

Импульсные электромагнитные источники «Енисей». Обзор моделей и опыт практического применения.

В.А. Детков, ОАО «Енисейгеофизика», г. Красноярск

Электромагнитный источник сейсмических колебаний – это невзрывной поверхностный импульсный источник с силовым электромагнитным приводом, содержащим один или несколько синхронно работающих короткоходовых электромагнитов и автономную систему питания, состоящую из емкостного накопителя энергии и устройства для её заряда и разряда.

История развития сейсмоисточника на электромагнитном принципе действия насчитывает более 20 лет. В ОАО «Енисейгеофизика» в начале 90-х годов была разработана серия санных (Енисей СЭМ) и колёсных (Енисей КЭМ) источников на усилия до 100 тонн с использованием электромагнитов на усилии 25 тонн.

Особенно интенсивно модернизация сейсмоисточников и разработка их модификаций под общим названием «Енисей» начала проводиться в ОАО «Енисейгеофизика» с 2000 года. В настоящее время, кроме санных (Енисей-СЭМ) и колёсных (Енисей-КЭМ) источников разработан и успешно прошел испытания водный (Енисей-ВЭМ) электромагнитный источник для работы в транзитных зонах. Всего на опытном производстве ОАО «Енисейгеофизика» производится 11 модификаций электромагнитных источников для работы в различных поверхностных условиях – арктической тундре, горно-таежной местности, в пустыне, по льду водоемов, по рекам и в транзитных зонах. Эти источники широко используются на площадях с различными сейсмогеологическими условиями при производстве всех типов сейсморазведочных работ – 2D, 3D, 2D-3С и ВСП.

Источники ряда «Енисей» позволяют решать задачи возбуждения сейсмических колебаний в ряде ситуаций, когда использование взрывов запрещено или физически неэффективно – жилые, промышленные, природоохранные территории, участки с большой мощностью ЗМС или многолетней мерзлотой. Преимуществами перед вибратором являются: возможность использования на чрезвычайно пересеченной



Рис.2. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-50». Предназначен для проведения сейсморазведки в зимний период в труднопроходимых районах горно-таежной и тундровой местности, на ледовых покровах водоемов



Рис.3. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-100». Является наиболее распространенной и востребованной моделью источника для проведения сейсморазведки в зимний период. Предназначен для работы в условиях горно-таежной и тундровой местности



Рис.1. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-20». Предназначен для оперативной транспортировки авто- и авиатранспортом к месту проведения сейсмокаротажа и ВСП неглубоких скважин



Рис.4. Электромагнитный источник «Енисей-СЭМ-180». Источник повышенной мощности, предназначен для проведения сейсморазведки в зимний период, в районах горно-таежной и тундровой местности при ограниченной базе группирования источников

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



Рис. 5. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-1». Предназначен для изучения сейсмическими методами зоны малых скоростей (ЗМС) и верхней части разреза (ВЧР). Конструктивно выполнен в виде прицепа к автомобилю



Рис. 9. Электромагнитный источник «Енисей-ВЭМ-100», водный вариант. Предназначен для проведения сейсморазведки в летний период, в условиях водных акваторий



Рис. 6. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-2». Является наиболее распространенной колесной моделью источника, предназначен для проведения сейсморазведки, как в летний, так и в зимний периоды в районах горно-таежной, степной и тундровой местности



Рис. 10. Электромагнитный источник «Енисей-ЭМ-1.6», малогабаритный вариант. Предназначен для инженерных сейсмических исследований поверхностной части разреза



Рис. 7. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-2-130». Источник смонтирован на автомобиле «Урал» повышенной проходимости. Предназначен для проведения сейсморазведки в летний и зимний периоды в труднопроходимых районах горно-таежной, тундровой, степной и пустынной местности

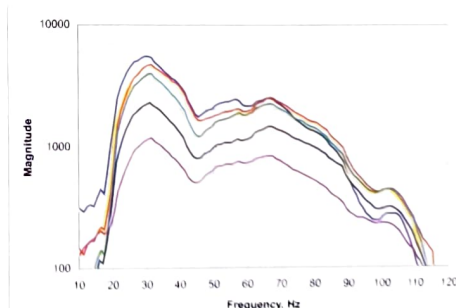


Рис. 11. Спектры полезного сигнала, рассчитанные в среднем диапазоне удалений ПВ-ПП, в зависимости от числа источников в группе, интервал между источниками 10 м



Рис. 8. Электромагнитный источник «Енисей-КЭМ-4». Предназначен для проведения сейсморазведки как в летний, так и в зимний периоды в районах горно-таежной, степной и тундровой местности

местности, на водоемах по льду относительно небольшой толщины, лучшая идентичность накапливаемых воздействий даже на рыхлой поверхности и меньшая стоимость.

