Использование обменных поперечных волн для восстановления нормальной отражательной характеристики разреза и повышения разрешенности изображения

Елисеев В.Л.*, Табаков А.А.**, Баев А.В.***, Калван Л.В.*, Ференци В.Н.*, Мухин Д.А.****, Колосов А.С.****, Огуенко Д.В.*

(ООО «ГЕОВЕРС», Москва, ** ОАО «ЦГЭ», Москва, *** МГУ, Москва, **** ООО «УНИС», Санкт-Петербург)*

Using of converted shear waves to restore normal medium reflectivity and to increase resolution of an image

Eliseev V.L.*, Tabakov A.A.**, Baev A.V.***, Kalvan L.V.*, Ferentsi V.N.*, Muhin D.A.****, Kolosov A.S.****, Oguenko D.V.*

(GEOVERS Ltd., Moscow, ** CGE JSC, Moscow, *** MSU, Moscow, **** UNIS Ltd., Saint Petersburg)*

Восстановление коэффициента отражения по нормали
Recovery of normal reflection coefficient

Табаков А.А. и Баев А.В. (2007) показали, что из уравнений Нота-Цёпритца для коэффициента отражения по нормали следует зависимость от коэффициентов отражения волн PP и PS при падении под углом θ :

Tabakov A.A. and Baev A.V. (2007) showed that normal reflection coefficient may be derived from Nott-Zoeppritz equations as a dependence from reflection coefficients for PP and PS waves at θ incidence angle:

$$A_{pp0} = A_{pp}(\theta) + \frac{1}{2}\sin(\theta) A_{ps}(\theta)$$

при следующих условиях:

- малый перепад скоростей на границе раздела среды
- малый угол падения θ
- малая величина отклонения отношения Vs/Vp от величины 0.5

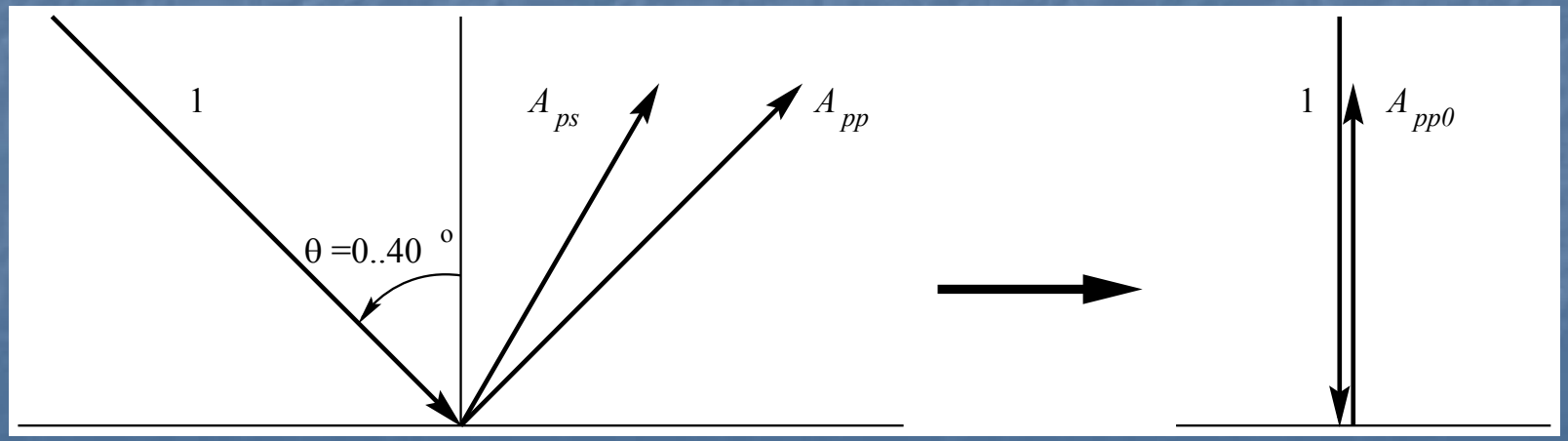
with next conditions:

- small difference of velocity change on the layers bound
- small incidence angle θ
- small value of deviation of Vs/Vp ratio from 0.5

Восстановление коэффициента отражения по нормали
Recovery of normal reflection coefficient

- Эксперименты на модельных данных (Табаков А.А., Баранов К.В. и др. (2006)) показали хорошую точность соотношения при углах θ до 40°.
- В отличие от известных формул коррекции за угол падения привлекается информация из обменной P-SV волны

- Experiments with synthetic data (Tabakov A.A., Baranov K.V. et al. (2006)) demonstrated good precision of the dependence with incident angles θ up to 40°.
- In opposition to known formulae with incidence angle correction an information from P-SV wave is used



Нормализация трассы однократных отражений ВСП
Normalization of VSP primary reflection trace

- Используя полученную формулу можно восстановить коэффициент отражения по нормали используя данные ВСП с дальних ПВ
- Суммируя нормальные коэффициенты отражения с разных ПВ можно увеличить отношение сигнал/шум в трассе однократных отражений
- Для конкретной геометрии наблюдений нормализация ТОО для дальних ПВ проводилась по формуле:

$$a_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^{N_{SP}} \left(a_k^{PP}(t) + 0.25\, a_k^{PS}(t) \right)$$

