

Возможности технологии сейсморазведки 2D/3D ОГТ «Умный удар» для регистрации флюидного резонанса в качестве прямого нефтепоискового признака

■ Детков В.А., Сибгатулин В. Г., Кабанов А. А., г. Красноярск.

Прямой прогноз залежей углеводородов на основе геофизических методов «давняя мечта» геофизиков-нефтеразведчиков. В 50-80-х годах прошлого века опробовались методики прогноза нефтегазовых залежей (НГЗ) на основе высокоточных гравитационных и магнитных полей. Промышленное использование высокоточные магнитные и гравитационные съемки для прямого прогноза НГЗ не получили развития ввиду неоднозначности связей параметров НГЗ и вмещающих пород с аномалиями гравимагнитных полей.

Перспективы прямых поисков НГЗ геологи-геофизики во второй половине XX века связывали с различными модификациями электромагнитных методов. Однако, эффект достигнут только в случаях простого (с позиций электромагнитных методов) строения НГЗ и вмещающего геологического пространства.

Наибольшие усилия, затраты и, соответственно, положительные результаты получены при использовании данных сейсморазведки МОВ-ОГТ для прямого прогноза НГЗ.

В 80-х годах прошлого века и, особенно, в первые десятилетия XXI века разработаны многочисленные алгоритмы и программы для извлечения информации о нефтегазонасыщении коллекторов, т.е. попутно с информацией о структуре геологической среды при обработке и интерпретации данных 2Д/3Д ОГТ геофизики прогнозируют (на основе анализа динамических параметров отраженных волн) положение в разрезе не только пород различной литологии, но и нефтегазонасыщенность коллекторов.

Достигнутая эффективность прогноза НГЗ по данным среднечастотной (10-100 Гц) сейсморазведки не превышает 50%, что связано как с искажающим влиянием покрывающих НГЗ пород, недостаточной разрешающей способностью среднечастотной сейсморазведки при картировании маломощных (10 метров и менее) коллекторов, а также несоответствием частотного диапазона сейсмической регистрирующей аппаратуры при работах МОВ-ОГТ (10-100 Гц) и частотного диапазона собственных колебаний флюидных объектов (0,1-5,0 Гц).

В середине 90-х годов прошлого века был выявлен эффект «АНЧАР» – низкочастотный (0,1-5,0 Гц) сейсмический шум, характерный для НГЗ.

На основе выявленного эффекта была разработана и успешно внедрена в практику нефтегазопроисковых работ технология «АНЧАР», которая в изученных геофизикой и бурением районах обеспечивает подтверждаемость прогноза залежей в 80-85% случаев [1]. Нам не известны данные об эффективности технологии «АНЧАР» на региональном и поисковом этапах в малоизученных геофизикой и бурением районах. На начальном этапе внедрения авторам технологии «АНЧАР» не удалось получить декларируемую ныне эффективность на уровне 80-85%. Поэтому технология «АНЧАР» была дополнена источником-вибратором для воздействия на НГЗ, что удорожает работу и не соответствует понятию «пассивной» сейсморазведки, для которой источник шумов не известен.

По нашему мнению, в условиях минимума (или отсутствия) априорной инфор-

мации о нефтегазонасыщенности коллекторов и особенностей конкретных объектов (структурные, неструктурные залежи, рифы и т.д.) эффективность технологии «АНЧАР» будет существенно ниже (на уровне 50%).

Следует отметить, что для того, чтобы «раскачать» НГЗ на глубинах более 2,0 км требуется значительная мощность источника. Публикации о связи эффективности технологии «АНЧАР» с мощностью используемых вибраторов нам не известны. Но вряд ли одиночный современный сейсморазведочный вибратор способен «раскачать» НГЗ на глубинах более 2,0 км, либо для этого потребуется много времени (для накопления сигналов), что неизбежно снижает экономическую эффективность технологии.

Классический метод «пассивной» сейсморазведки реализован группой исследователей в республике Татарстан (ООО «Градиент», г. Казань) в виде технологии низкочастотного сейсмического зондирования (НСЗ) [2,3]. При этом, авторы НСЗ исходят из совершенно другой (по сравнению с «АНЧАР») физической модели. Модель НСЗ основана на регистрации на поверхности (низкочастотными приборами 0,1-10,0 Гц) сейсмических шумов между отражающей поверхностью НГЗ и дневной поверхностью.

