

Широкий профиль как рациональный компромисс между 2D и 3D на малых объектах

■ Будяк А.В., ООО «ТНГ-Групп», г. Бугульма.

За последние годы структура сейсморазведочных работ на зрелых нефтегазовых территориях существенно изменилась. Все чаще перед недропользователями возникают задачи локального доизучения отдельных участков, связанных не с поиском новых крупных площадей, а с детализацией уже известных объектов, уточнением строения залежей, оценкой зон развития коллекторов или сопровождением бурения в пределах существующей инфраструктуры.

Подобные проекты, как правило, характеризуются относительно небольшими объемами работ, однако высокой сложностью реализации. В большинстве случаев речь идет о территориях с развитой инфраструктурой: населенные пункты, автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередачи, промышленные объекты, ограничения по землепользованию и экологическим требованиям. При этом заказчик ожидает высокий уровень геологической информативности.

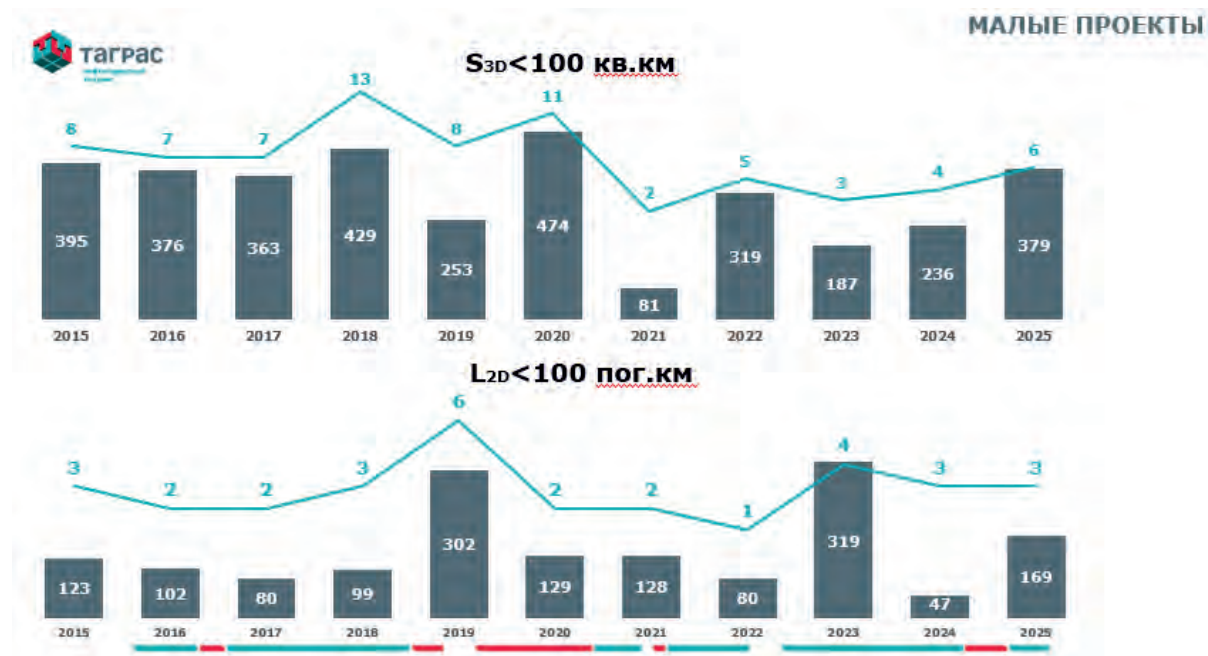
В таких условиях классическая 2D-сейсморазведка во многих случаях уже оказывается недостаточной. Пространственная неоднозначность между профилями, ограниченная устойчивость структурных построений, сложность прослеживания локальных объектов и неоднозначность интерпретации существенно снижают эффективность традиционных линейных наблюдений. Одновременно полноценные площадные работы 3D зачастую оказываются экономически, организационно или технически невозможными.