- Суммируя с ТОО для ближнего ПВ, имеем:

$$a_{0\Sigma}(t) = a_0^{PP}(t) + a_{\Sigma}(t)$$

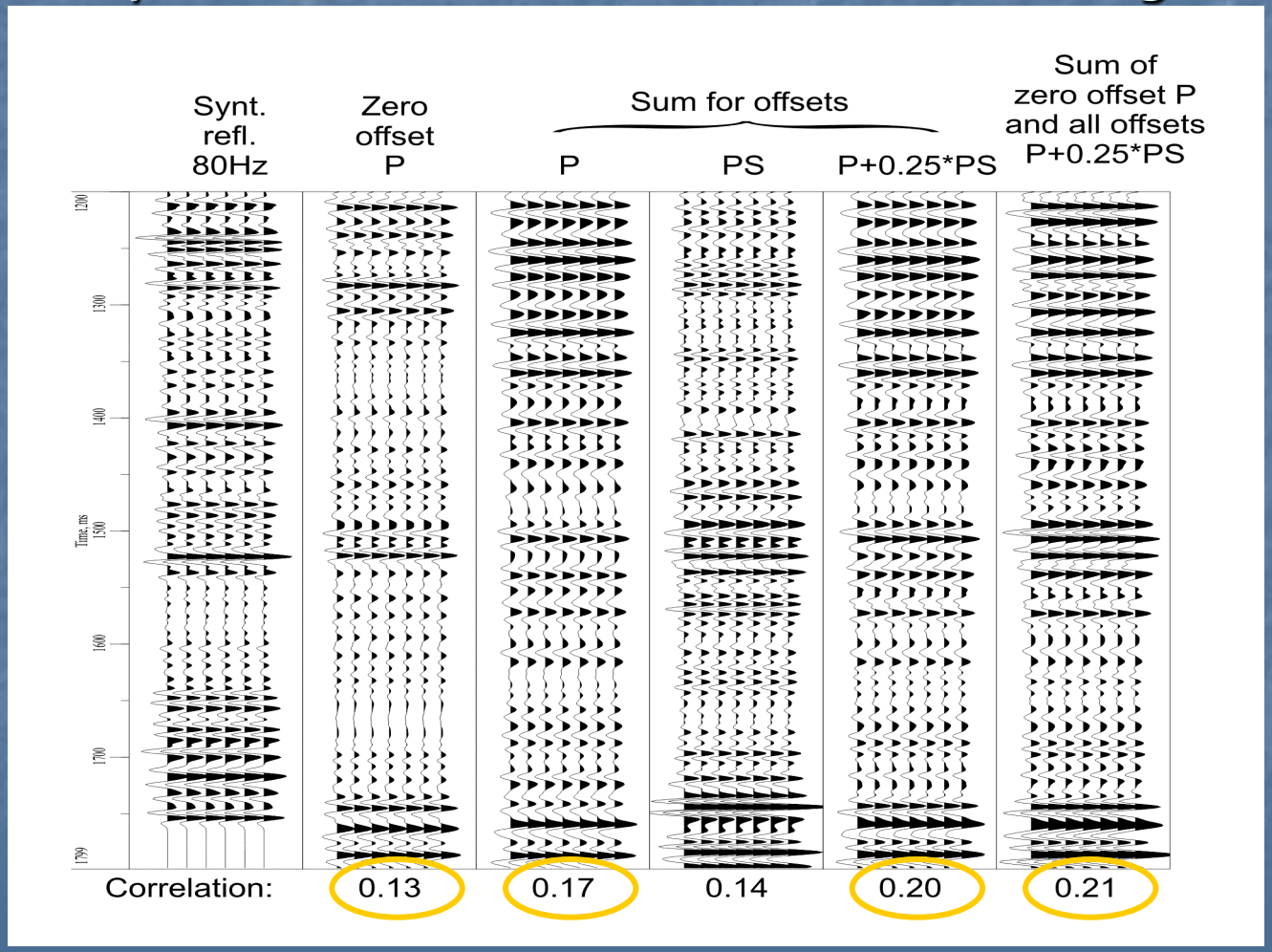
- Using obtained formula it's possible to restore normal reflection coefficient using VSP data from offset shot points
- Sum of normal coefficients from several shot points one can increase signal/noise ratio
- For exact acquisition geometry primary reflections from offset VSP was normalized using formula:
- Sum with zero-offset primary reflections gives:

Сопоставление трасс однократных и нормализованных отражений ВСП с данными ГИС
Comparison of VSP primary and normalized reflections with synthetic reflections calculated from log data

- По данным акустического и плотностного каротажа в были рассчитаны синтетические отражения и произведена их свертка с импульсом Рикера (80Гц)
- Трассы однократных отражений ВСП с 4 ПВ (один ближний и три дальних) отфильтрованы в частотный диапазон синтетики
- Проведено сопоставление синтетических отражений и реальных после нормализации путем корреляции трасс

- Synthetic reflections were calculated as a convolution of Ricker impulse (80Hz) with reflectivity obtained from sonic and density log
- VSP primary reflection traces from 4 shot points (one zero and three offsets) was filtered to the synthetic reflections frequency range
- Comparison of synthetic reflections and real ones were performed by correlation of calculated traces

Сопоставление трасс однократных и нормализованных отражений ВСП с данными ГИС
Comparison of VSP primary and normalized reflections with synthetic reflections calculated from log data