Для того, чтобы ослабить «шум» от неоднородностей пород, покрывающих НГЗ, авторы метода НСЗ моделируют эти шумы и вычитают их из исходного (зафиксированного аппаратурой) «шума». При этом декларируется эффективность НСЗ также на уровне 80%. Такой результат возможен только при достоверном знании физических параметров (плот-

ностей, мощностей, скоростей и т.д.) неоднородностей пород, перекрывающих НГЗ, а также физических свойств от отражающих поверхностей НГЗ и пород, включающих в себя залежи. Метод НСЗ несомненно эффективен в условиях детально исследованных территорий, когда стоит задача детализации известных залежей, либо поиск залежей, находящихся в тех же геолого-геофизических условиях, что и известные в ближайшем окружении от искомой НГЗ.

Попытки использовать данные традиционной среднечастотной (10-100 Гц) сейсморазведки МОВ-ОГТ для прогноза НГЗ [4] не увенчались успехом, так как частотный диапазон собственных шумов НГЗ (0,1-5,0 Гц) находится вне частотного диапазона среднечастотной сейсморазведки, а динамические характеристики отраженных от НГЗ сейсмических волн искажены поверхностными неоднородностями разреза.

Упомянутые выше ограничения технологий «АНЧАР» и НСЗ не играют существенной роли в модели технологии флюидной резонансной сейсморазведки (ФРС) (**Patent №: US 10,520,615 B1**).

ФРС основана на регистрации максимума сейсмических шумов (стоячих волн Фарадея), возникающих в НГЗ при воздействии на залежь мощного энергетического источника – 14-тидневных резонансов гравитационных приливов в земной коре при движении системы Земля-Луна вокруг Солнца [4]. Резонансы возникают при взаимодействии гравитирующих факторов: расстояние Земля-Луна, расстояние Земля-Солнце, глубина барицентра системы Земля-Луна при обращении вокруг Солнца.

Мощность природного «невзрывного источника» – резонанса 14-тидневных приливов – существенно выше, чем мощность одиночного сейсмического вибратора, что проверено экспериментально [5]. Установлено, что при воздействии 14-тидневных резонансов приливов на 10-ти метровую нефтяную залежь на глубине около 2,5 км (месторождение Самотлор в Западной Сибири) давление внутри НГЗ (по данным цифрового барометра) увеличивается на 1-2% под влиянием энергии резонанса приливов по сравнению с горным давлением (на 1-2 атмосферы при горном давлении 100 атмосфер) [6]. Серийный сейсмический вибратор не способен увеличить давление на пласт на сопоставимые величины. Соответственно, природный «невзрывной источник», используемый технологией ФРС, позволяет «раскачивать» залежь и вызывать в ней стоячие волны Фарадея на фоне постоянно действующих в залежи сейсмических шумов. Флюидные нефтегазовые залежи проявляются в виде максимумов амплитуд спектров сейсмических шумов во время прохождения через потенциальную НГЗ энергии 14-тидневных резонансов. Таким образом, технология ФРС обеспечивает лучшее (по сравнению с «АНЧАР» и НСЗ) соотношение сигнал/помеха при спектральном анализе шумов.

Как показала практика использования технологии ФРС в различных регионах РФ (Восточная и Западная Сибирь, респ. Коми) и в США (Техас), даже в маломощных залежах (2-3 метра) возникают стоячие волны, которые проявляются в виде аномалий спектров сейсмических шумов.

Технология ФРС предусматривает регистрацию шумов не в ограниченные (30-60 мин) интервалы времени (как это реализовано в технологиях «АНЧАР» и НСЗ), а в заранее прогнозируемое время: до, во время и после (три этапа по 12 часов) 14-тидневного резонанса гравитационных приливов. Длительность регистрации шумов в технологии ФРС снижает ее производительность по сравнению с технологиями «АНЧАР» и НСЗ, однако повышает соотношение сигнал/помеха, что в конечном итоге обеспечивает геолого-экономическую эффективность.

В связи с тем, что технология ФРС пока не применялась в достаточных для надежной статистики объемах, декларировать ее эффективность в сравнении с вышеупомянутыми технологиями «АНЧАР» и НСЗ авторы не имеют оснований. Однако потенциальные возможности технологии ФРС позволяют применять ее на поисковом и региональном этапах при минимуме априорной геолого-геофизической информации.

