

Комплексирование сейсморазведки и электроразведки – значимое повышение информативности и оптимизация затрат на полевые работы

■ Агафонов Ю.А.¹, Немцева Д.Б.¹, Оцимик А.А.¹, Мисюркеева Н.В.^{1, 2}, Селяев В.А.¹

¹ – ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск, ² – ИЗК СО РАН, г. Иркутск.

Введение

Планирование геологоразведочных работ (ГРР) на минеральные ресурсы и углеводороды (УВ) всегда происходит в условиях жёсткого дефицита информации о недрах. Великие открытия XX века – гигантские ловушки сводового типа, сделанные простейшими средствами на энтузиазме первопроходцев, уже в прошлом, и выявление новых залежей требует гораздо более сложных и наукоемких средств. Время глобальной цифровизации дало геологам возможность работать с трех- и четырехмерными моделями данных, формировать общее информационное поле из данных разных источников, что ожидаемо повышает точность любых прогнозов. По сути, при наличии мощного технического и программного оснащения добывающая отрасль ограничена только количеством входных данных для моделирования.

Применительно к нефтегазовым проектам, наиболее востребованным источником данных для моделирования является сейсморазведка – признанный площадной источник глубинной и стратиграфической привязки, а также инструмент, с помощью которого наиболее эффективно решаются структурные задачи при поиске ловушек УВ. Однако опыт показывает, что применение сейсморазведки как монометода не может гарантировать достаточную продуктивность исследований. Причина в том, что любой геофизический метод имеет определенные объективные ограничения, и сейсморазведка – акустический метод изучения недр – не является исключением: опираясь исключительно

на сейсмоакустические характеристики разреза, весьма затруднительно, например, определить тип насыщения ловушки, так как смена флюида не ведёт к заметным изменениям в акустическом поле.

На старте каждого из этапов освоения территорий, будь то поисково-оценочный, разведочный или эксплуатационный этап, дальнейшая успешность зависит от достоверности или, напротив, неоднозначности результатов предыдущего этапа. Тем удивительнее, что большинство недропользователей сосредоточены на преодолении ограничений сейсморазведки, пренебрегая прочими поисковыми инструментами, что вряд ли может быть научно или экономически оправдано. Таким образом, учитывая ограничения акустических методов, прогнозы перспектив УВ в ловушках неструктурного или смешанного типа не будут достаточно обоснованными.

В то же время неподтверждение геологической цели, например, при заложении скважин глубокого бурения обернется миллиардными убытками и лицензионными рисками. При этом очевидно, что организации-недропользователи должны стремиться к снижению геологических неопределенностей и, как следствие, избеганию рисков при реализации своих инвестиционных проектов.

Поэтому, для достижения максимального успеха геологоразведочных работ (ГРР) и разработки месторождений УВ рекомендуется применять комплексирование сейсморазведочных работ (СРР) с электроразведочными (ЭРР).

Почему именно электроразведка?

Электроразведка – совокупность методов изучения строения земной коры и поисков месторождений полезных ископаемых, основанных на изучении естественных или искусственных электромагнитных полей. Физическая сущность электроразведки заключается в изучении зависимости электромагнитного поля, естественного или искусственного от электрических (а иногда и от магнитных) свойств среды, на которую это поле действует [Электроразведка ..., 2019].

Применение электромагнитных методов для изучения геологического строения разреза базируется на петрофизической связи удельного электрического сопротивления горных пород с параметрами пористости, насыщения, структуры порового пространства, минерализации и температуры пластовых вод – зависимости Дахнова – Арчи (1) [Дахнов, 1985]:

$$\begin{aligned} \rho_{н.п} &= P_n \rho_{в.п}; \quad \rho_{в.п} = P_n \rho_v; \\ P_n &= a K_n^{-m}; \quad P_n = a K_v^{-n}, \end{aligned} \quad (1)$$

где P_n – электрический параметр пористости, P_n – параметр насыщения, a (показатель глинистости породы) и m (показатель цементации породы) – константы, которые определяют экспериментально для коллекции образцов, представляющей изучаемый геологический объект, K_n – коэффициент пористости, K_v – коэффициент водонасыщенности.

Другими словами, любой материал можно и нужно рассматривать с позиции проводник/непроводник электрического тока. В свою очередь проводники также разделяются по параметру проводимости или электрического сопротивления. Если рассматривать горные породы, то определяющим фактором для их разделения является наличие воды: самыми проводящими элементами разреза будут глины и пласты-коллекторы с минерали-

зованной водой. Нефте- и газонасыщенный коллектор также будет контрастным относительно вмещающих пород.

Электроразведка не является новым направлением геофизики: как разведочный метод исследования недр электроразведка развивалась одновременно с сейсморазведкой, и также получила импульс к качественному скачку при развитии цифровых технологий. Например, в исследовании Рыбальченко [Рыбальченко и др., 2020] представлены зависимости УЭС терригенного коллектора – сеномана - по ЗСБ от эффективных газонасыщенных толщин для условий Западной Сибири. Также рассчитаны связи продольной проводимости по данным ЗСБ с линейной емкостью и насыщением терригенного коллектора венда Восточной Сибири. Представленные материалы наглядно демонстрируют высокую чувствительность электромагнитных зондирований к изменениям емкостных свойств и насыщения коллектора. Также имеется положительный опыт определения насыщения карбонатных коллекторов в Восточной Сибири.