На рис. 11 показана зависимость амплитудных спектров от числа источников в группе, длина которой пропорциональна их числу. Видно, что база группирования 40 м (4 шт.) является оптимальной для данных условий, хотя и три источника дают вполне приемлемые результаты.

Сейсмическая эффективность импульсных электромагнитных источников ряда «Енисей»

сравнивалась с эффективностью взрывной и вибрационной технологии возбуждения упругих колебаний на полигонах Сибирской платформы (рис. 12), Западно-Сибирской плиты (рис. 13) и Предуральяского прогиба (рис. 14).

Взрывная технология возбуждения упругих колебаний существенным образом повышает стоимость проведения сейсморазведочных работ и создает дополнительные трудности технологического и экологического плана. Избежать всех

этих проблем, существенно не снижая эффективности сейсморазведки, позволяет применение электромагнитных импульсных источников упругих колебаний ряда "Енисей – СЭМ (санний), КЭМ (колесный)", нашедших широкое применение на площадях с самыми разнообразными сейсмогеологическими условиями.

Производство взрывных работ запрещено в водоохраных зонах и там, где на площади работ имеется большое количество рек и озер, это приведет к значительной потере кратности при пересечении профилем водоемов, а в местах, где протяженность водоема вкупе с водоохраной зоной будет превышать 3 км, вообще к «дырам» на временном разрезе. Опыт проведения работ с применением импульсных источников «Енисей» по ледовым покрытиям водоемов, позволяет говорить, что электромагнитные источники «Енисей» – единственное средство позволяющее проводить сейсморазведку в таких местах (рис. 15, 16).

Особенно эффективно применение электромагнитных источников «Енисей» при 3D съемке (рис. 17). Стабильность импульса и параметров возбуждения позволяют решать тонкие динамические задачи для обнаружения коллекторов и залежей углеводородов.

Применение импульсного источника «Енисей» при проведении работ ВСП дает ряд неоспоримых преимуществ перед взрывом в скважине. Практика показала, что проведение сейсморазведки с использованием невзрывных источников позволяет упростить полевые работы, снизить их стоимость и повысить безопасность за счет отказа от использования взрывчатых веществ, исключить, или свести к минимуму ущерб, наноси-

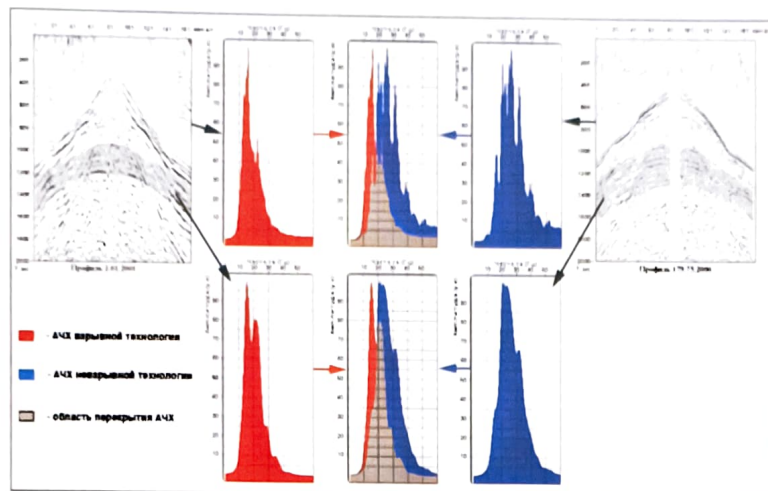


Рис. 12. Амплитудно-частотные характеристики сейсмограмм при взрывной (слева) и невзрывной (справа) технологии (электромагнитные источники «Енисей-СЭМ-100»). Сибирская платформа