Недостатком технологии ФРС является также невысокая точность (± 300 м) привязки спектров стоячих волн к глубине залегания НГЗ. Это недостаток в технологиях «АНЧАР» и НСЗ устраняется использованием эталонной априорной информации. Аналогично и в технологии ФРС привязка спектров стоячих волн в НГЗ к геологическому разрезу с требуемой при сейсморазведке точностью (± 10 м) возможна при наличии эталонной информации, в первую очередь данных о структуре и скоростных характеристиках геологического разреза – основной «продукции» сейсморазведки МОВ-ОГТ. Поэтому разработчики технологии ФРС в

публикациях постоянно обращают внимание на целесообразность комплексирования ФРС с традиционной сейсморазведкой МОВ-ОГТ для достижения оптимального геолого-экономического эффекта.

В связи с различием частотных диапазонов регистрирующих приборов (ФРС – 0,1-10,0 Гц, среднечастотная сейсморазведка МОВ-ОГТ – 10-100 Гц) невозможно без дополнительных затрат, связанных с использованием разнотипной аппаратуры и необходимостью учета времени возникновения 14-тидневных гравитационных резонансов, обеспечить комплекс упомянутых технологий. В последние годы в мире наблюдается тенденция перехода традиционной сейсморазведки МОВ-ОГТ на использование одиночных автономных сейсмоприемников с частотным диапазоном от 1,0-5,0 Гц.

Технология «Умный удар» при движущемся невзрывном источнике (патент РФ №2745481) [7] предусматривает использование одиночных сейсмоприемников, которые за промежуток времени (до нескольких суток) от расстановки до начала возбуждения и регистрации сейсмической информации ведут непрерывную регистрацию сейсмических шумов различной природы, включая сейсмический шум в НГЗ. Если при этом использовать сейсмические приборы с частотой регистрации от 1,0 Гц, то появляется возможность совмещения этапов регистрации технологии ФРС (а также технологий «пассивной» сейсморазведки «АНЧАР», НСЗ и др.) с производством работ традиционной сейсморазведки МОВ-ОГТ.