Учитывая физические основы полей разного вида, ни один из методов исследований, кроме электроразведки, не имеет предпосылок к разделению коллекторов по типу насыщения, что делает его незаменимым в нефтегазовой отрасли. Наиболее же весомым ограничением электроразведочных методов является намного меньшая точность самостоятельного глубинного и стратиграфического расчленения разреза по сравнению с результатами, демонстрируемыми сейсморазведкой. Таким образом, целесообразность комплексирования СРР и ЭРР не вызывает сомнений: создать структурный каркас по данным сейсморазведки и наполнить его пласты электрическими свойствами – вот формула успеха при поисках УВ.

Все ли электромагнитные методы одинаково эффективны?

Электроразведка характеризуется наибольшим разнообразием методов среди прочих направлений геофизики. Однако, для нефтегазопроисловых задач из числа наземных методов, наибольшее развитие получили зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и магнитотеллурические зондирования (МТЗ).

ЗСБ – это метод с импульсным контролируемым источником, основанный на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается при изменении тока в источнике.

К преимуществам метода ЗСБ относится:

- высокая разрешающая способность и точность,
- широкий диапазон глубины исследований (от нескольких десятков метров до 5-7 км),
- высокая пространственно-временная плотность наблюдений,
- высокоомные экраны не являются помехой для изучения подэкранных отложений,
- 100% экологичность метода,
- отсутствие заземления установок,
- возможность круглогодичной работы в любых климатических и географических условиях.

Возможности ЗСБ при решении нефтегазопроисловых задач [Поспеев, 2018]:

- оконтуривание зоны распространения коллекторов,
- оценка перспектив нефтегазоносности,
- выделение разрывных нарушений,
- определение формы и размеров ловушек и залежей углеводородов и гидроминерального сырья,
- картирование и оценки проницаемости разрывных нарушений,

• прогноз ёмкостных свойств и типа насыщения,

- выбор мест заложения скважин,
- прогноз условий бурения,
- мониторинговые исследования (отслеживание динамики обводнения пластов-коллекторов в процессе эксплуатации месторождения).

МТЗ представляет собой разновидность индукционного частотного зондирования, основанного на изучении естественного переменного электромагнитного поля Земли различной частоты. К основным преимуществам метода МТЗ относится:

- наибольшая глубинность исследования среди электромагнитных методов (от 0.5 до 100 и более км),
- отсутствие необходимости применения генераторных установок.

МТЗ применяется для решения широкого спектра производственных и научных задач: от поисков месторождений полезных ископаемых до регионального картирования геологических структур и изучения глубинного строения Земли [Пальшин и др., 2017; Семинский и др., 2023].

Востребованность именно этих методов при решении нефтегазопроисловых задач связана с тем, что они позволяют изучать разрез до глубин 5-7 км и более, обеспечивая при этом достаточную, но не равнозначную детальность исследования: ЗСБ превосходит МТЗ по разрешающей способности.

Что касается прочих широко известных электроразведочных методов, представленных на рынке – вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электро-томография (ЭТ), георадиолокация (ГРЛ) – они применяются в основном при производстве малоглубинных исследований (гидрогеологические, геокриоло-

гические, рудные, инженерные и экологические задачи) и неэффективны при поисках и разведке нефтяных и газовых месторождений. Это связано с естественными ограничениями методов: глубинность исследований ВЭЗ и ЭТ определяется геоэлектрическими условиями изучаемой среды и наибольшими разностями, усредненная глубина исследований составляет 100-200 м, в то же время производство полевых работ ЭТ и ВЭЗ требует осуществления гальванического контакта электродов с землей, что в некоторых условиях (выходы скальных пород, мерзлое состояние приповерхностных слоев) влечет значительные затраты времени и труда. Помимо этого, высокоомные экраны в разрезе (мерзлота, базальты, траппы и т.д.) существенно ограничивают область применения методов постоянного тока. ГРЛ же не требует заземления установок, однако глубина исследования ГРЛ составляет в среднем 20 см – 20 м, что наиболее актуально для инженерных задач: обнаружения пустот и просадок, участков подтопления, скрытых коммуникаций и т.д. Следует отметить, что сегмент исследований верхней части разреза (ВЧР) представлен еще одним методом – малоглубинной модификацией зондирования становлением поля в ближней зоне (мЗСБ).

Зондирования **мЗСБ** позволяют детально изучать верхнюю часть разреза, при этом производство полевых работ не требует выполнения заземления, высокоомные экраны не являются помехой для исследования подэкранных отложений, а глубинность достигает в среднем 500-600 м, что делает метод мЗСБ более универсальным среди прочих для целей изучения ВЧР.

