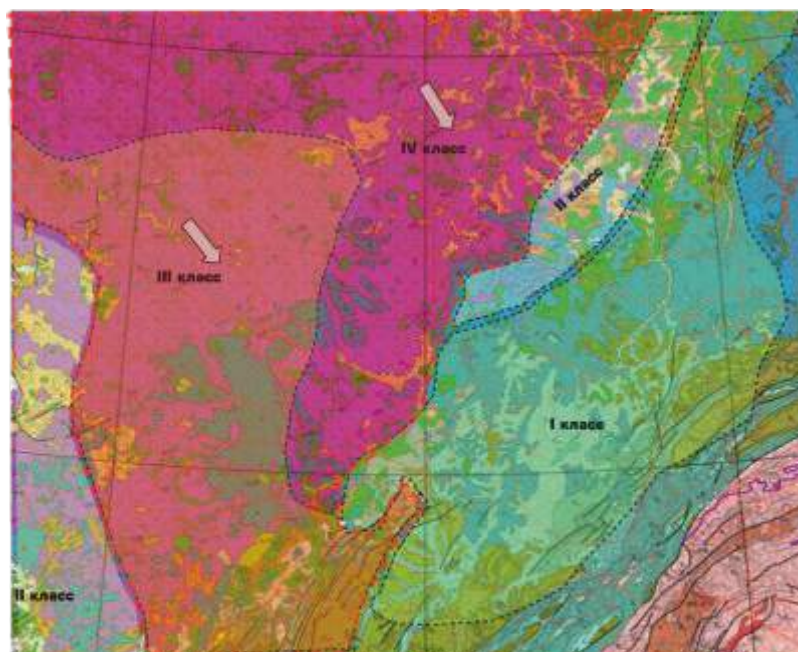
Оптимальный подход к учету статических и кинематических поправок при обработке сейсмических данных в сложных сейсмогеологических условиях Восточной Сибири

■ Емельянова К.Л., Твердохлебов Д.Н., Арутюнянц И.В.,
Мостовой Д.В., ООО «РН-Эксплорейшн», г. Москва
■ Степанов П.Ю., МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва

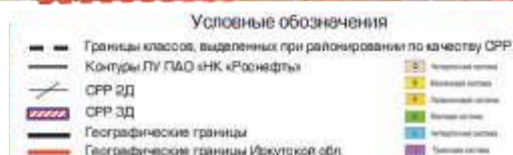
Сложные сейсмогеологические условия Восточной Сибири, зачастую, делают невозможной интерпретацию данных, полученных в этом регионе. На многих сейсмических разрезах выделяются поисковые объекты, но в силу неудовлетворительного качества сейсмического изображения вопрос об усовершенствовании методик обработки и опробовании новых технологий для повышения качества данных на обширной территории Сибирской платформы всегда остается актуальным. В пределах изучаемого региона было выполнено районирование (Рис. 1.), по результатам которого территория разделена на 4 класса согласно сложности приповерхностных условий и качеству данных сейсморазведочных работ (СРР). К I и II классу относятся

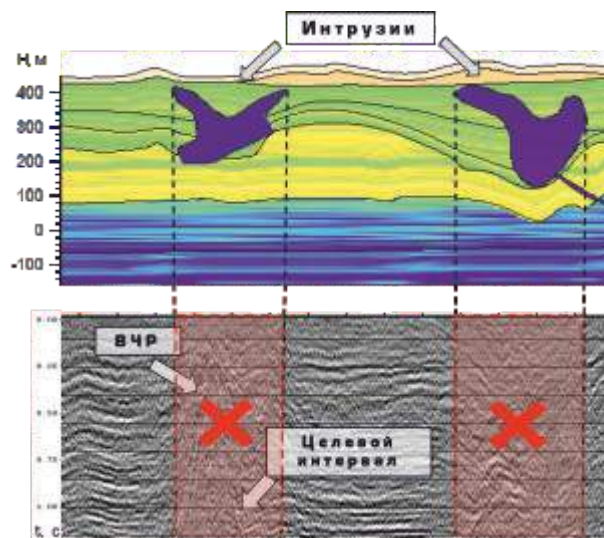
наиболее благоприятные участки. К III и IV – осложненные территории с преобладанием различных аномалообразующих тел в ВЧР (интрузивные и эффузивные тела, многолетнемерзлые породы, моренные отложения и другие скоростные неоднородности). В зонах со сложным и неоднородным строением ВЧР довольно сложно картировать перспективные объекты в сейсмическом волновом поле. На примере осложненных участков в работе рассматривается применение новых технологий обработки сейсмических данных с целью повышения качества последующей обработки и интерпретации данных.

Работа с данными III и IV классов в последние 10 лет считается неэффективной. Интрузивные тела рассеивают



◀ Рис. 1.
Обзорная геологическая
карта фрагмента
Восточной Сибири.





▲ Рис. 2. Влияние аномалий ВЧР на корреляцию.

сейсмический сигнал, из-за чего на разрезе пропадает корреляция горизонтов не только в ВЧР, но и в области целевого интервала (рис.2). По этой причине малоамплитудных перспективных объектов (рифов и выступов фундамента для этого региона) в зонах под интрузивными телами не видно на сейсмических разрезах. По статистическим оценкам около 50% данных СРР не используется эффективно.

Опробованные стандартные методики компенсации аномалий ВЧР

Согласно стандартной методике, компенсация неоднородностей ВЧР выполняется путем построения модели ВЧР на основе анализа преломленных волн. Далее выполняется расчет априорных статических поправок по полученной

модели (рефракторным или томографическим методом), которые вводятся в исходные данные с целью компенсации длинно- и среднепериодных аномалий, а также устранения влияния перепадов рельефа. На следующем этапе выполняется корректировка данных остаточными статическими поправками, алгоритмы расчета которых основаны на корреляционных функциях, этот этап компенсирует средне- и короткопериодные аномалии ВЧР.

В случае выходов интрузивных тел сложной конфигурации такая методика не дала успешного результата. Чем сложнее геологическая обстановка, тем сильнее возрастает неопределённость решения обратной задачи, и как следствие, менее однозначно удастся восстановить реальные геологические структуры.

Эффективная методика компенсации аномалий ВЧР

Сузить неопределенность решения обратной задачи при построении модели ВЧР помогает учет эффектов других геофизических методов (грави- магнито- и электроразведки) при выполнении сейсмогеологического моделирования. Последующая коррекция с целью остаточной компенсации аномалий реализуется через учет остаточных кинематических сдвигов при анализе горизонтальных спектров скоростей (рис.3).

- Ввод данных и создание базы данных;
- Контроль качества присвоения геометрии;
- Редакция шумящих трасс и исправление обратной полярности;
- Коррекция амплитуд за сферическое расхождение.

- Расчет статических поправок по первым вступлениям преломленных волн и сейсмическая томография;
- Корректировка ВЧР по данным геофизических методов;
- Предварительный мьютинг и АРФ;
- Скоростной анализ;
- Расчет остаточных статических поправок;
- Коррекция остаточных кинематических сдвигов;
- Получение и оценка контрольных сумм.

- Поверхностно-согласованная коррекция амплитуд;
- Шумоподавление амплитудных волн-помех;
- Шумоподавление когерентных волн-помех;
- Поверхностно-согласованная деконволюция;
- Миграция до и после суммирования;
- Обработка суммарных временных разрезов



◀ Рис. 3. Оптимальная последовательность процедур обработки сейсмических данных в условиях Восточной Сибири.

Комплексирование геофизических методов

По территории Восточной Сибири имеется большой объем различной геофизической информации, в т.ч. данные площадных аэромагнитных съемок масштаба 1:25 000, 1:50 000. При подборе оптимальной методики большинство геофизических методов дает отклик на геологические тела с аномальными свойствами. В первую очередь, это касается интрузивных тел, обладающих высокой плотностью, намагниченностью и высокими сопротивлениями.

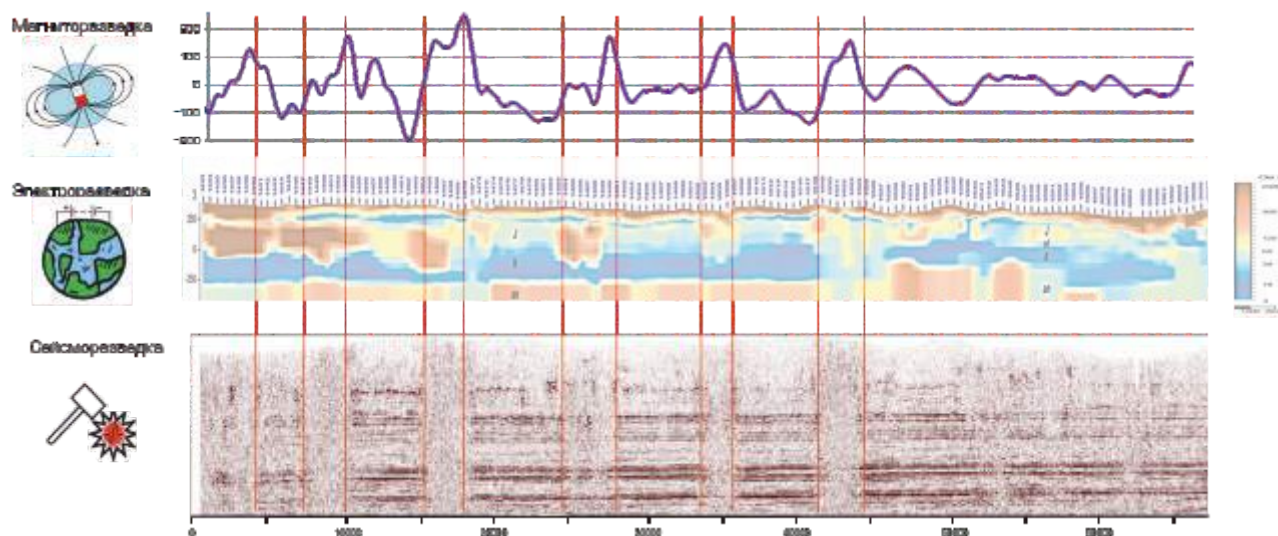
Первичный анализ основывается на данных магниторазведки, в которых наиболее явно выделяются магматические образования. Только этот геофизический метод позволяет быстро и с относительно небольшими затратами получить информацию о площадном распространении интрузивов в ВЧР. Применение современных компьютерных средств обработки данных позволяет выделить из архивных аналоговых записей высокочастотную составляющую аномального магнитного поля. В ходе качественного ее анализа локализуются области распространения магнитных объектов, которые сопоставляются с сейсмическими разрезами, аномалиями гравитаци-

онного поля и электроразведочными материалами. В первую очередь, уделяется внимание зонам потери корреляции на сейсмических разрезах и их связи с магнитными аномалиями. Если прямая связь устанавливается, то с высокой вероятностью можно считать, что причина низкой информативности сейсморазведки – магматические тела. Следующим этапом является проверка выраженности аномальных по магнитному полю и сейсморазведке зон в аномалиях гравитационного поля и геоэлектрических разрезах.

В зависимости от размера магматических тел, их глубины залегания, степени аномальности физических свойств (относительно вмещающих пород) эффективность проявления в потенциальных полях и разрезах УЭС оказывается различной. В частности, отсутствие аномалий гравитационного поля над предполагаемыми интрузивными телами может свидетельствовать о том, что тела находятся внутри или вблизи кровли комплексов близких по плотности.

На практике корреляционные связи геофизических методов выглядят следующим образом. В результате совместного анализа временного сейсмического разреза с поведением геофизических

▼ Рис. 4. Корреляционные связи геофизических методов.



	Сейсморазв.	Электроразв.	Гравиразв.	Магниторазв.	ГИС
Кровля	+	+		+	
Подошва		+	+		
Скорость	+				+

▲ Табл. 1. Определение параметров аномалий ВЧР по данным геофизических методов.

полей (рис.4) была выявлена следующая корреляционная зависимость: в зоне отсутствия аномалий в ВЧР горизонты на сейсмическом разрезе видны четко, а поведение полей спокойно, без резких перепадов и выраженных аномалий; в зонах сложного строения ВЧР корреляция отражающих горизонтов нарушается, вместе с ней и характер полей становится беспокойным, выделяются аномалии и резкие перепады значений.

Анализируя особенности и области чувствительности каждого метода была составлена таблица (табл.1), в которой наглядно представлен комплекс методов, при помощи которых можно определить положение кровли и подошвы аномалий в ВЧР, а также оценить значение скоростей [Мостовой Д.В. и др., 2021].

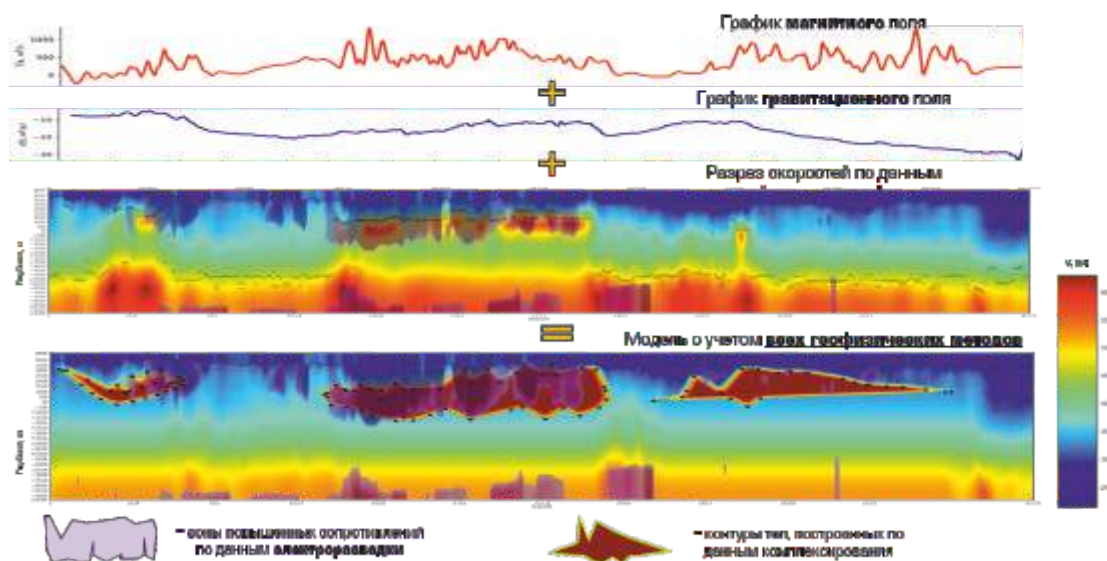
Используя полученную информацию согласно таблице 1 становится возмож-

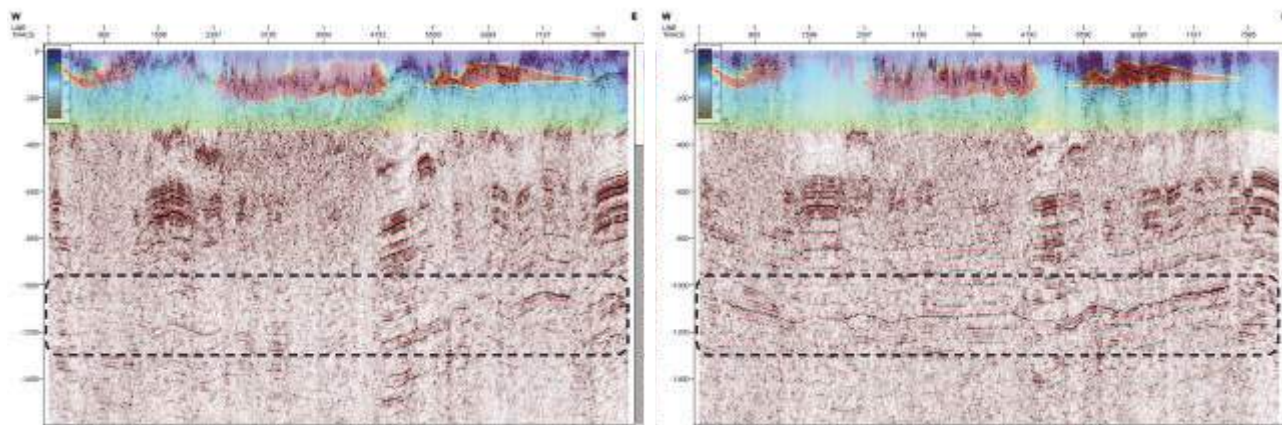
ным более точно восстановить модель ВЧР для расчета статических поправок, компенсирующих влияние неоднородностей.

Объединение данных всех геофизических методов позволило построить более точную модель ВЧР. За основу была взята модель, полученная по методу сейсмической томографии, а при помощи других геофизических методов, модель уточнялась (рис.5) при помощи ПО «Tomplex», которое было разработано в ООО «РН-Эксплорейшн» [Гуренцов Н.Е. и др., 2021].

Критерием корректности построенной модели ВЧР может служить согласованность геофизических моделей и эффективность восстановления временного разреза в результате ввода рассчитанных по модели статических поправок. В качестве дополнительного анализа решается прямая задача: рассчитываются геофизические поля по построенной

▼ Рис. 5. Построение оптимальной модели ВЧР при помощи комплексирования различных геофизических данных.





▲ Рис. 6. Сейсмические разрезы, полученные после ввода статических поправок стандартной методикой (а) и оптимальной с применением комплексирования (б).

модели и сопоставляются с реальным геофизическими данными. Если поля совпадают – модель не противоречит исходным данным, может считаться корректной и входит в область решения неоднозначной обратной задачи.

Применение комплексирования для построения модели ВЧР позволило снизить влияние приповерхностных неоднородностей и восстановить отражающие горизонты в целевом интервале эффективнее по сравнению со стандартной методикой (рис. 6).

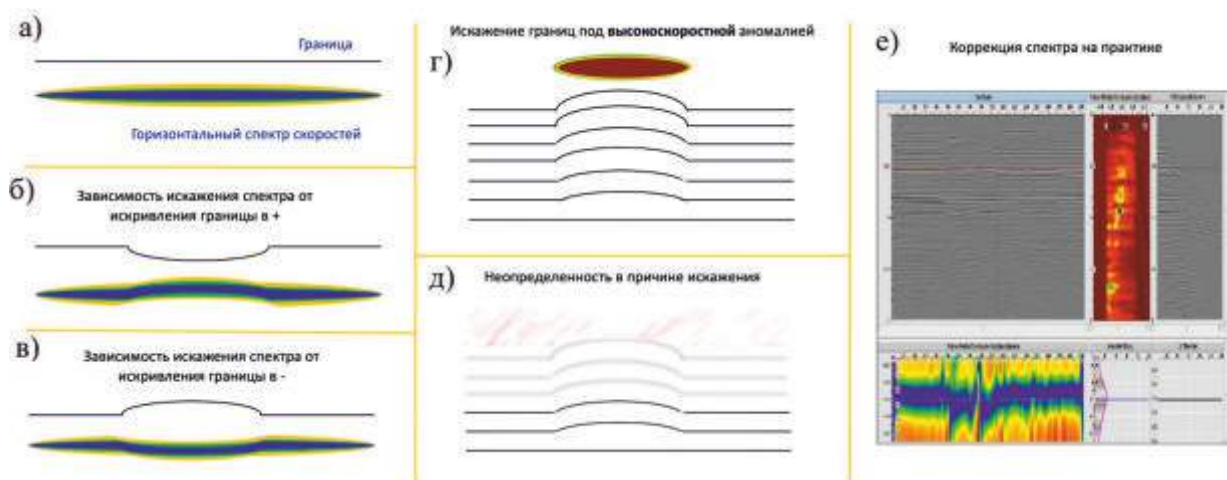
Кинематическая коррекция статических поправок

В случаях, когда восстановление ВЧР (стандартной методикой или при помощи комплексирования) с последующим вводом априорных и остаточных статических поправок не позволяет получить оптимальный результат, необходимо усовершенствование предлагаемой методики.

Для улучшения корреляции отражений на суммарных разрезах и последующего обнаружения перспективных объектов в зоне поиска необходимо полное спрямление годографов ОГТ отражённых волн. Наличие скоростных приповерхностных аномалий зачастую не позволяет это реализовать только за счёт скоростного анализа и ввода статических поправок. Для наиболее опти-

мального спрямления годографов отражённых волн и последующего эффективного суммирования предлагается к рассмотрению метод ввода остаточных кинематических сдвигов.

В данном способе коррекции с привлечением априорных данных прослеживается один выбранный горизонт. Вдоль выбранного горизонта рассчитывается горизонтальный спектр остаточных кинематических поправок и интерактивно величины этих поправок. После этого формируются разрезы ПП и ПВ по всему сейсмическому профилю и для каждого разреза вводится процентная доля остаточных кинематических поправок. Процентные доли вводятся для постепенного спрямления осей синфазности отражённых волн, чтобы минимизировать шанс переискажений корректируемых границ. После ввода выполняется суммирование по ОГТ и подбор оптимальных значений $VOGT(t_0)$, а также автоматический расчёт остаточных статических поправок. На этом этапе снова прослеживается выбранный горизонт по уже скорректированному разрезу ОГТ, рассчитывается горизонтальный спектр, остаточные кинематические поправки и так далее. Количество итераций коррекции остаточных кинематических поправок зависит от сложности сейсмогеологических условий рассматриваемого региона. Результатом эффек-



▲ Рис. 7. Теоретические положения горизонтальных спектров в зависимости от различных искажающих факторов.

тивной коррекции служит спрямленность годографов ОГТ и компенсация аномалий на временном сейсмическом разрезе.

Описанная методика позволяет выполнить доучет статики на целевых горизонтах и дополнительно улучшить прослеживаемость отражений. На рис. 7 показано теоретическое положение горизонтальных спектров в левой части. При ровном положении границы (рис. 7а) спектр скорости также выглядит ровным. При наличии аномалий скорости или искривления границы спектр искажается в зависимости от времени пробега луча в + или в – сторону (рис. 7б, в).

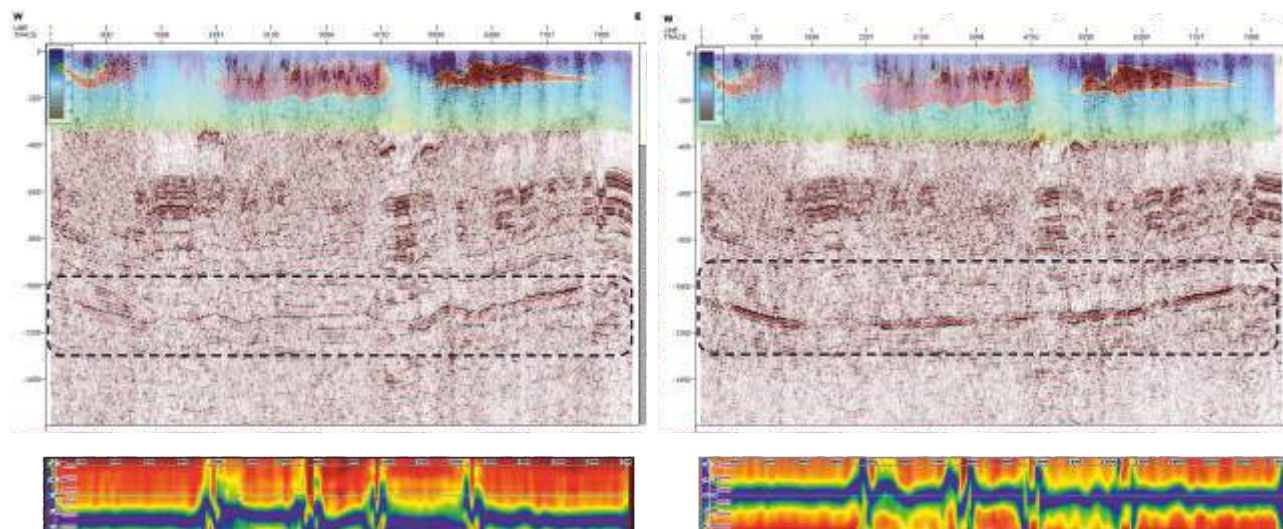
При наличии неоднородности в ВЧР в зоне под аномалией будут наблюдаться искажения геометрии границ (рис. 7г), однако в силу особенностей методики сейсмической съемки (например, слишком редкий шаг по профилю) и описанных в предыдущем разделе причин – корреляция в ВЧР может быть нарушена (рис. 7д). Как следствие – весьма проблематично установить причину, вызвавшую искривления: это аномалия в ВЧР подтягивает горизонты ниже или таково естественное положение границ.