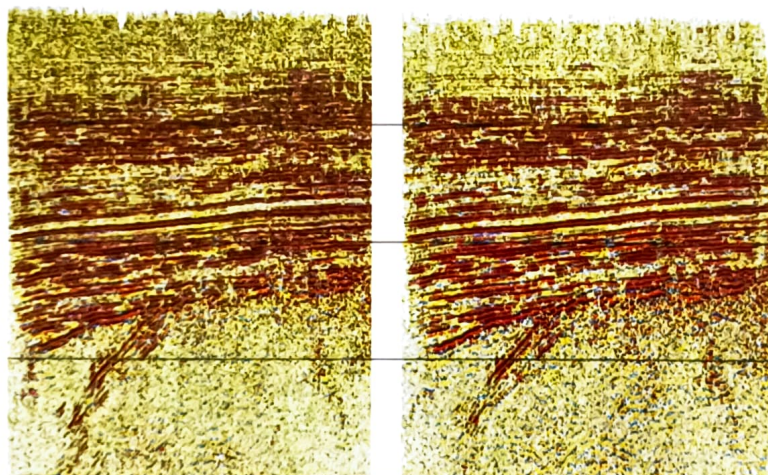


Рис. 13. Сравнение временных разрезов, полученных с взрывными источниками (слева) и невзрывным (справа) электромагнитными источниками «Енисей-СЭМ-100». Западно-Сибирская плита

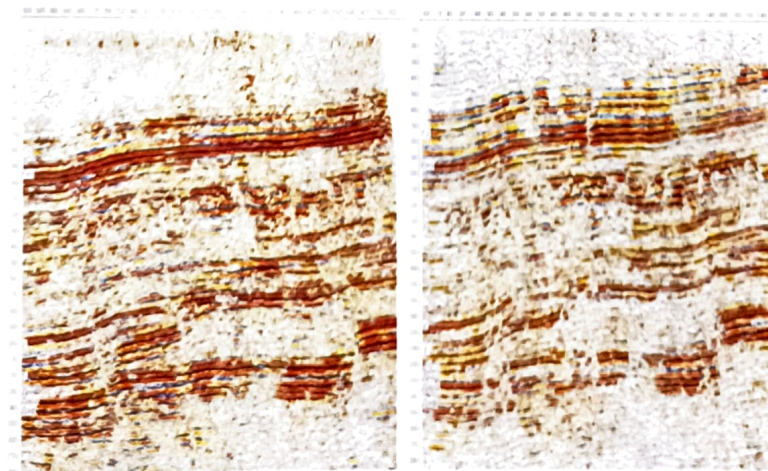


Рис. 14. Сравнение временных разрезов, полученных с импульсными электромагнитными источниками «Енисей-КЭМ-2» (слева) и вибраторами СВ-5-150 (справа). Северный борт Прикаспийской синеклизы

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

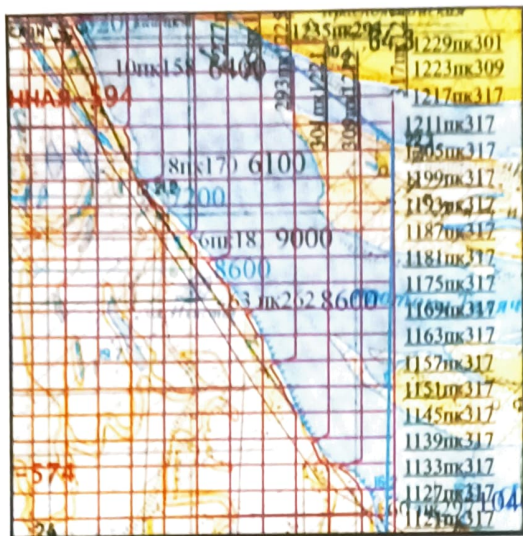


Рис. 15. Экологическая безопасность источников «Енисей» позволяет комбинировать взрывные источники на берегу и электромагнитные источники на льду реки. Западная Сибирь, река Обь, площадь 3D