Особенности комплексных полевых работ и экономическая эффективность

Говоря «комплексирование СРР и ЭРР», мы подразумеваем три варианта его реализации:

1) одновременное производство полевых этапов СРР и ЭРР, отдельные камеральные этапы без создания единой модели участка недр;

2) полевые работы разнесены по времени, одновременная интерпретация результатов ЭРР и СРР и создание единой модели участка недр;

3) одновременное производство полевых этапов, комплексная интерпретация результатов ЭРР и СРР и создание единой модели участка недр.

Собственно, третий вариант и является оптимальным для повышения эффективности реализации как в затратной части, так и в части итоговых результатов моделирования.

Параллельное проведение электроразведочных и сейсморазведочных работ на одной площади в один сезон не только ускоряет изучение недр, но и обеспечивает значительную экономию трудовых и финансовых затрат для инвесторов. Рассмотрим основные преимущества совмещения этих методов по третьему варианту.

1. Сокращение затрат на подготовку инфраструктуры и разрешительную документацию

Оба вида исследований требуют создания одинаковой инфраструктуры на объекте работ: рубка или расчистка профилей, прокладка подъездных путей, создание переправ. Одновременное выполнение ЭРР и СРР позволяет использовать одну инфраструктуру, экономя средства на её организацию, а также на сопутствующие сервисы: медицинское обеспечение, питание, контроль

ПБОТОС, супервайзинг заказчика.

Нельзя упускать и такой сложнейший сегмент подготовки, как оформление разрешительной документации на использование лесных участков или сельскохозяйственных угодий, что помимо существенных затрат несет риски срыва работ.

Монетизировать выгоду совместной отработки сложно, но логично предположить сокращение затрат в 1,5–2 раза.

2. Ускорение сроков реализации проекта

Помимо снижения бюрократической нагрузки на проект явным преимуществом комплексирования полевого и камерального этапов является единый срок выхода результатов интерпретации обоих методов исследований. Инвестор получает результат, сформированный с использованием актуальных на этот момент программного обеспечения и априорной информации, что исключает сомнения по поводу обоснованности финальной модели. Напротив, добавление в модель результатов интерпретации разных лет не гарантирует корректность модели и соответствие ее текущим реалиям, особенно если разные методы выполняют разные исполнители, при этом актуализация камеральных результатов требует дополнительного contracting и, соответственно, затрат.

3. Синергия результатов

Совместный анализ электро- и сейсмических данных и формирование общей модели достигает цели, недоступной каждому из методов по отдельности: позволяет создать привязанный по глубине разрез или куб данных с выделенными по признаку насыщения интервалами. Это безусловно улучшает геолого-геофизическую модель объекта

изучения, снижая вероятность ошибок и придавая гибкость планированию дальнейших этапов освоения территории.

Варианты комплексирования

В зависимости от этапов ГРП и от методики полевых работ можно классифицировать комплексные исследования на следующие варианты:

2D CPP + 3СБ – интервал глубин – весь осадочный чехол.

2D CPP + 3СБ + МТЗ – имеет повышенную глубинность, что особенно актуально на региональном этапе.

3D CPP + 3СБ – площадные высокоплотные исследования, которые позволяют изучать интервалы геологического разреза, перспективные на углеводороды, а также дают информацию о среднем интервале разреза.

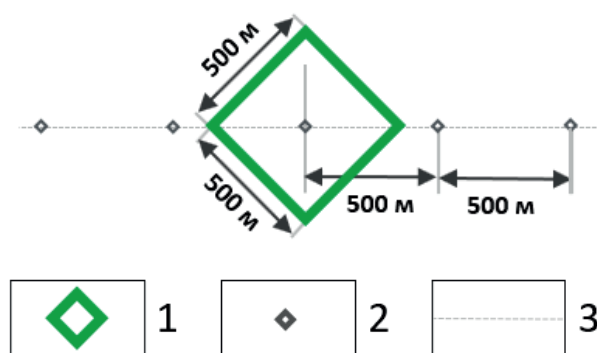
3D CPP + 3СБ + мЗСБ – площадные высокоплотные исследования. Дополнительно детально изучается ВЧР, при этом получаемая геологическая информация является максимально полной для построения модели месторождения от поверхности до фундамента.

Предлагаемые методики уже были многократно апробированы на лицензионных участках крупнейших Российских недропользователей в различных регионах. Далее рассмотрим варианты комплексных исследований более подробно.

Применение методики 2D 3СБ в комплексе с CPP

2D 3СБ представляет собой профильную модификацию метода 3СБ (Рис.1). Данная методика находит свое применение на **региональном и поисково-оценочном этапах ГРП**.

Наблюдения 2D 3СБ выполняются по сети сейсморазведочных профилей 2D МОГТ (МОГТ - метод общей глубинной



▲ Рис. 1. Пример единичной установки 2D ЗСБ.

Условные обозначения:

1 - генераторная петля,

2 – приёмные петли, 3 – линия профиля.

точки), также учитываются любые доступные на местности дороги: сельские, лесные, лесовозные и другие, что позволяет выполнять опережающие электроразведочные работы для оптимизации сети сейсморазведочных наблюдений, благодаря чему возможно проектирование дорогостоящих СРР в зонах с заведомо высокой вероятностью обнаружения залежей нефти и газа.