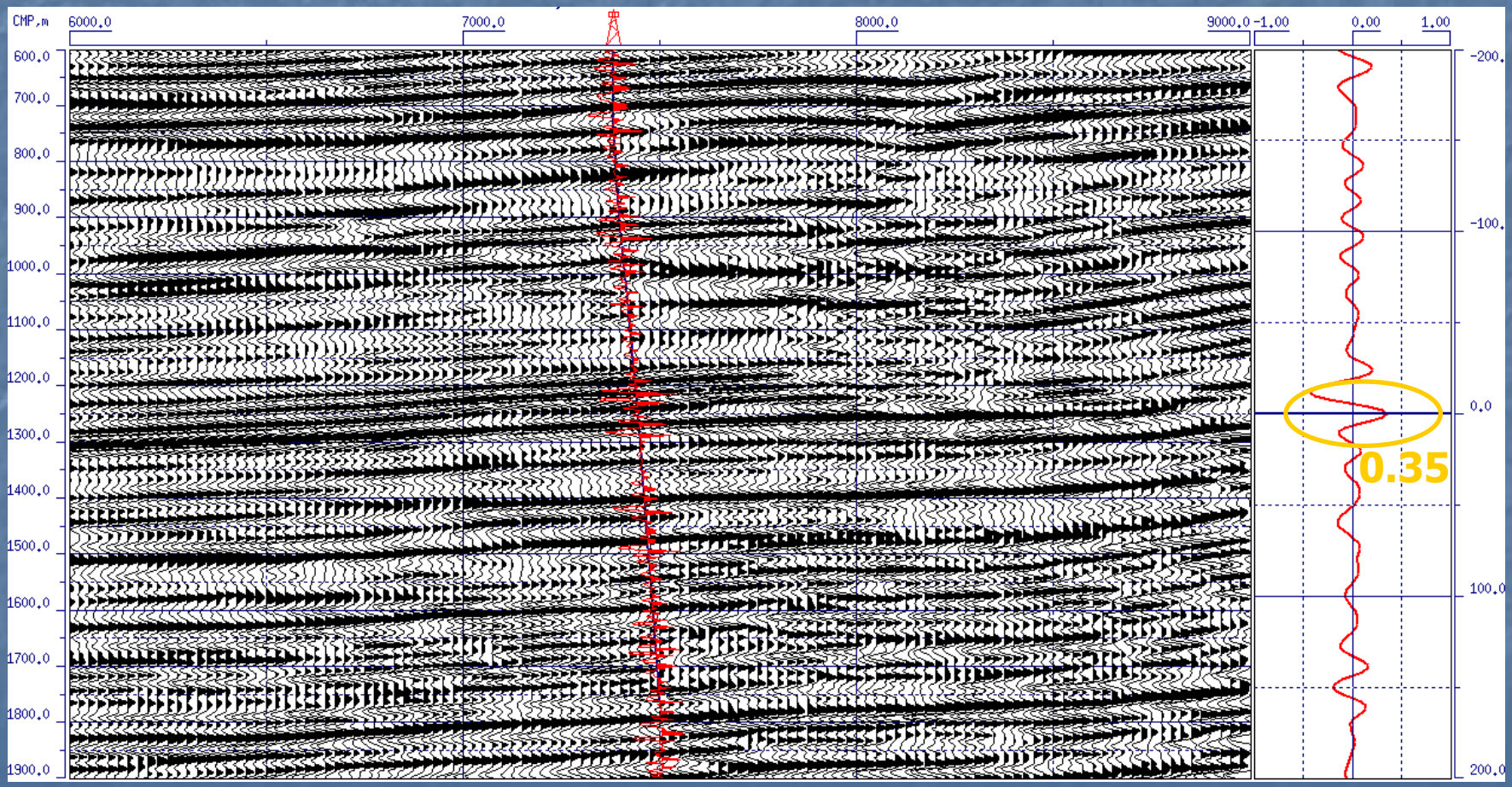


Сопоставление трасс однократных и нормализованных отражений ВСП с данными ГИС
Comparison of VSP primary and normalized reflections with synthetic reflections calculated from log data

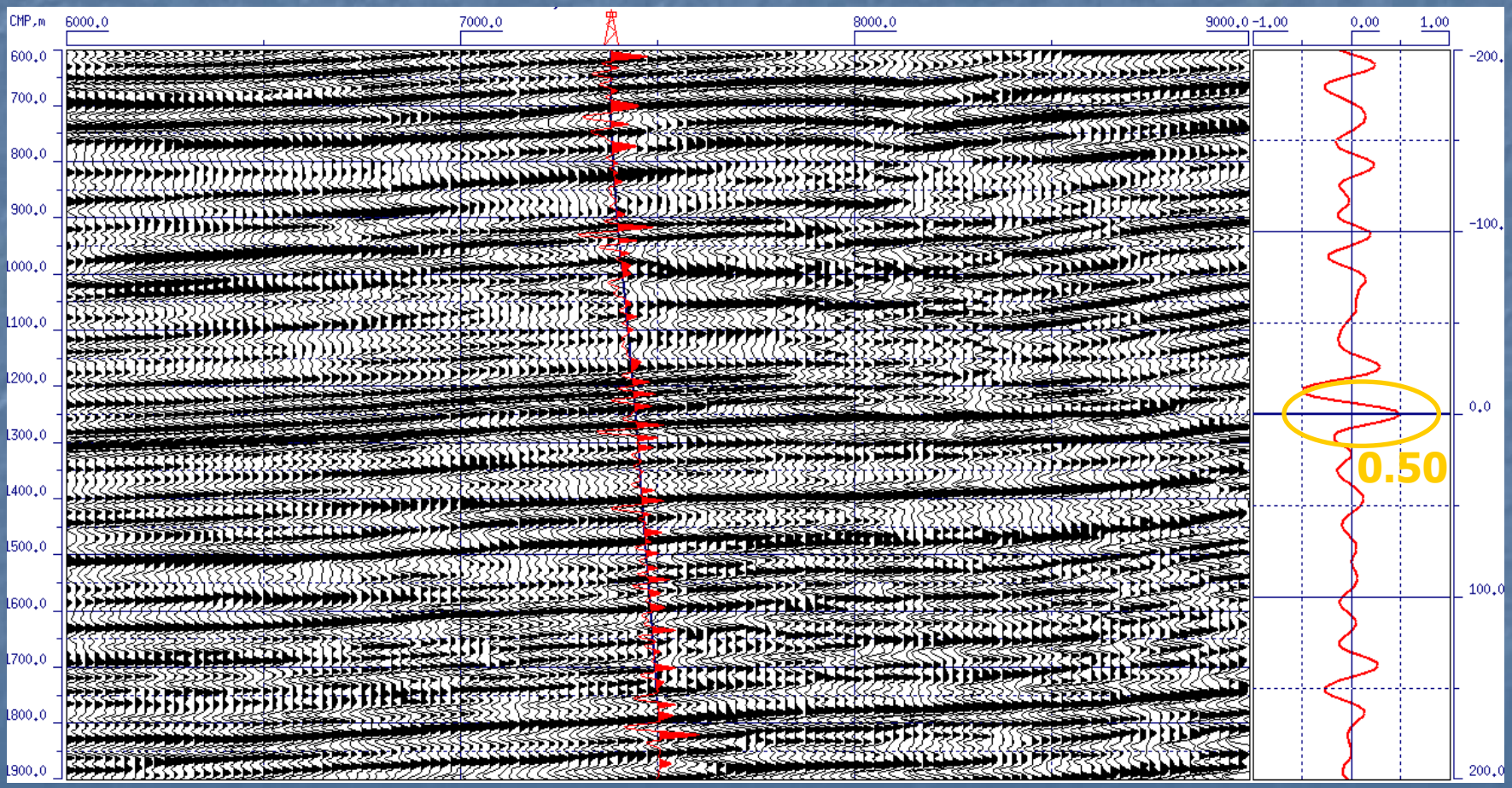
- Трасса нормализованных отражений лучше описывает отражательную характеристику среды, чем традиционная ТОО
- Суммирование данных многих ПВ повышает отношение сигнал/шум, что делает результат более достоверным