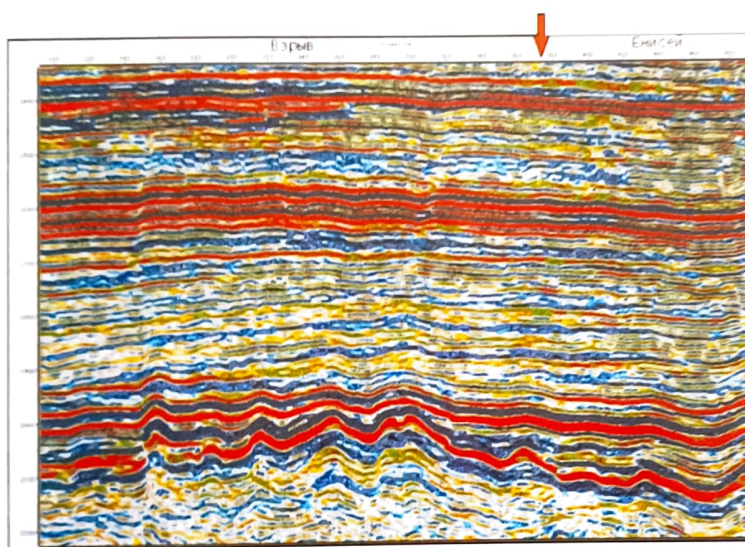


Рис. 16. Один из профилей площади 3D, отработанных с комбинированием взрывных источников на берегу и электромагнитных источников на льду реки. Западная Сибирь, река Обь

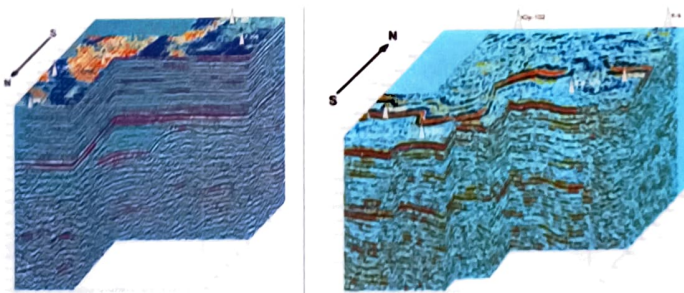


Рис. 17. Сейсмическая съемка 3D на Куомбинской площади. 5 электромагнитных источников «Енисей-СЭМ-100», 8 накоплений. (Восточная Сибирь, 1998)

мой окружающей среде.

Многочисленные сейсморазведочные работы методом вертикального сейсмического профилирования (ВСП) с применением импульсного источника сейсмических колебаний «Енисей» позволяют сделать следующие выводы:

1 При возбуждении сейсмического сигнала импульсным источником «Енисей» разрушения почвы не происходит. По этой причине условия возбуждения не меняются и возбуждаемый импульс идентичен на всех точках физических наблюдений. Добиться идентичности возбуждаемого импульса при взрыве практически невозможно.

2 Накопление сигнала, приводимое при работах с импульсным источником сейсмических колебаний, позволяет в значительной степени повысить уровень случайных помех. Без накопления сейсмического сигнала это невозможно, так как ВСП в стандартной методике это однократные наблюдения.

3 Диапазон частот, зарегистрированных от импульсного источника, не уступает взрывному источнику.

Богатый опыт использования электромагнитных источников «Енисей» в различных геофизических организациях показывает, что использование этих источников геологические и экономические оправдано не только при работах ВСП, но и при 2D и 3D сейсмических исследованиях. Работы ВСП, проведенные в Западной Сибири с источником «Енисей», наглядно демонстрируют, что глубина исследований в 4 и более километров далеко не предел для импульсных электромагнитных источников этого типа (рис. 18).

Сравнение работ ВСП, проведенных с различными видами источников, позволяет говорить, что сейсмические данные, полученные с использованием электромагнитных источников «Енисей» не только не уступают, но в некоторых случаях даже превосходят информативность других видов источников (рис. 19).

Богатый опыт применения электромагнитных источников «Енисей» в сложнейших сейсмогеологических условиях западной части Сибирской платформы опровергает тезис о том, что применение электромагнитных источников эффективно лишь при простых сейсмогеологических условиях. Проведенные сейсмические исследования по региональному геотранверсу «Диксон - оз. Хантайское» с применением импульсных источников «Енисей» позволили изучить разрез осадочного чехла на глубину до 20 км (рис. 20).

Для отработки водных и транзитных зон в ОАО «Енисейгеофизика» разработан и изготовлен опытный образец водного электромагнитного источника «Енисей-ВЭМ-100», который успешно прошел испытания на акватории Красноярского водохранилища и устье р. Иртыш.