Учитывая особенности строения изучаемого региона, а также экспертное

мнение интерпретатора, было установлено, что в случае рассматриваемого сейсмического профиля (рис. 7е) имеет место дополнительное осложнение в ВЧР, которое можно скомпенсировать остаточными кинематическими сдвигами при помощи анализа горизонтального спектра скоростей.

По итогам коррекции остаточных кинематических сдвигов общее качество сейсмического разреза значительно повысилось (рис. 8). Улучшилась корреляция отражений в целевом интервале, повысилась надежность интерпретации и увеличилась вероятность обнаружения перспективных объектов на изучаемом участке.

Контроль качества данных является неотъемлемой частью любого этапа из цикла геофизических работ, в т.ч. обработки сейсмических данных. На каждом этапе обработки качество данных может быть улучшено с применением тех или иных процедур, поэтому всегда есть необходимость в контроле изменения качества материала, чтобы добиться максимально возможного улучшения на всех этапах. Система критериев, выбранная для проведения контроля качества, должна включать в себя параметры, позволяющие на количественном уровне оценить качество сейсмического матери-



▲ Рис. 8. Сейсмические разрезы и соответствующие им горизонтальные спектры (а) до и (б) после коррекции кинематических сдвигов.

ала. Объективную оценку может предложить ПО QCVision [Гуренцов Н.Е. и др., 2021].

Количественная оценка качества полученных данных выполнялась по геофизическому атрибуту «прослеживаемость» (определяется по латеральной протяженности события). На рисунке 9 представлены результаты расчета атрибутов для сейсмических разрезов, полученных (а) – стандартной методикой, (б) – при помощи комплексирования геофизических методов и (в) – с дополнительным учетом коррекции остаточных кинематических сдвигов.

Прирост качества изображения по итогам применения только комплексирования составил 17%, а с применением комплексирования и последующей кинематической коррекцией статических поправок – 30%. Полученные результаты позволяют значительно повысить надежность интерпретации за счет улучшения прослеживаемости целевых горизонтов.

Заключение

Описанный комплекс методик позволяет:

- уточнить модель ВЧР и сузить область решения обратной задачи;

- улучшить прослеживаемость горизонтов в ВЧР, а также целевых горизонтов;
- повысить надежность последующей интерпретации;
- повысить достоверность выделения уже обнаруженных стандартной методикой объектов;
- увеличить вероятность обнаружения новых целевых объектов в продуктивных горизонтах.

Описанная методика является универсальной и пригодна для опробования не только в условиях Восточной Сибири, но и в других регионах, изучение которых осложнено аномалиями ВЧР.

Литература

1. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С., Молчанов А.Б., Мостовой Д.В., Емельянова К.Л. Новые технологии – ключ к получению качественных данных сейсморазведки// Геофизика, №3. С. 31-37
2. Емельянова К.Л., Арутюнянц И.В., Твердохлебов Д.Н. Технология восстановления верхней части разреза при помощи коррекции статических и кинематических поправок на основе сейсмогеологического моделирования в условиях

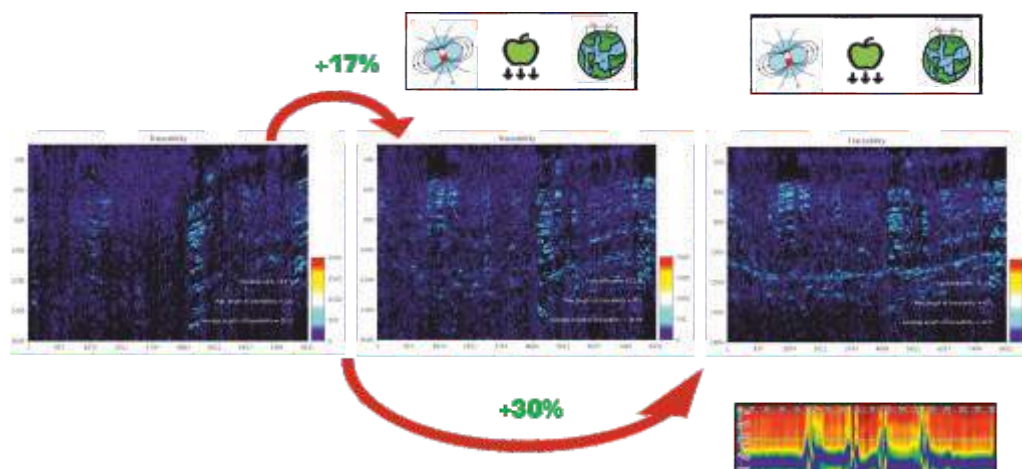


Рис. 9.
Сопоставление атрибута «прослеживаемость» по сейсмическим разрезам, полученными различными методикам.

Восточной Сибири// ГеоЕвразия – 2021, т.1. С. 67-70

3. Молчанов А.Б., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Мостовой Д.В. Комплексирование геофизических методов для 2D и 3D в ПО «Tomplex»// Приборы и системы разведочной геофизики, №3/2021. С. 43-52

4. Мостовой Д.В., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Молчанов А.Б., Гвоздик С.А., Мельников Р.С. Разработка подхода построения модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества обработки сейсморазведки// ГеоЕвразия – 2021, т.1. С. 75-78

5. Мостовой Д.В., Твердохлебов Д.Н., Лыгин И.В., Молчанов А.Б., Габова М.Н., Гвоздик С.А., Емельянова К.Л., Мельников Р.С. Построение модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества данных обработки сейсморазведки// Геофизика, №2/2021. С. 25-35

6. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г., Коробкин В.С., Филичев А.В., Гайдук А.В. «Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных», журнал «Геофизика», №6.2017, ЕАГО, 10-18 с.

Подробнее об авторах



Емельянова
Ксения Львовна

специалист группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Твердохлебов
Данила Николаевич

к.т.н., руководитель группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Арутюнянц
Игорь Владимирович

старший геофизик группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Мостовой
Дмитрий Владимирович

ведущий специалист группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Степанов
Павел Юрьевич
к.ф.-м.н., доцент,
заместитель заведующего
кафедрой сейсмометрии
и геоакустики, заместитель
декана по учебной работе
МГУ им. М.В. Ломоносова

Расчет петрофизической инверсии на основании гибридных моделей в вулканогенных породах кислого состава доюрского комплекса Западной Сибири

■ Руденко В.Ю., Гуренцов Д.Е., Гарилов С.С., Смирнова М.Е., ЗАО «МиМГО», г. Москва

Введение

Любое решение геологической задачи подразумевает под собой принятие некоторых допущений и упрощений. Так, например, наиболее распространённый на текущий момент метод построения объемных минеральных моделей основан на линейном решении матрицы уравнений. В то же время, сами по себе модели связи отклика физического параметра с изменением минеральных объемов в лучшем случае могут быть лишь псевдолинейными, проблема также усугубляется тем, минеральный набор в стандартных решениях принимается неизменным, что в природе практически не встречается. В случаях слабой вариативности минерального состава пород, небольшого набора учитываемых компонентов (как правило до 3-4) и наличия псевдолинейности физического отклика СЛАУ (система линейных алгебраических уравнений) даёт вполне достоверные результаты. Однако, для более сложных пород, для которых нарушается один трёх озвученных принципов, необходимо разрабатывать и применять более сложные технологии. Одним из таких решений является авторская технология «GS Petrophysics», которая рассмотрена в данной статье на примере отложений кислых вулканических пород доюрского комплекса Западной Сибири.

Общие принципы технологии

Инверсия давно зарекомендовала себя как алгоритм, использующийся для решения многих задач нефтегазовой отрасли. История формирования инструмента петрофизической инверсии началась около 50 лет назад. Первые указа-

ния на поиск $x_1, x_2, x_3, \dots$ в задачах типа $y_j = F_j(x_1, x_2, x_3, \dots, A_{j1}, A_{j2}, \dots)$ через СЛАУ упоминаются в работах (Элланский, 1978), (Еникеев, 1978), (Гольцман, 1971), (Халфин, 1972), (Турчин и др., 1970).

Наибольшее распространение в мире метод инверсии получил после работ (Mitchell and Nelson, 1988), (Mitchell and Nelson, 1991), где решение было представлено в уже знакомом всем виде (1) и (2):

$$S_i = \sum_{j=1}^m e_{ij} V_j, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

где S_i – показания i -го метода ГИС, линейно связанные с объёмным содержанием каждой из слагающих его породообразующих компонентов, e_{ij} – теоретические значения i -ого параметра для j -ого компонента, V_j – объёмное содержание j -ого компонента, m – число объёмных компонентов, участвующих в расчёте, n – число используемых методов ГИС.

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(m_i - S_i)^2}{\tau_i^2 + \delta_i^2}} \quad (2)$$

где n – количество переменных в уравнении, m_i – измеренные значения параметра i , S_i – рассчитанные значения геофизического параметра i , τ – отклонение, характеризующее неопределённость измеряемого аппаратурой ГИС значения, δ_i – отклонение, характеризующее неопределённость при задании значения геофизического параметра i компонента породы.

В 2020 году был разработан и включён в ФИПС под № 2021610214 алгоритм (Руденко, Приезжев 22, 23, 24) который сводится к изменению уравнений (1) и (2) до (3) и (4):

$$S_i = \sum_{j=1}^m f(e_{ij}, \delta_{ij}) f(V_j, \delta_{Vj}), \quad i = 1, \dots, n$$

$$\begin{cases} DT = \sum_{j=1}^m f(e_{DT}, \delta_{DT}) f(V_j, \delta_{Vj}), \quad j = 1, \dots, m \\ RHO_B = \sum_{j=1}^m f(e_{RHO_B}, \delta_{RHO_B}) f(V_j, \delta_{Vj}), \quad j = 1, \dots, m \\ W = \sum_{j=1}^m f(e_W, \delta_W) f(V_j, \delta_{Vj}), \quad j = 1, \dots, m \\ GK = \sum_{j=1}^m f(e_{GK}, \delta_{GK}) f(V_j, \delta_{Vj}), \quad j = 1, \dots, m \\ 1 = \sum_{j=1}^m V_j, \quad j = 1, \dots, m \end{cases} \quad (3)$$

при условии, что $e_{i \min} < f(e_{ij}, \delta_{ij}) < e_{i \max}$
и $V_{j \min} < f(V_j, \delta_{Vj}) < V_{j \max}$

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(f(m_i, \delta m_i) - S_i)^2}{\tau_i^2 + \delta_i^2}} \quad (4)$$

при условии, что $m_{i \min} < f(m_i, \delta_i) < m_{i \max}$,

где δ_{ij} – стандартное отклонение значения i -ого параметра для j -ого компонента, δ_{Vj} – стандартное отклонение j -ого компонента.

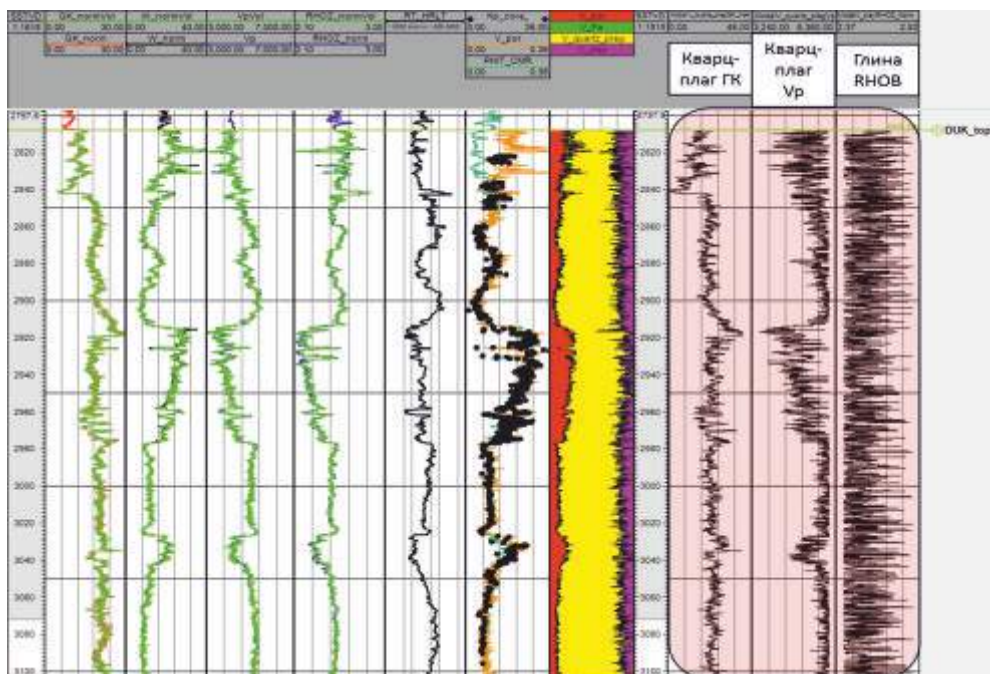
В таком варианте при сохранении общего линейного подхода к решению матрицы, нелинейность связей тем не менее, будет учитываться через дисперсию параметров e_{ij} и V_{ij} , определяемых с помощью стохастических принципов, причем стартовое значение e_{ij} также изменяется с учётом ближайшего реше-

ния на каждом шаге среза глубин. Ключевой особенностью такого расчёта является возможность получить по данным ГИС не только непосредственно минеральные объёмы, но и физические параметры выделенных чистых объёмов, так называемые конечные точки (минеральных смесей). Благодаря этому можно видеть, как меняются физические характеристики той или иной маркирующей смеси минералов, например, плотность чистых глинистых минералов с глубиной, Рис. 1.

Применение GS Petrophysics для расчета объемной модели

Дюжурский комплекс (ДЮК) Западной Сибири включает в себя пермско-триасовые образования, распространенные в грабенообразных структурах платформы и представленные кислыми вулканогенными породами дацит-риолитового состава. Учитывая многокомпонентность минерального состава, лучшим решением расчёта ФЕС для данным пород является применение объёмных моделей.

В связи с тем, что детальные исследований керна проводились параллельно с работами по петрофизической инверсии, разработка объёмной модели проводи-



▶ Рис. 1. Пример расчета объемной модели с помощью технологии GS-Petrophysics. Красной областью выделены примеры параметров чистых минеральных смесей. В шестом треке показано сравнение пористости по модели (оранжевая), ЯМК (зеленая) и по керну (черные точки).



▲ Рис. 2. Итерации расчета объемной модели.

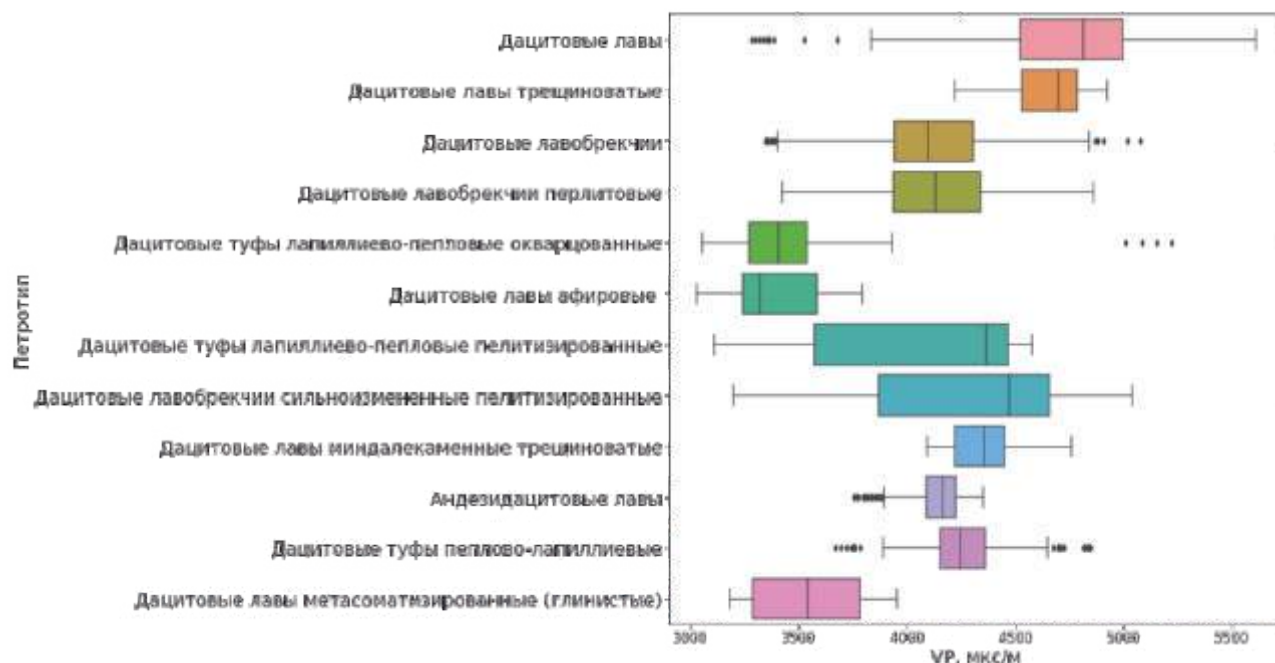
лась итеративно. С получением новых знаний о минерально-петрографическом составе пород модель корректировалась. Например, на первой итерации рассматривались 5 компонентов: кварц, плагиоклаз, КПШ, глина, поры. Ввиду

▼ Рис. 3. Настроенные параметры объемной модели.

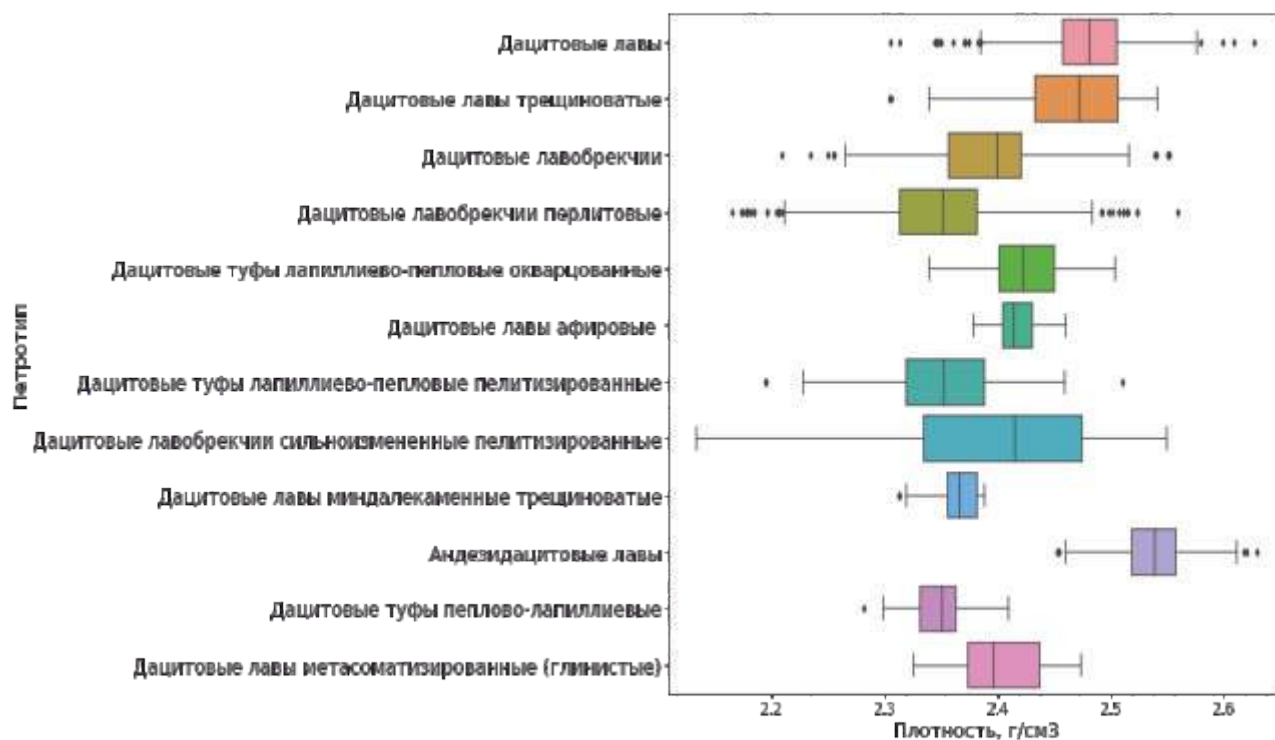
Пористость				
	Volume min	0	Volume max	0.4
	Volume mean	0.12	Volume standard	0.02
	EndPoint	Std	Min	Max
VP, м/с	1610	42	1580	1640
RHOV, г/см ³	1.01	0.021	1	1.03
W, %	100	0	100	100
GK, мкР/ч	4	3.5	0	5
Минеральная смесь кварц+КПШ+плагиоклаз				
	Volume min	0.2	Volume max	1
	Volume mean	0.6	Volume standard	0.3
	EndPoint	Std	Min	Max
VP, м/с	6060	1690	3500	6100
RHOV, г/см ³	2.65	0.05	2.623	2.67
W, %	-3	5.6	-4	10
GK, мкР/ч	10	15	0	40
Глинистые минералы				
	Volume min	0	Volume max	0.6
	Volume mean	0.15	Volume standard	0.08
	EndPoint	Std	Min	Max
VP, м/с	2900	1190	1400	4000
RHOV, г/см ³	2.52	0.15	2.41	2.78
W, %	22	2	5	36
GK, мкР/ч	15	7	5	30
Железистые минералы				
	Volume min	0	Volume max	0.25
	Volume mean	0.05	Volume standard	0.1
	EndPoint	Std	Min	Max
VP, м/с	5950	500	5600	6500
RHOV, г/см ³	7.87	3	4	7.87
W, %	0	0	0	0
GK, мкР/ч	5	5	0	10

отсутствия контраста физических свойств на ГИС, кварц и плагиоклаз были объединены в объем «кварц-плагиоклазовой смеси». Также, анализ массового содержания элементов и оксидов показал наличие высокого содержания железа в ряде скважин (до 12 % массовых), которое обязательно должно быть учтено для корректного определения объемов, в том числе и пористости. В итоговом варианте модель состоит из 4 объемов минеральных смесей: поры; кварц + плагиоклаз + КПШ; железистые минералы, глинистые минералы и слюды. Схематично итерации расчета объемной модели показаны на Рис. 2.

Далее была построена объемная минеральная модель с соответствующими значениями чистых объемов (ЗЧО) минеральных смесей по технологии «GS-Petrophysics», результаты показаны на Рисунке 1. На планшете можно видеть, как меняются физические характеристики той или иной маркирующей смеси минералов (например, плотность чистых глинистых минералов с глубиной). На планшете в первых четырех треках показаны входные методы ГИС и реконструированные кривые в результате моделирования (зеленые). Полная сходимость



▲ Рис. 4. Графика box-plot для подгрупп петротипов по скорости пробега акустической волны.



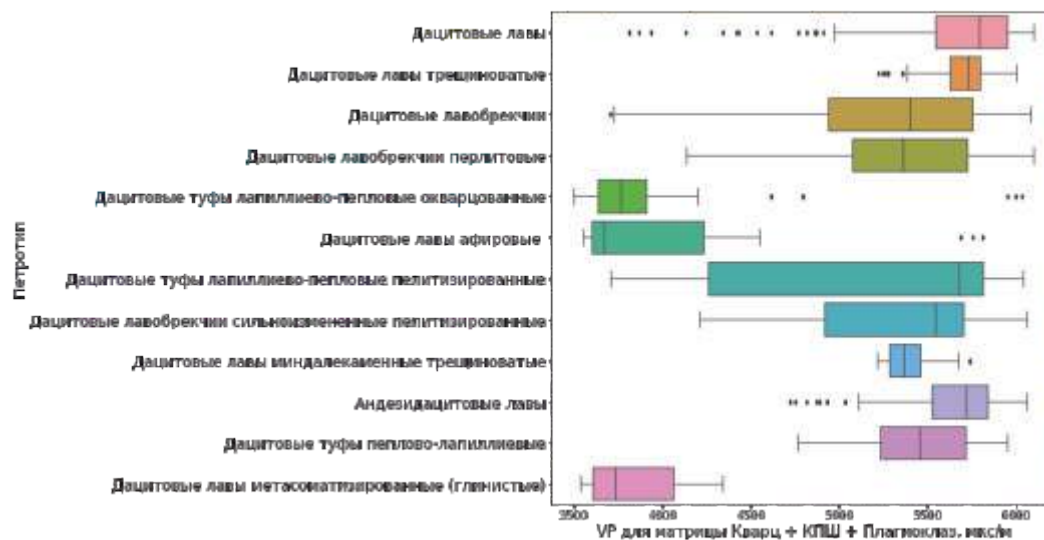
▲ Рис. 5. Графика box-plot для подгрупп петротипов по плотности.