Постановка комплекса методов 2D ЗСБ с 2D МОГТ позволяет с большей надежностью оконтурить области перспектив нефтегазоносности для планирования дальнейших детализационных 3D работ и размещения точек проектных скважин. Экономический эффект заключается в снижении затрат за счёт оптимизации сети сейсморазведочных работ и мини-

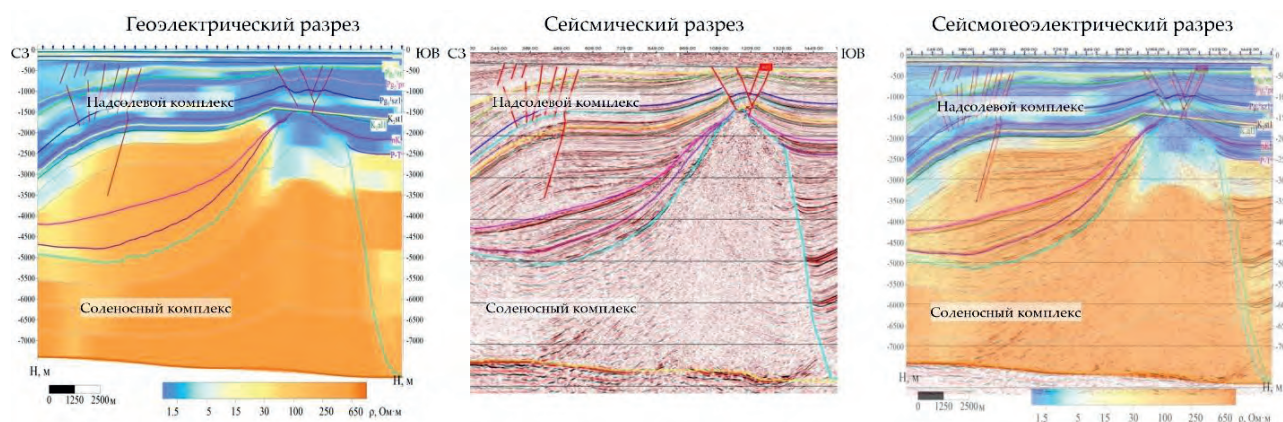
мизации рисков бурения «сухих» поисково-оценочных скважин. Возможность изучения средней части геологического разреза дополнительно позволяет прогнозировать горно-геологические условия бурения.

В качестве показательного примера можно привести результаты комплексных работ (2D ЗСБ с СРР), выполненных на территории Республики Калмыкия. Применение 2D ЗСБ позволило повысить информативность внутри мощных соленосных структур, которые слабо дифференцируются по данным 2D МОГТ, детально изучить и обнаружить ловушки углеводородов в надсолевом комплексе, а также выявить зоны разуплотнения пород внутри соляных куполов, связанные с разломами. (Рис.2).

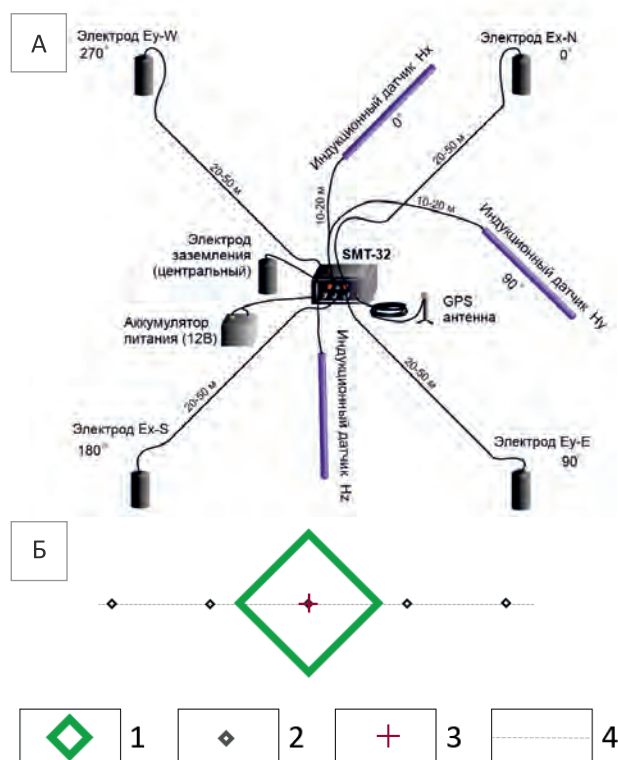
Применение комбинации методов 2D ЗСБ и МТЗ в комплексе с СРР

Комбинирование профильных наблюдений 2D ЗСБ и МТЗ с 2D МОГТ (Рис.3) применяется также на **региональном и поисково-оценочном этапах ГРП**, основное преимущество такого подхода – изучение разреза до глубины 10 км и более, особенно в случаях, когда он сложен высокопроводящими отложениями.