Сравнительные испытания водного источника

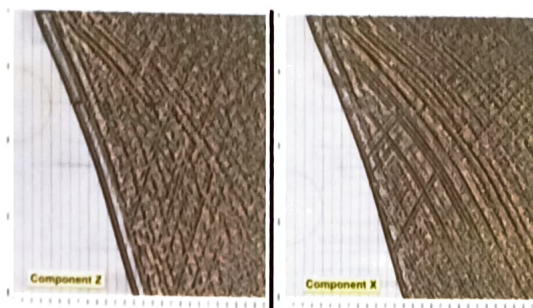
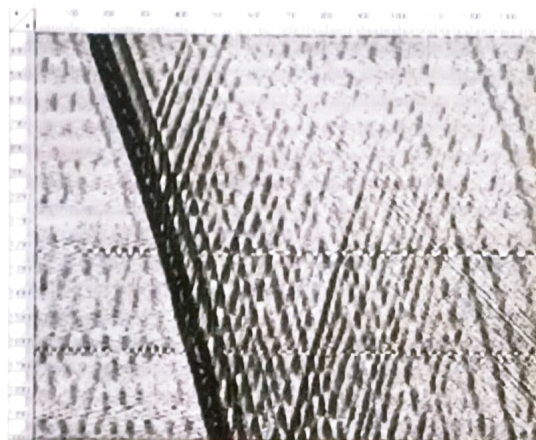
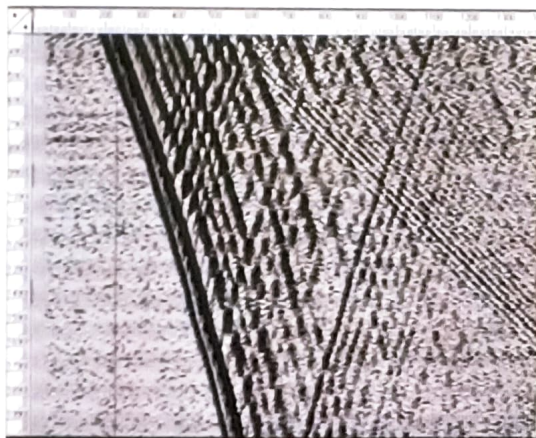


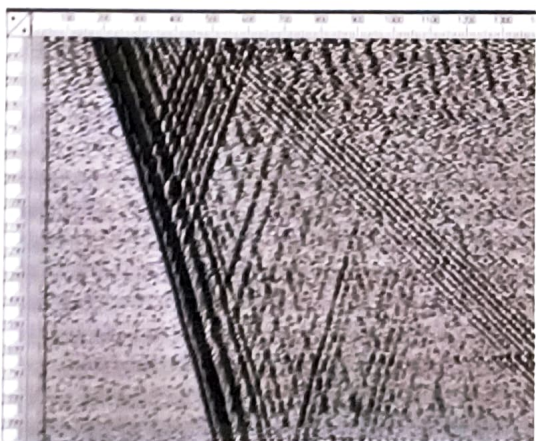
Рис. 18. Исходное волновое поле ВСП в глубокой скважине (4000 м). 4 источника «Енисей-СЭМ-100»



Вибраторы: линейный свип 10-90 Гц. Длина свипа 10 с



Источник «Енисей-СЭМ-100»: Накопление 4-х одиночных воздействий, открыт канал



Взрыв в скважине: Глубина скважины – 14 м, величина заряда 0.25 кг тротила, открыт канал

Рис. 19. Сравнение данных ВСП, полученных с различными типами источников

с пневматическими пушками, традиционно используемыми для возбуждения сейсмических колебаний в водной среде, показали, что при сопоставимых результатах (рис. 21), водный электромагнитный источник «Енисей-ВЭМ-100» значительно проще в эксплуатации, а его использование экономически эффективнее.