этих кривых говорит о качественно настроенной модели. В последний трех треках на планшете показаны параметры чистых минеральных смесей (ГК и V_p смеси кварца, плагиоклаза и КПШ и плотность глин).

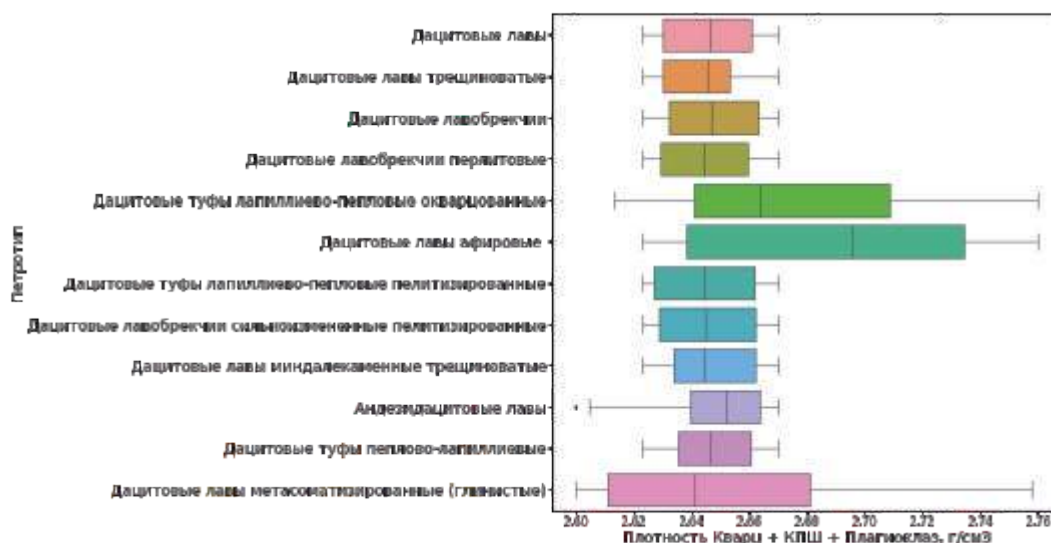
Параметры минеральных смесей при настройке модели показаны на Рис. 3. Каждое окно характеризует параметры

отдельного объема.

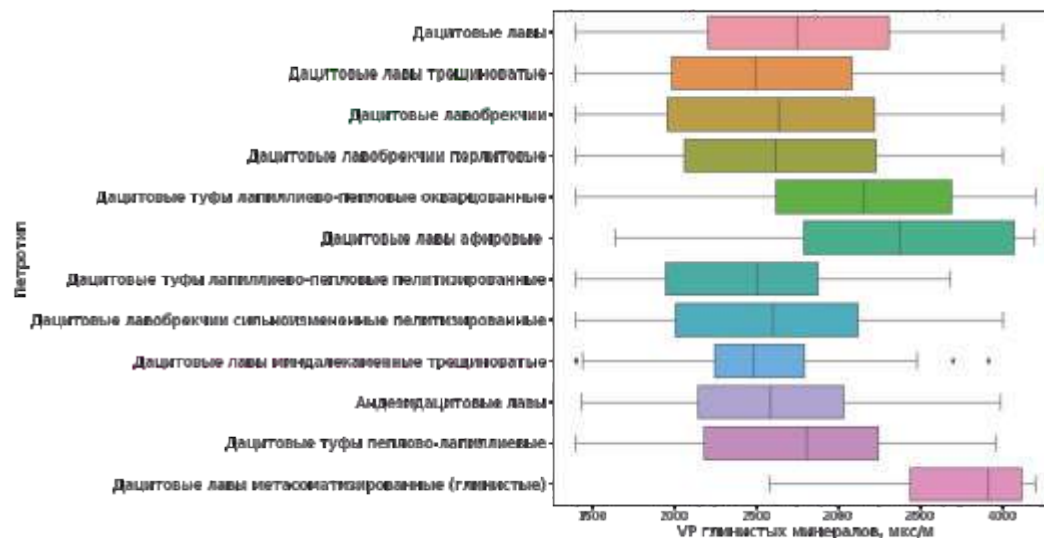
Корректность выполнения петрофизической инверсии, и в особенности расчет объема железистых минералов, играет важную роль при дальнейшей интерпретации. Так, повышенное содержание железа сильно занижает УЭС породы, в том числе и в нефтенасыщенных коллекторах, что необходимо учитывать при



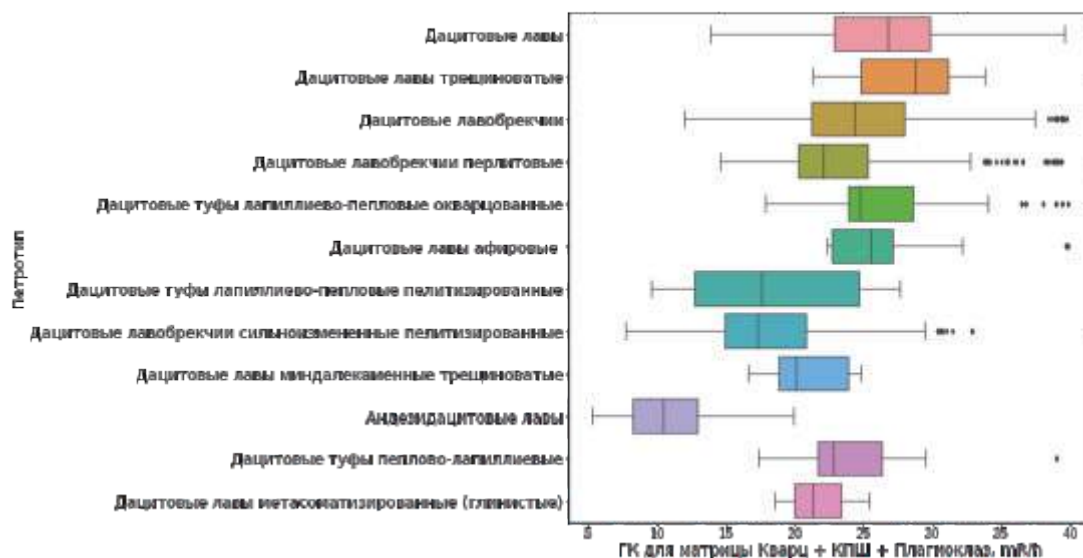
▲ Рис. 6. График box-plot для подгрупп петротипов по скорости пробега акустической волны в минеральной смеси Кварц+Плагиоклаз+КПШ.



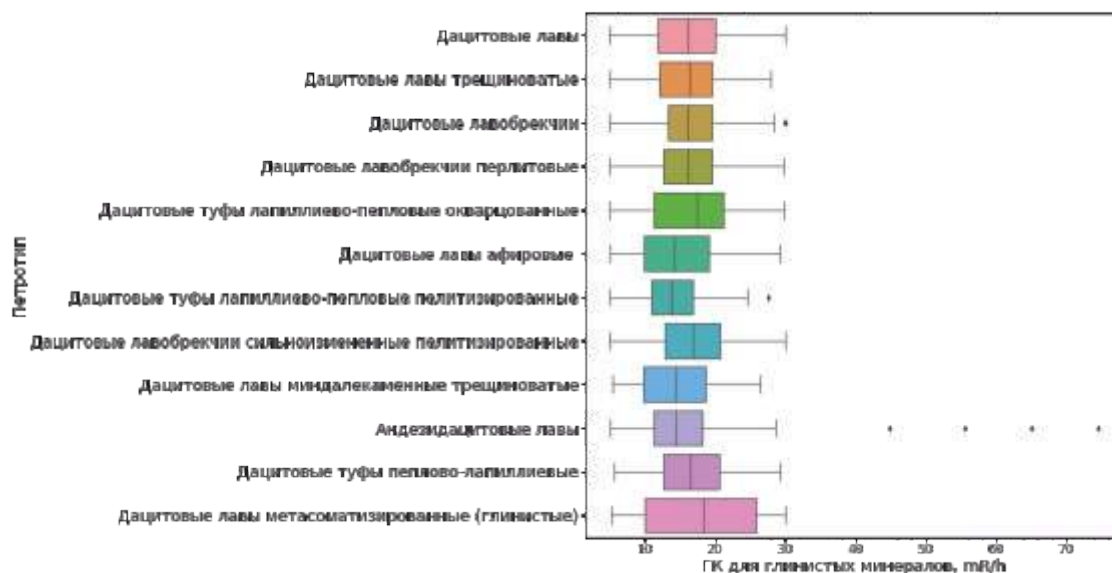
▲ Рис. 7. График box-plot для подгрупп петротипов по плотности минеральной смеси Кварц+Плагиоклаз+КПШ.



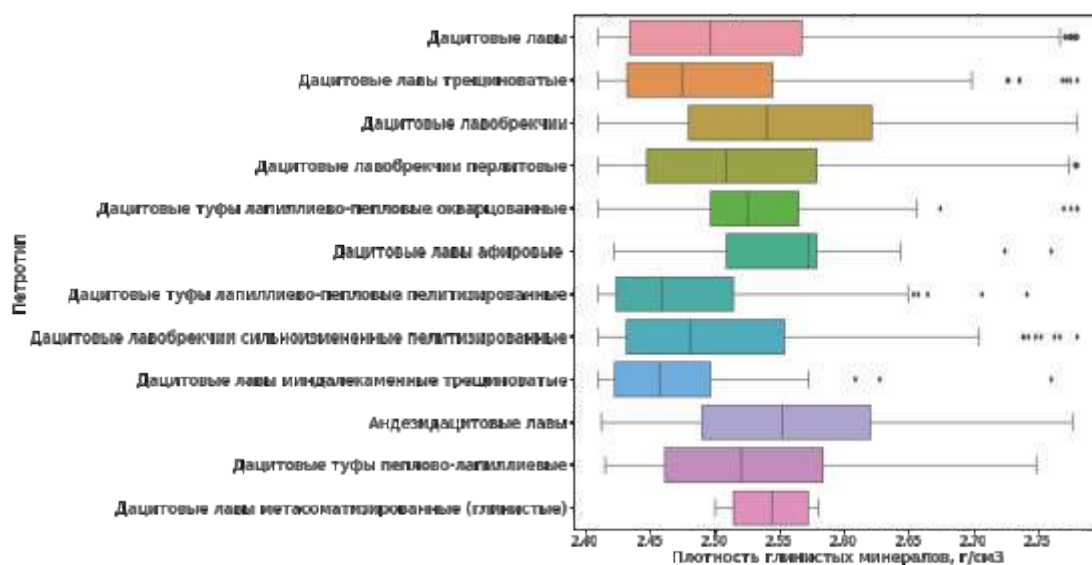
▲ Рис. 8. График box-plot для подгрупп петротипов по скорости пробега акустической волны для минеральной смеси Кварц+Плагиоклаз+КПШ.



▲ Рис. 9. График box-plot для подгрупп петротипов по ГК для минеральной смеси Кварц+Плагиоклаз+КПШ.



▲ Рис. 10. График box-plot для подгрупп петротипов по ГК для глинистых минералов.



▲ Рис. 11. График box-plot для подгрупп петротипов по плотности глинистых минералов.

определении характера насыщенности. Кроме того, недоучет железа сказывается на корректности определения пористости, которая будет сильно занижена при расчете пористости по показаниям плотностного каротажа. Более того, в интервалах повышенного содержания железа пористость из объемной модели проявляет себя значительно лучше, чем пористость по ЯМК, сравнение пористостей показано в треке 6 на Рисунке 1.

Используя результаты построения объемной модели (объемы и параметры чистых минералов) и кривые ГИС (АК, ГК, ГКп, W), оценивался потенциал каждого из параметров при прогнозе петротипов с помощью диаграмм box-plot. На Рисунках 4 - 11 представлен анализ box-plot для параметров скорости пробега продольной акустической волны и объемной плотности, а также для физических параметров чистых минералов. Тело свечи на диаграмме показывает распределение 75% данных, линия в теле свечи обозначает медиану распределения, «усы» диаграммы - максимальные и минимальные значения, точками обозначены выбросы. В представленном примере анализируются петротипы кислых вулканитов (риодациты и андезидациты в виде лав, лавобрекчий и туфов). По петрографическим признакам породы на изучаемом объекте можно разделить на 12 основных петротипов.

Выводы

Применение технологии «GS-Petrophysics» имеет хорошие перспективы для решения задачи построения объемной модели в сложных мультиминеральных отложениях, таких как магматические породы доюрского комплекса Западной Сибири. Применяемый метод позволяет избавиться от линейности решения матрицы уравнений, присущей стандартным подходам к построению объемной модели, и чувствителен к

изменению состава какой-либо компоненты.

Получаемые в результате применения технологии «GS-Petrophysics», кривые параметров чистых минералов могут быть использованы для уточнения минерального состава глинистых пород, что особенно актуально ввиду изменчивости их состава по разрезу. Более того, параметры чистых минералов могут быть использованы в качестве дополнительных входных данных при классификации пород по петротипам и при уточнении стратиграфических отбивок пластов.

Литература

1. Гольцман Ф. М. [1971] Статистические модели интерпретации. М., Наука, 327 с.
2. Еникеев Б. Н. [2014] Некоторые актуальные проблемы российской петрофизики и интерпретации. // Петрофизика сложных коллекторов: проблемы и перспективы. М., «ЕАГО Геомодель», 366 с.
3. Еникеев Б. Н. [2014] Построение нелинейных петрофизических уравнений и их использование при количественной интерпретации данных промысловой геофизики: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. М., 25 с.
4. Еникеев Б. Н., Кашик А. С., Чуринова И. М., Шпикалов Ю. А. [1980] Системный подход к задаче оценки свойств пласта по данным каротажа (модели и методы). М., ВНИИОЭНГ, 38 с.
5. Турчин В.Ф., Козлов В.П., Малкевич М. С. [1970] Использование методов математической статистики для решения некорректных задач. УФН, Т. 102. с. 345-386.
6. Халфин Л. А. [1972] Статистический подход к решению некорректных задач геофизики (содержание доклада, прочитанного по приглашению Оргкомитета на Международном симпозиуме «Математические основы интерпретации геофизических полей». Москва, май-июнь 1972) // Записки научных семинаров ЛОМИ. – Т. 79. – С. 67-81.
7. Элланский М. М. [2001] Петрофизические основы комплексной интерпретации данных геофизических исследований скважин (методическое пособие). М., Издательство ГЕРС, 229 с.

8. Элланский М. М. [1978] Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики. М., Недра, 215 с.

9. Barricelli, Nils A. [1954] Esempi numerici di processi di evoluzione // Methodos. p. 45-68.

10. Kobrunov, A., and I. Priezzhev, [2016] Hybrid combination genetic algorithm and controlled gradient method to train a neural network: Geophysics, 81, no. 4, 1–9.

11. Mitchell W.K., Nelson R.J. [1988] A Practical Approach To Statistical Log Analysis // SPWLA 29th Annual Logging Symposium. 1988. June 5–8

12. Mitchell W.K., Nelson R.J. [1991] Statistical log analysis made practical: World Oil, Vol. 212, No. 6, 1991. p. 115-119.

13. Priezzhev, I., L. Shmaryan, and G. Bejarano, [2008] Non-linear multi trace seismic inversion using neural network and genetic algorithm - "Genetic Inversion". Extended Abstracts, Annual Meeting, EAGE, St Petersburg.

14. Rudenko V.J., Babakov I.V. and Priezzhev I.I. [2020] Application of Genetic Algorithms for Multimineral Modeling Based on the Principle of Petrophysical Inversion // European Association of Geoscientists & Engineers - Conference Proceedings, Data Science in Oil & Gas, Oct 2020, Volume 2020, p. 1-6

15. Rudenko V.J. Babakov I.V. and Priezzhev I.I. [2020] Application of Hybrid Combination Technology Genetic Algorithm Using Well-Log Data for Multimineral Modeling with Computing of Changes in Each Mineral Endpoint // European Association of Geoscientists & Engineers - Conference Proceedings, Geomodel 2020, Sep 2020, Volume 2020, p. 1-5

16. Rudenko V. Yu., Babakov I.V. and Priezzhev I.I. [2020] Application of stochastic model and genetic algorithms for multimineral modeling based on principle of petrophysical inversion. // Geofizika, 2020 no. 6, p. 18-26.

Подробнее об авторах



Руденко
Василий Юрьевич

Заведующий сектором интерпретации ГИС в ЗАО «МиМГО». Выпускник «КГТУ». Автор множества публикаций в научных журналах Казахстана и РФ. Является автором программного комплекса «GS-Petrophysics».



Гуренцов
Данила Евгеньевич

Геофизик 1-й категории в ЗАО «МиМГО». В 2017 г. окончил РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина.



Гаврилов
Сергей Сергеевич

Директор ЗАО «МиМГО». Выпускник кафедры литологии и морской геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. К.г.-м.н. Автор порядка 30 статей. Соавтор в 4 Государственных патентах на изобретения.



Смирнова
Мария Евгеньевна

Научный сотрудник ЗАО «МиМГО». Область интереса: седиментология, петрография, интерпретация ГИС, сейсмогеологическое моделирование.

WiNG^{NT}

КАК ГАРАНТИРОВАТЬ КАЧЕСТВО ВАШЕЙ НОДАЛЬНОЙ СЪЁМКИ?



 **Nodal**
TECHNOLOGIES

WiNG - BOT ОТВЕТ!



Nantes, France
sales.nantes@sercel.com

www.sercel.com

Houston, USA
sales.houston@sercel.com

ANYWHERE. ANYTIME. EVERYTIME.

 **Sercel**

Ahead of the CurveSM

Атрибуты компьютерного зрения при количественном контроле качества в ПО «QCVision»

■ Молчанов А. Б., Твердохлебов Д. Н., ООО «РН-Эксплорейшн»

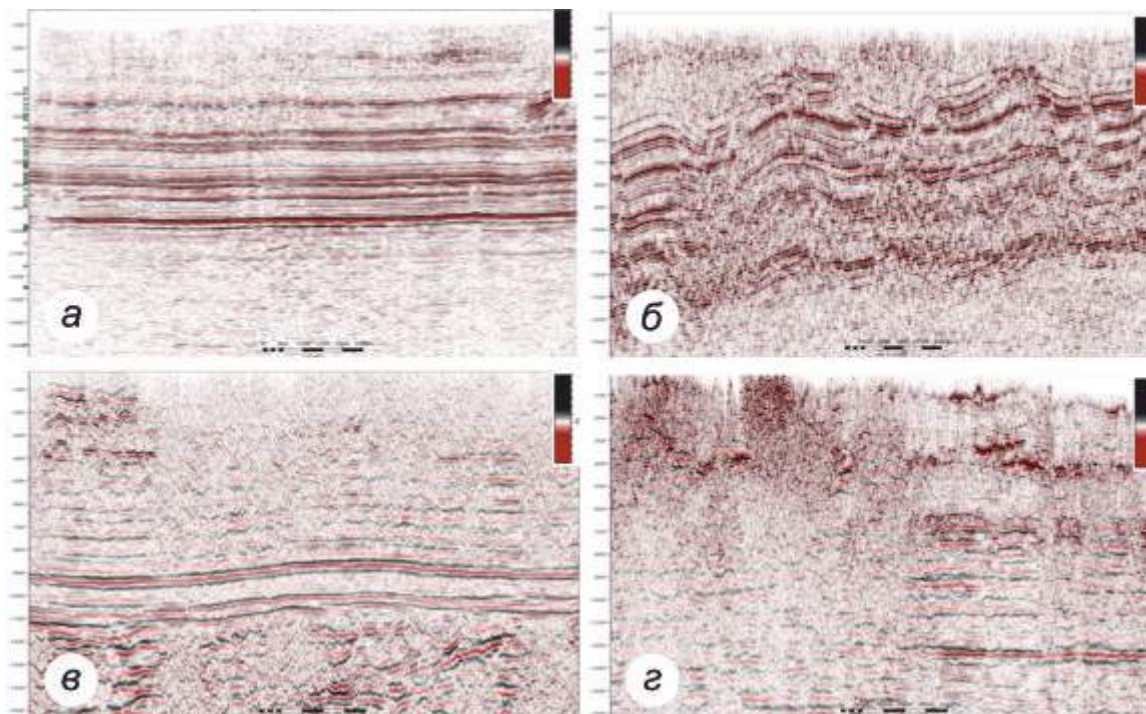
В данной работе приводятся результаты исследований по развитию количественного подхода к контролю качества сейсмических данных на различных этапах их обработки. Рассматриваются и анализируются используемые в настоящее время стандартные атрибуты сейсмической записи. В рамках проведенных исследований показано, что в ряде задач, связанных с оценкой качества разрезов и кубов в сложных сейсмогеологических условиях, стандартные атрибуты оказываются малоэффективны. Предложен новый класс атрибутов, основанных на применении алгоритмов компьютерного зрения (CV-атрибуты), проведено сравнение эффективности этих атрибутов со стандартными. Также создано независимое программное обеспечение (ПО) «QCVision», позволяющее вычислять как стандартные, так и CV-атрибуты и выполнять оконные оценки качества по сейсмограммам, 2D разрезам и 3D кубам.

Введение

В настоящее время активно ведутся исследования новых методик, способных повысить успешность геолого-разведочных работ (ГРП) в сложных сейсмогеологических условиях. В ходе районирования лицензионных участков (ЛУ) Восточной Сибири по качеству имеющихся архивных сейсмических данных было выделено четыре класса сложности [Гуренцов, 2020] (рис. 1). Первый и второй

классы характеризуются сравнительно высокой прослеживаемостью геологических структур на всей глубине исследования, в данных третьего класса присутствуют искажения и нарушения фокусировки малоглубинных горизонтов, четвертый класс представляет особые трудности для проведения интерпретации, поскольку в таких данных содержатся полностью слепые зоны, когда невозможно корректно проследить даже фундамент.

▼ Рис. 1. Классы сложности по качеству сейсмических данных на ЛУ Восточной Сибири: а – I класс, б – II класс, в – III класс, г – IV класс.



Приведённая классификация является качественной. Она была выполнена специалистами геолого-геофизической службы ООО «РН-Эксплорейшн» и может быть использована для предварительной оценки потенциала того или иного ЛУ. Однако в ситуации, когда необходимо провести детальный анализ и выявить число перспективных на УВ объектов, следует использовать количественные критерии оценки качества, поскольку точность качественных критериев всегда довольно сильно ограничена.

Другим фактором, мотивирующим к использованию численных критериев качества, является их объективность по сравнению с качественными оценками. Можно привести ряд примеров, в которых результаты обработки одних и тех же сейсмических данных, проведённых различными компаниями, сравнивались между собой по качеству с привлечением сразу нескольких экспертов, и в результате оказывалось, что эксперты не могут сойтись во мнении относительно того, какой результат лучше, а какой – хуже. Кроме того, если в процессе обработки сравнение результатов применения тех или иных процедур с различными параметрами также производится на глаз, то результат будет сильно зависеть от опыта обработчика и от тех данных, с которыми он работал ранее, то есть будет субъективным. Если же критерии качества вычисляются по одним и тем же известным формулам, то оценка будет объективной и однозначной.

Третьим фактором в пользу количественных критериев является их автоматизируемость. Математические формулы для расчёта тех или иных атрибутов сейсмической записи не требуют ручных вычислений и легко могут быть реализованы во многих языках программирования, а современные технологии парал-

лельных вычислений позволяют применять эти критерии для оценки качества больших объёмов данных. Таким образом, могут быть созданы автономные и автоматизированные решения, выполняющие оценку качества без участия геолога/геофизика, не отнимая его рабочее время. Ряд таких решений уже существует и востребован геолого-разведочными компаниями.

