

Отраженные волны в сейсмическом микрорайонировании

Криволапчук М.Л.

Романов В.В.

КГЭ «Астра»

МГРИ

г. Санкт-Петербург

г. Москва

Способы получения скоростей для расчетов сейсмической опасности

Простой



Метод преломленных волн
в любых вариантах

Сложный



Метод отраженных волн,
Методики
спектрального
анализа MASW,
SASW.

Точный



Вертикальное
сейсмическое
профилирование,
межскважинное
просвечивание

Ограничения

Инверсные слои
различной природы.
Ограничение по глубине
изучения разреза.

Слабая
дифференцированность
разреза по упругим
свойствам.
Детальность оценки
скоростных
характеристик (для МОВ)

Трудоемкость ввиду
необходимости
подготовленных скважин.
Как следствие высокая
стоимость работ.

Практические условия применения отраженных волн:

- Присутствие интенсивных помех техногенной природы;
- Наличие инверсного слоя (промерзание грунта);
- Присутствие отражений на записях;
- Наличие ПО для подобной обработки.

SeisShall

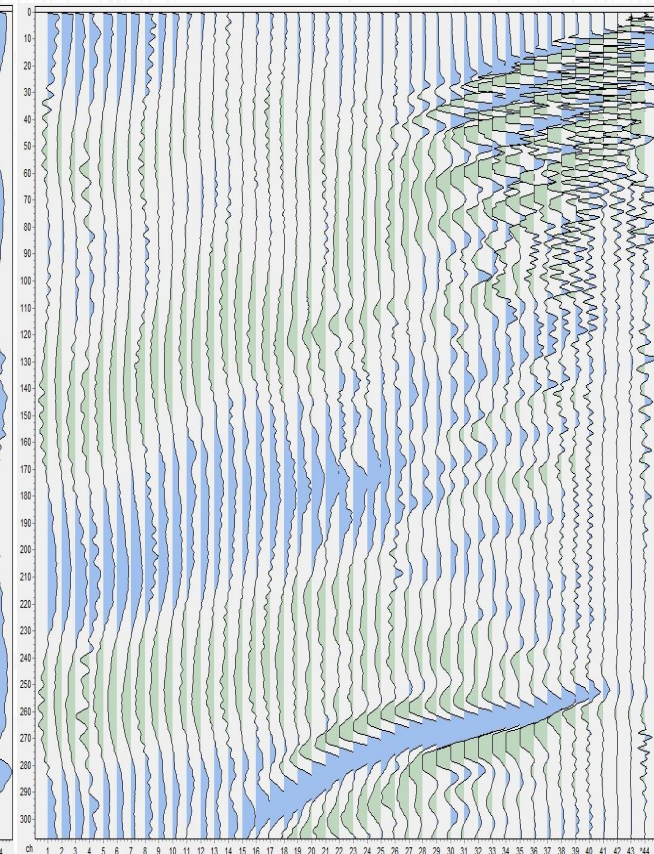
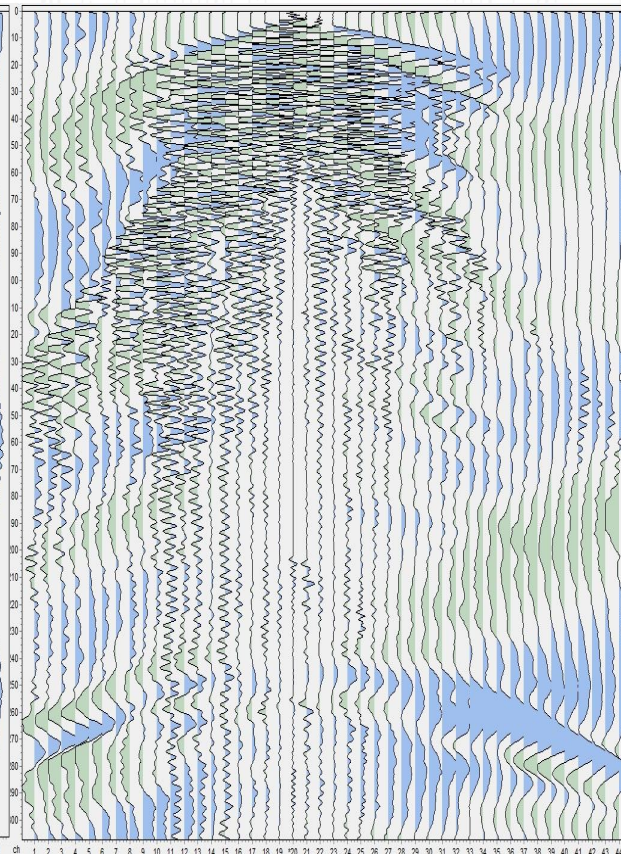
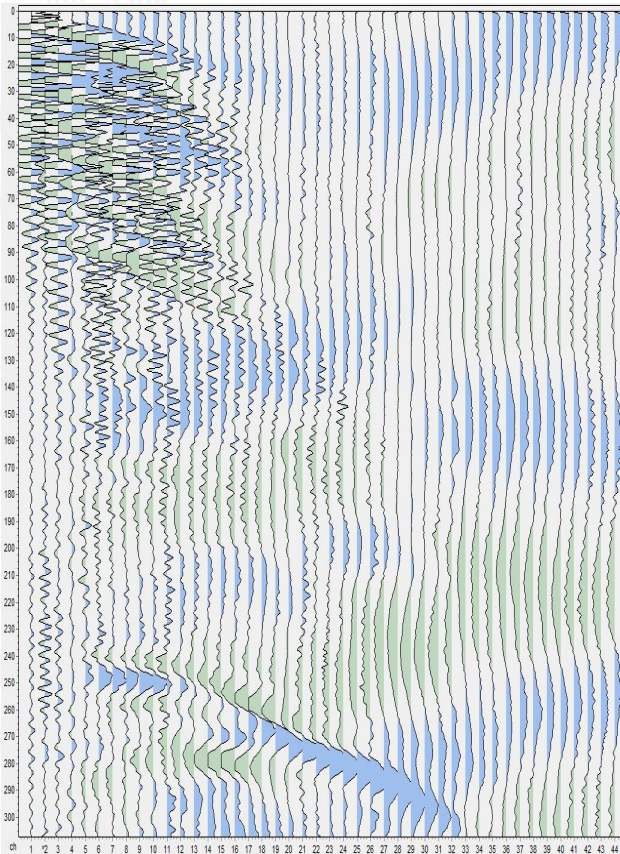
SeisShall позволяет решать широкий круг задач в области инженерной сейсморазведки — предварительная обработка сейсмических данных МОВ и МПВ, скоростной анализ в полуавтоматическом режиме, создание скоростных и глубинных разрезов, оценка физико-механических свойств грунтов и расчеты по методу сейсмических жесткостей

