



IV Балтийская школа-семинар Петрофизическое моделирование осадочных пород

Резонансная акустическая спектроскопия кернов Баженовской свиты

Бредихин Владимир Вадимович ⁽¹⁾

Голиков Никита Александрович ⁽²⁾

Ельцов Тимофей Игоревич ⁽²⁾

Коньков Андрей Игоревич ⁽¹⁾

Лебедев Андрей Вадимович ⁽¹⁾

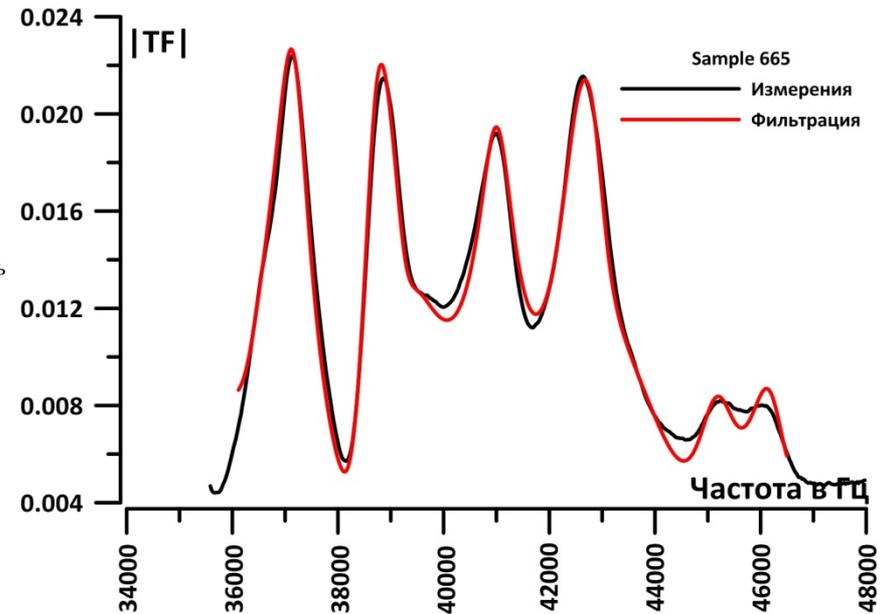
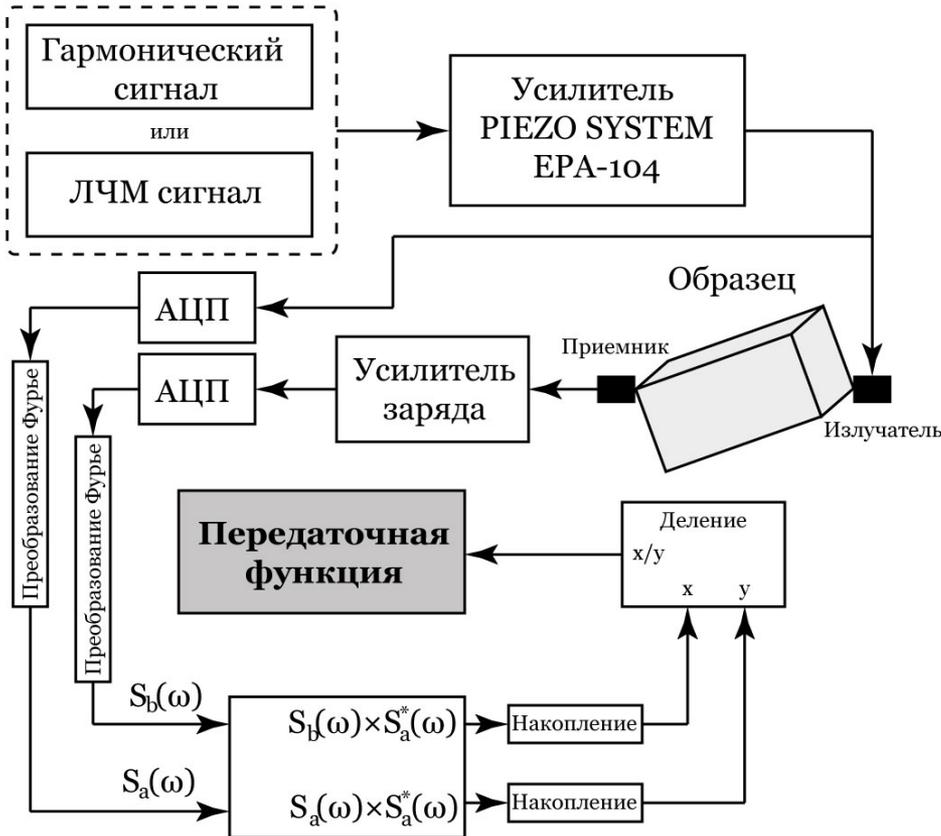
Манаков Сергей Александрович ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Институт прикладной физики РАН/ ИПФ РАН/ Нижний Новгород