Комплексирование данных 2D ЗСБ и МТЗ с 2D МОГТ позволяет получить представление о геоэлектрическом



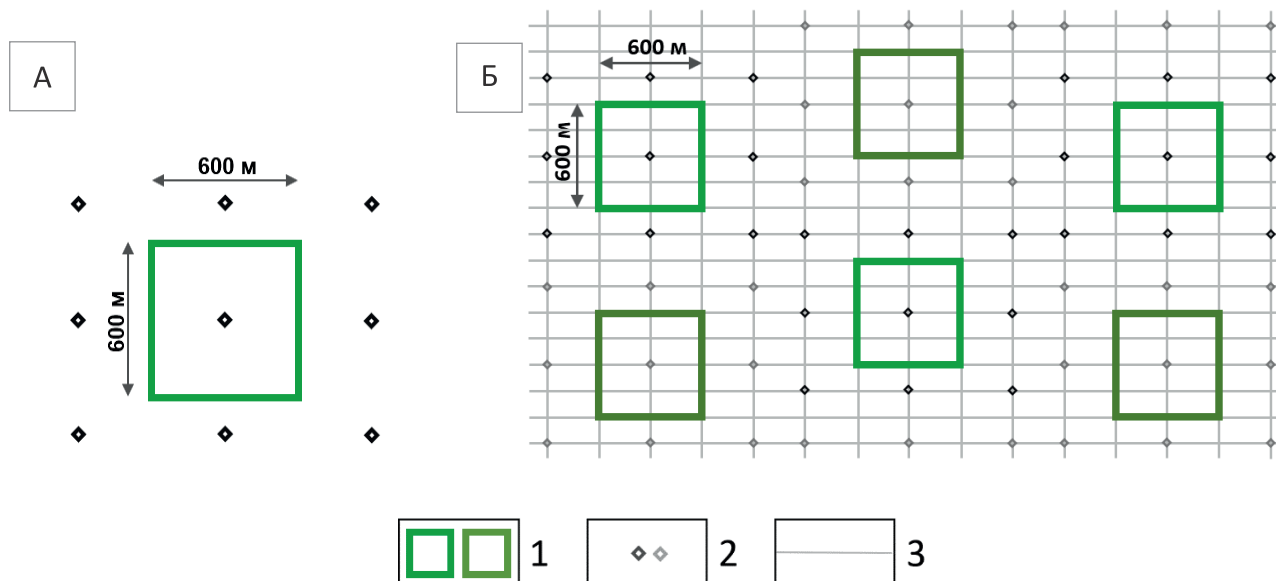
▲ Рис. 2. Совмещение сейсмического и геоэлектрического разрезов.



▲ Рис. 3. Пример установки МТЗ:
А – единичная; Б – схематичное
расположение на профиле в комбинации
с 2D ЗСБ. Условные обозначения:
1 – генераторная петля ЗСБ,
2 – приёмные петли ЗСБ,
3 – установка МТЗ, 4 – линия профиля.

строении участка работ до глубины 10-15 км и более: значительная глубинность исследований достигается за счет приме-

▼ Рис. 4. Пример установки 3D ЗСБ: А – единичная; Б – расположение установок по площади. Условные обозначения: 1 – генераторные петли, 2 – приёмные петли, 3 – линии профилей.

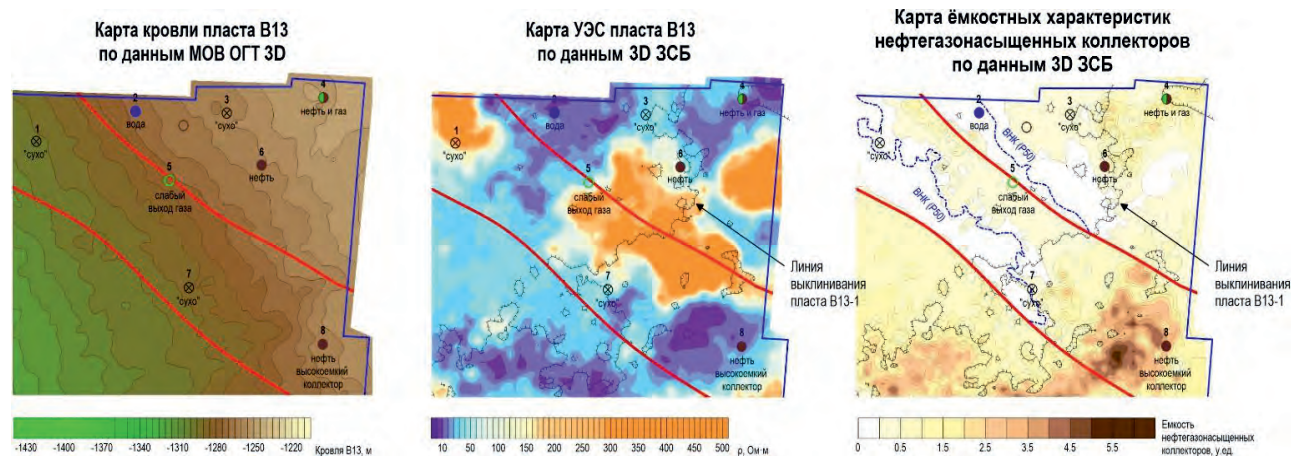


нения МТЗ, при этом верхняя часть разреза (до 4-7 км) восстанавливается более детально благодаря данным ЗСБ (в силу того, что метод ЗСБ характеризуется большей разрешающей способностью). При этом, методически верно располагать пикеты МТЗ на точках, совпадающих с соосными наблюдениями ЗСБ, это имеет значение при выполнении камеральных работ.