- Normalized reflection trace describes reflectivity of the medium better than traditional primary reflection trace
- Sum of data from several shot points increases signal/noise ratio and makes the more robust result

Привязка трассы однократных отражений к разрезу ОГТ
Tie of VSP primary reflections trace with CMP section



Привязка трассы нормализованных отражений к разрезу ОГТ
Tie of normalized VSP primary reflections trace with CMP section

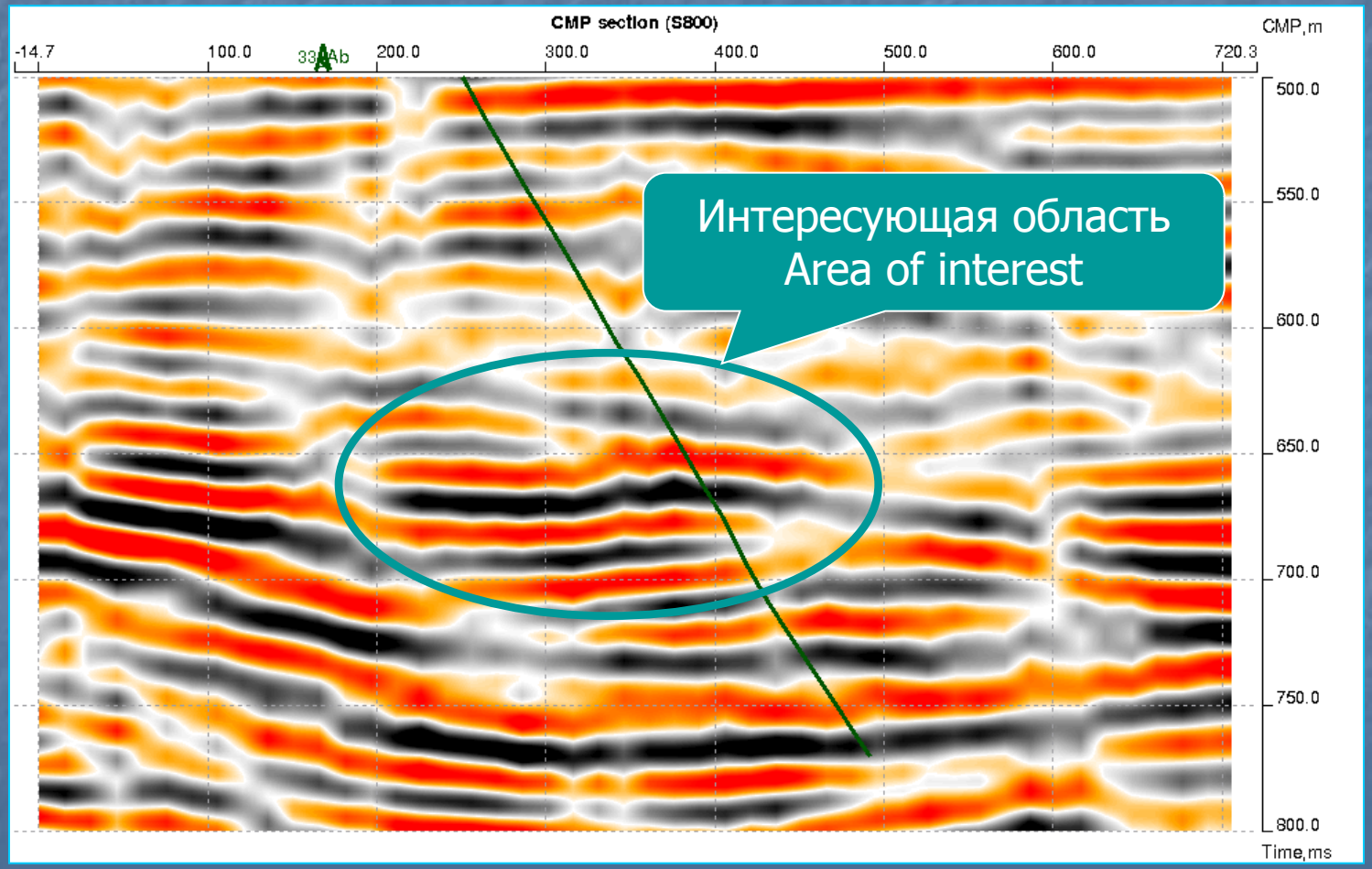


Привязка трассы нормализованных отражений к разрезу ОГТ
Tie of normalized VSP primary reflections trace with CMP section