В пределах Сибирской платформы выделению сложных по строению ловушек литологического и тектонически-скрапированного типов препятствуют такие сейсмогеологические факторы как высокая насыщенность разреза траппами, высокоскоростной тип разреза (до 5500-6000 м/с), а также значительный фон кратных волн. Во многом из-за этого, традиционная сейсморазведка на протяжении последних двух десятилетий с разной степенью достоверности позволяла картировать в западной части Сибирской платформы лишь реперные отражения, а при решении тонких задач выделения литологических и тектонических ловушек оказывается неэффективной. Решению этих проблем во многом может способствовать многоволновая сейсморазведка. Преимущества тут очевидны. Во-первых, скорости обменных волн примерно в полтора раза ниже, чем у продольных. Во-вторых, у обменных волн гораздо ниже способность к образованию кратных волн того же типа. И, в-третьих, использование комплекса продольных и обменных волн позволяет непосредственно из сейсмических записей извлекать параметры, характеризующие продуктивность того или иного уровня.

Предварительные результаты обработки профиля 2D-3С на Оморинской площади, обработанного с использованием электромагнитных источников «Енисей», убедительно доказывают, что на разрезе обменных волн фон кратных отражений на уровне целевых венд-рифейских горизонтов, значительно ниже, чем на разрезе продольных волн (рис. 22).

Исходя из многочисленных практических результатов, проведенных во многих регионах России с электромагнитными источниками «Енисей» и, учитывая богатый выбор моделей этих источников, можно с уверенностью сделать вывод о целесообразности их использования для всех, без исключения, видов сейсмических исследований.

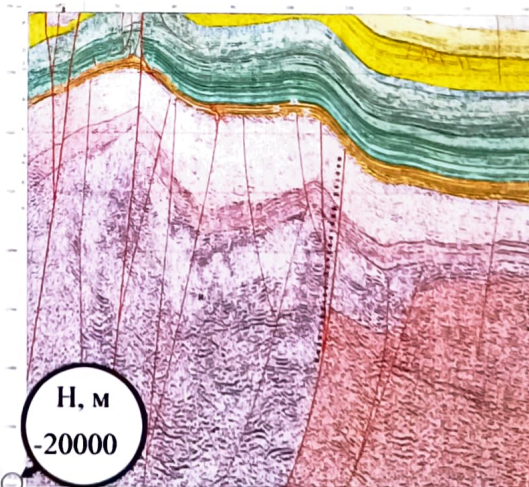


Рис. 20. Фрагмент глубинного разреза вдоль регионального профиля п. Диксон – оз. Хантайское. 5 электромагнитных источников «Енисей-КЭМ-4», 12 накоплений