Данная методика эффективно справляется с решением задач по оценке перспектив нефтегазоносности в условиях мощного осадочного чехла. Особенно актуально применение этой технологии для изучения мощных отложений рифея, которые зачастую рассматриваются в качестве перспективных в нефтегазоносном отношении.

Применение методики 3D ЗСБ в комплексе с СРР

3D ЗСБ представляет собой площадную модификацию метода ЗСБ (Рис.4). Эта методика рекомендована к применению на **разведочном и эксплуатационном этапах ГРП**, где требуется наибольшая детализация физико-геологической модели месторождения.



▲ Рис. 5. Прогноз фильтрационно-ёмкостных свойств по данным 3D ЗСБ.

Полевые работы методом 3D ЗСБ выполняются, как правило, по сети сейсморазведочных профилей 3D МОГТ. Параметры методики наблюдений 3D ЗСБ могут значительно варьироваться в зависимости от особенностей участка работ и поставленных геологических задач, на рисунке продемонстрирован только один пример из множества возможных.

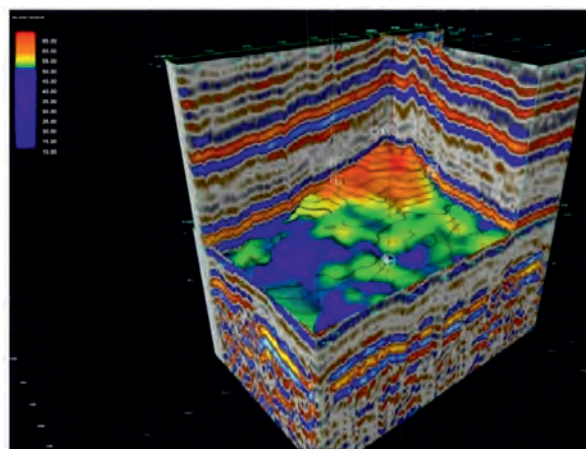
Применение высокоплотных площадных наблюдений 3D ЗСБ в комплексе с 3D МОГТ позволяет определить форму и размер ловушек и залежей углеводородов, картировать разрывные нарушения и определить их проницаемость, оценить коллекторские свойства и тип насыщения резервуаров, минимизировать риски бурения «сухих» скважин, прогнозировать интервалы вероятных аномально низких и аномально высоких пластовых давлений (АНПД и АВПД), оптимизировать технологическую схему разработки (ТСР) за счет выделения наиболее продуктивных зон.

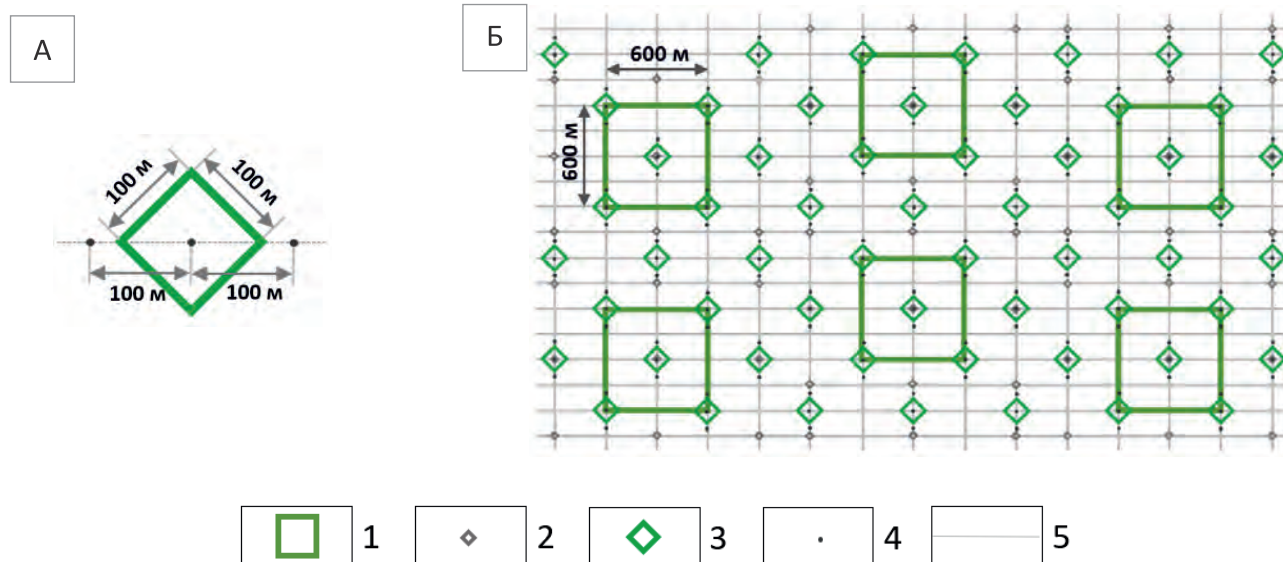
В качестве примера можно привести результаты работ 3D ЗСБ, выполненных на территории крупного нефтегазоконденсатного месторождения в Иркутской