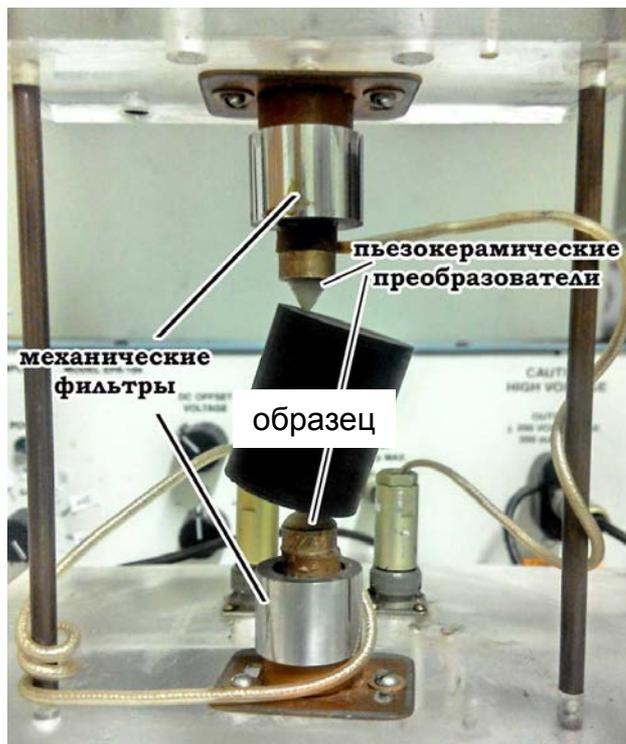
⁽²⁾ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН/ ИНГГ СО РАН/ Новосибирск



В основе метода резонансной акустической спектроскопии лежит связь между спектром собственных частот образца и его механическими параметрами



Исходный измеренный отклик и результат согласованной фильтрации

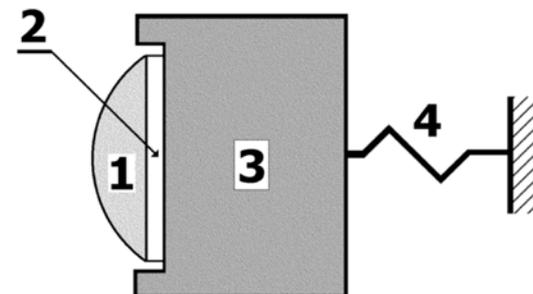


Фото



Модель

КОНСТРУКЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ



- 1 - элемент жесткости, обеспечивающий надежный контакт;
- 2 - пьезокерамика;
- 3 - опорная масса (торможение одной из обкладок керамики);
- 4 - элемент жесткости, вибрационная изоляция

$$\omega_{\text{кон}} = \sqrt{\frac{k_{\text{кон}}}{m}} \ll \omega_{\text{рез}}$$