На практике это формирует отдельный класс проектов, для которых требуется промежуточное технологическое реше-

ние — существенно более информативное, чем стандартная 2D-съемка, но при этом значительно более мобильное и экономичное по сравнению с полноценной 3D.

Одним из таких решений в современных условиях становится система наблюдений «широкий профиль» (ШП). Методика представляет собой пространственную систему наблюдений, занимающую промежуточное положение между классической 2D- и полноценной 3D-сейсморазведкой. В основе технологии лежит возбуждение и регистрация сигналов на нескольких параллельных профилях с формированием дополнительных линий ОГТ в межпрофильном пространстве. Это позволяет получать не только линейную, но и пространственную информацию о строении среды, повышать кратность наблюдений и устойчивость прослеживания отражающих горизонтов при существенно меньших объемах работ и затратах по сравнению с традиционной 3D-съемкой. Особенно эффективно применение ШП в условиях инфраструктурных ограничений, где реализация регулярной площадной системы наблюдений затруднена или невозможна.

Несмотря на то, что сама технология известна достаточно давно, современные технические средства фактически дали ей вторую жизнь. Использование автономных систем регистрации, бескабельных решений, одиночных высокочувствительных приемников, компактных виброисточников и высокоплотных систем наблюдений позволяет сегодня применять широкий профиль в совершенно иных условиях и с иным уровнем эффективности, чем это было возможно ранее.



▲ Рис. 1. Статистика «малых» проектов ООО «ТНГ-Групп».

Малые проекты как отдельный класс сейсморазведочных работ

Традиционно эффективность сейсморазведочных работ оценивается через производительность и объемы выполняемой съемки. Однако в случае малых проектов решающее влияние начинают оказывать совершенно другие факторы: логистика, мобилизация, согласования, сроки выполнения и доля непроизводительного времени.

Практика последних лет показывает, что для небольших локальных объектов соотношение между временем непосредственного производства работ и затратами на переезд, подготовку и организацию может становиться крайне неэффективным. Особенно ярко это проявляется на проектах площадью менее 100 км² для 3D или менее 100 пог. км для 2D.

Даже при небольших физических объемах работ:

- переезды могут составлять сотни километров;
- сроки выполнения ограничены;
- простои из-за шумов или согласований критически влияют на экономику

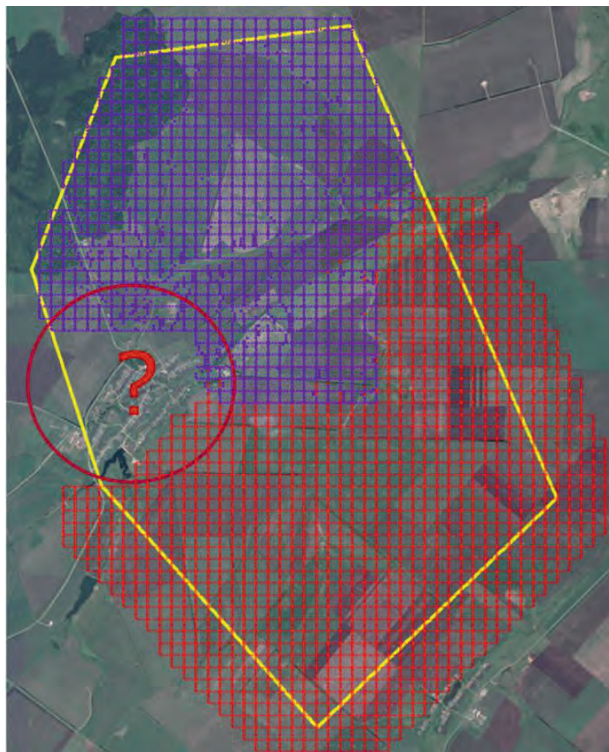
проекта;

- применение тяжелых кабельных систем требует значительных трудозатрат;
- классические приемы группирования увеличивают объем оборудования и персонала.