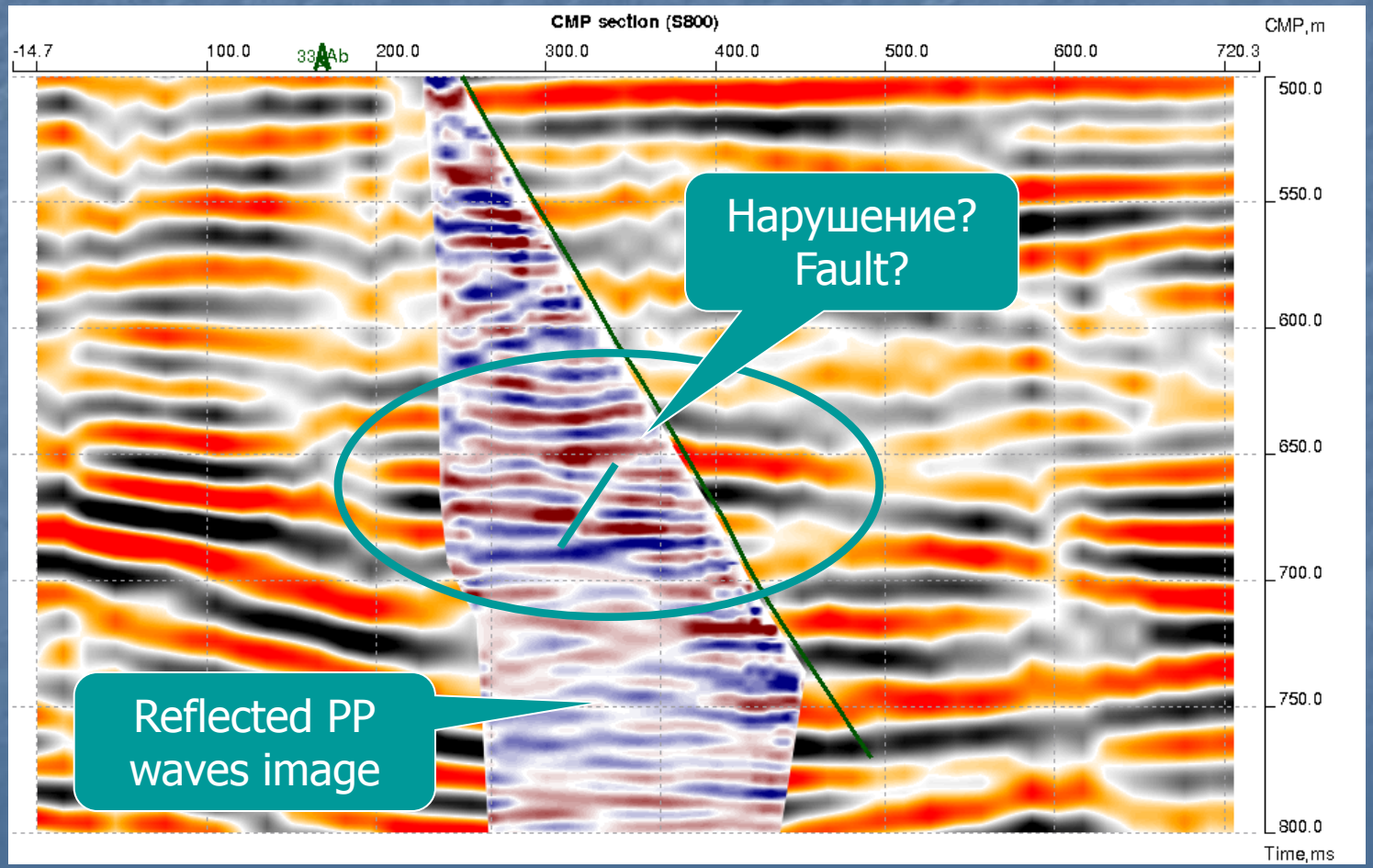
- Трасса нормализованных отражений лучше коррелируется с разрезом ОГТ, чем традиционная ТОО
- Результат привязки закономерно лучше в случае нетривиальных условий:
  - Наклонно-слоистая среда
  - Невертикальная скважина
  - Малое отношение сигнал/шум в исходных данных ВСП

- Normalized reflection trace is correlated with CMP section better than traditional primary reflection trace
- The tie is naturally better in case of non-trivial conditions:
  - Non-horizontal layered medium
  - Deviated well trunk
  - Small signal/noise ratio in initial VSP data