Стандартные атрибуты качества

На сегодняшний день известно множество количественных критериев, основанных на вычислении конкретных атрибутов сейсмической записи. Существуют также стандартные наборы атрибутов качества, хотя нужно отметить, что разные авторы выделяют разные группы вычисляемых атрибутов. Так в работе [Белоусов, 2011], которая является канонической в этом направлении, обсуждается три группы атрибутов: амплитудные, корреляционные и спектральные. К первой группе относятся среднее и среднеквадратичное значения амплитуды сигнала в окне анализа. Эти атрибуты характеризуют соответственно уровень колебательных процессов и статистическую меру энергии сейсмического сигнала. Во вторую группу входят оценки доминирующей (доминантной) частоты и соотношения сигнал/помеха, вычисляемые по автокорреляционной функции (АКФ) для каждой трассы. Группа спектральных оценок включает в себя следующие атрибуты: энергия спектра (в том числе, в заданном диапазоне частот), пиковая частота, центральная частота, ширина спектра, процентная часть спектра. Пиковая и центральная частоты характеризуют соответственно наиболее выраженную частоту сейсмического сигнала и равномерность распределения частот в спектре. Ширина спектра опре-

деляет спектральную разрешённость записи. Процентная часть спектра является энергетической мерой выраженности выделенного диапазона частот.

В дополнение к приведённым атрибутам часто используются количественные оценки, описанные в работе [Araman, 2012], которые являются характеристиками временной разрешённости и динамических показателей сигнала. Данные атрибуты вычисляются по АКФ. Также для количественной оценки качества применяется атрибут когерентности, активно используемый на этапах интерпретации. Названные здесь величины мы далее будем относить к группе корреляционных оценок.

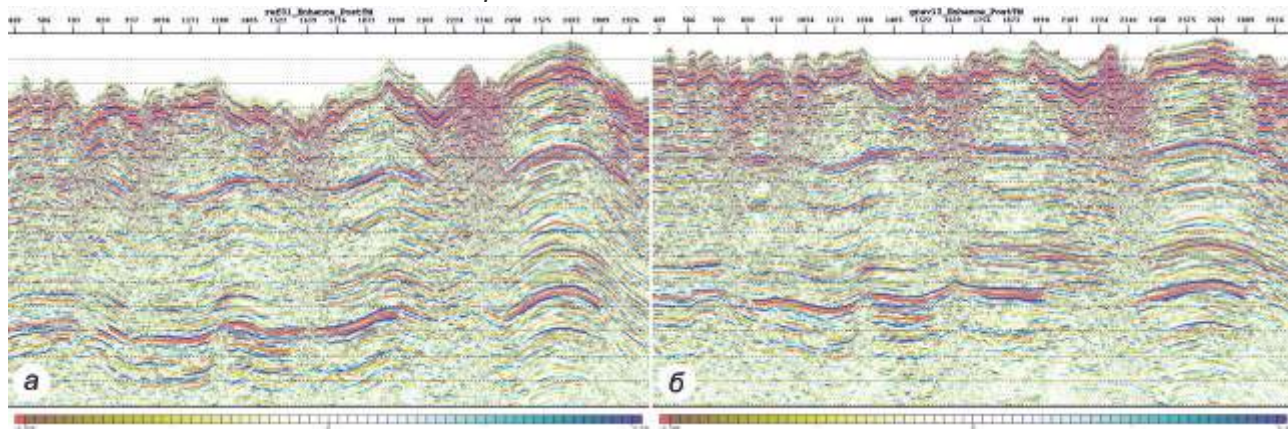
При выборе системы атрибутов для количественной оценки качества сейсмического материала в заданных условиях естественным образом возникают два вопроса: 1) достаточно ли эта система полна и 2) не является ли количество включённых в неё атрибутов избыточным? Ответ на первый вопрос почти всегда зависит от поставленной задачи, в то время как ответ на второй в большинстве случаев оказывается утвердительным, по крайней мере в смысле удобства представления результатов. Кроме того, независимость одних атрибутов от других никак не гарантирует корреляцию

их значений в конкретных случаях, так что и в этом вопросе постановка задачи играет ключевую роль.

В ходе исследований, проведённых в группе геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн», было показано, что в определённых задачах использование стандартных атрибутов сейсмической записи не позволяет в полной мере решить задачу оценки качества. В частности, в ранее опубликованных работах [Мостовой, 2021] [Молчанов, 2021] была представлена количественная методика комплексирования геофизических данных, позволяющая существенно улучшить качество сейсмических разрезов и кубов. Ключевой особенностью данной методики является модификация глубинно-скоростной модели верхней части разреза (ВЧР) с получением наиболее корректных априорных статических поправок. При использовании данной методики часто приходится сравнивать между собой разрезы, полученные при различных вариантах априорных статических поправок, имеющие отличия в основном на средних и длинных периодах. Пример пары таких разрезов, полученных по модельным данным, показан на рис. 2.

Наиболее часто используемые при оценке 2D разрезов стандартные атрибу-

▼ Рис. 2. Разрезы с разными априорными статическими поправками, отличающимися на средних и длинных периодах: а – по исходной ГСМ по сейсмической томографии, б – с использованием комплексирования.



Атрибут	Stat A	Stat B	Относительное изменение
Доминантная частота	34,83 Гц	36,67 Гц	+5,3 %
Пиковая частота	34,0 Гц	34,0 Гц	0,0 %
Ширина спектра	22,72 Гц	20,83 Гц	-8,3 %
Процентная часть спектра	83,99	84,26	+3,2 %
Динамическая выраженность	0,59	0,57	-3,3 %
Индекс полосы пропускания	0,82	0,77	-6,1%

▲ Табл. 1. Стандартные атрибуты качества и их относительное изменение для пары разрезов, полученных при различных вариантах априорных статических поправок.

ты качества для данной пары приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что атрибуты меняются незначительно, причём в обе стороны, что не позволяет установить, какой из разрезов имеет наилучшее качество. В самом деле, ввод различных вариантов статических поправок не оказывает существенного влияния на амплитудные и спектральные характеристики сигнала; корреляционные атрибуты изменяются крайне слабо или вовсе не изменяются в случае длиннопериодных изменений статических поправок.

Одной из главных причин данной проблемы является локальность используемых атрибутов: все эти величины вычисляются по значениям каждого дискрета сейсмических данных вне зависимости от формы и положения того или иного события на временном разрезе/кубе/отдельной сейсмограмме, при том, что ввод статических поправок влияет прежде всего именно на морфологию сейсмических событий. Здесь под сейсмическим событием мы понимаем непрерывно прослеживаемый участок изображения отражающей или рассеивающей геологической структуры. Таким образом, решение состоит в том, чтобы подняться на более высокий уровень абстракции: от анализа дискретов к анализу отдельных сейсмических событий.

Атрибуты компьютерного зрения

Возникает вопрос, как сохранить количественный подход к оценке качества при такой смене «системы отсчёта»? Ответ состоит в использовании технологий компьютерного зрения (Computer Vision, CV), которые позволяют выделить сейсмические события и описать их свойства математически. Причём существующие алгоритмы позволяют это делать однозначным образом. Введём на этой основе новый класс атрибутов (CV-атрибуты), которые будут определяться для отдельных сейсмических событий. В него прежде всего войдут основные геометрические характеристики сейсмических событий:

- 1) Прослеживаемость – величина, определяемая по латеральной протяжённости события;
- 2) Спрямлённость – соотношение между временной и латеральной протяжённостью;
- 3) Гладкость – величина, обратная кривизне сегментов линии, аппроксимирующей сейсмическое событие. Последний атрибут эффективен для оценки качества сейсмике в регионах с круто падающими границами геологических горизонтов, как например в морских данных. Можно также определить характеристики более высокого порядка (содержащие производные), такие как,

Атрибут	Stat A	Stat B	Относительное изменение
Прослеживаемость	18,49	24,57	+32,9 %
Спрямлённость	0,25	0,32	+28,0 %

▲ Табл. 2. CV-атрибуты и их относительное изменение для пары разрезов, полученных при различных вариантах априорных статических поправок.

например, коэффициенты полиномиального разложения при аппроксимации кривой сейсмического события полиномом заданного порядка. Это позволит наиболее точно описать форму события, однако на практике оказывается достаточно и приведённых здесь атрибутов. Значения средней прослеживаемости и средней спрямлённости по разрезам, показанным на рис. 2, приведены в таб. 2. Видно, что данные атрибуты явно показывают прирост качества разреза, полученного при помощи комплексирования, по сравнению с исходным разрезом по сейсмической томографии.

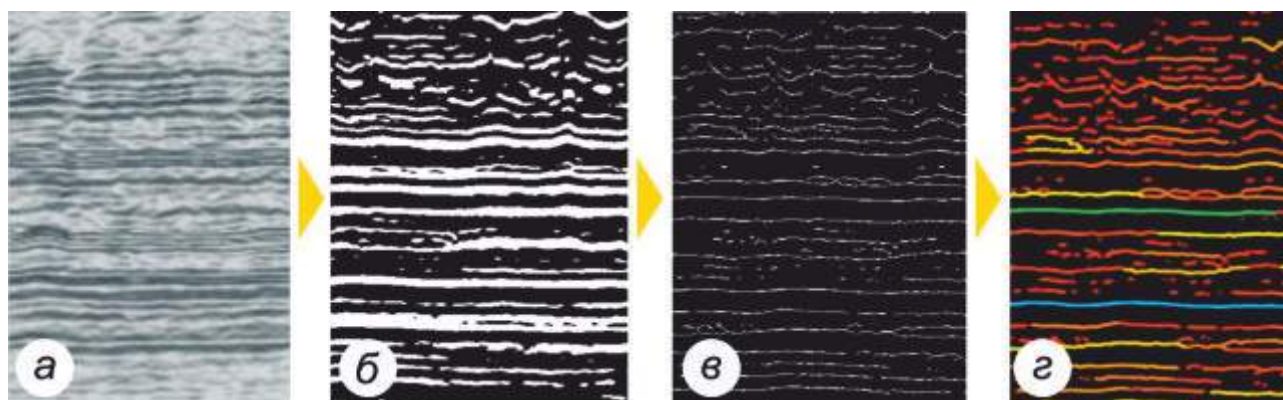
Вычисление CV-атрибутов по сейсмическому изображению может быть проведено в несколько этапов (рис. 3). Прежде всего, необходимо подготовить данные к использованию алгоритма, выделяющего контуры на изображении. Первым шагом является конвертация изображения сейсмического разреза в чёрно-белое представление по заданному порогу. Поскольку сейсмические

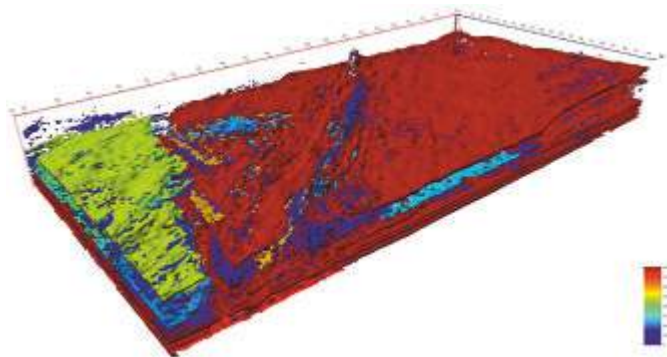
события представляют собой незамкнутые контуры, необходимо провести так называемую процедуру скелетизации – истончения белых участков бинаризованного изображения до линий толщиной в один пиксель. После скелетизации может быть применён алгоритм поиска контуров. Контуры аппроксимируются ломаными линиями, для которых нетрудно вычислить значения предложенных атрибутов.

CV-атрибуты естественным образом обобщаются на 3D данные. Если на 2D разрезе сейсмическое событие представляет собой криволинейный отрезок, то в 3D кубе оно будет являться криволинейной поверхностью. Поэтому прежде всего применяется алгоритм «Marching cubes» [Lorensen, 1987], выделяющий поверхности в объёмных данных. Суть его в следующем. Прежде всего, задаётся значение амплитуды, которое будет определять искомую поверхность. Далее для каждой ячейки размером 2x2x2 дискрета сравниваются значения ампли-

▼ Рис. 3. Этапы вычисления CV-атрибутов для 2D данных:

а – исходное сейсмическое изображение, б – бинаризация, в – скелетизация, г – выделенные контуры событий (цветом показан атрибут прослеживаемости).





▲ Рис. 4. Визуализация атрибута прослеживаемости для фрагмента 3D куба.

туд между дискретами из данной ячейки. Если в ячейке присутствуют дискреты с амплитудами как меньшими, так и большими заданного значения, то между соответствующими точками ячейки строится фрагмент поверхности, состоящий из одного или нескольких треугольников. Таким образом, при анализе всех ячеек в кубе удаётся выделить искомую поверхность.

Введённые CV-атрибуты в 3D задаются аналогичным образом. Пример вычисления атрибута прослеживаемости для фрагмента 3D куба показан на рис. 4.

Подход к оценке качества с использованием алгоритмов компьютерного зрения не только решает описанную выше проблему оценки качества комплексов, но и открывает ряд новых возможностей. Так, например, в

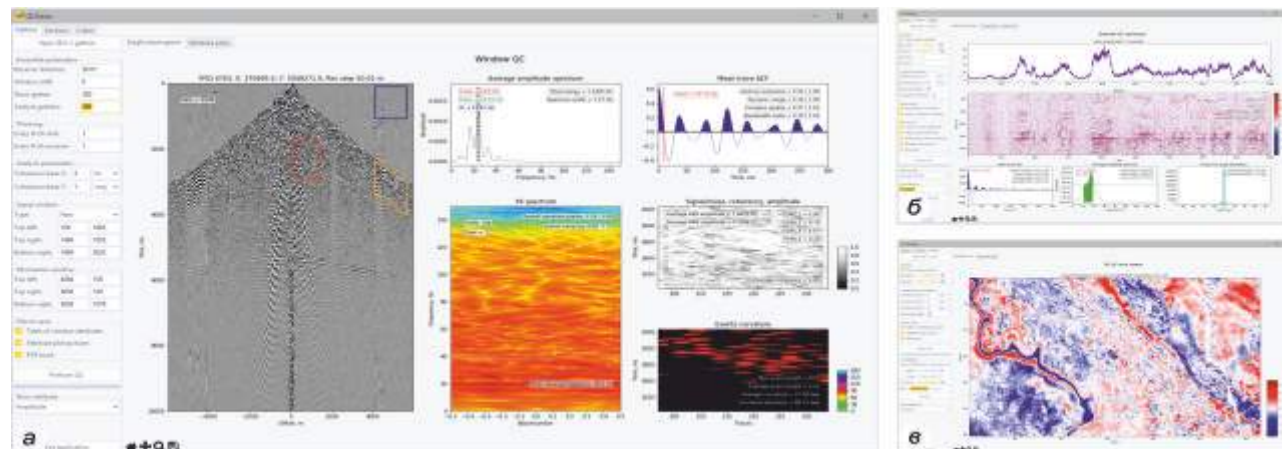
задаче, связанной с поиском оптимальной системы наблюдения, когда требуется определить такую плотность расстановки приёмников, при которой будет подавляться определённый тип волн-помех, часто анализируют FK-спектры модельных сейсмограмм. Целью анализа является нахождение частоты, начиная с которой, в спектре появляются помехи, связанные с пространственным алейсингом. Такая (критическая) частота определяется визуально по пересечению наклонных прямых линий в FK-спектре (отвечающих помехам) с осью частот. С помощью алгоритмов компьютерного зрения, осуществляющих поиск линейных элементов на изображении, стало возможным автоматизировать этот процесс и сократить время выполнения задачи.

ПО «QCVision»

В рамках исследований в группе геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн» было разработано ПО «QCVision», позволяющее проводить контроль качества сейсмических данных в окнах анализа по сейсмограммам, 2D разрезам и 3D кубам, с вычислением стандартных и CV-атрибутов. ПО содержит в себе функции известных программ для контроля качества сейсмических

▼ Рис. 5. Основные вкладки интерфейса ПО «QCVision»:

а – анализ сейсмограмм, б – анализ разрезов, в – анализ кубов.



данных, имея при этом дополнительные возможности в части реализации алгоритмов компьютерного зрения. Программа имеет интуитивно понятный интерфейс, разделённый на три части (workflows) для анализа сейсмограмм, 2D разрезов и 3D кубов (рис. 5).

Общий порядок работы с программой довольно прост. На нужной вкладке пользователю прежде всего необходимо загрузить SEG-Y файл с данными в программу. Далее следует указать окно анализа. Для сейсмограмм возможно сразу задать два окна: по ближним и дальним выносам, указав выносы и времена вручную, либо щелчками мыши по сейсмограмме. Также присутствует возможность смещения окон по времени для разных FFID по заданным контрольным точкам (если глубина залегания целевых горизонтов сильно меняется). Для разрезов и кубов задаются прямоугольные окна по времени. Затем нужно выбрать, какие файлы программа должна будет сохранять при вычислении атрибутов: предусмотрено сохранение таблиц атрибутов, изображений их графиков, а также сшивка всех визуализируемых изображений в единую PDF книгу. Для 2D разрезов есть возможность

сохранять общую таблицу по всем профилям, в которой значения атрибутов будут привязаны к номерам ОГТ и их координатам. Наконец, пользователю остаётся нажать кнопку запуска вычислений.

После вычисления всех атрибутов их средние значения между разрезами или кубами можно будет сравнить на интерактивной лепестковой диаграмме (рис. 6), которая строится по списку атрибутов, указанному пользователем в соответствующем диалоговом окне. При визуализации атрибуты разделяются на четыре группы, соответствующие амплитудным, корреляционным, спектральным и CV-атрибутам.

Результаты тестирования и выводы

Тестирование ПО «QCVision» и методики оценки качества по CV-атрибутам проводилось как на модельных, так и на реальных 2D и 3D данных. Большая часть данных представляет собой архивные профили по ЛУ Восточной Сибири (свыше 17 000 профилей). По этим профилям ранее была сделана выборка из 384 профилей, по которой специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» было визуально

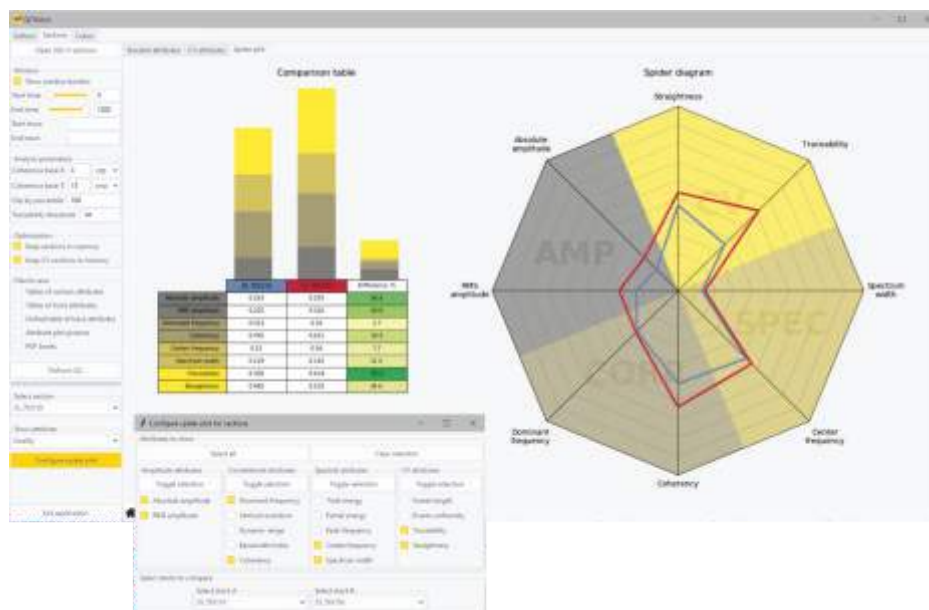
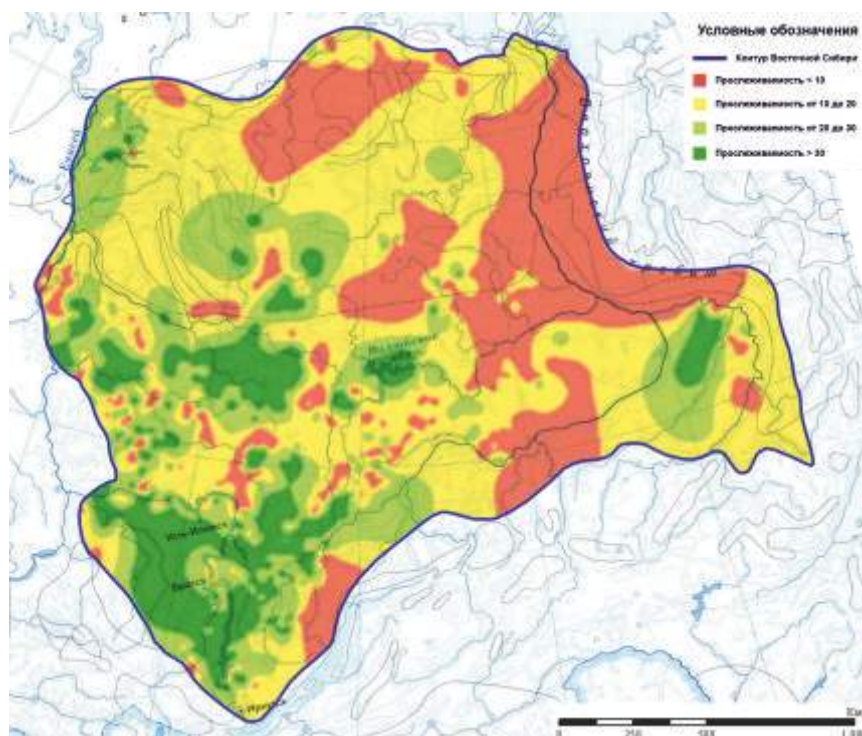


Рис. 6. Визуализация интерактивной лепестковой диаграммы для сравнения разрезов в ПО «QCVision».

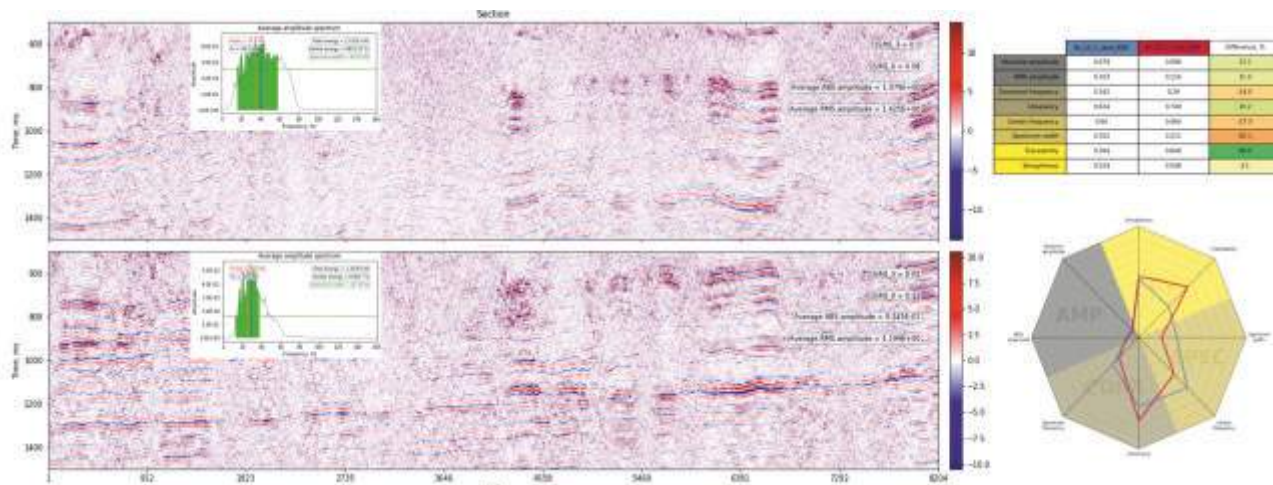
определено качество материала: произведена классификация в соответствии с описанными в начале статьи четырьмя классами сложности. После вычисления атрибутов в ПО «QCVision» было проведено сравнение оценок по профилям из данной выборки. В качестве основного атрибута, характеризующего качество данных, была выбрана прослеживаемость. Разделение шкалы прослеживаемости на интервалы, соответствующие классам, определённым вручную, было выбрано так, чтобы максимизировать корреляцию между ручной q_m и автоматической q_a оценками. При сравнении оценок представляется возможным вычислить долю ошибок второго рода, возникающих при планировании ГРП на основе ручной оценки. В математической статистике ошибкой второго рода называется ситуация, когда нулевая гипотеза была неверно принята. В нашем случае нулевая гипотеза H_0 – утверждение о хорошем качестве данных ($q=1; 2$),

альтернативная H_1 – утверждение о плохом качестве ($q=3; 4$). Ошибкой второго рода является ситуация, когда ГРП спланированы в предположении хорошего качества данных (следуя ручной оценке), но на деле (при количественной оценке) оказывается, что качество плохое, и требуются дополнительные затраты на их обработку. Условие ошибки второго рода: $q_m < q_a - 1$. Доля таких ошибок в выборке из 384 профилей составила **9,14%**. Эта доля хотя и невелика, является заметной в масштабах всей Восточной Сибири. В результате исследования была построена новая карта классификации сложности сейсмического материала по Восточной Сибири (рис. 7).