В результате эффективность проекта начинает определяться уже не максимальной производительностью тяжелой партии, а способностью гибко адаптироваться к конкретным условиям объекта.

Именно поэтому на малых проектах особое значение приобретают:

- легкие партии;
- минимизация объема оборудования;
- сокращение количества кабельной инфраструктуры;
- использование одиночных источников возбуждения;
- высокая плотность наблюдений вместо тяжелого группирования;
- снижение непроизводительного времени;
- гибкость проектирования системы наблюдений.



▲ Рис. 2/ «Белые пятна» инфраструктурных ограничений при локальном доизучении участка [1].

Почему классическая сейсморазведка 2D уже недостаточна

Значительная часть локальных объектов, требующих доизучения, располагается в пределах зрелых нефтегазоносных районов с высокой степенью освоенности территории. При этом именно наиболее интересные с геологической точки зрения зоны зачастую совпадают с территориями, недоступными для стандартных систем наблюдений.

Наиболее характерные примеры:

- населенные пункты;
- промышленные площадки;
- зоны плотной дорожной сети;
- участки с ограничениями по землепользованию;
- территории с развитой инженерной инфраструктурой.

В подобных условиях традиционная линейная 2D-съемка нередко оказывается недостаточной по нескольким причинам.

Во-первых, существенно возрастает риск пространственной неоднозначности между профилями. Даже при наличии плотной сети 2D-данных локальные поднятия, эрозионные элементы, карстовые зоны и сложнопостроенные объекты могут интерпретироваться неоднозначно.

Во-вторых, при малых глубинах залегания целевых горизонтов эксклюзивные зоны относительно небольших размеров начинают существенно влиять на информативность результирующих данных.

В-третьих, современный уровень требований недропользователей фактически ориентирован на пространственную геологическую модель, а не на отдельные линейные разрезы. Даже при локальных задачах заказчик ожидает устойчивых структурных построений и возможности анализа межпрофильного пространства.

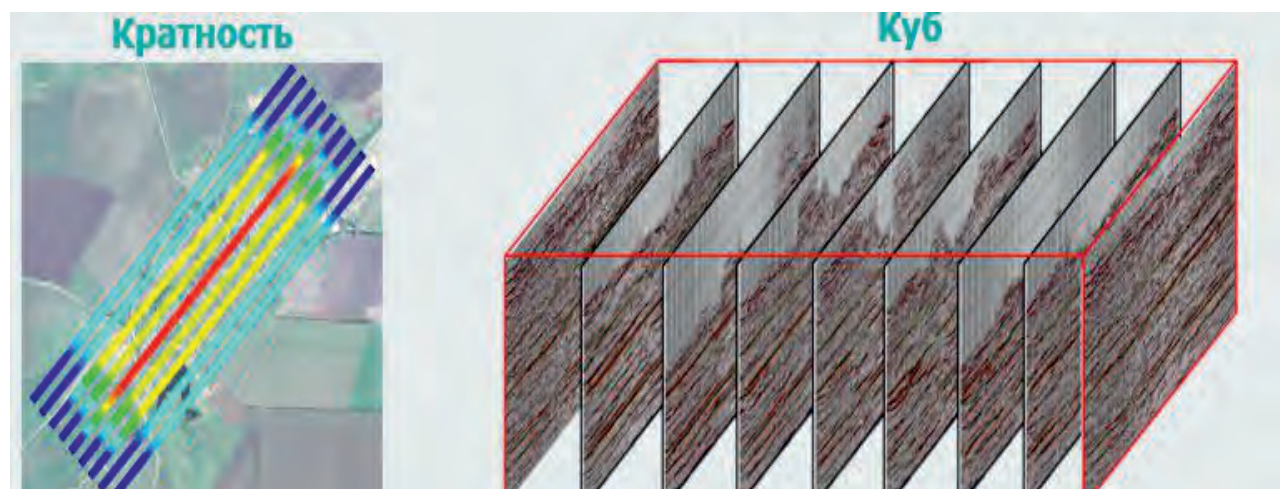
Ограничения полноценной 3D-сейсморазведки на урбанизированных территориях

Одновременно реализация полноформатной 3D-съемки в пределах урбанизированных территорий зачастую становится крайне затруднительной.