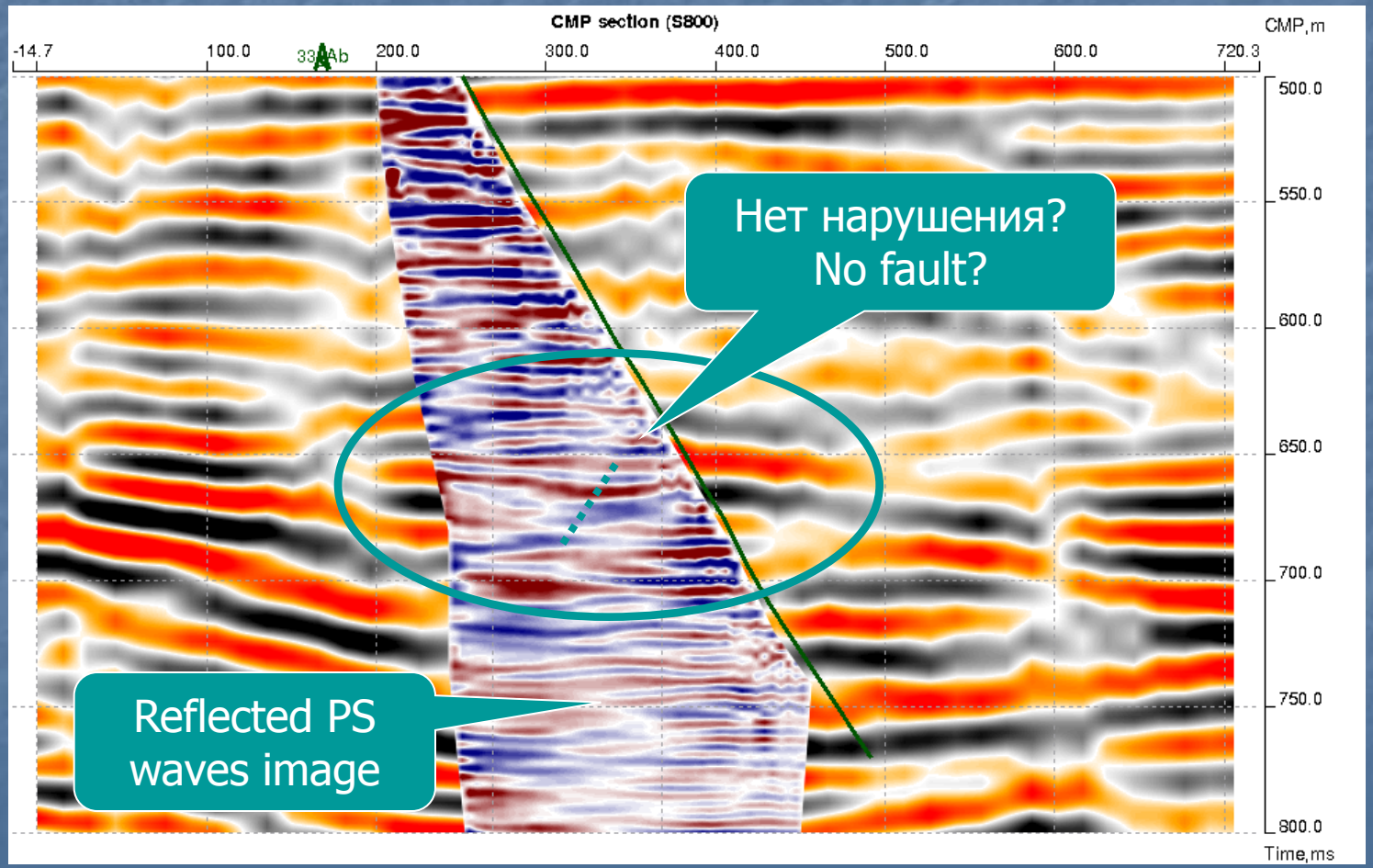
Детализация изображения околоскважинного пространства в сложной геологической ситуации
Detailed imaging of near well medium for complex geology



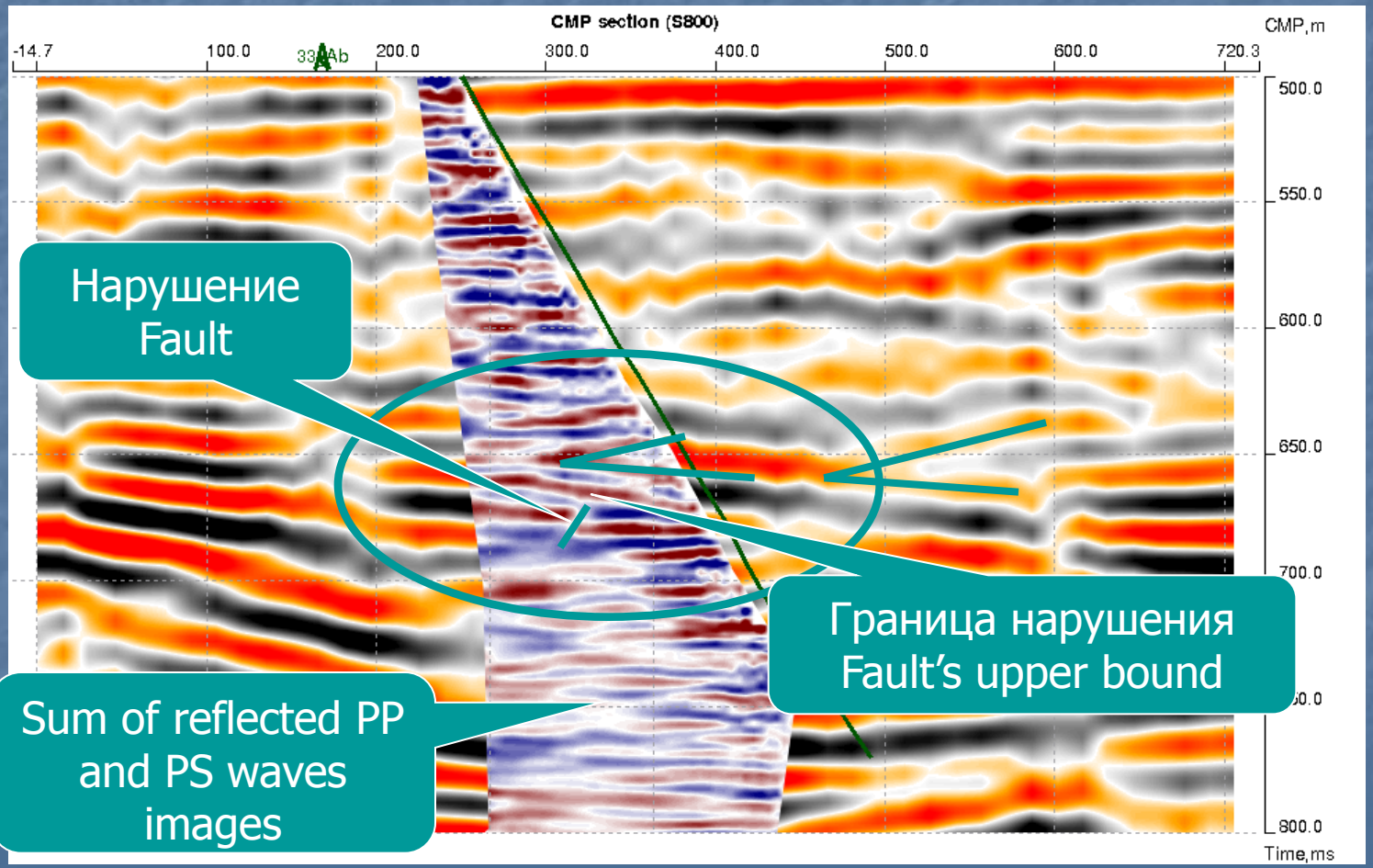
Детализация изображения околоскважинного пространства в сложной геологической ситуации
Detailed imaging of near well medium for complex geology