Приведём также один из примеров, когда при контроле качества комплексирования геофизических методов стандартные атрибуты качества дают неправильную оценку. На рис. 8 показано сравнение двух профилей после обработки, приведённых в предыдущей



◀ Рис. 7.
Карта классов сложности сейсмического материала по Восточной Сибири.



▲ Рис. 8. Сравнение стандартных и CV-атрибутов качества для реальных разрезов 2D по Восточной Сибири, полученных по сейсмической томографии (сверху, синий контур) и при помощи комплексирования (снизу, красный контур).

работе [Молчанов, 2021], с визуализацией вычисленных атрибутов.

Видно, что спектральные атрибуты показывают ухудшение качества: до -40% по ширине спектра, однако при этом CV-атрибуты демонстрируют существенное улучшение (что видно и невооружённым глазом): до +64% по прослеживаемости. Такая ситуация объясняется тем, что с применением комплексирования и получением более корректных априорных статических поправок после обработки удаётся получить сфокусированное изображение горизонтов, которое присутствует лишь на низких частотах (порядка 30 Гц). Ввиду сложного строения ВЧР на данном ЛУ на более высоких частотах интенсивнее происходит рассеивание, и полезная информация не сохраняется.

Таким образом, к настоящему моменту появилась возможность объективной и однозначной количественной оценки сейсмического материала, которая вполне пригодна для применения в сложных сейсмогеологических условиях и даёт корректный результат. Предло-

женная группа атрибутов реализована в специализированном ПО, которое успешно протестировано как на модельных, так и на реальных сейсмических данных.

Литература

1. Araman A., Paternoster B., Isakov D., Shchukina N. Seismic quality monitoring during processing: what should we measure? // SEG Las Vegas 2012 Annual Meeting, P.1-5.
2. Lorensen W.E., Cline H.E. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm // Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, July 1987
3. Белоусов А.В. Стандартные оценки качества полевого сейсмического материала // Приборы и системы разведочной геофизики, №03(37)/2011, С. 31–36.
4. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С. Повышение качества регистрируемых сейсмических данных на основе передовых технологий 2D/3D моделирования // Труды III Международной геолого-геофизической конференции и выставки «ГеоЕвразия 2020. Совре-

менные технологии изучения и освоения недр Евразии» Том III (III) [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2020, С. 22-25.

5. Молчанов А.Б., Лыгин И.В., Твердохлебов Д.Н., Мостовой Д.В. Комплексирование геофизических методов для 2D и 3D данных в ПО «Tomplex» // Приборы и системы разведочной геофизики, №3/2021, С. 43-52.

6. Мостовой Д.В., Твердохлебов Д.Н., Лыгин И.В., Молчанов А.Б., Габова М.Н., Гвоздик С.А., Емельянова К.Л., Мельников Р.С. Построение модели ВЧР на основе комплекса геофизических методов с целью улучшения качества данных сейсморазведки // Геофизика, №2/2021, С. 25-35.

7. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Алгоритмы и критерии оценки качества полевых сейсмических записей // Технологии сейсморазведки, №2/2011, С. 40-48.

Подробнее об авторах



Молчанов
Алексей Борисович

специалист группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



Твердохлебов
Данила Николаевич

к.т.н., руководитель группы
геофизических работ
ООО «РН-Эксплорейшн»



ГЕОФОНЫ БЕЗ КОРПУСА

- Вертикальные;
- Горизонтальные;
- Всенаправленные;
- Скважинные.

ГРУППЫ ГЕОФОНОВ

- Полевые;
- Трёхкомпонентные;
- Болотные.

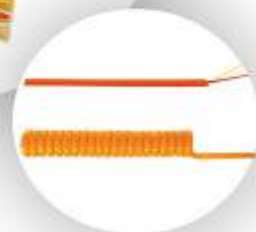


РАЗЪЕМЫ

- Для групп геофонов;
- Для подключения к станции;
- Герметичные;
- Комплектующие к разъемам.

КАБЕЛЬНАЯ ПРОДУКЦИЯ

- Телеметрические кабели;
- Линейные сейсмические кабели до 100 жил;
- Сейсмокосы всех типов;
- Кабель сейсмический;
- Кабель электроразведочный.



ПРОДАЖА И ПОСТАВКА ПРОДУКЦИИ USA

- GEOSPACE TECHNOLOGIES (Хьюстон);
- По России и СНГ;
- Бескабельные системы;
- Для морских систем;
- Аренда оборудования.



КОМПЛЕКТУЮЩИЕ ОХРАННЫХ СИСТЕМ

- Кабель;
- Геофоны;
- Корпусные элементы;
- Разъемы для подключения

СЕРВИСНЫЕ РАБОТЫ

- Устранение обрывов;
- Ремонт и замена разъемов;
- Ремонт и замена канальных выводов;
- Тестирование секций телеметрического кабеля;
- Ремонт кос.
- Ремонт групп геофонов.



Россия, Башкортостан,
г. Уфа 450001,
ул. Кировоградская, 36.

Методика системного анализа сигналов сейсмо-электрического эффекта при поиске углеводородов

■ Шайдуров Г.Я., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Приводятся системные формулы для оценки сигналов и помех при постановке сейсмо-электрического метода поиска углеводородов, включающие все основные параметры задачи и позволяющие прогнозировать ожидаемые результаты.

Корректность методики проверялась экспериментальным путем по данным постановки этой технологии на хорошо разведанной Быстринской площади Минусинского газоконденсатного месторождения (республика Хакасия) в 2017 году.

Дается оценка необходимости использования «бинарной» технологии с дополнительной подсветкой электрическим полем от вспомогательного источника.

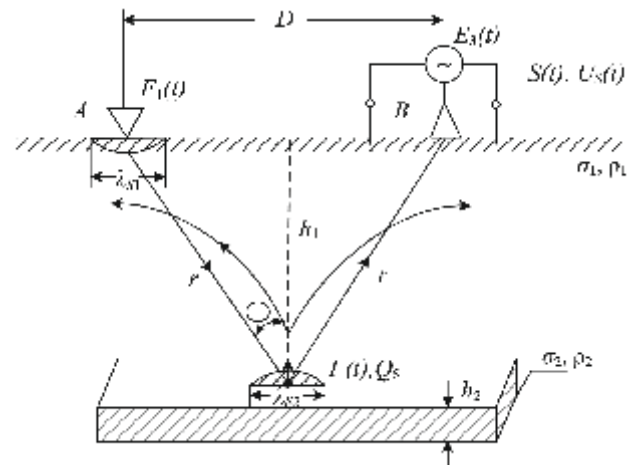
Сегодня во всем мире наблюдается большой интерес геофизиков к сейсмо-электрическому методу прямых поисков углеводородов, позволяющему, как это показано в [1], на морских работах до четырех раз увеличить эффективность бурения разведочных скважин.

Начиная с работ Иванова, Френкеля (СССР), Биота (США) [2, 3, 4], разными авторами производились теоретические исследования СЭ эффекта в пористых горных породах, основанные на решении дифференциальных уравнений, описывающих физические явления, происходящие в таких средах. Установлено, что акустическое воздействие на пористую породу вызывает существенные и длительные изменения ее электропроводности [5].

Однако пользователям и разработчикам аппаратного комплекса СЭ метода, как правило инженерам, требуется наглядная для физического понимания методика расчетов необходимой мощности сейсмических воздействий на продуктивный пласт, оптимальная рабочая частота и метод кодирования излучения, оценка статистических параметров обнаружения.

На рис. 1 представлена расчетная схема проведения работ.

На этой схеме продуктивный газовый пласт, площадью $L_1 \times L_2 = 3 \cdot 10^6 \text{ м}^2$ с элек-



▲ Рис. 1. Схема реализации полуактивного сейсмо-электрического метода.

тропроводностью $\sigma_2 = 10^{-5}$ сим/м, удельным весом газовой среды $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$, находится на глубине $h = 1500 \text{ м}$.

Импульсный невзрывной источник электромагнитного типа, соответствующий по параметрам известной системе «Енисей КЭМ-4», с силой ударного импульса $F = 10^5 \text{ кг}$, установлен на профиле в точке А, а сейсмоприемник и приемный электрический диполь в точке В с разносом между ними $D = 1000 \text{ м}$.

Электропроводность вмещающей горной породы и пласта для расчета приняты как $\sigma_1 = 10^{-3}$ сим/м, $\sigma_2 = 10^{-5}$ сим/м, плотность этих сред соответственно $\rho_1 = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, $\rho_2 = 100 \text{ кг/м}^3$, а скорость распространения сейсмических волн $V_1 = 4000 \text{ м/с}$; $V_2 = 500 \text{ м/с}$.

Указанные параметры специально выбраны для сопоставления с данными



▲ Рис. 2. Геологическая карта Быстринской площади.

опытных работ на Быстринской площади Минусинского газоконденсатного месторождения (республика Хакасия) проведены под руководством автора [6].

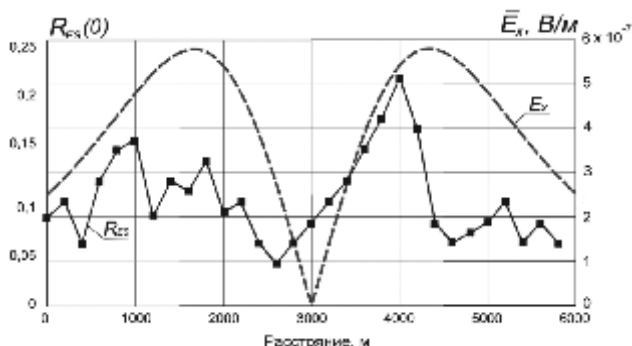
На рис. 2 представлена геологическая карта этой площади с обозначением изолиний одинаковой глубины с площадью аномальной зоны $L_1 \times L_2 = 3 \cdot 10^6 \text{ м}^2$. Газосодержащий пласт по данным бурения находится на глубинах 1500–1800 м.

На рис. 3 показаны результаты профилирования и расчеты электрического поля СЭ эффекта.

При этом экспериментальная кривая профилирования построена в виде коэффициента взаимной корреляции (КВК) электрического $E(t)$ и сейсмического $S(t)$ сигналов:

$$R_{ES}(0) = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) S(t - \tau) dt \quad (1)$$

▼ Рис. 3. Экспериментальная и расчетная профильные характеристики.



Где: $T=6$ мин – время наблюдения усредненных сигналов.

По виду профильных характеристик, двугорбый их характер с минимумом в центре аномалии указывает на то, что такого рода профильные кривые электрического поля могут быть получены от вертикального электрического диполя находящегося в центре продуктивного пласта.

Таким образом, излагаемая ниже методика расчета основана на оценке напряженности вторичного электрического поля вертикального электрического диполя на поверхности земли в точке установки приемного диполя В.

Длительность импульса источника «Енисей КЭМ-4» равнялась 5 мс, а период повторения 10 с.

Смещение поверхности пласта Z под действием сейсмического удара $F_2(t)$ запишем в виде дифференциального уравнения:

$$m \frac{\delta^2 Z}{\delta t^2} + \frac{P_0 \delta Z}{V_2 \delta t} - F_2(t) = 0 \quad (2)$$

Где: P_0 – сила сопротивления среды; $m = \frac{1}{2} V_2 \cdot \tau \cdot \rho_2 S_1$ – масса смещаемой среды; V_2 – скорость смещения среды; ρ_2 – плотность среды; τ – длительность сейсмического импульса; $S_1 = \lambda_s^2$ – площадь первой зоны Френеля.

Решение этого уравнения дает:

$$Z = \frac{F_2(t) \tau^2}{m \left(1 + \frac{P_0}{m V_2} \right)} \quad (3)$$

Для газосодержащей среды можно не учитывать силу сопротивления среды P_0 и в этом случае:

$$Z = \frac{F_2(t) \tau^2}{m} = \frac{2 F_2(t) \tau}{S_1 \cdot V_2 \cdot \rho_2} \quad (4)$$

Где $S_1 \approx \lambda_{s2}^2 = \left(\frac{V_2}{f_s} \right)^2$ – площадь первой

зоны Френеля на поверхности пласта; λ_{s2} – кажущаяся длина волны (КДВ) [7];
 $f_s = \frac{1}{2\tau}$ – средняя частота в спектре импульса.

Выражая силу удара через давление на пласт $F_2(t) = P_2(t) \cdot S_1$, из (4) получим окончательное уравнение для оценки Z , считая, что газовая среда смещается на глубину прохождения импульса $\Delta h_2 = V_2 \tau$

$$Z = \frac{P_2(t) \tau}{V_2 \rho_2} \quad (5)$$

При проектировании работ на нефть необходимо в (4) учесть силу сопротивления P_o , которую целесообразно определить измерением на керне взятом из скважины пробуренной в районе поисков.

Давление волны на пласт в дальней зоне источника определим через соотношение [7]:

$$P_2(t) = \frac{4F_1 \eta}{\pi R_u^2} \cdot \frac{\lambda_{s1}}{r} e^{-\alpha r} \cos \theta \quad (6)$$

Где: η – КПД источника; R_u – радиус опорной плиты излучателя;

$\lambda_{s1} = \frac{V_o}{f_s}$ – размер первой зоны Френеля на поверхности земли; V_o – скорость продольной волны у поверхности; $f_s = \frac{1}{2\tau}$ – средняя рабочая частота ударного импульса; α – коэффициент поглощения сейсмической волны в горной породе.

Коэффициент 4 в (6) учитывает число излучателей в источнике. Так в «Енисей КЭМ-4» таких излучателей четыре, с силой удара каждого $F_1 = 25 \cdot 10^3$ кг.

Подстановка в (6) следующих частных значений параметров: $F_1 = 25 \cdot 10^3$ кг кг; $\eta = 0.7$; $\tau = 5 \cdot 10^{-3}$ с; $R_u = 0.7$ м; $V_o = 2000$ м/с; $f_s = 100$ Гц; $\lambda_{s1} = 20$ м; $r = 1600$ м; $\alpha = 10^{-4}$ 1/м;

$\cos \theta = \frac{h_1}{r} = \frac{10^3}{1.6 \cdot 10^3}$, дает амплитуду давления $P_2 = 1600$ кг/м².

Такое давление вызывает в элементе пласта с площадью $S_1 = 1 \text{ м}^2$, ток с амплитудой:

$$I_1 = E_o S_1 \sigma_2 \cdot Z \quad (7)$$

Здесь учитываются только ток проводимости, поскольку на низких частотах < 100 Гц токи смещения практически не играют роли.

С учетом всей площади пласта с чис-

лом элементов, $n = \frac{L_1 L_2}{\lambda_s^2}$ – суммарный ток эквивалентного электрического диполя, размещенным в центре пласта.

$$I_\Sigma = 2E_o \sigma_2 \cdot L_1 L_2 \frac{P_2 \tau}{V_2 \cdot \rho_2} \quad (8)$$

Общий электрический заряд пласта:

$$Q_E = I_\Sigma \cdot \tau \quad (9)$$

Плотность тока, вызванного этим зарядом в районе точки наблюдения:

$$j_x = \frac{I_\Sigma}{4\pi h_1^2} e^{-\beta h} \sin \theta \quad (10)$$

Где: $\beta = \sqrt{\pi f_s \mu_0 \sigma_1}$ – коэффициент поглощения электрического поля.

Напряженность электрического поля в точке наблюдения:

$$E_x = \frac{j_x}{\sigma_1} \quad (11)$$

Откуда получим системную формулу для оценки напряженности вторичного электрического поля сейсмо-электрического эффекта:

$$E_{xp} = \frac{E_o \sigma_2 L_1 L_2}{4\pi h_1^2 \sigma_1} \cdot \frac{P_2 \tau}{V_2 \rho_2} e^{-\beta h} \sin \theta \quad (12)$$

Подстановки частных значений всех параметров $\sigma_2/\sigma_1 = 10^{-2}$; $h_1 = 1500$ м; $E_o = 120$ м; $P_2 = 1600$ кг/м²; $L_1 \cdot L_2 = 3 \cdot 10^{-6}$ м²; $V_2 = 500$

м/с; $\rho_2=100$ кг/м³; $e^{-\beta h}=0.7$; $\sin\vartheta=0.33$, $Z=1.6 \cdot 10^{-4}$ м, дает $E_{xp}=4.6$ мкВ/м.

Коэффициент поглощения переменного электрического поля в горной породе $\beta=3 \cdot 10^{-4}$ 1/м, оценивается на средней частоте $f_E=10$ Гц фильтра нижних частот установленного на входе приемника для защиты от промышленных помех в диапазоне 0.1–20 Гц.

В экспериментах на указанной выше Минусинском газоконденсатном месторождении с похожими параметрами системы, наблюдались величины $E_3=1 \div 2$ мкВ/м, что с учетом взятых приближений параметров, позволяет считать описанную методику достаточно корректной.

Например, если взять $\sigma_2=10^{-6}$ сим/м, то $E_x=0.4$ мкВ/м.

Давление сейсмического удара в точке установки сейсмоприемника:

$$P_{3Z} = P_2 \cdot \frac{\lambda_{s2}}{r} \cdot e^{-\alpha r} \cos \theta = 34 \text{ кг/м}^2 = 340 \text{ па} \quad (13)$$

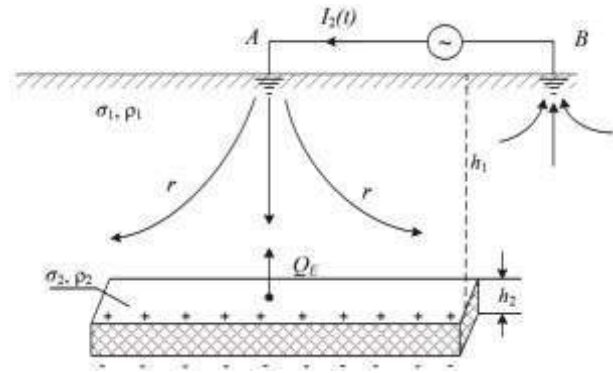
При известной марке сейсмоприемника и параметров, используя (13), можно определить напряжение на его выходе.

В целях понимания необходимости дополнительной «подсветки» георазреза электрическим полем, то есть реализации «бинарной» технологии СЭ метода [1], сопоставим величины электрических зарядов продуктивного пласта, создаваемых сейсмическим ударом Q_s и внешним полем длинного заземленного кабеля проложенного на поверхности Земли с током I_k (рис. 4).

Согласно (7), плотность электрического заряда пласта от сейсмического удара при:

$$Q_s = I_1 \tau = 9.6 \cdot 10^{-10} \text{ кул/м}^2 \quad (14)$$

Заряд от кабеля с током образуется лишь под точкой его заземления и



▲ Рис. 4. Схема электрической «подсветки» полем заземленного кабеля.

составляет при токе $I_k=1$ а на величину:

$$Q_E = \frac{I_k \tau}{4\pi h^2} e^{-\beta h} = 2.5 \cdot 10^{-10} \text{ кул/м}^2 \quad (15)$$

Таким образом «бинарная» технология дает выигрыш в величине сигнала при токе порядка $I_k=10$ а и ее можно использовать на суше. Однако, в отличие от морских работ, подсветка георазреза электрическим импульсом на суше вызовет в районе приемника непредсказуемый уровень дополнительных помех за счет неоднородности кажущегося сопротивления вдоль профиля исследования и сигналов становления электрического поля на слоистой структуре георазреза. Поэтому увеличение мощности источника тока в кабеле вряд ли приведет к увеличению отношения сигнал/помеха на входе приемника.

К тому же, необходимость прокладки питающего кабеля в сложной горнотектонической местности, доставка источников и установка заземлений, приводит к удорожанию стоимости работ.

Опыт постановки СЭ метода не указанном выше газовом месторождении, показал реальную возможность проведения на суше работ методом СЭ без дополнительной подсветки электрическим полем.

Представляет интерес сопоставить данные профилирования на Быстринской площади пассивным методом, с

извлечением информации путем наблюдения параметра коэффициента взаимно-корреляционного $R_{ES}(0)$, электрических $E(t)$ и сейсмических $S(t)$ шумов земли в диапазоне частот 0.1–20 Гц [6] и полуактивным, с использованием сейсмоисточника «Енисей КЭМ-4».

В пассивном варианте электрические сигналы принимались на заземленный диполь длиной 100–200 м, а сейсмические – сейсмоприемником GS-20DX.

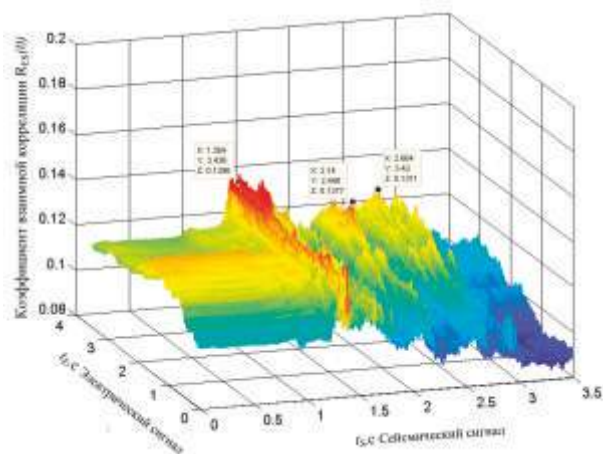
При этом напряженность электрического поля шумов составляла 1–2 мкВ/м и была сопоставимой с электрическим полем теллурических токов в нормальной зоне.

В этом случае выделить информацию сейсмо-электрического эффекта газового пласта удалось за счет накопления во времени (до 6 мин) и высокой корреляции сейсмического удара на пласт с создаваемым этим ударом электрическим зарядом.

В полуактивном варианте наблюдалась напряженность электрического поля СЭ эффекта сопоставимая с пассивным методом, что позволяет оценить давление на пласт сейсмических шумов и получить представление об источнике их происхождения.

На рис. 5 показана трехмерная картина, связывающая по времени сейсмические и электрические сигналы СЭ эффекта в аномальной точке указанного выше газоконденсатного месторождения. На этом рисунке гребни отклика соответствуют отражению от границ пластовой залежи газа.

Электрическое поле, представленное в виде КВК $R_{ES}(0)$, после каждого удара сейсмоисточника, продолжает существовать длительное время. Как видно из рис. 5, это время превышало 5 с, что указывало на медленный разряд пласта через окружающую горную породу.



▲ Рис. 5. Трехмерная картина записи КВК $R_{ES}(0)$ в аномальной точке (Быстрянская площадь республика Хакасия).

Возможен эффект накопления электрического заряда в пласте по мере повторения ударов сейсмоисточника.

Системная формула (12) дает возможность, при известных параметрах σ_1 , σ_2 , V_1 , V_2 , полученных на керне, и размеров аномалии $L_1 \cdot L_2$, оценить мощность пласта и запасы месторождения.

Этот эксперимент проводился в 2017 г.

В качестве источника сейсмических ударов использовалась станция «Енисей КЭМ-4», а прием и обработка отраженных сигналов производилась сейсмостанцией.

По записям 40 точек наблюдения вдоль профиля с разномом 20 м был построен георазрез, на котором четко выделялись слои месторождения.

Заключение

Изложена методика расчетных оценок наблюдаемых сигналов сейсмо-электрического эффекта проверена опытными работами на хорошо разведанном, в том числе бурением, газоконденсатном месторождении. Ее можно рекомендовать для проектирования поисковых работ на углеводороды.

«Бинарная» технология с дополнительной «подсветкой» электрическим полем успешно использовалась на море

[1]. На суше эта технология осложняет и удорожает работы, снижает разрешающую способность СЭ метода и вряд ли найдет практическое применение в горно-таежной местности.

Взаимно-корреляционный алгоритм обработки сигналов сейсмо-электрического эффекта является оптимальным при работе в шумах.