Основными ограничениями являются:

- ограничения на размещение пунктов возбуждения;
- невозможность построения регулярной сети наблюдений;
- высокая плотность частной застройки;
- сложность согласования работ;
- ограничения по времени проведения возбуждения;

На практике нередко возникают ситуации, когда прокладка полноценных линий приема и возбуждения внутри населенного пункта становится невозможной. Особенно это характерно для



▲ Рис. 3. Современная концепция системы наблюдений «широкий профиль» для локальных объектов.

территорий с плотной индивидуальной застройкой, где отсутствуют свободные коридоры для размещения кабельной инфраструктуры.

Современный широкий профиль (ШП) как технология пространственных наблюдений

В современных условиях система наблюдений «широкий профиль» фактически занимает промежуточное положение между классической 2D и полноценной 3D-сейсморазведкой.

С одной стороны, технология сохраняет линейную организацию работ и относительно компактную систему наблюдений. С другой — наличие пространственной компоненты позволяет получать суммарные 3D-данные и существенно повышать устойчивость геологической интерпретации.

Ключевым фактором современного развития технологии стало изменение подхода к технической реализации работ.

Если ранее широкий профиль часто рассматривался как упрощенная альтернатива 3D, то сегодня его эффективность во многом обеспечивается современными средствами регистрации и возбуждения:

- автономными системами;

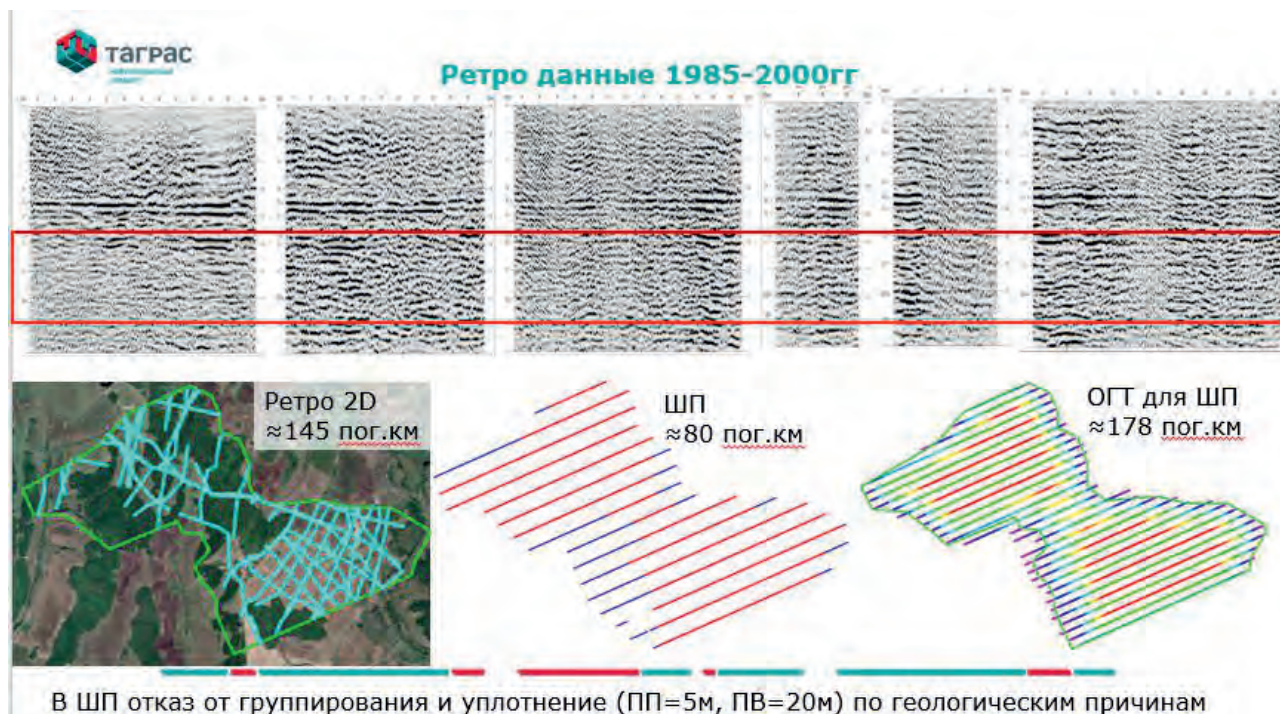
- бескабельной телеметрией;
- высокоплотными системами наблюдений;
- одиночными геофонами;
- компактными виброисточниками;
- адаптивным проектированием активной расстановки.