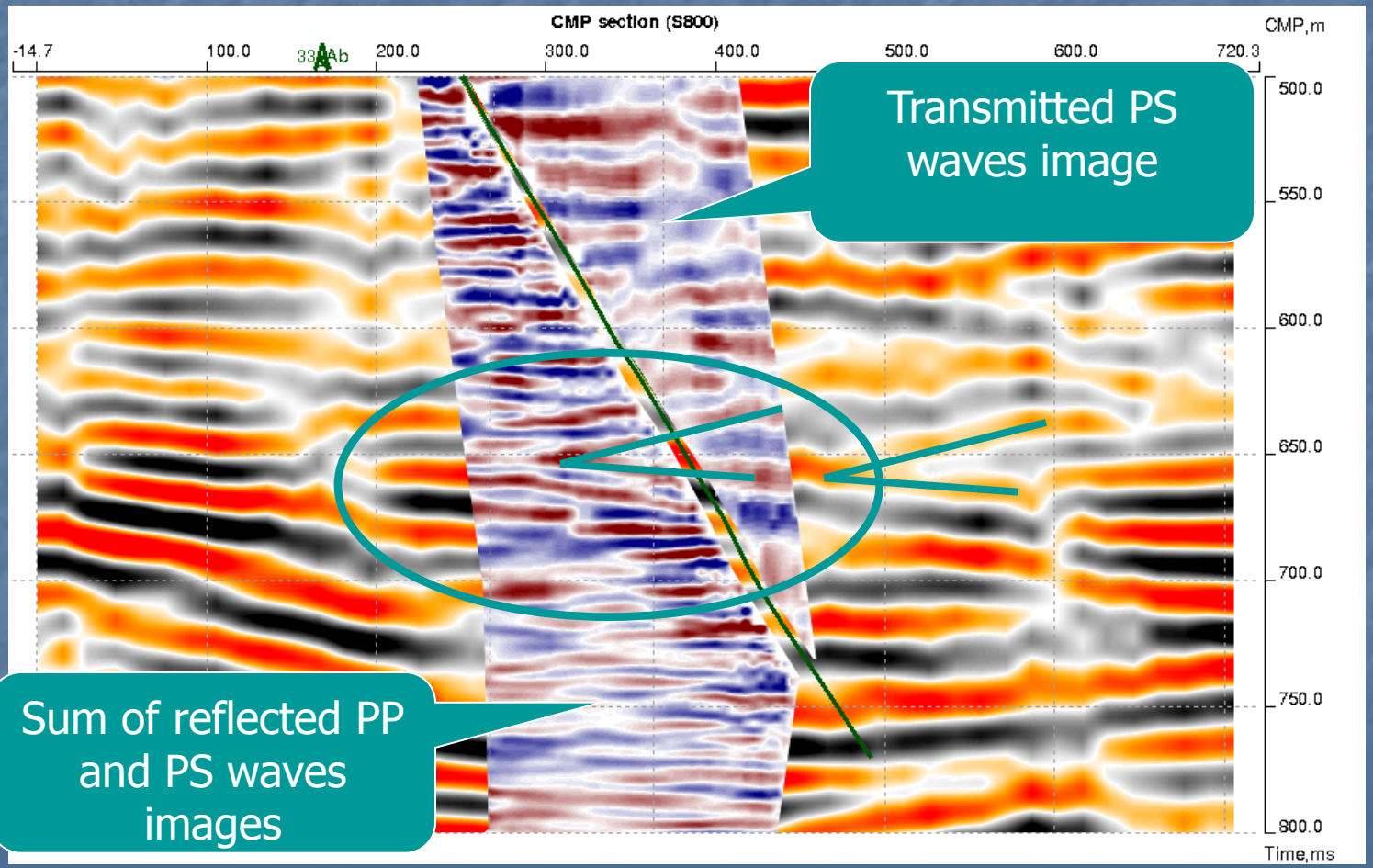
Детализация изображения околоскважинного пространства в сложной геологической ситуации
Detailed imaging of near well medium for complex geology