ИМПУЛЬСНАЯ НЕВЗРЫВНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

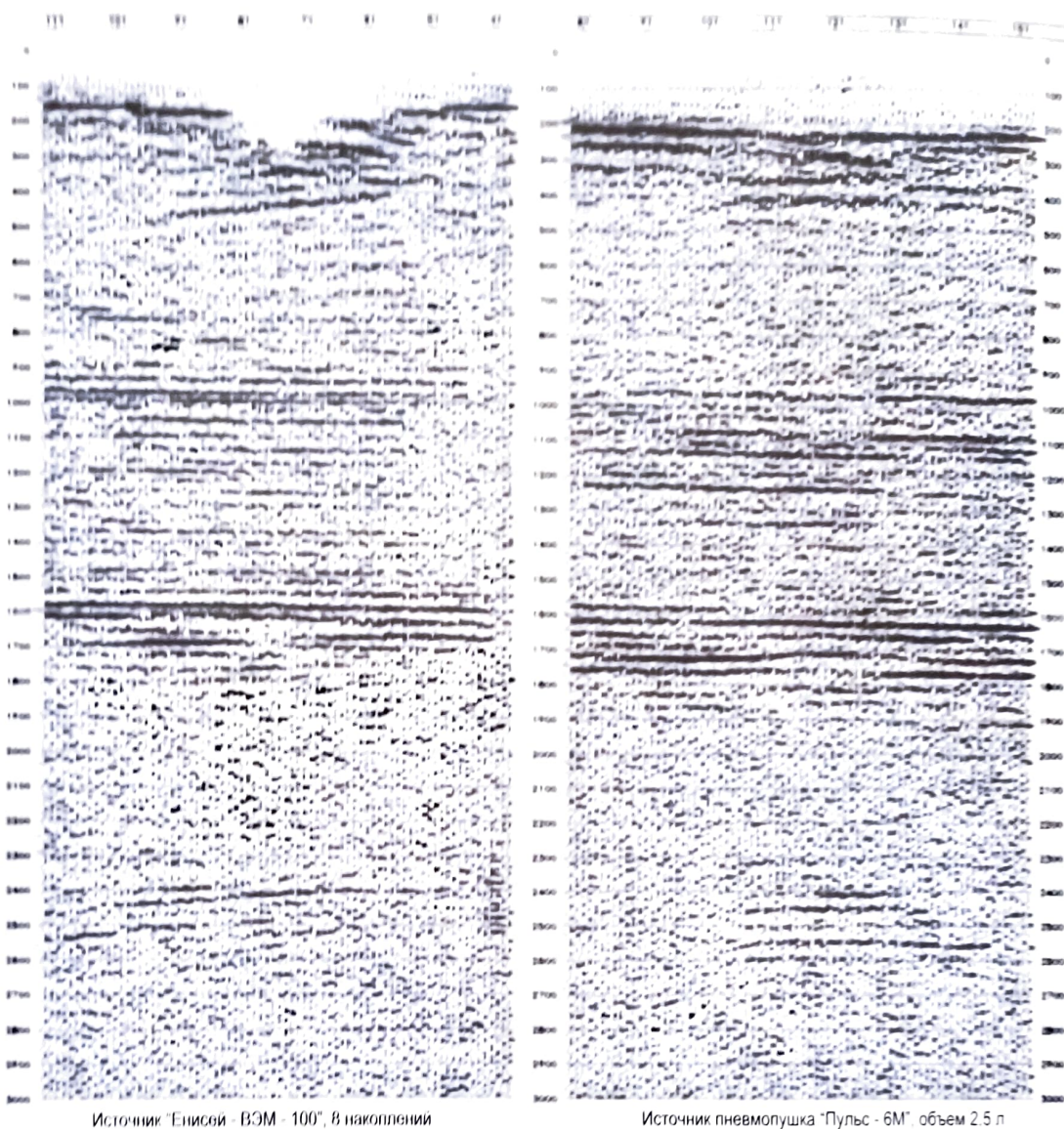


Рис. 21. Временные разрезы, полученные после сравнительных испытаний водного источника «Енисей-ВЭМ-100» и пневматического «Пульс-6М»

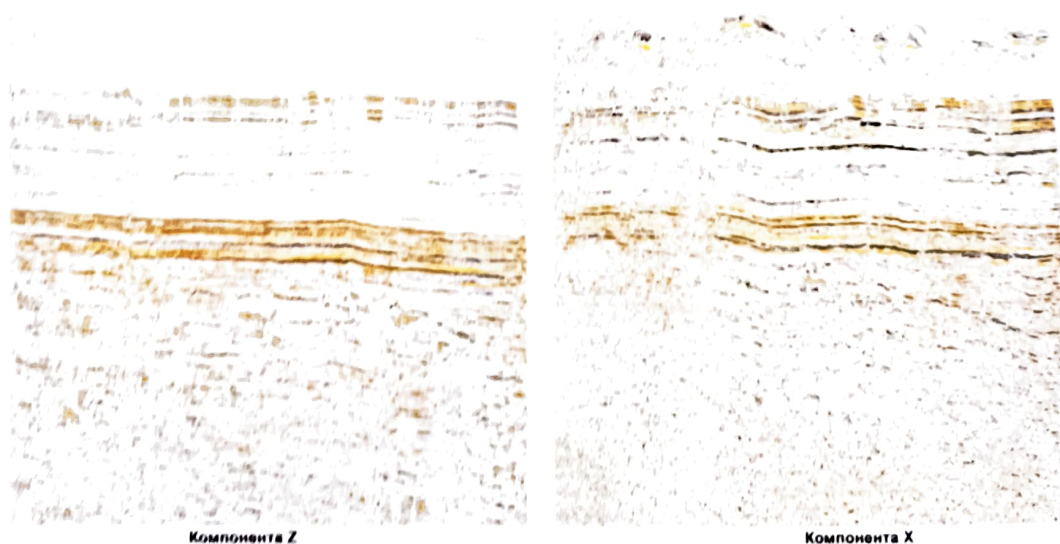


Рис. 22. Многоволновая регистрация на профиле 25 Омороинской площади. Временные разрезы продольных и поперечных волн