Выбранный диапазон рабочих частот для приема сигналов электрического поля 0.1÷20 Гц обеспечивает помехозащиту от промышленных помех.

Работа выполнена поддержкой Гранта РФФИ № 20-07-00267.

Литература

1. Мельников В.П., Лисов В.И., Брюховецкий О.С., Бобровников Л.З. Инновационная геофизика: бинарные технологии прямых поисков месторождений полезных ископаемых. ч. 1 // Инженер-нефтяник. М.: ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2011, № 1, с. 47—51.

2. Иванов А.Г. Эффект электризации пластов земли при прохождении через них упругих волн // Докл. АН СССР. 1939. № 1. С.

3. Френкель Я.И. К теории сейсмических и сейсмо-электрических явлений во влажной почве // Изв. АН СССР. - Сер. Географ. и геофизика, 1944, № 4, с. 133—150.

4. Biot M. A. Theory of Propagation of Elastic Waves in a Fluid-Saturated Porous Solid. J., Acoust. Soc. Am. 28, 1956.

5. Потапов О.А., Лизун С.А., Кондрат В.Ф. и др. Основы сейсмoeлектроразведки. М.: Недра, 1995. 268 с.

6. Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Потылицын В.С., Романова Г.Н. О наблюдении сейсмо-электрического эффекта на газоконденсатном месторождении в естественных электромагнитных и сейсмических шумах Земли в диапазоне 0,1

– 20Гц. Геология и геофизика. 2018. т. 59. № 5. С.703—708.

7. Гуревич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка, М.: Недра, 1980, 541 с.

Подробнее об авторе



Шайдуров
Георгий Яковлевич,

доктор технических наук,
Заслуженный деятель
науки и техники РФ,
профессор Сибирского
федерального университета
(СФУ).

Окончил в 1957 году радиотехнический факультет Томского политехнического института (ТПИ), до 1987 года работал в промышленности Красноярск. С 1987 по 2007 гг. – заведующий кафедрой радиосистем Красноярского государственного технического университета.

С 2007 года – профессор Военно-инженерного института Сибирского федерального университета.

Автор и соавтор шести монографий, 80 патентов на изобретение, более 300 научных публикаций, в том числе монографий «Импульсные электромагнитные системы поиска», Красноярск, КГТУ, 1999 г., 350 с., «Методы и аппаратура электроразведки на переменном токе», Красноярск, СФУ, 2016 г., 270 с.

Кандидатская диссертация 1968 год, ТПИ. Докторская диссертация 1986 года, институт «Гидроприбор», г. Ленинград.

Построение детальных сейсмогеологических 3D моделей на примере Западной Сибири

- Гуренцов Н.Е., Попова Л.А., Твердохлебов Д.Н., ООО «РН-Эксплорейшн»
- Шахно В.В., ООО «РН-Ванкор»

Статья посвящена обзору процессов построения и последующего анализа детальных сейсмогеологических моделей 3D с привлечением всей имеющейся геолого-геофизической информации на примере территории Западной Сибири. В работе представлен обзор процессов построения, масштабирования, тестирования и подбора параметров конечно-разностного 3D моделирования, а также описаны результаты обработки и интерпретации синтетических данных.

Введение

В современной практике сейсморазведочных работ специалисты-геологоразведчики нередко сталкиваются с необходимостью анализа и компенсации аномалиеобразующих объектов различной природы как в верхней части разреза (ВЧР), так и в целевых интервалах. Районы Крайнего Севера характеризуются сложными приповерхностными условиями, связанными как с повсеместным распространением слоя многолетнемерзлых пород (ММП), прорезанного зонами растепления под крупными реками и озёрами, так и с локальной газонасыщенностью разреза, обусловленной криогенной концентрацией газа, мигрирующего по тектоническим разломам. Доступные геофизические подходы и методики в области восстановления изображения ВЧР не всегда позволяют прогнозировать характеристики и геометрию аномалиеобразующих объектов и имеют многочисленные ограничения и допущения. В то же время, недоучет подобных аномалий приводит к ошибкам в обработке и интерпретации данных и, как следствие, к снижению успешности бурения поисково-разведочных скважин.

Современный вектор развития рынка сейсморазведочных работ направлен в сторону повышения плотности регистрируемых сейсмических данных для полу-

чения наиболее детального и качественного сейсмического изображения. При этом повышение плотности данных может достигаться как за счет уплотнения пунктов возбуждения (применение высокопроизводительных методик отработки площади, например, Flip-flop, Slip-sweep, ISS, GLIDE и др.), так и пунктов приема (применение беспроводных систем регистрации [4]). Параллельно с подобными изменениями в области полевых сейсморазведочных работ будут модернизироваться и подходы к планированию и проектированию работ [1,2,3], контролю качества материалов [6] и обработке больших массивов полевых материалов. И, вследствие всего вышеперечисленного, будет уделяться повышенное внимание планированию и обоснованию высокоплотных сейсморазведочных работ для минимизации всесторонних рисков на различных этапах геологоразведки и поиска оптимального решения для поставленных геологических задач.

Поэтому в современных и грядущих реалиях развития сейсморазведочного рынка построение детальных сейсмогеологических 3D моделей и последующее моделирование и обработка синтетических сейсмограмм является наиболее эффективным способом учёта и параметризации имеющихся априорных и выявленных геологических трендов не только

кой волновой картиной и выделены в сейсмолитологические этажи.

Продуктивные песчаные отложения приурочены к нижнемеловым отложениям нижнехетской (верхний берриас - нижний валанжин) и яковлевской (средний апт - средний альб) свит. В кровле долганской свиты (верхний альб - сеноман) установлены непромышленные скопления газа. В средне-верхнеюрских отложениях малышевской и сиговской свит установлено наличие коллекторов и доказано УВ насыщение.

Построение сейсмогеологической модели, тестирование параметров моделирования и анализ промежуточных результатов

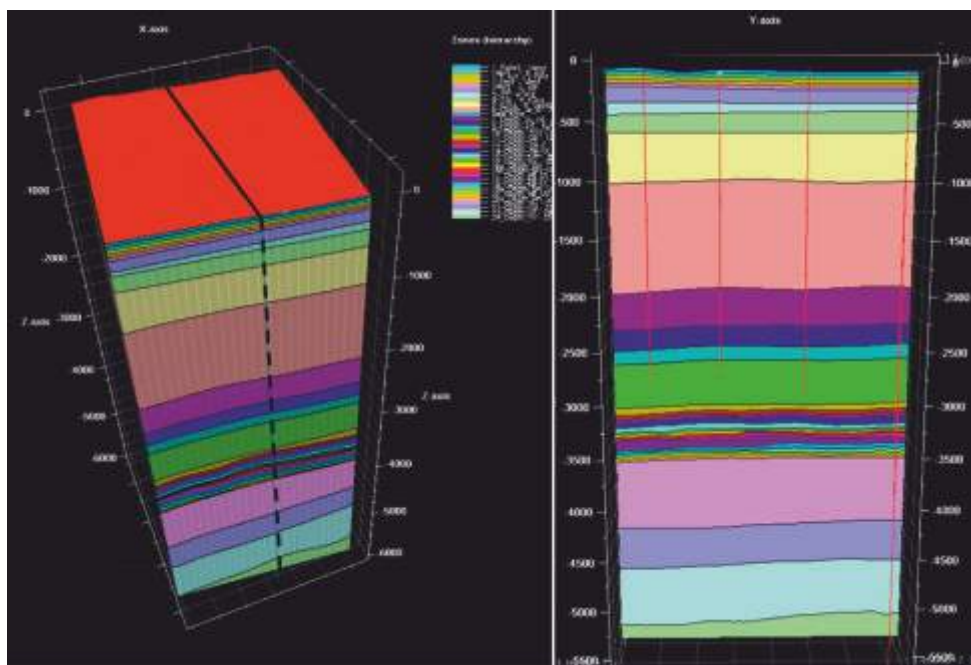
Построение исходных моделей продольных скоростей и плотности выполнялось на севере Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. Площадь сейсмогеологической модели 3D составила 179 км². В пределах участка моделирования расположено 6 скважин, содержащих информацию по данным ГИС для наполнения модели упругими свойствами и позволяющих выполнить межскважинное распространение упругих

свойств в модели. Подготовительный процесс к моделированию включал создание базы данных проекта, корректировку данных ГИС и экстраполяцию каротажа одной скважины до акустического фундамента на основе каротажей соседних скважин.

На первом этапе создания сейсмогеологической модели 3D был построен сеточный структурный каркас от дневной поверхности до глубины 6000 м (Рисунок 2), который включает 32 зоны с размерностью ячейки модели по направлению X и Y 50x50 м, размерность ячейки по глубине – 13,9 м с уплотнением сетки в целевых интервалах. Осреднение скважинных данных на сетку модели было выполнено для кривых интервальных скоростей, плотности и литологии. Всего трёхмерная сейсмогеологическая модель содержит 417 геологических слоёв и 35 529 728 ячеек.

Для структурного каркаса были выбраны поверхности, стратиграфически приуроченные к наиболее выраженным акустическим границам: кровле акустического фундамента, подошве юрских отложений, низам юрских отложений, кровле леонтьевской свиты, кровле

► Рис. 2.
Сеточный
структурный
каркас 3D
сейсмогеологической модели.



малышевской свиты, кровле аномальных глин в нижней части яновстановской свиты, кровле пласта Нх-III-IV в нижней части нижнехетской свиты, кровле нижнехетской свиты, кровле пласта пласта СД-IX суходудинской свиты, кровле суходудинской свиты, кровле яковлевской свиты, кровле долганской свиты, кровле насоновской свиты, подошве слоя ЗМС, подошве слоя ММП и рельефу дневной поверхности.

На втором этапе создания сейсмогеологической модели 3D была выполнена детализация упругих свойств модели в верхней части разреза и на уровне целевых интервалов. Модель пространственного распределения скорости и плотности в ВЧР была построена методом детерминистического моделирования на основе карты рельефа и принципиальных разрезов ММП и таликов региона, составленных по архивным и литературным данным (Рисунок 3). Интервальная скорость отложений в таликах была принята в диапазоне 2900-3100 м/с, плотность - 2150 кг/м³; интервальная

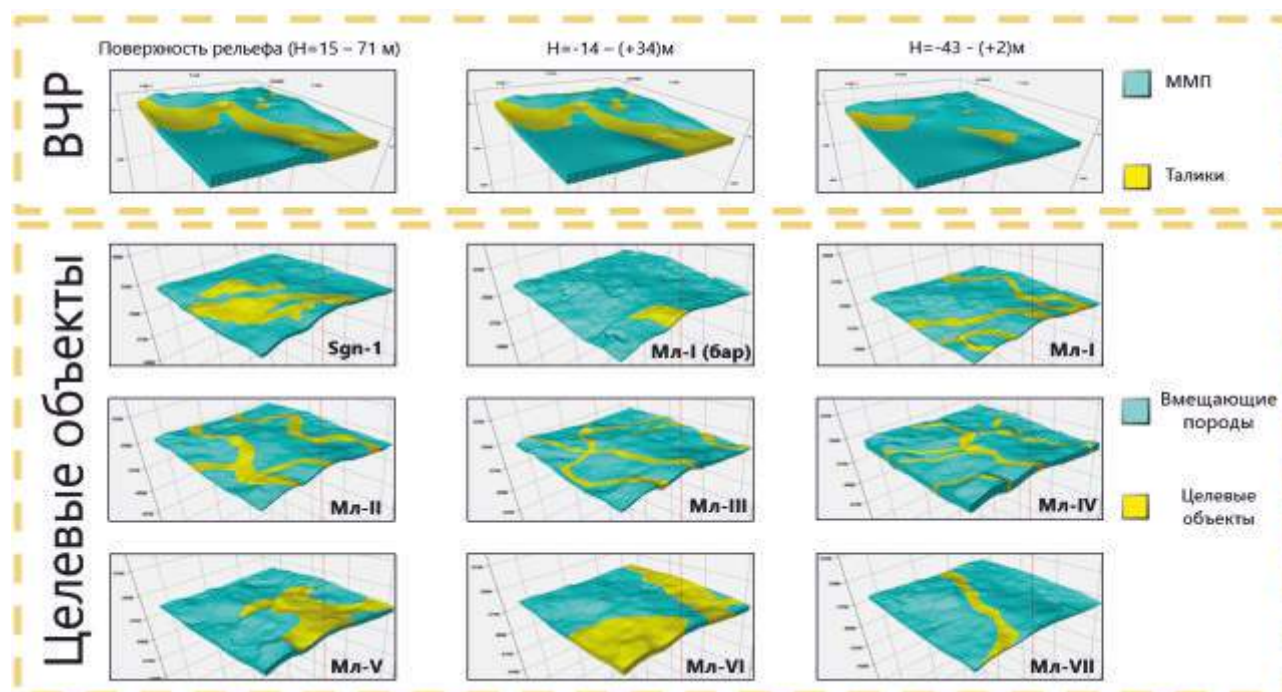
скорость в ММП: Винт. - 3300-3700 м/с, плотность - 2200 кг/м³.

Мощности слоя ММП изменяются от 200 м на возвышенностях рельефа до 70 м под тальвегом левого притока р. Енисей. Дополнительно в модель был встроен газонасыщенный объект, мощностью 13,7 м (с параметрами Винт - 2310 м/с, плотность - 2140 кг/м³) в интервале долганской свиты.

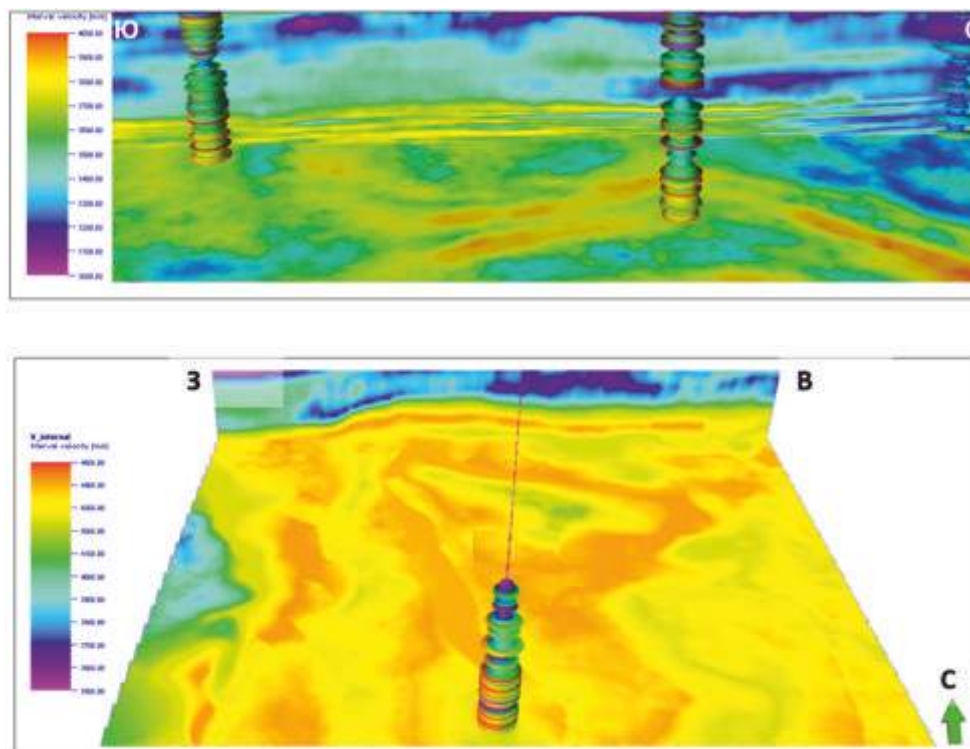
Выбор алгоритмов моделирования целевых интервалов определялся условиями седиментации отложений. Интервалы разреза малохетско-суходудинских прибрежно-морских и нижнехетских регрессивно-трансгрессивных отложений, для которых характерно частое переслаивание пород, были построены методом Гауссовского стохастического моделирования (Рисунок 4).

Перспективные объекты флювиально-барового типов, пластов Sgn-1 (J2-3) нижне-сиговской подсвиты и Мл-1-Мл-МлVIII (J2) малышевской свиты, выделенные на основе динамического анализа, были встроены в модель методом детер-

▼ Рис. 3. Детализация слоев модели в верхней части разреза (сверху) и в целевом интервале разреза (снизу).



► Рис. 4.
Срез куба
скоростей
в интервалах
суходудинской
(сверху)
и малышевской
(снизу) свит.



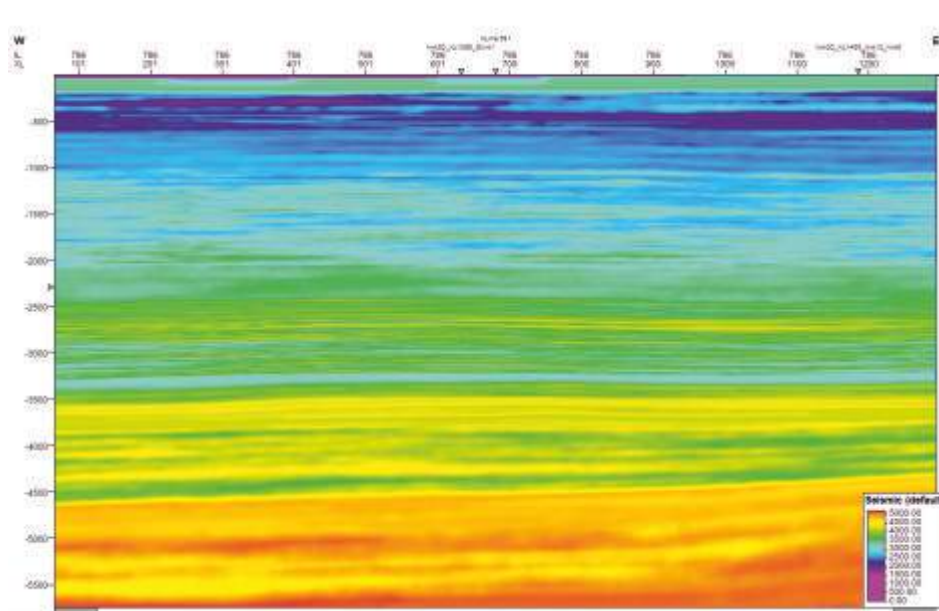
министического моделирования (Рисунок 3).

На заключительном этапе создания сейсмогеологической модели 3D кубы упругих свойств (Винт, ГГК-П) были конвертированы в сейсмические кубы с размерами ячейки 10x10x10 м по X-, Y- и Z-направлениям для последующего решения прямой задачи по расчету синтетических сейсмограмм (Рисунок 5).

Непосредственно перед моделированием полного объема синтетических данных было выполнено тестирование и подбор параметров моделирования (режим моделирования, длина записи, частота и форма входного импульса, размер ячейки моделирования и некоторые другие оптимизационные параметры расчета) для оценки качества синтетических сейсмограмм и требуемого вре-

▼ Табл. 1. Выбранные параметры 3D моделирования и используемая система наблюдения

Параметры моделирования	
Объем моделирования по ПВ/ПП, км ²	30/179
Количество ПВ (физ.наблюдений)	6264
Режим моделирования	Акустический
Тип свободной поверхности	invisible (дневная поверхность не образует кратные волны)
Шаг ячейки в направлении dx, dy и dz, м	10
Такт расчета по времени dt, мс	0,9
Модельный импульс/частота, Гц	Импульс Рикера/30 Гц
Система наблюдения МОГТ-3D	
Шаг ЛПВ/ЛПП/ПВ/ПП, м	200/200/25/25
Шаблон активной расстановки	34 ЛПП x 272 канала в линии
Суммарное кол-во активных каналов	9248
Минимальное/максимальное удаление, м	265,17/4790,65
Кратность (для бина 12,5x12,5 м)	289



◀ **Рис. 5.**
Итоговая модель
продольных
скоростей
по одному
из сечений куба.

мени расчета полного объема данных.

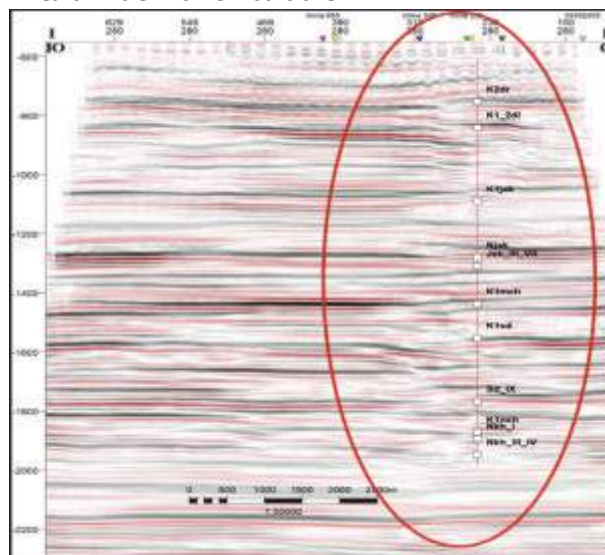
По результатам итеративного процесса тестирования параметров моделирования были выбраны оптимальные значения (Таблица 1) и выполнен расчет полного объема сейсмограмм (6264 физ.наблюдений).

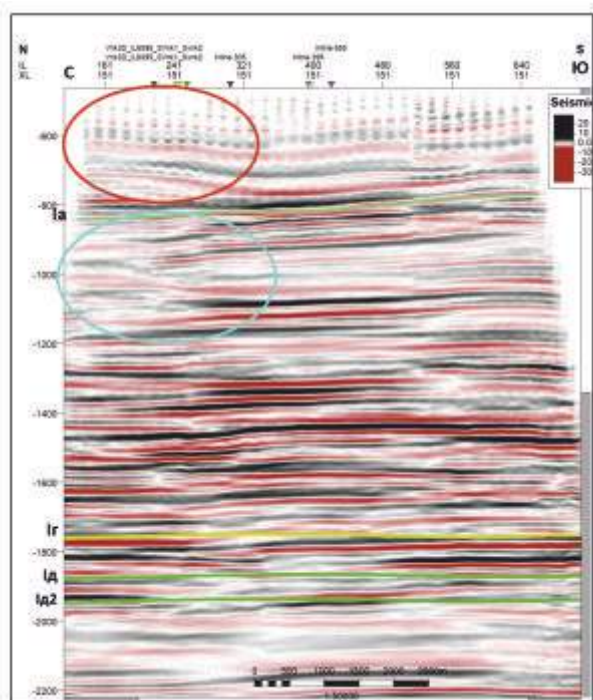
Обработка и интерпретация синтетических данных. Анализ результатов

Построение детальной сейсмогеологической 3D модели и последующее моделирование сейсмограмм методом конечных разностей, позволили детально исследовать влияние скоростных неоднородностей ВЧР (ММП, таликовые зоны и газовые включения) на динамические характеристики сейсмической записи. Помимо ожидаемого временно-го прогиба, совпадающего в плане с депоцентрами зоны растепления, на временных разрезах обращает на себя внимание область некогерентной записи в интервале 0-2000 мс, приуроченная к краям таликовых зон, ширина данной области составляет около 1 км. Очевидно, что при стандартном учёте длиннопериодных статических поправок, область некогерентности будет по-прежнему наблюдаться на временных сейсмичес-

ких разрезах (Рисунок 6) и может быть ошибочно проинтерпретирована как тектоническое нарушение. Влияние талика в ВЧР также отчётливо проявляется в изменении амплитуды и частоты отражений выше кровли долганской свиты. Интенсивное отражение, приуроченное к кровле долганской свиты, прослеживается с небольшими смещениями. В интервале долганской свиты и ниже, примерно до времени 1200 мс, отмечаются локальные изменения динамики записи.

▼ **Рис. 6.** Пример временного разреза через зону талика. Красным цветом показана зона некогерентности, обусловленная влиянием аномалий в ВЧР.





▲ Рис. 7. Пример временного разреза, пересекающего газовую шапку в интервале долганской свиты. Красным цветом показана зона влияния талика, голубым цветом – зона влияния газовых включений.

Значительно более неоднозначная волновая картина наблюдается при пересечении газовой аномалии в долганской свите и талика (Рисунок 7). Области скопления газа характеризуются понижением частотного состава и ослаблением динамики отражений, а также влияние газовой шапки проявляется в существенных смещениях осей синфазности и смене полярности. Сопоставление сейсмограмм в интервале долганской свиты без газа и с газом приведены соответственно на Рисунке 8. На сейсмограммах, в интервале с газовыми скоплениями, волновая картина приобретает хаотический вид. Кинематические сдвиги и ослабление динамики отражений прослеживается вниз по разрезу вплоть до кровли суходудинской свиты.