Особенно важным является возможность локального повышения кратности и плотности наблюдений непосредственно в проблемных зонах. Вместо увеличения массы оборудования и количества источников акцент переносится на оптимизацию геометрии системы наблюдений и повышение пространственной устойчивости данных.

На практике это позволяет:

- сократить объем используемой техники;
- уменьшить количество персонала;
- повысить мобильность партии;
- обеспечить возможность работ в условиях ограниченной инфраструктуры.

При этом современный широкий профиль уже нельзя рассматривать исключительно как способ «сэкономить на 3D». Во многих случаях это становится единственным способом получения пространственной геологической информации там, где полноценная площадная съемка физически невозможна.



▲ Рис. 4. Проектирование технологии ШП в сопоставлении с ретро данными площади исследования (из доклада Будяка А.В. на Технологическом дне ГПН ГЕО в 2026г.).

Эффективность применения технологии ШП в компании ТНГ-Групп

Практика последних лет показывает высокую эффективность широкого профиля при решении локальных задач в условиях плотной инфраструктуры.

Один из объектов в Республике Татарстан представлял собой участок, практически полностью покрытый 3D-сейсмикой, за исключением зоны в пределах населенного пункта, где отсутствовали даже данные 2D.

С учетом малых глубин залегания целевых горизонтов отсутствие наблюдений внутри населенного пункта существенно снижало достоверность структурных построений. Реализация полноценной регулярной сети 3D была невозможна, поэтому была выбрана система широкого профиля с адаптивным размещением линий возбуждения и приема.