В последние годы в США, в Китае и пока в ограниченных объемах в РФ при

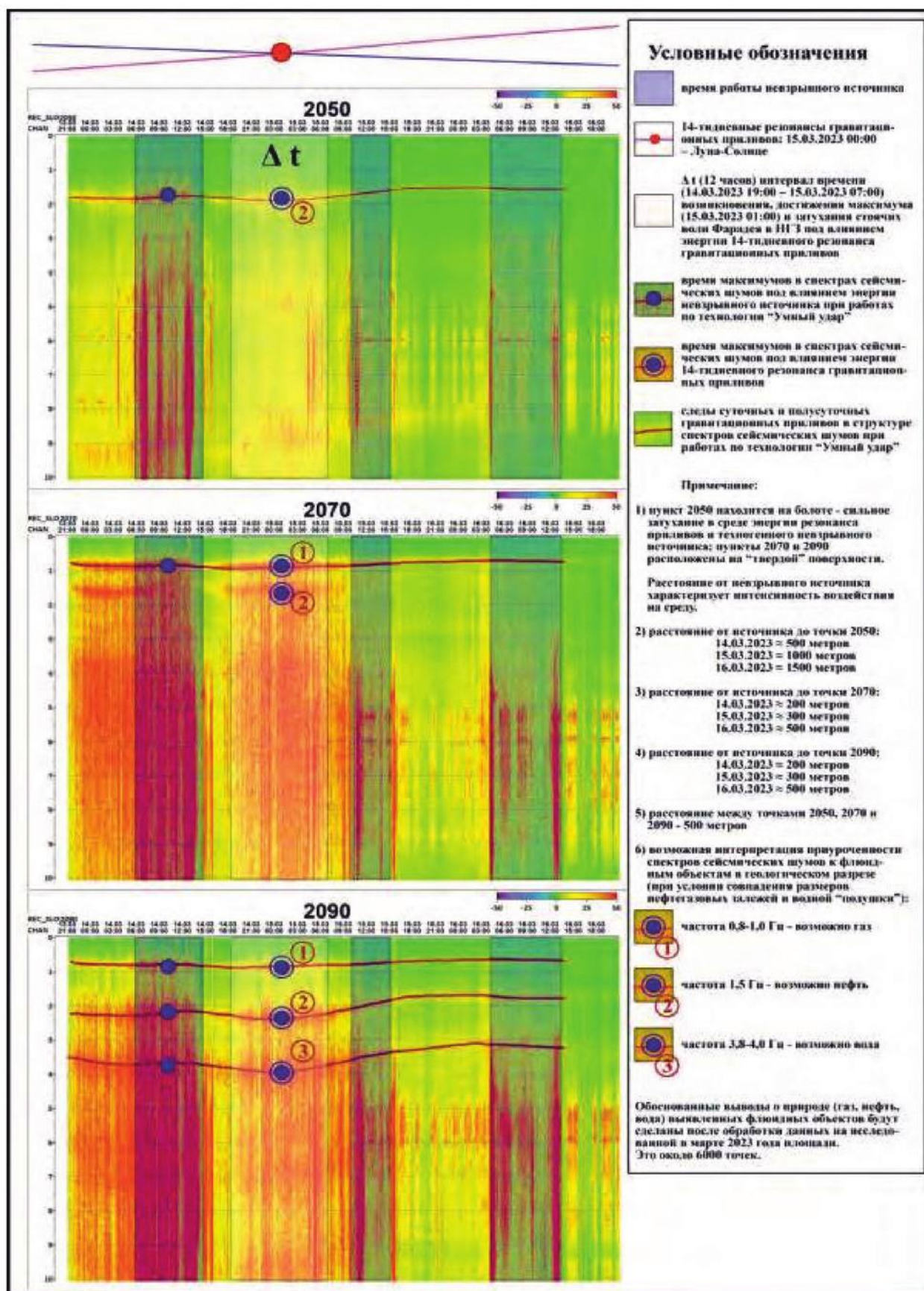
нефтегазопищевых сейсморазведочных работах начато использование высокоплотных систем регистрации с использованием приборов с нижней частотой от 1,0 до 5,0 Гц.

В этой связи было актуально проверить высказанное выше предположение о возможности не просто дополнения традиционной сейсморазведки технологией ФРС с аппаратурой сейсмологического диапазона частот (0,1-10,0 Гц), а совмещение регистрации сейсмических шумов в НГЗ при использовании низкочастотных одиночных сейсмоприемников (1,0-5,0 Гц) в рамках производства работ МОГТ.

Весной 2023 года на одном из месторождений в республике Коми были выполнены высокоплотные (кратность до 1000) сейсмические работы ОГТ по технологии «Умный удар» с использованием автономных сейсморегистраторов с нижней частотой 5,0 Гц. Владельцы информации согласились передать для опытной обработки по технологии ФРС некоторый объем первичных записей.

На рисунке 1 представлены типичные результаты обработки спектров сейсмических шумов в трех точках в пределах площади, где по данным глубокого бурения получены притоки нефти и газа (с глубины от 2000 до 3800 м). Несмотря на то, что регистрирующие приборы (от 5,0 Гц) не полностью перекрывают частотный диапазон сейсмических шумов в НГЗ (0,1-5,0 Гц), по результатам обработки спектров шумов установлено, что:

1) 14-тидневный резонанс гравитирующих факторов 13.03.2023 четко проявляется в спектре шумов на частотах 0,5, 2,0, 3,8 Гц (в это время с 15:00 14.03.2023 по 09:00 15.03.2023 возбуждение коле-



▲ Рис. 1. Типичные спектры сейсмических шумов при регистрации автономными приемниками с диапазоном частот от 5,0 Гц при работах по технологии «Умный удар» на нефтегазоносной площади в республике Коми (март 2023 года).

баний в технологии «Умный удар» не производилось). Таким образом, в этом временном интервале сейсмическая аппаратура с частотой от 5,0 Гц зарегистрировала сейсмические шумы – стоячие волн в НГЗ.

Обращает внимание тот факт, что визуально энергия спектров от работающего невзрывного источника и энергия спектров шумов от 14-тидневного резонанса 15.03.2023 сопоставимы по интенсивности несмотря на то, что приборы (5,0 Гц) снизили интенсивность сигналов от НГЗ в связи с отсечкой частот от 0,1 до 5,0 Гц регистрирующей аппаратурой.