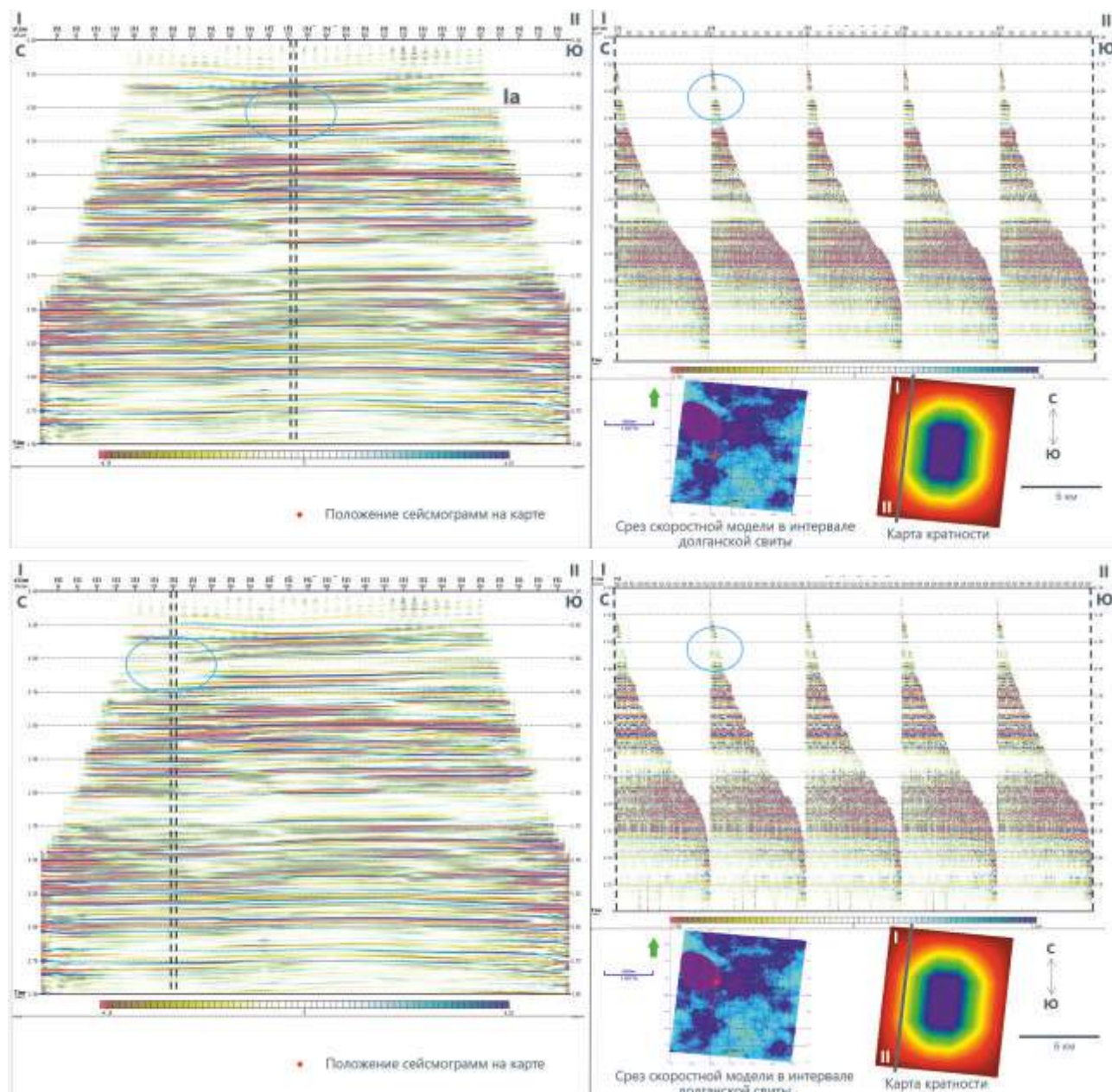
По результатам проведенного анализа сформированы следующие выводы и рекомендации:

- для повышения качества записи в области ВЧР и зонах газопроявления, а также для нивелирования влияния подобных аномалии на нижележащие горизонты, рекомендуется проводить анализ горизонтальных спектров интервальных скоростей и выполнять расчет корректирующих статических поправок методом последующего замещения.
- для устранения влияния газового фактора и зон растепления на нижележащие горизонты на этапе обработки рекомендуется применять расчет главных компонент в частотной области.

Выводы и рекомендации

Описанный в работе подход к построению детальных сейсмогеологических моделей 3D на основе комплекса доступных геолого-геофизических данных и последующее синтезирование сейсмограмм могут быть использованы на различных этапах геологоразведки: на этапе проектирования и планирования работ для обоснования параметров оптимальной системы полевых наблюдений; на этапе обработки данных для тестирования различных процедур и алгоритмов; на этапе интерпретации для оценки возможности выделения перспективных поисковых объектов в волновом поле и влияния аномалиеобразующих объектов на различных уровнях геологического разреза на получаемое сейсмическое изображение. В результате выполнения блока работ по сейсмогеологическому моделированию возможно формирование наилучшего понимания геологического строения района работ за счет повышения качества прогноза и надежности сейсмического изображения.

Сейсмогеологическое моделирование в ближайшем будущем будет набирать популярность, параллельно с модернизацией полевых сейсмических методик, в сторону уплотнением и повышения



▲ Рис. 8. Временной разрез через интервал долганской свиты без газовых аномалий (сверху) и с газовой аномалией (снизу)

плотности трасс в связи с нарастающими, в свою очередь, рисками и необходимостью иметь максимально достоверное и детальное обоснование проведения подобных высокоплотных работ. Соответственно, и степень необходимой детальности построения исходных сейсмогеологических моделей также будет возрастать с течением времени. Наибольшее внимание при этом будет уделяться построению модели ВЧР и ЗМС, так как именно в этом интервале залегает подавляющее большинство

аномалиеобразующих объектов, которые оказывают существенное искажающее влияние на целевые пласты и объекты. В связи с этим анализ и поиск возможных путей компенсации подобных аномалий необходимо выполнять еще перед непосредственным проведением полевых сейсморазведочных работ 3D на этапе планирования и проектирования. И подобный путь обоснования высокоплотных полевых методик является наиболее грамотным с точки зрения решения главной, геологической, задачи.

Литература

1. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н. Расчет эталонной системы наблюдения сейсморазведочных работ МОГТ-3D на основе сейсмогеологического моделирования для лицензионных участков ПАО «НК «Роснефть» в Самарской области. Москва. Нефтяное хозяйство. 11. 2018. 32-35 с.

2. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С. Комплексный подход к проектированию оптимальных систем наблюдения CPP-2D/3D на основе сейсмогеологического моделирования. Москва. Геофизика. 3. 2020. 31-37 с.

3. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С., Молчанов А.Б., Мостовой Д.В., Емельянова К.Л. Новые технологии – ключ к получению качественных данных сейсморазведки. Москва. Геофизика. 2. 2021. 2-8 с.

4. Твердохлебов Д.Н., Аблязина Д.И., Давыдова Е.А., Гуренцов Н.Е., Колескин Д.С., Porham M., Einchcomb C., Ourabah A. Беспроводная регистрирующая система STRYDE – будущее наземной сейсморазведки. Москва. Приборы и системы разведочной геофизики. 2. 2021. 73-86 с.

5. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г. Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных. Москва. Геофизика. 6. 2017. 10–18 с.

6. A. Crosby, T. Manning, A. Ourabah, C. Brooks, D. Dieulangard, J. Quigley, C. Vasile, D. Ablyazina, 2020, In-field quality control of very high channel count autonomous nodal systems, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020.

7. J. Naranjo, N. Gurentsov, D. Tverdokhlebov, O. Adamovich and R. Melnikov Designing High Density Land Acquisition Surveys in Complex Environments; A Case Study from East Siberia, Russia. EAGE 2020 Annual Conference & Exhibition Online, Dec 2020, Volume 2020, 1–5 p.

Подробнее об авторах



Гуренцов
Никита Евгеньевич

Ведущий специалист группы геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн»



Твердохлебов
Данила Николаевич

к.т.н., руководитель группы геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн»



Попова
Людмила Андреевна

Старший геофизик группы моделирования и баз данных ООО «РН-Эксплорейшн»



Шахно
Виктор Владимирович

Начальник сектора по сейсморазведочным работам управления геологоразведочных работ, ресурсной базы и лицензирования ООО «РН-Ванкор»



ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»
«NEW EASTGEO» Co. LTD.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» – единственный официальный представитель в России и СНГ группы заводов производителей, которые разрабатывают, испытывают, внедряют новые технологии для сейсморазведочной, геофизической, буровой и нефтяной отраслей.



ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК
В СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНУЮ ОТРАСЛЬ
ОТ ВЕДУЩИХ ЗАВОДОВ КНР



РЕАЛИЗУЕМ БОЛЕЕ 550 ВИДОВ ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ
И КОМПЛЕКТУЮЩИХ К ВЕДУЩИМ СИСТЕМАМ
СБОРА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ SERCEL 408, 428 И
508, ARAM-ARIES, ГРУППАМ ГЕОФОНОВ И ДР.



ПОДДЕРЖИВАЕМ ОПТИМАЛЬНОЕ КОЛИЧЕСТВО
ТОВАРОВ НА СКЛАДЕ В ТЮМЕНИ ДЛЯ
ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОПЕРАТИВНЫХ И БЕСПЕРЕБОЙ-
НЫХ ПОСТАВОК КОМПЛЕКТУЮЩИХ И ИНОГО ОБОРУ-
ДОВАНИЯ ЗАКАЗЧИКУ В САМЫЕ КОРОТКИЕ СРОКИ.



К 40-летию импульсного источника «Енисей»: вчера, сегодня, завтра

21 марта 1979 г. принимается постановление N 265 «О МЕРАХ ПО УСИЛЕНИЮ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ», в котором ставится задача создания нового нефтегазодобывающего комплекса на востоке страны. Определяются конкретные объемы геологоразведочных работ в перспективных по запасам нефти и газа и сроки их выполнения. 6 августа 1979 года из ТРЕСТА «Красноярскнефтегазразведка» создается производственное объединение - ПГО «Енисейгеофизика» («ЕГ»). Геофизическую службу возглавил Сибгатулин В.Г.

В 1979 году была образована Минусинская опытно-методическая экспедиция (МИНОМЭ), в задачи которой, кроме полевых геофизических исследований, входило создание опытного производства для выпуска невзрывных источников с последующим их внедрением в практику сейсморазведки. В г. Минусинске начались работы по сборке и монтажу первых опытных образцов источников электродинамического принципа действия. Источники получили название «Енисей», в котором удачно сочетались имя великой сибирской реки и «сейсморазведка».

Установки выпускались в санном и

колесном исполнении (Рис.1) и использовались, в основном, на сейсморазведочных работах на юге Красноярского края, на территории республик Тыва и Хакасия. Активные участники на местах Е. Анкудинов, Б. Музыченко, Е. Круглик, И. Корболев, от науки сотрудники Харьковского политехнического института Л. Нечуйвигер, М. Коденко.

Электродинамические санные и колесные импульсные источники широкого применения в условиях Восточной Сибири не нашли. Положительные моменты данного типа источника - это короткий 2-3 мс импульс и, как следствие, широкий спектр сейсмического

▼ Рис.1. Электродинамические санные и колесные импульсные источники в 1979-1984 гг.



«Енисей-СВ» (санный, высоковольтный), 1982 г.



«Енисей-ТВ» (тракторный, высоковольтный), 1982 г.



«Енисей-СН» (санный, низковольтный), 1983 г.



«Енисей-ТН» (тракторный, низковольтный), 1983 г.



▲ Рис. 2. Санний «Енисей СЭМ-60».

сигнала. Недостатки характерные для источников прямого действия - разрушение поверхности среды, проблемы с синхронизацией, высокие напряжения в цепи питания, ограниченный ресурс и как следствие недостаточная энергия упругих колебаний и преобладание низких частот в спектре сейсмического сигнала.

В начале 80-х годов руководством «ЕГ» поддержана научно обоснованная идея ученых Тольяттинского политехнического института по использованию электромагнитного привода. Под руководством д.т.н. Ивашина Виктор Васильевича, были проработаны различные варианты конструкций источника. Испытания макетов и опытных образцов показали существенные преимущества перед существующими на тот момент серийны-

ми невзрывными источниками типа ГСК-6 и «Енисей СН-СВ». Во многом это связано с оригинальным способом воздействия на среду.

В 1984 году первый серийный источник «Енисей СЭМ-60» (Рис.2) успешно опробован в производственном режиме. К 1994 году укомплектовано 7 сейсмических партий, работающих в зимних условиях Сибирской платформы. Активному продвижению и внедрению способствовали, М. Глушков, В. Смирнов, В. Детков С. Парсегов, Ю. Зайцев, С.Цымбал и другие.

Перестройка экономики в 90-х годах практически остановила геолого-геофизические работы и только в начале 2000 годов, появился интерес к импульсной невзрывной технологии. С учетом требований Заказчиков и на инвестиции ОАО «Хантымансийскгеофизика» («ХМГ») выполнена модернизация конструкции источников в целом и увеличение мощности двигателя в частности.

Работы завершены 2005 годы. Результатом модернизации стала разработка надежной конструкции «Енисей» в колесном «КЭМ-4» (Рис.3) санном «СЭМ-100» (рис.4) и опытного образца водного источника «ВЭМ», успешно работающих и в настоящее время (И. Муртаев, Б. Зоммер, В. И. Федотов, Вальчак, В. Каминский, И. Корсунов, и многие главные и ведущие специалисты органи-

▼ Рис. 3. Группа источников «Енисей КЭМ -4» в работе.





▲ Рис. 4. Санний «Енисей СЭМ – 50» на льду и сцепка «Енисей СЭМ-100».

заций). Конструкции санного, колесного, водного источников и отдельных узлов электромагнитного привода обладали новизной и были запатентованы, в частности, следует отметить изобретение установки для возбуждения сейсмических волн в движении для наземных работ (Сибгатулин и др. 1986 год, патент SU №1404999 A1).

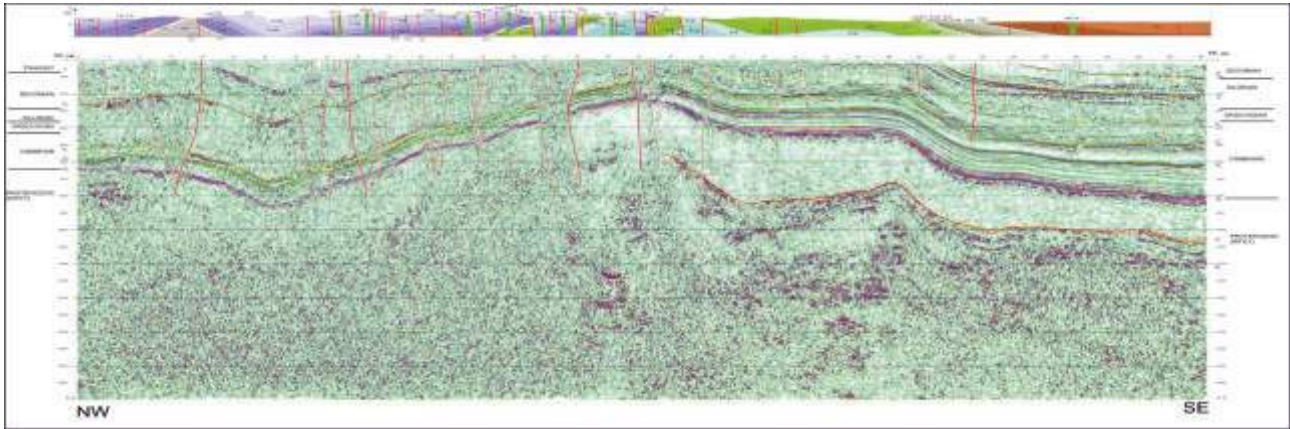
В 2003 году В. Сибгатулиным, И. Муртаевым и В. Детковым выдвигается идея сбора сейсмических данных при возбуждении источником ВЭМ в движении на воде и непрерывной регистрацией на берегу. Метод непрерывного возбуждения успешно опробован в 2004 году на р. Иртыш и в производственном режиме на р. Ангара (2008) и в по р. Н. Тунгуска (2014).

В 2010-2012 гг., в рамках комплексного Проекта МинОбрНаука «Разработка и внедрение эффективной импульсной невзрывной технологии сейсморазведки...» (СФУ – ГЕОТЕК), выполнены значи-

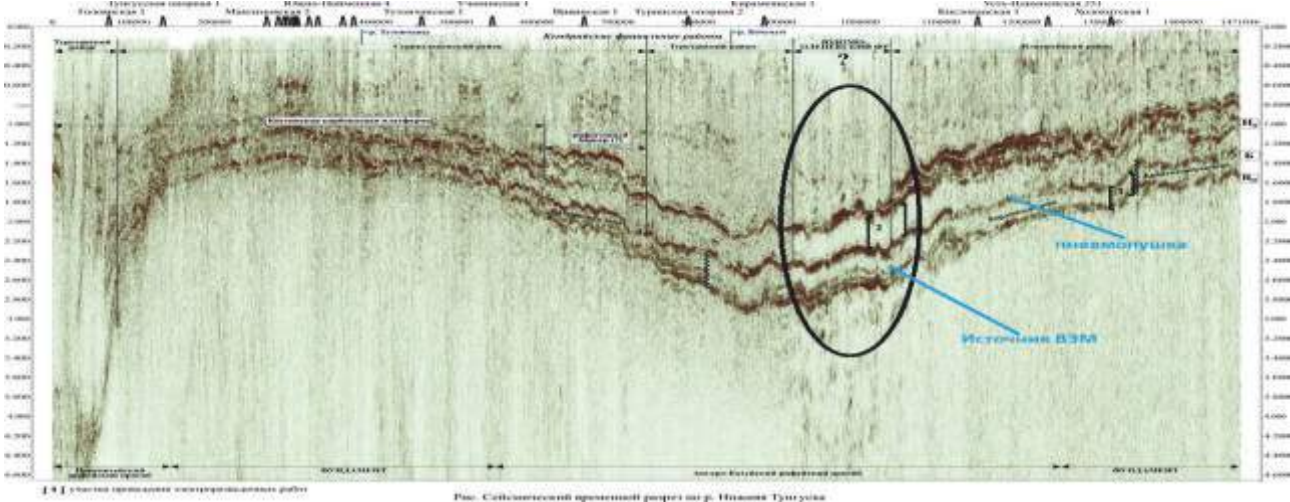
тельные объемы НИОКР по совершенствованию невзрывной технологии (А. Власов, С. Зарипов В. Детков, М. Копылов, В. Шварков, П. Щадин, П. Баландин, и другие). В результате научно обоснованы и изготовлены электромагнитный источник поперечных волн «Енисей - ИПВ», водный источник «Енисей-ВЭМ-50-М» (рис.5), колёсный источник повышенной мощности «Енисей КЭМ-4V». Разработана и внедрена в практику сейсморазведочных работ система адаптивного управления (САУ) позволяющая в реальном времени определять оптимальное количество накоплений на каждой точке возбуждения, и позволяющая увеличить производительность работ при сохранении заданного порога качества данных. Для студентов Института нефти и газа СФУ на территории завода построен учебный геофизический Полигон, укомплектованный компьютерными классами и современным стендовым оборудованием.

▼ Рис. 5. Водный источник «Енисей ВЭМ» для работ в акваториях.

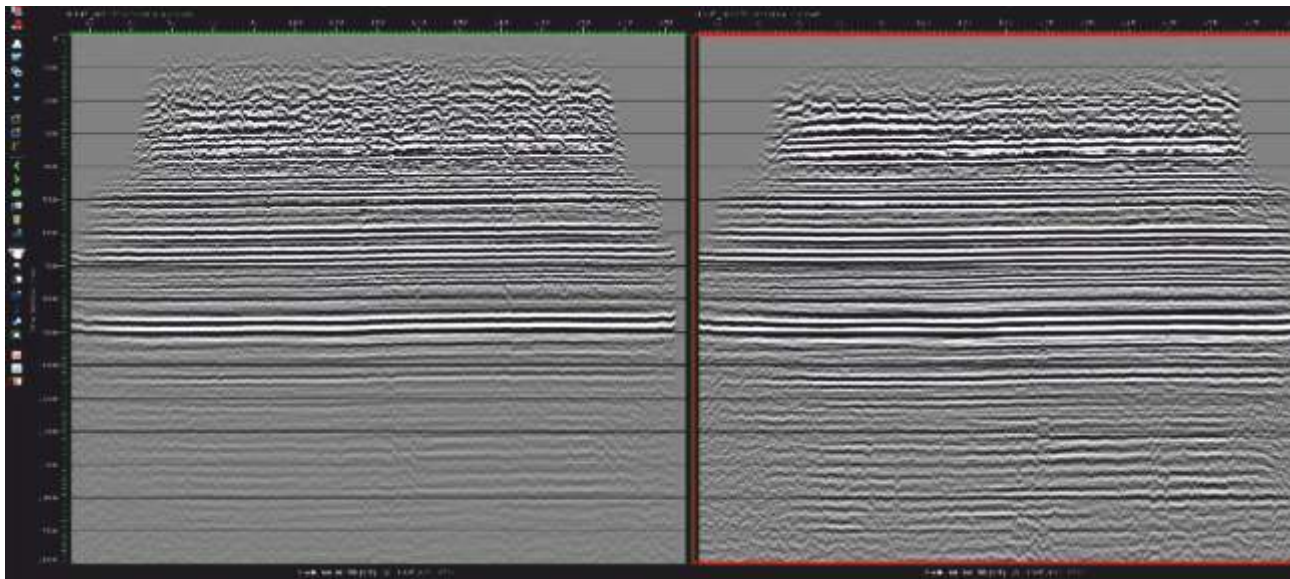




▲ Рис. 6. ОАО «ЕГ» Маршрут «Диксон – озеро «Хантайское» - 2007.



▲ Рис. 7. А.О «СНИИГиГМС» – профиль река Нижняя Тунгуска – 2014.



▲ Рис. 8. Стандарт-накопление (ПАО «ГСР» Якутия- 2020) одиночный удар - в движении.

В 2005-2020 годах ОАО «Енисейгеофизика», ОАО «ХМГ», Сибирским НИИ геологии, геофизики и минерального сырья («СНИИГиГМС») и ПАО «ГЕОТЕК

Сейсморазведка» проводят достаточно объёмные сопоставительные речные и наземные сейсморазведочные работы. Сбор данных осуществлялся в стандар-

тном - с возбуждения группой из 3-4 источников с накапливанием и скоростном режимах - одиночного удара без остановки одного или двух источников в сцепке (Рис. 4,6,7,8). Результаты показали, что на разрезах с одним накоплением четко фиксируется дополнительная детальность глубинного строения среды, лучше суммируются и прослеживаются отражения в верхней части разреза. Частотный диапазон зарегистрированных сейсмических сигналов расширился в сторону высоких частот практически на октаву. Получен двукратный рост производительности сейсморазведочных работ и снижение затрат на 20-30% (журнал приборы и системы разведочной геофизики 1/2021 страница 12 ссылка: <https://cloud.mail.ru/public/yboF/hKMJZGz25>). Видео демонстрация работы: водные <https://yadi.sk/i/6zd5uwn1hkAEzw> и наземные <https://yadi.sk/i/t2ygrQZfe-dCoQ>.

На сегодня подготовлен Проект скоростного сбора сейсмических данных высокого разрешения. Используются импульсные невзрывные источники, принцип действия которых позволяет непрерывно («умно» и без накопления) возбуждать сейсмические, не прекращая своего движения (патент на изобретение № 2745481).

Скорости движения источников и удельное давление на поверхность среды контролируются и уточняются в процессе регистрации на основании требований к качеству сейсмических данных или требованием к снижению воздействий на окружающую среду. В соответствии с изобретением, двигающимся по разным линиям возбуждения источникам, разрешена в определённом порядке импульсная нагрузка на среду, сигналы от приёмников записываются, а пространственные координаты источ-

ников и информация технического состояния источников фиксируются в блоках памяти источника. Максимально соответствуют указанным требованиям источники «Енисей СЭМ» и «ГЕОТОН».