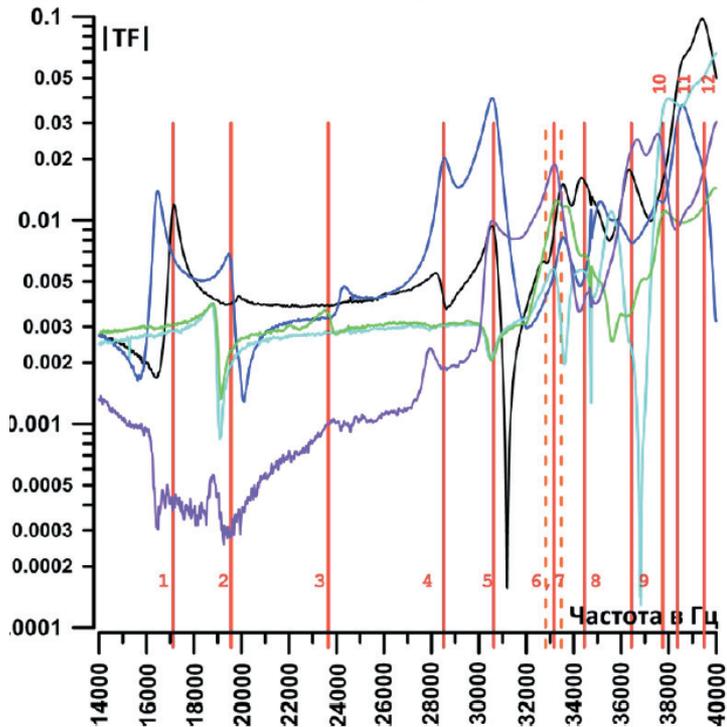
Преимущества метода



- Длины пробных волн, используемых в акустической спектроскопии, значительно превышают характерные размеры структурных неоднородностей. Дисперсия скоростей из-за рассеяния на неоднородностях структуры не сказывается. Лабораторные данные не смещены относительно полевых – возможно сравнение.
- Отсутствует загрязнение пористого образца клеем, с помощью которого крепятся ультразвуковые преобразователи – возможность проведения многократных измерений и комплексных исследований на образце.
- Измерения тензора упругости возможны при произвольной ориентации осей анизотропии образца; многоракурсное зондирование, как в импульсных методах, в общем случае не требуется.
- Число анализируемых резонансных частот превышает число определяемых параметров материала – погрешности измерений минимизируются; получаемые данные приводятся с погрешностями.

Недостатки метода

- Измерения возможны на образцах, свободных от внешних напряжений – невозможно определение зависимости скоростей упругих волн от приложенного давления.
- Отклонение геометрии образца от модельной формы оказывает влияние на точность измерений.
- При больших коэффициентах потерь становится сложно разрешить резонансы мод колебаний образца.

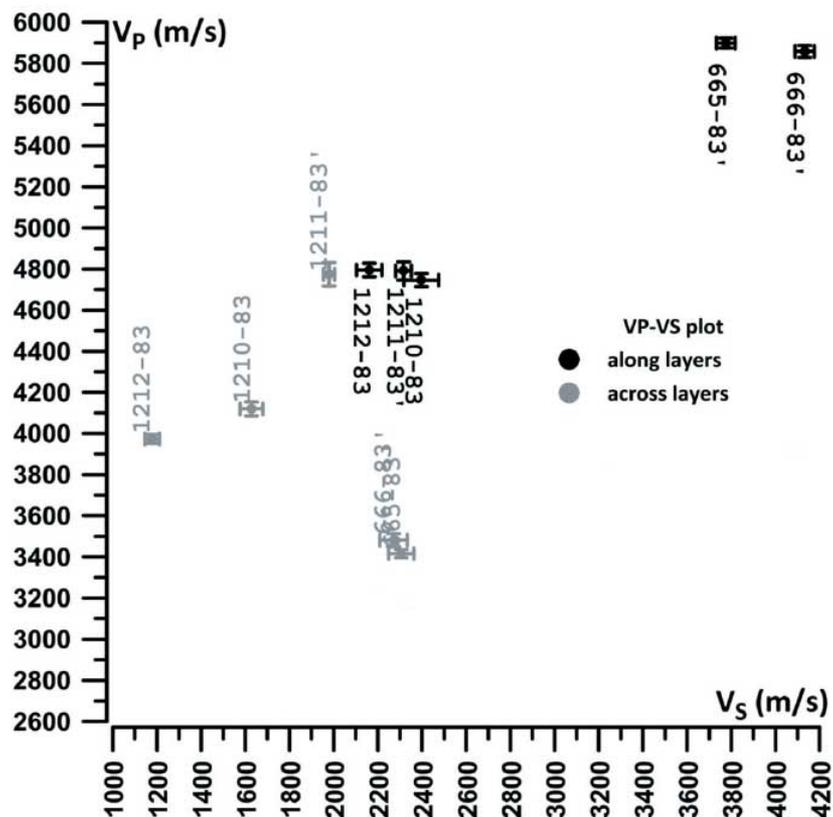
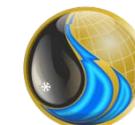


Для решения последней проблемы в рамках выполненного исследования были проведены измерения отклика образца для различных вариантов расположения источника и приемника – увеличение объема экспериментальных данных. На рисунке слева показан пример совместного анализа полученных данных.