2) Интенсивность (амплитуда спектров) сейсмических шумов от природного невзрывного источника (14-тидневного резонанса 15.03.2023) и техногенного источника сопоставимы между собой в различных точках, однако в целом интенсивность записей на точке 2050 по сравнению с точками 2070 и 2090 существенно ниже, что можно объяснить влиянием поверхностных неоднородностей разреза – точка 2050 находится в пределах болота, а точки 2070 и 2090 на возвышенности. При высокоплотных системах наблюдений имеется возможность при обработке данных (в том числе в рамках регистрации технологии ФРС) снизить уровень влияния поверхностных неоднородностей.

Подводя итоги, можно констатировать, что технология сейсморазведки «Умный удар» при переходе к регистрации с низкочастотными приборами от 1,0 Гц обеспечивает необходимые условия для реализации технологии ФРС для прямого прогноза НГЗ. Следует отметить, что есть возможность на этапе обработки

данных при низкочастотной регистрации реализовать также алгоритмы и программы технологий «АНЧАР» и НСЗ.

Необходимый набор алгоритмов и программ для выявления флюидного резонанса в записи шумов имеется во всех известных обрабатывающих сейсмическую информацию пакетах. Для сортировки сейсмических трасс с целью оптимизации объемов обработки (выделить интервалы записи, соответствующих времени возникновения резонансов гравитационных приливов) алгоритмы и программы также имеются. При необходимости, без больших затрат, можно дополнить существующие пакеты специальными модулями для реализации технологии ФРС с целью прямого прогноза НГЗ. Сопоставление данных обработки по технологии ФРС и известным динамическим алгоритмам для прогноза литологии и нефтегазонасыщенности позволит обеспечить более надежный уровень прогноза НГЗ (можно ожидать достоверность прогноза на уровне 90-95%) по данным сейсморазведки в едином технологическом комплексе «Умный удар» и флюидной резонансной сейсморазведки (ФРС).

Литература

1. Муслимов Р.Х. и коллектив авторов, «Влияние гравитационных лунно-солнечных приливов земной коры на добычу нефти», «Нефтегазовое хозяйство», №1, 2006
2. Биряльцев, Е.В. Вильданов А.А., Ероина Е.В., Рыжов В.А., Рыжов Д.А., Шабалин Н.Я. Моделирование эффекта АНЧАР в методе низкочастотного сейсми-

ческого зондирования // Технология сейсморазведки. М.: Спектр, 2010. № 1. С.31-40.

3. Mohammad Al Jadani, Evgenii Birialtcev, Vasilii Ryzhov, and Sergey Feofilov, GeoPulsar; Evgenii Mokshin, Gradient Technology, «Combining 1C & 3C Sensors: An Evolution in Passive LFS LowFrequency Seismic Exploration», Copyright 2020, International Petroleum Technology Conference.

4. Ведерников Г.В. Методика и технологии сейсморазведочных работ // Новосибирск; Томск; Нортхемптон: STT, 2006. 344 с.

5. Сибгатулин, В.Г.; Перетокин, С.А.; Кабанов, А.А. Резонансы гравитационных приливов – мощный энергетический источник геодинамических процессов в земной коре // Журнал Сибирского федерального университета, Техника и технологии. – Красноярск: ФГАОУ ВПО «СФУ, 2016. – 9(2) – С. 146-165.

6. Сибгатулин В.Г., Перетокин С.А., Кабанов А.А. Технология флюидной резонансной сейсморазведки для прямых поисков нефтегазовых залежей // Технологии сейсморазведки. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН 2016. – №3 – С. 28–37.

7. Патент на изобретение №2745481 (Способ и система сбора сейсмических данных) Патентообладатель: Детков В.А., Авторы: Детков В.А., Сибгатулин В.Г., Муртаев И.С.

Подробнее об авторах



Детков
Владимир Алексеевич

разработчик
инновации
«УМНЫЙ УДАР»,
кандидат технических
наук



Сибгатулин
Виктор Газизович

автор технологии ФРС,
Заслуженный геолог РФ



Кабанов
Алексей Анатольевич

разработчик инновации
ФРС, магистр науки
и техники по направлению
«Физика Земли и планет»