Предполагается на территории Восточной Сибири и Якутии использовать серийные установки в санном исполнении «Енисей СЭМ- 100» и «ГЕОТОН-60». Для условий Таймыра, Ямала и Арктического шельфа организуется выпуск электромагнитных источников (ЭМИ) повышенной мощности и с названием от инвестора: РОСГЕО-ЭМИ, ЯТЭК-ЭМИ, АЛРОСА-ЭМИ, НОРНИКЕЛЬ-ЭМИ. Существенных ограничений для использования технологии в производстве сейсморазведочных работ нет.

В перспективе - разработка технологической схемы и программного обеспечения работы неограниченного числа источников, повышения точности в определении координат удара, адаптивного контроля параметров возбуждения и оценки качества сейсмических сигналов. Производительность существенно возрастёт при одновременном использовании 2-3-х источников и позволит довести объём регистрации до 10 000 и более физических наблюдений в сутки.

Заключение

Основной потенциал прироста ресурсов и восстановления запасов углеводородов - это сложно построенные и мало-размерные месторождения нефти и газа. Наиболее перспективной технологией поиска таких месторождений является высокоплотная сейсморазведка. Современные системы наблюдений в основном используют вибрационный способ возбуждения. Для ускорения работ разработаны и внедрены в производство технологии поочерёдного возбуждения

сигналов (flip-flop), перекрывающихся сигналов (slip-sweep), независимого возбуждения сигналов (ISS) и их комбинации, что сокращает время возбуждения и регистрации сейсмических сигналов. Современные вибраторы типа Nomad 65(90), ANV-V Titan и CBC-30-M1+(ГЕОСВИП) - это технически сложные, тяжелые (30-35 тонн) и весьма дорогостоящие изделия с ограничениями по проходимости и начальной частоте (3-7 Гц).

Технология «SMART PULSE» устранил указанные недостатки. Для реализации задуманного есть «УМНАЯ КОМАНДА», способная организовать и сопроводить экономически целесообразный, экологически безопасный сбор сейсмических данных для детального изучения глубинного строения среды.

Проект готов на 100% к внедрению в промышленных масштабах, аналогов технологии в мире нет

План действий для запуска проработан. Руководитель проекта – Владимир Алексеевич Детков.

Подробнее об авторах



Детков
Владимир Алексеевич

по окончании НГУ в 1976 распределен в Красноярский край, в 1986 году главный инженер АО «Енисейгеофизика», а в 1998 генеральный директор «ЕГ». В 2014 принят в «ГЕОТЕК Холдинг» директором по науке и координации перспективных разработок – руководитель ООО «Эвенкиягеофизика». С 2020 года по возрасту - пенсионер. Кандидат т.н., автор 9 авторских свидетельств РФ, определяющих основы конструкции ЭМИ, опубликовал ряд работ в научной печати. Награжден знаком «Почетный разведчик недр».





СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSPRU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

SCOUT-HT

*кабельно-бескабельный
сейсморазведочный комплекс*



Работа с различными видами датчиков



Комплекс разработан для выполнения следующих проектов:



3D проекты любой сложности



4D проекты. Микросейсмический мониторинг месторождений и скважин с использованием геофонов, гидрофонов и сейсмографов.



Любые 2D проекты в любых условиях.



Проекты по изучению ВЧР.



Инженерные изыскания с минимальным интервалом квантования 0.25 ms.

«По морям, по волнам» (не только сейсмическим) – морское приключение от организаторов ГЕОФЕСТ 2021

15 сентября 2021 года под эгидой группы Геосервис, при участии Холдинга «Гео-сейс» и ООО «ТСГК» был проведен «Технологический форум «Геофест 2021». В связи с действующими ограничениями из-за пандемии формат мероприятия был изменен, и прошло оно в рамках одного дня. Традиционно здесь собрались представители нефтяных, нефтесервисных компаний, компаний - производителей геофизического оборудования.

В ходе мероприятия была проведена выставка геофизического оборудования. Особый интерес вызвала премьера отечественной нодальной системы GEOTOM, которая по своим характеристикам не уступает зарубежным аналогам, а в чем-то и превосходит.

Имея небольшой вес (около 1,7 кг) оборудование предоставляет широкий спектр возможностей для ведения регистрации сейсморазведочных данных:

- выборочное получение одиночных сейсмотрасс по радиоканалу в реальном времени для оценки качества материала;
- возможность удаленно управлять всеми полевыми модулями (включение, выключение, переход в пассивный режим);
- контроль уровня шумов и статусов расстановки в реальном времени;
- использование GPS датчиков последнего поколения позволяет определять точность установки сейсморегистраторов с сантиметровой точностью, а так же позволяет работать всего с одним спутником;
- приборы снабжены яркими светодиодами и поисковыми радиомаячками для удобства поиска в темное время суток и под снежным покровом.

В отличие от остального нодального сейсморегистрирующего оборудования, в котором требуется регулярная замена и зарядка элементов питания, GEOTOM может отработать весь полевой сезон без зарядки/замены элементов питания благодаря встроенным батареям обеспечивающим непрерывную работу в условиях низких температур (-40 градусов) в

течение 90 дней, а при режиме 12 ч работа/12 часов отдых - до 180 дней.

Одним из главных недостатков «нодальных» систем является то, что для скачивания полевых данных с модулей их необходимо собирать с профилей и везти на базу. Для решения данной проблемы в GEOTOM разработан специальный мобильный модуль скачивания данных с сейсморегистраторов, который можно использовать непосредственно во время смоточно/размоточных работ.

В целом можно сказать, что GEOTOM впитал в себя все положительные особенности существующего проводного и беспроводного сейсморегистрирующего оборудования.

На данный момент сейсморегистратор GEOTOM входит в отечественный комплекс аппаратного и программного обеспечения в рамках трехстороннего сотрудничества компаний АО «Геосвип», ООО «НПП «Спецгеофизика» и ООО «Фирма «Гео-сейс».

Кроме презентации GEOTOM, прошли показательные испытания катамаранов проекта ГЕО для размотки геофизического оборудования при проведении морских сейсморазведочных работ, которые показали высокую производительность судна и зарекомендовали себя как высокотехнологичные и безопасные средства транспортировки морского оборудования.

Формат мероприятия определил возможность открытого живого общения в атмосфере геофизического праздника встречи коллег-профессионалов.



▲ Рис.1. Участники конференции ГЕОФЕСТ-2021.

Отзывы о мероприятии участников конференции



НАЗЫРОВ Дмитрий Дамерович
Руководитель по разработке продуктов
Научно-Технического Центра «Газпром нефти»

Организаторы технологического форума «Геофест 2021» показали высокий стандарт проведения мероприятий. В один продуктивный день была собрана эффективная программа, насыщенная презентациями новинок российского оборудования, вызвавшие бурные дебаты, которые несмотря на остроту и эмоциональность проходили в доброй дружеской атмосфере.



КУЗЬМИЧЕВ Владислав
Глава Европейского Представительства
Wireless Seismic Inc.

Хотелось бы поделиться своими впечатлениями от Геофеста, прошедшего в сентябре этого года. Прежде всего, хочется сказать огромное спасибо организаторам за мероприятие.

Пусть оно уместилось всего в один день (в текущей ситуации все восприняли это с пониманием), но оказалось продуманным, интересным и, несомненно, полезным. В первую очередь, семинар стал прекрасной возможностью всем наконец-то, после долгого перерыва встретиться лично, поделиться мыслями, планами, новостями.

Большой интерес вызвала презентация GEOTOM, новой отечественной бескабельной системы, которую представили организаторы.

Как представитель производителя бескабельного оборудования могу сказать, что это очень большой шаг в развитии данного вида оборудования в России и мире.

Конкурс с использованием RT2, в котором приняли участие все желающие, стал наглядной иллюстрацией к возрастающему интересу и продвижению бескабельных технологий в нашей стране.

Площадка Геофеста не сравнится ни с какими другими мероприятиями – пафосными выставками или онлайн конференциями. Очень ждем июля 2022, когда сможем опять встретиться.



ЖГЕНТИ Никита
Wireless Seismic Inc.

Удачная идея с единой морской формой для гостей и организаторов в соответствии с выбранной тематикой, придала всему мероприятию праздничность с самого начала.

Презентационная часть состояла из очень интересных докладов. Особенно интересной для нас оказалась презентация российской системы GEOTOM. Радует, что существуют такие российские разработки регистрирующего оборудования, которые в будущем смогут превратиться в основную систему, которая вытеснит с рынка слепые и полуслепые нодальные системы.

Неформальная часть семинара с конкурсами, водной прогулкой и отличным ужином завершила этот насыщенный интересной информацией и полезным общением день. В итоге получился замечательный и яркий праздник.

Хочется выразить признательность организаторам! С пожеланиями проводить больше таких интересных и полезных мероприятий, расширяя круг их участников и тем.



Презентация GEOTOM вызвала острую дискуссию специалистов-практиков



Морская сейсморазведка в действии

Компания «ГЕОСВИП» представила опытный образец виброисточника нового поколения СВ-30Б-МЗ



РОСГЕОЛОГИЯ

Российский геологический холдинг

В декабре текущего года компания «ГЕОСВИП», подразделение крупнейшего российского геологоразведочного холдинга «Росгеология», продемонстрировала новый отечественный вибрационный источник СВ-30Б-МЗ.

В настоящее время на внутреннем геолого-геофизическом рынке России наблюдается тотальная зависимость от импортного оборудования и комплектующих. Главная проблема такой зависимости заключается в геополитических рисках (санкции, пандемии и стихийные бедствия). Устранить зависимость от иностранных производителей и провести полное импортозамещение в аппаратном и программном обеспечении – это приоритетная задача в геологоразведке на федеральном уровне.

Виктория Валерьевна Абрамченко, заместитель Председателя Правительства Российской Федерации, посетившая завод виброисточников в Кимрах с рабочим визитом 7 декабря текущего года, отметила: «В геологоразведке по многим направлениям наблюдается 100%-ная зависимость от импорта. Это недопустимо. Мы обсуждали с коллегами большие программы импортозамещения в геологоразведке. Договорились вместе с министерством промышленности такую программу утвердить по ключевым элементам, в каких сегодня имеется критическая зависимость от иностранного оборудования и программного обеспечения. Я думаю, что такую программу мы подготовим в феврале или марте 2022 года. Документ будет утвержден с



необходимым финансированием». Предполагается, что на начальном этапе финансирование программы будет сопряжено с уже заложенными в бюджете РФ на 2022-2024 годы средствами.

Сергей Николаевич Горьков, Генеральный директор АО «Росгеология», подчеркнул: «Имея такую машину, мы вправе убеждать российских заказчиков использовать наши виброисточники. Разумеется, у нас есть внутренний заказ, и первую партию мы произведем для себя. Но важно то, что появился интерес со стороны наших партнеров и заказчиков, нефтегазовых компаний. Мы уже имеем предзаказ. Мы можем собирать до 20 машин в год без расширения имеющихся производственных мощностей и, фактически, покрыть потребности российского рынка».

Всего на производственных площадях компании «ГЕОСВИП» в городе Кимры разрабатывают и изготавливают 8 модификаций сейсмических источников: как электрогидравлических, так и импульсных. Новый источник сейсмических сигналов СВ-30Б-М3 предстал перед геофизической общественностью как глубокая модернизация своего предшественника, СВ-30Б-М1. Он получил новую универсальную шарнирно-сочлененную раму с гусеничными блоками и, при необходимости, возможностью их быстрой замены на колеса в полевых условиях, даже на Крайнем Севере. Была также произведена замена всех источников света на светодиодную оптику последнего поколения, позволяющую работать в условиях очень плохой видимости.

Возбудитель вибрации претерпел глубокую модернизацию, за счет чего повысилась его надежность и улучшились частотные характеристики. Произошли изменения в гидравлической части, что позволило повысить амплитуды сигнала, излучаемого на очень низких частотах.

В течение десятков лет возбуждение

очень низких частот (ниже 7–8 Гц) не применялось в вибросейсморазведке — в основном, по причине того, что прежние зарубежные и отечественные электрогидравлические виброисточники не могли излучать и контролировать такие частоты. Ситуация изменилась в последние 5–7 лет, и теперь заказчики сейсморазведочных работ всё чаще требуют расширить излучаемые сигналы в низкочастотную область. Благодаря низким частотам повышается динамическая разрешённость записи, увеличивается глубинность исследований, обеспечивается построение более точных глубинно-скоростных моделей геологической среды, выполняется более точная инверсия сейсмических данных (т.е. более достоверное прогнозирование вещественного состава исследуемой среды).

Точная цифра выхода виброисточника СВ-30Б-М3 на полную мощность будет определена по окончании заводских испытаний, но уже сейчас можно с уверенностью сказать, что это будет осуществляться на частоте менее 4 Гц.

Но самое крупное изменение претерпела электронная составляющая источника: появилась CAN-система, заменяющая собой десятки кнопок и приборов. Она взяла на себя не только контроль, но и управление всеми системами виброисточника, что не допускает неправильных действий со стороны оператора.

Среди новых опций — автоматическая подкачка и поддержание давления в пневмоопорах, автоматическая система смазки, улучшенная тепло- и шумоизоляция кабины и множество других.

Компания «ГЕОСВИП» не намерена останавливаться на достигнутых результатах и обещает в скором времени представить версии еще более мощных виброисточников с возбудителем вибрации, развивающим максимальные усилия 350 и 400 кН.

V юбилейная научно-практическая конференция «ГЕОРОДАР-2021»



29 сентября - 01 октября 2021г в Москве, в бизнес-центре гостиничного комплекса «Салют» 4* прошла V юбилейная научно-практическая конференция «ГЕОРОДАР-2021», единственное профильное мероприятие в России и странах СНГ, посвящённое новейшим достижениям в области георадиолокации.

Организатором конференции выступил проект «Радарные и Сейсмические Системы» при поддержке Геологического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова. Соорганизаторами конференции выступили: Институт криосферы Земли Тюменского научного центра Сибирского отделения РАН, ООО «ГЕОСИГНАЛ» и «Radar Systems» Inc., Riga, Latvia.

Конференция, в отличие от предыдущей прошла в комбинированном формате: очном и онлайн. Данный формат позволил многим встретиться лично, но в то же время сохранил широкую географию участников, несмотря на пандемию. Радость от встречи участников омрачил безвременный уход неизменного организатора и друга Ильдуса Хасановича Абизгильдина. Оргкомитету конференции удалось провести начатое И. Х. Абизгильдином мероприятие, собравшее высококлассных специалистов по георадиолокации и смежным направлениям на высоком уровне.

В конференции приняли участие более 70 человек (очное и онлайн участие), это

представители зарубежных организаций - Республики Беларусь, Швеции, Великобритании, Латвии и Монголии, а также участники из 17 городов России.

Спонсорами конференции «ГЕОРАДАР-2021» выступили - НПО «Терразонд» и ООО НПЦ «Геотех», г. Москва.

Экспонентами выставки стали 6 производителей из трёх стран, в том числе компания «Guidelinegeo» АВ (Швеция) представила свою продукцию в формате онлайн-экспозиции. Профессионализм организаторов конференции успешно позволил совместить полевую демонстрацию и онлайн-выставку.

На открытии конференции с приветственным словом выступили ведущие специалисты кафедры сейсмометрии и геоакустики геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова: Михаил Львович Владов (д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой) и Анатолий Васильевич Старовойтов (к.г.-м.н., доцент).

Столпами конференции стали 6 мастер-классов от ведущих специалистов отрасли. Прозвучало 35 докладов на темы от георадиолокации и георадарных исследований в Арктических экспедициях, имеющих мировое значение, и до лабораторных георадиолокационных исследований.

Конференция началась с мастер-класса С.В. Попова (АО «ПМГРЭ», Инсти-



▲ Мастер-класс. Докладчик: С.Э. Шипилов (Кафедра радиологии НИ ТГУ)
«Визуализация скрытых объектов методами радиоволновой томографии».

тут наук о Земле СПбГУ), посвящённый георадарным исследованиям в Антарктиде. Надо отметить, что многолетнемерзлые породы и криогенные образования - одни из наиболее частых объектов изучения при помощи георадаров. Прошедшая конференция убедительно это доказала - этой теме были посвящены 7 докладов.

Много положительных откликов среди участников конференции вызвал доклад О.В. Луниной «Комплексирование георадиолокации с дистанционными и наземными методами изучения активных разломов» - яркий пример эффективности георадиолокации в решении непростой геологической задачи.

Интереснейший мастер-класс услышали от И.И. Христофорова из Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Геологический факультета МГУ им. М.В. Ломоносова «Гидрорадиолокация пресноводных водоёмов криолитозоны», предоставив предельно практичный материал, вплоть до азимута поворота антенны при трассировании проложенных по дну реки.

Производители оборудования заняли активную позицию и не только выставляли новинки, но и представляли доклады прикладной тематики и участвовали в круглом столе по аппаратуре и образованию. Так всех поразила новинка в докладе С.А. Зеленкова, в линейке георадаров

Radar Systems Inc., Рига «Преимущества технологии прямого оцифровывания перед традиционным стробоскопическим преобразованием на примере нового поколения георадара Питон (zGPR)».



▲ Подводный антенный блок «Наutilus», который работал в аквариуме на протяжении всей конференции.

Компанией GEOTECH был представлен уникальный прибор - георадар ОКО-3 с подводным антенным блоком НАУТИЛУС. Данное решение позволяет проводить георадиолокационные работы под водой на глубине до 10 метров. Также компанией был представлен ледомер на дроне, разработанный для бесконтактного и контактного измерения толщины пресных льдов, выявления опасных мест (трещин, промоин, пустот) в реальном времени.

Компания НПО "Терразонд" представила свои последние достижения в области многокурсовой георадиолокации - совершенно новую систему ГРТ-1Х,

▼ Многокурсовой георадар TerraZond на автономной гусеничной платформе



работающую в частотном диапазоне 200–1200 МГц и обновленную модель ГРТ-3Х с диапазоном частот 500–3000 МГц. Также был продемонстрирован облегченный комплекс на базе 15-ти канального ГРТ-32 весом всего 4 кг для установки на беспилотные летательные аппараты.



▲ Демонстрация георадара Zond 12e с антенной 900 МГц на ударостойкой тележке.

Известный во всем мире зарубежный производитель Radar Systems Inc. Riga, Latvia представил глубинный моностатический георадар «Питон-3» и комплект георадара «Зонд-12е» с ПО «RadarMap» для поиска коммуникаций.

Традиционно принял активное участие в прошедшей конференции всем известный производитель сейсморазведочного оборудования компания «ГЕОСИГНАЛ», которая продемонстрировала новые автономные модули ТЕЛСС-СМР и ТЕЛСС-НОД, предназначенные для решения широкого круга задач связанных с длительной регистрацией сейсмического сигнала, в том числе задач микросейсмического районирования. Генеральный директор компании Федотов А. С., озвучил, что компания более подробно представит свою продукцию на предстоящей конференции «Инженерная сейсморазведка и сейсмология – 2022», которая пройдет 23–25 марта 2022 г.

Приятно, что производители не стоят на месте и предлагают всё более совершенную геофизическую аппаратуру.



▲ Компания «ГЕОСИГНАЛ» представляет модули ТЕЛСС-СМР и ТЕЛСС-НОД в работе.

Закрыв конференцию круглый стол «Современные проблемы метода георадиолокации», на котором главной обсуждаемой темой стала обучение специалистов-георадарщиков и о необходимости проводить тематические курсы обучения, заточенные под конкретные задачи.

Приглашаем Вас на IV конференцию и выставку сейсмического оборудования «Инженерная сейсморазведка и сейсмология - 2022»!!!

Мероприятие пройдет 23–25 марта 2022 г. в бизнес-центре гостиницы «Салют» 4*

www.inzhseism.ru

Описание курса лекций «Наземная сейсморазведка нового технологического уровня»

Автор: Череповский А.В., к.т.н., лектор EAGE

Этот курс лекций содержит подробную информацию о новых сейсморазведочных технологиях, полевом оборудовании и методиках наблюдения, позволяющих повысить производительность полевых работ, качество сейсмических изображений изучаемой среды и точность прогнозирования геологического разреза. Курс охватывает основы проектирования площадных и многоволновых съёмок, и в одном из разделов даётся описание современных принципов и подходов к проектированию и моделированию наземных исследований 3D и 3D/3C.

В каждом разделе приведены практические примеры применения тех или иных методик и технологий за рубежом и в России и описаны достигнутые геологические результаты.

Цели курса

- Дать обзор тенденций и достижений в современной наземной сейсморазведке 3D за рубежом и в России
- Рассмотреть компромиссы на этапах проектирования и выполнения съёмок 3D и 3D/3C
- Показать причины пересмотра критериев и стандартов, сложившихся в наземной сейсморазведке текущего (четвёртого) технологического уровня
- Показать пути повышения качества сейсмических изображений, достоверности прогнозирования геологического разреза и точности определения коллекторских свойств
- Показать перспективы применения новых методик и технологий полевых работ в природно-климатических условиях России и стран СНГ

Кому адресован этот курс

Курс может быть интересен не только полевым геофизикам, занимающимся подбором регистрирующего оборудования, проектированием и моделированием наземных съёмок, но и супервайзерам, обработчикам и интерпретаторам, а также геологам, которые хотят лучше понять пути повышения качества сейсморазведочных данных и информативности сейсмических изображений.

Требуемая начальная подготовка

Курс предполагает знакомство слушателей с основами методов сейсморазведки и видов полевого оборудования, применяемого во взрывной и вибрационной сейсморазведке. Математические знания не требуются, поскольку физические концепции хорошо иллюстрируются графически.

В одноименной книге приводится обширный список литературы на обсуждаемые темы (239 первоисточников на английском и русском языке).



Данный учебный курс подготовлен параллельно с одноимённой монографией, но он не полностью перекрывается с ней. Учебный курс отличается подачей материала и содержит в два раза больше иллюстраций, в том числе из публикаций и презентаций, появившихся в 2016-21 годах. Более того, в учебном курсе имеются разделы, отсутствующие или почти не представленные в монографии. Это описание современных импульсных источников как альтернативы вибросейсу; связь плотности съёмки 3D с надёжностью сейсмических атрибутов; анализ эффективности новейших бескабельных систем и результатов их тестирования в России; перспективы новых типов приёмников упругих колебаний; вопросы специальной корреляционной обработки виброграмм и выравнивания амплитудно-частотных спектров записей на этапе регистрации.



Your Gateway to Business in Eurasia

Стратегический и управленческий консалтинг на нефтесервисном рынке Ближнего Востока

Анализ состояния рынка и перспективных направлений в регионе под интересы клиентов;

Разработка стратегии входа на рынок;

Поиск и подбор решений по расширению и оптимизации бизнеса в странах Ближнего Востока;

Развитие Вашего бизнеса «под ключ».

Партнерство

Представление интересов клиента в странах региона;

Поиск местных партнёров и заказчиков, организация переговоров;

Привлечение инвестиций под перспективные проекты.

Поставки оборудования и разработка технологических решений

Аренда и продажа нового и бывшего в употреблении оборудования и комплектующих для геологоразведки на море и на суше;

Подготовка проектных решений под запрос.

Россия, г. Москва:

+7 (985) 222 48 44

Россия, г. Уфа:

+7 (347) 246 90 74

ОАЭ, г. Дубай,

+971(56) 170 2553

info@eurasia-oil-services.com



www.eurasia-oil-services.com

Сейсморазведка своих не сдает.

Разве что в аренду.



Аренда сейсморазведочного оборудования

SERCEL 428/508 – регистрирующая система для работ на суше и в транзитных зонах

Aram Aries II – телеметрический комплекс

RT 2 System – гибридная система регистрации с беспроводной передачей данных в режиме реального времени

GEOTON – семейство невзрывных импульсных сейсмоисточников

SLIM WAVE – внутрискважинная телеметрия в реальном времени, для ВСП, межскважинных и микро-сейсмических работ.

G-SOURCE / BOLT – пневматический сейсмоисточник

Судно шутер «Скат» для сейсморазведки в транзитных зонах

Катамараны проекта «Гео» для проведения геофизических и инженерно-геологических работ

Тел/факс: +7 (495) 694-1940 – круглосуточно
E/mail: info@geoton.ru www.geoseisholding.ru



ХОЛДИНГ ГЕОСЕЙС