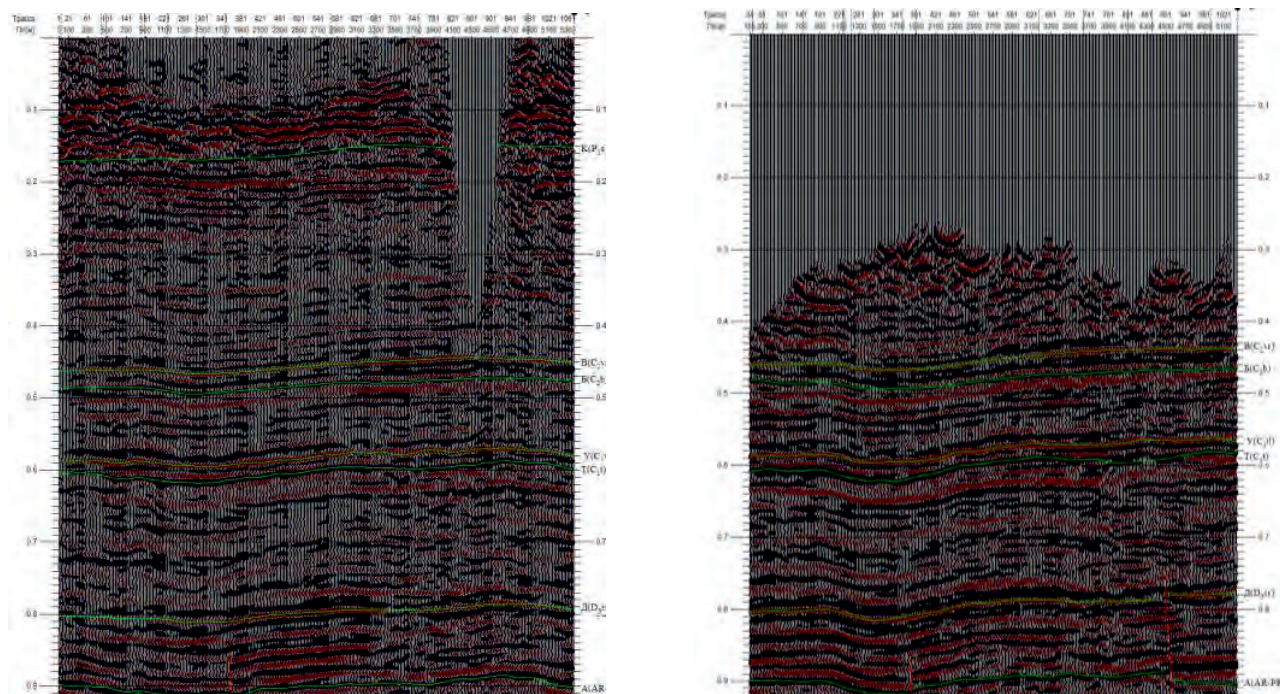
В результате был получен локальный куб сейсмических данных, позволивший уточнить геологическое строение непосредственно под эксклюзивной зоной. По результатам интерпретации под насе-

ленным пунктом было выявлено локальное поднятие по целевым горизонтам карбона и девона, после чего выданы рекомендации на бурение.

Другой пример связан с работами в пределах крупного населенного пункта на территории Самарской области. Несмотря на высокую изученность территории сетью 2D-профилей, именно зоны под населенным пунктом оставались недостаточно изученными.

В ходе проектирования была реализована система широких профилей, ориентированная на максимально возможное покрытие эксклюзивной зоны с учетом фактической возможности размещения пунктов возбуждения и линий приема. Работы выполнялись исключительно в дневное время для минимизации воздействия на население.

Несмотря на высокий уровень помех и ограничения по возбуждению сигнала, применение высокоплотной системы наблюдений позволило получить данные с устойчивой прослеживаемостью отражающих горизонтов во всем целе-



▲ Рис. 5. Сохранение информативности целевого интервала при исключении ближних удалений.

вом интервале. В дальнейшем бурение подтвердило сформированную сейсмо-геологическую модель.

Сравнение временных разрезов, полученных с различными диапазонами удалений, демонстрирующее сохранение информативности целевых горизонтов при использовании системы широкого профиля.

Еще одним характерным примером стали работы на участке со сложным геологическим строением на границе Татарстана и Самарской области. Исходная изученность была представлена сетью 2D-профилей 1980–2000-х годов, характеризующихся неравномерностью наблюдений и ограниченной информативностью в условиях карстовых и эрозийных процессов.

Для повышения устойчивости результатов была реализована система широкого профиля с уплотнением сейсмических трасс и повышенной плотностью наблюдений. В результате удалось существенно детализировать структурные планы по целевым горизонтам и

выдать рекомендации на бурение поисковых и разведочных скважин.