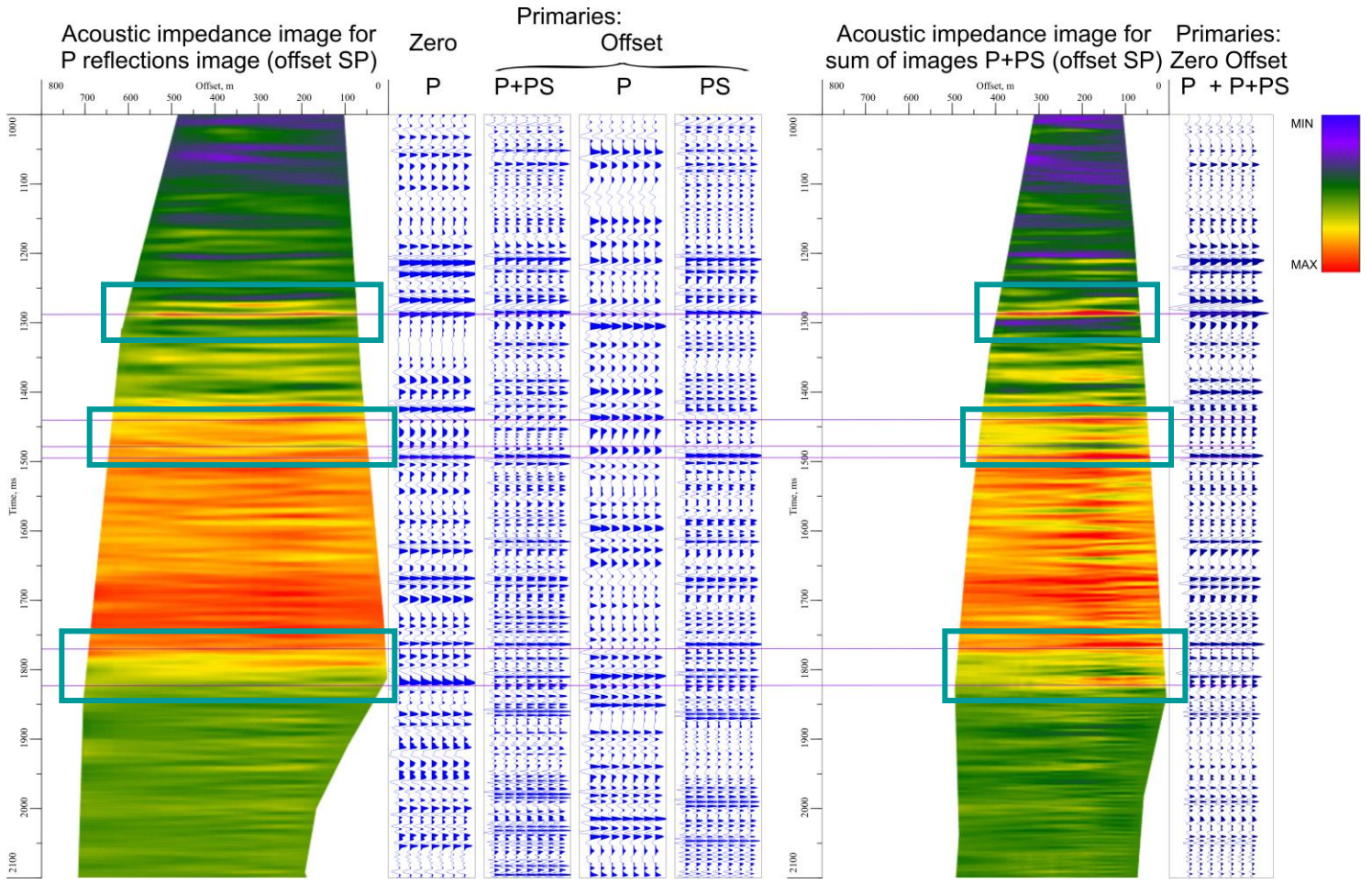
Детализация изображения околоскважинного пространства в сложной геологической ситуации
Detailed imaging of near well medium for complex geology



Детализация изображения околоскважинного пространства в сложной геологической ситуации
Detailed imaging of near well medium for complex geology



Повышение разрешенности поля импедансов
Increased resolution of impedance image



Эффект повышения разрешенности
Effect of increasing resolution

- Использование обменных поперечных отражений позволяет повысить разрешающую способность трасс нормализованных отражений, нормализованных изображений и, следовательно, импедансов. В основе этого эффекта лежит известное соотношение между частотой, скоростью распространения волны и длиной волны:

- Using of converted shear reflections allows to increase resolution of normalized reflection traces, normalized images and therefore acoustic impedances. The effect is based on well known relation between frequency, wave velocity and length of wave:

$$f = \frac{V}{\lambda}$$

- Частота сейсмического сигнала не зависит от типа волны, однако Vs<Vp, поэтому длина обменных поперечных волн будет меньше чем у продольных. Это означает, что обменные поперечные волны несут информацию о более тонких особенностях среды.

- Frequency of seismic signal does not depend on wave type, but Vs<Vp, so length of converted shear waves will be less than pressure waves. This means that converted shear waves bring information about thinner medium characteristics

Заключение
Conclusion

- На реальных данных ВСП подтверждена эффективность методики Табакова-Баева восстановления нормальной отражательной способности среды с использованием обменных поперечных волн.
- Основные преимущества методики:
  - Восстановление коэффициента отражения по нормали
  - Повышение разрешающей способности изображений
  - Увеличение отношения сигнал/шум
- Общность используемого метода позволяет наметить пути эффективного использования обменных волн в наземной сейсморазведке.

- Efficiency of normal medium reflectivity recovery method of Tabakov-Baev by using converted shear waves is proved on several real VSP objects.
- Main advantages of the method:
  - Recovery of normal reflection coefficient
  - Increased resolution of imaging
  - Higher signal/noise ratio
- Generality of used method allows to point ways of using converted shear waves in surface seismic.