Исследовались образцы пород Баженовской свиты с условными номерами 665-83', 666-83', 1210-83, 1211-83', 1212-83', извлечённые с различной глубины залегания. Все образцы были взяты из одной скважины. Последние цифры отвечают году отбора материала, увеличение на единицу в первых цифрах отвечает перемещению вниз по глубине на 30 см. Слоистость была направлена либо вдоль оси цилиндра, либо поперек. Образцы с расположением слоев перпендикулярно оси цилиндра помечены штрихом. Породы кремнисто-глинистые, плотные, характеризуются высоким содержанием биогенного кремнезема и органического вещества. Структура неявно-слоистая с глинистыми прослоями. Образцы имели цилиндрическую форму. Их диаметр составлял 26-40 мм, высота 28-50 мм.

Результаты измерений



Образец	$\eta_{11}, 10^{-3}$	$\eta_{13}, 10^{-3}$	$\eta_{33}, 10^{-3}$	$\eta_{44}, 10^{-3}$	$\eta_{66}, 10^{-3}$
665-83'	15.56 ± 0.24	2.59 ± 0.22	5.01 ± 0.35	5.01 ± 0.35	30.81 ± 0.65
666-83'	20.87 ± 0.57	17.77 ± 0.66	21.49 ± 1.05	18.22 ± 3.25	27.73 ± 1.24
1210-83	12.54 ± 0.18	15.40 ± 0.14	20.44 ± 0.23	24.39 ± 1.16	13.42 ± 0.94
1211-83'	44.09 ± 0.66	81.42 ± 0.64	70.38 ± 0.86	20.29 ± 1.25	16.93 ± 1.11
1212-83'	690.65 ± 2.9	840.70 ± 1.93	469.43 ± 2.29	26.22 ± 3.45	16.18 ± 7.14

Q ~ от 30 до 300

Q ~ от 40 до 60

Q ~ от 40 до 80

Q ~ от 15 до 60

Q ~ от 1 до 60



- Исследованные образцы Баженовской свиты характеризуются значительной анизотропией скоростей упругих волн и анизотропией поглощения
- Модули упругости достаточно велики, что предположительно связано с наличием пластинок кальцита и доломита
- Высокие потери и анизотропия поглощения предположительно связаны с наличием в порах тяжелых вязких углеводородов.

Полученная информация может быть использована при интерпретации данных сейсморазведки для поиска слоев сложенных Баженовской свитой.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ №14-02-00695, №15-05-08196, №15-45-02450, а также программы фундаментальных научных исследований «Фундаментальные основы акустической диагностики природных и искусственных сред».

Спасибо за внимание



Сравнение с литературными источниками



Данько Д.А. // *Геофизика* (2015) N2. 38–47. Приведен график зависимости скорости продольной волны от глубины, полученный по данным акустического каротажа. Пределы изменения скорости 1500–5000 м/с. **Верхний предел согласуется с нашими данными.** Отношение скоростей VP/VS изменяется в пределах 1.45–1.8, что также **согласуется с нашими данными.**

Сравнение с данными по другим сланцам [Bayuk I.O., Ammerman M., Chesnokov E.M. // *Geophys. J. Int.* (2008) V.172. 842–860; Chesnokov E., Bayuk I.O., Ammerman M. // *Geophysical Prospecting* (2010) V.58. 1063–1082; Баяк И.О., Дьяур Н.И. // *Технологии сейсморазведки* (2012) Т.4. 15–21] указывает на **большую анизотропию сланцев Баженовской свиты по сравнению с другими сланцами.** Данные, приведенные в [Горбацевич Ф.Ф. *Акустополярископия породообразующих минералов и кристаллических пород. Апатиты: изд-во Кольского научного центра РАН. 2002.*], указывают на **значительную анизотропию поглощения в исследованных образцах по сравнению с данными для сланцев, приведенными Горбацевичем Ф.Ф.** Это может быть связано с особенностями структуры пор и наличием углеводородов.

Таким образом, полученные нами данные не противоречат известным из литературы и могут представлять интерес для развития методов диагностики перспективных для промышленного освоения объектов в Баженовской свите.