области. Использование высокоплотных наблюдений 3D ЗСБ с применением детального структурного каркаса по данным 3D МОГТ позволило изучить геоэлектрические свойства отдельных горизонтов-коллекторов, а с привлечением данных по скважинам – прогнозировать насыщение и емкостные свойства нефтегазонасыщенных коллекторов (Рис. 5).

Применение структурной основы по данным МОГТ 3D в процессе интерпретации данных 3D ЗСБ позволило прогнозировать насыщение и детально оконтурить газовую залежь в сеноманском нефтегазоносном комплексе (НГК) на одном из крупных газоконденсатных месторождений в Западной Сибири (Рис. 6).

▼ Рис. 6. Комплексная модель сеноманского НГК.





▲ Рис. 7. Пример установки мЗСБ: А – единичная, квадратные приёмные петли аппроксимированы точками; Б – расположение установок по площади в комбинации с 3D ЗСБ. Условные обозначения: 1 – генераторные петли 3D ЗСБ, 2 – приёмные петли 3D ЗСБ, 3 – генераторные петли мЗСБ, 4 – приёмные петли мЗСБ, 5 – линии профилей.

Применение комбинации методик 3D ЗСБ и мЗСБ в комплексе с СРР

Дополнение комплекса 3D ЗСБ + 3D МОГТ малоглубинными зондированиями мЗСБ (Рис.7) позволяет детально уточнить модель месторождения, а именно - верхнюю часть разреза.

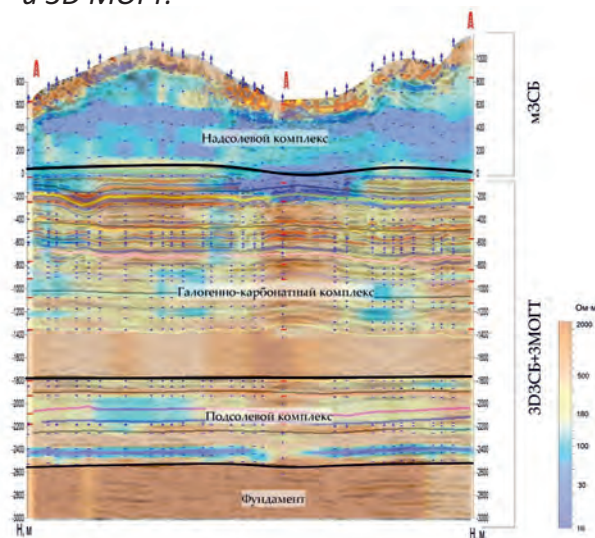
Исследования мЗСБ обеспечивают детальность восстановления модели ВЧР, недоступную «глубинным» 3D ЗСБ, за счет большей локальности исследований и особенностей аппаратуры.

Актуальность применения технологии мЗСБ связана в первую очередь с картированием резервуаров подземных вод с целью обеспечения нужд бурения и системы поддержания пластового давления (ППД). Технологии поиска водоносных горизонтов, основанные на применении метода мЗСБ, апробированы в различных климатических, географических и геологических условиях, эффективность прогнозов многократно подтверждена бурением [Валеев Р.Р. и др., 2019, Оцимик А.А. и др., 2024].

В качестве примера рассмотрены комплексные электроразведочные

работы 3D МОГТ, 3D ЗСБ и мЗСБ на территории уникального газоконденсатного месторождения в Восточной Сибири. Применение методики мЗСБ позволило получить детальную геоэлектрическую модель ВЧР до глубины 500 – 600 м, закартировать водоносные горизонты в отложениях ордовика и верхнего кембрия, 3D ЗСБ в комплексе с 3D МОГТ позволили выявить зоны развития коллекторов, а также вертикальной трещи-

▼ Рис. 8. Комплексный сейсмо-геоэлектрический разрез по данным мЗСБ, 3D ЗСБ и 3D МОГТ.



новатости в галогенно-карбонатном комплексе, детально изучить строение нижних горизонтов осадочного чехла, в том числе отдельных пластов-коллекторов (Рис. 8).

Еще одной задачей, актуальной для нефтегазового хозяйства, является изучение многолетней мерзлоты, картирование которой также входит в спектр геологических задач, эффективно решаемых методом мЗСБ [Оцимик А.А. и др., 2023].

Применение методики 4D ЗСБ в комплексе с СРР

Еще одна технология, применяющаяся на эксплуатационном этапе ГРП - мониторинговые наблюдения 4D ЗСБ, подразумевающие выполнение повторяющихся через определенный промежуток времени измерений с полным воспроизведением первоначальной раскладки установок 3D ЗСБ. Полевые работы 4D ЗСБ, как и 3D ЗСБ выполняются по сети сейсморазведочных профилей 3D МОГТ.