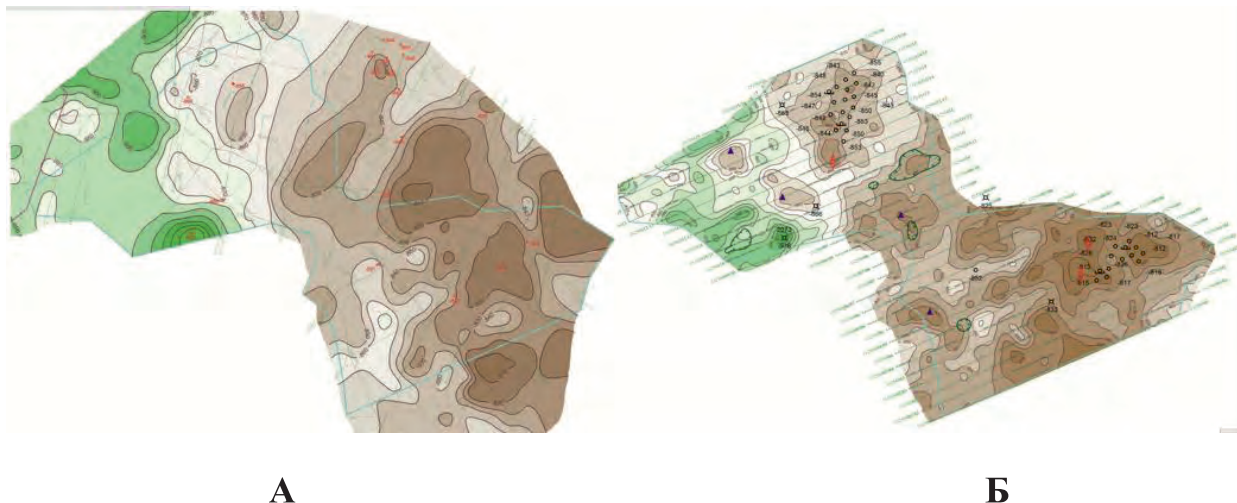
Заключение

Современные условия выполнения сейсморазведочных работ требуют переосмысления подходов к локальным проектам в пределах урбанизированных территорий.

Сегодня значительная часть перспективных объектов располагается в условиях, где реализация полноценной 3D-съемки ограничена технически, организационно или экономически. Одновременно требования к качеству и пространственной достоверности геологической информации продолжают расти, что делает недостаточным применение исключительно линейных 2D-наблюдений.

В этих условиях система наблюдений «широкий профиль» получает новое развитие как самостоятельная технология пространственных исследований локальных объектов.

Использование современных авто-



▲ Рис. 5. Изменение структурных построений после выполнения работ по технологии широкого профиля.

А – построения 2001 г., Б – построения 2026 г. после работ ШП.

номных систем регистрации, бескабельных решений, высокоплотных систем наблюдений и легких партий позволяет существенно повысить информативность данных при сохранении высокой мобильности и адаптивности работ.

Фактически современный широкий профиль перестает быть компромиссным решением между 2D и 3D. В ряде случаев он становится наиболее рациональным способом получения пространственной геологической информации на локальных объектах в условиях плотной инфраструктуры и ограничений на проведение полноформатных площадных работ.

Литература

1. Будяк А.В. Современные задачи для методики «широкий профиль» // Приборы и системы разведочной геофизики. — 2023. — №4. — С. 34–41.
2. Калинин А.Ю. Оптимизация методики сейсмических исследований на территории юго-востока Русской платформы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М., 2009. — 24 с.
3. Yilmaz Ö. Seismic Data Analysis: Processing, Inversion, and Interpretation of

Seismic Data. — Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2001. — 2027 p.

4. Cordsen A., Galbraith M., Peirce J. Planning Land 3-D Seismic Surveys. — Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, 2000. — 208 p.

5. Sheriff R.E., Geldart L.P. Exploration Seismology. — 2nd ed. — Cambridge: Cambridge University Press, 1995. — 592 p.

6. Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мики Дж. Обработка сейсмических данных. Теория и практика / пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 389 с.

Подробнее об авторе



Будяк
Антон Валерьевич

Главный геофизик
ООО «ТНГ-Групп»