При инверсии данных 4D ЗСБ используется структурный каркас по данным 3D МОГТ. 4D ЗСБ мониторинговые исследования в комплексе с 3D МОГТ позволяют не только получить точную геолого-геофизическую модель месторождения, но и картировать во времени движение фронта заводнения залежи, при этом ранее выполненные 3D электроразведочные работы будут являться «нулевым замером» для 4D ЗСБ наблюдений. Применение методики 4D ЗСБ позволяет регулировать добычу, оптимизировать систему разработки и план перевода скважин в ППД, выполнять мониторинг эффективности системы ППД.

Выводы

Комплексирование источников информации в любой отрасли – это гарант прироста информативности.

Естественно, что эта позиция применима и к процессам поиска, разведки и добычи нефти и газа.

Резюмируя выше сказанное, неоспоримым фактом является то, что синергия сейсморазведки и электроразведки (в основном ЗСБ) обеспечивает такие результаты, которые недоступны ни одному другому методу или комплексу методов. Можно сказать, что исключение из правила составляет ковровое поисковое бурение, если абстрагироваться от его стоимости, но в текущей рыночной ситуации данный вариант явно несостоятелен. Сейсморазведка и метод ЗСБ сохраняют свои преимущества и взаимно нивелируют ограничения друг друга при совместной интерпретации: структурная интерпретация и прогноз насыщения – это дополненная реальность разведочной геофизики.

Также логично выглядит применение к электроразведке этапности, принятой для сейсморазведочных работ: этапы изучения территории требуют соответствующей модификации (2D, 3D, 4D) и плотности наблюдений ЗСБ.

Сравнивать удорожание этапа разведочной геофизики на 10% за счёт включения в комплекс электроразведки ЗСБ и монетизированные риски неуспешного поисково-разведочного и эксплуатационного бурения – прерогатива владельца инвестиционного проекта, но даже ориентировочный расчёт говорит в пользу комплексирования, особенно при единовременном выполнении полевого и камерального этапа обоих методов.

Параллельное выполнение и комплексирование результатов ЭРР и СРР на нефть, газ и минеральные растворы – это не только технологический прогресс, но и грамотная экономическая стратегия. В условиях непрерывного усложнения бюрократических процессов и удорожа-

ния работ/услуг/материалов такой подход становится критически важным для повышения эффективности инвестиционных проектов.

Литература

1. Валеев Р. Р., Колесников Д. В., Буддо И. В., Ильин А. И., Аксеновская А. А., Черкасов Н. А., ... & Гринченко В. А. (2019). Подход к решению проблемы дефицита воды для системы поддержания пластового давления нефтяных месторождений Восточной Сибири (на примере Среднеботуобинского НГКМ). Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений, (1), 55-67.

2. Дахнов В.Н. Геофизические методы определения коллекторских свойств и нефтегазонасыщения горных пород. М.: Недра, 1985. 310 с.

3. Оцимик А.А., Буддо И.В. Изучение криогидрогеологических условий с помощью электромагнитных исследований методом малоглубинных зондирований становлением поля в ближней зоне на примере западной части Якутского артезианского бассейна // Науки о Земле и недропользование. 2023. Т. 46. № 2. С. 160–181. <https://elibrary.ru/obdobc>, <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2023-46-2-160-181>.

4. Оцимик А.А., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Токарева О.В., Шелохов И.А., Акулова И.В., Агафонов Ю.А. Критерии поисков подземных вод в условиях распространения многолетней мерзлоты на территории Лено-Виллюйского артезианского бассейна Республики Саха (Якутия). ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2024; 9 (4) : 125 – 134. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-125-134>.

5. Пальшин Н.А., Алексанова Е.Д., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В., Бревес В.Р. Опыт и перспективы использования

магнитотеллурических зондирований в осадочных бассейнах // Геофизические исследования. – 2017. – Т. 18. – №. 2. – С. 27-54.

6. Поспеев А. В. и др. Современная практическая электроразведка. – 2018.

7. Рыбальченко В.В., Трусов А.И., Буддо И.В., Абрамович А.В., Смирнов А.С., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Оцимик А.А. и др. Повышение достоверности решения нефтегазописковых задач по результатам комплексирования сейсмо- и электроразведки на участках ПАО «Газпром» (Западная и Восточная Сибирь) // Газовая промышленность. 2020. № 10/807. С. 20–29].

8. Семинский И.К., Семинский А.К., Поспеев А.В., Рустамова Ф.Р. Комплекс геофизических методов для изучения глубинного строения Ангарского разлома — крупнейшего разрывного нарушения Байкальского рифта // Геология и геофизика. 2023. т. 64 (9). с. 1357–1365. doi: 10.15372/GiG2023127, EDN: flidmq

9. Электроразведка: учебное пособие /авт. - сост.: А.А. Иванов, К.В. Новиков, П.В. Новиков. - М.: МГРИ, 2019. - 80 с.