Исходные данные

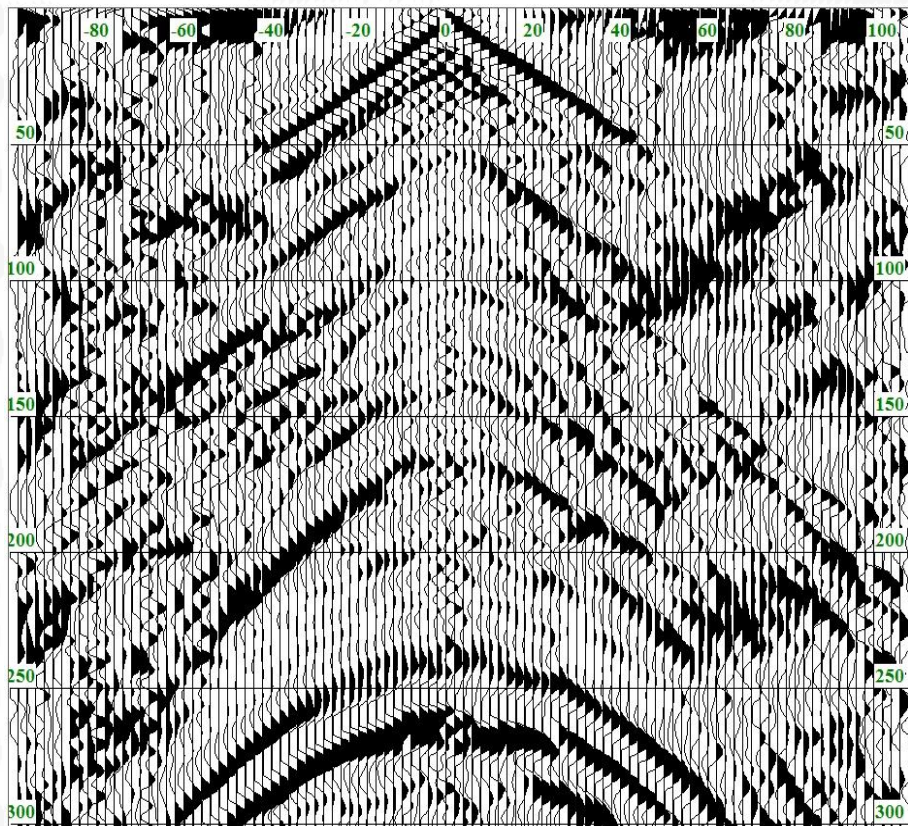
ПВ 0 м

ПВ 22 м

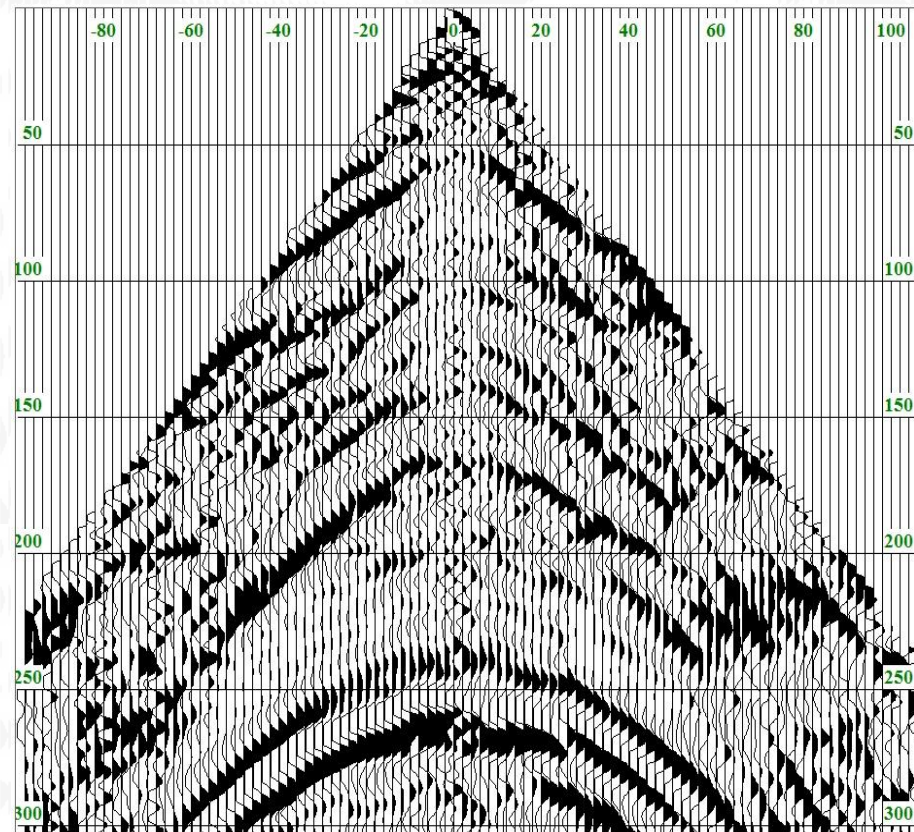
ПВ 46 м



Стадии обработки

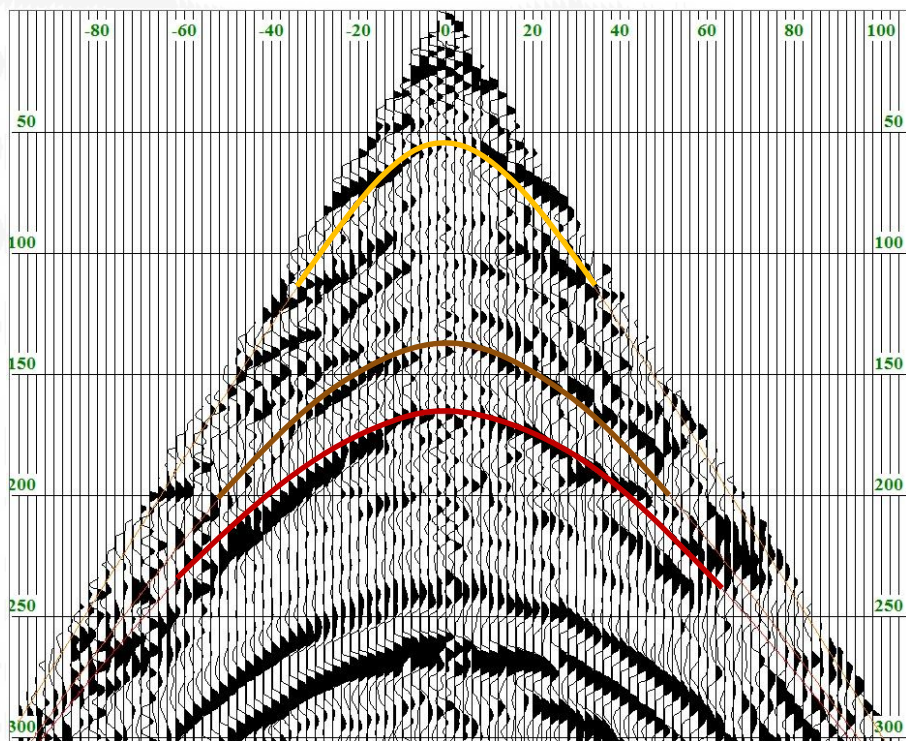


Автоматическая регулировка усиления в окне 200 мс;
Фильтрация 0-40-140-160.

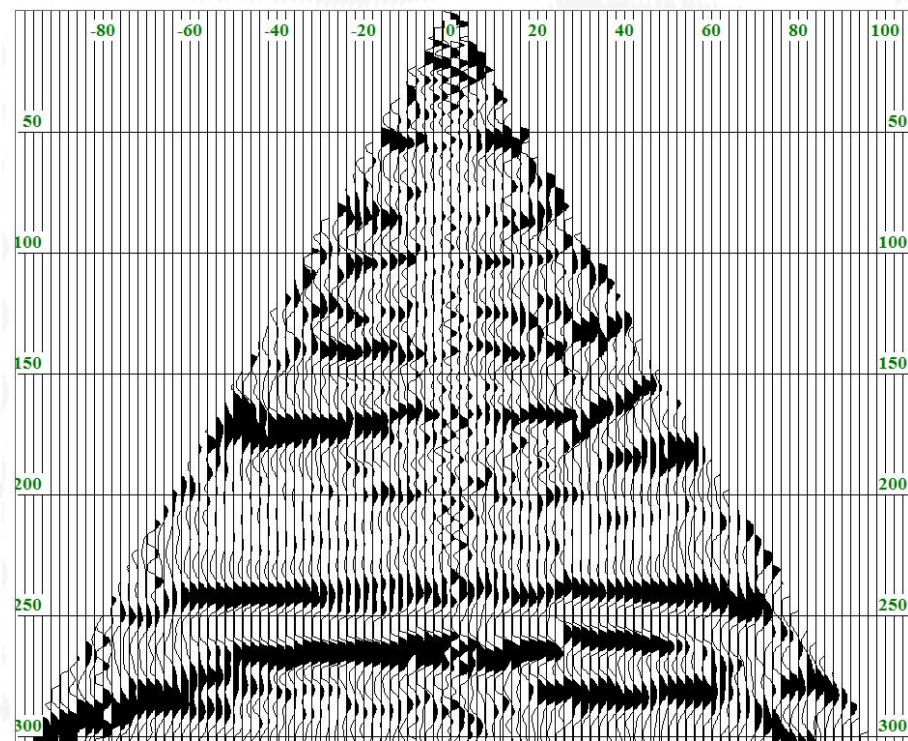


Автоматическая регулировка усиления в окне 200 мс;
Фильтрация 0-40-140-160;
Внешний мьютинг.

Стадии обработки



Выбор скорости для отражающих границ



Результат ввода кинематических поправок

Преобразование скоростей

- Согласно СП 283.1325800.2016 «Объекты строительные повышенной ответственности. Правила сейсмического микрорайонирования» средняя скорость, применяемая для характеристики сейсмических свойств грунтов, вычисляется по формуле:

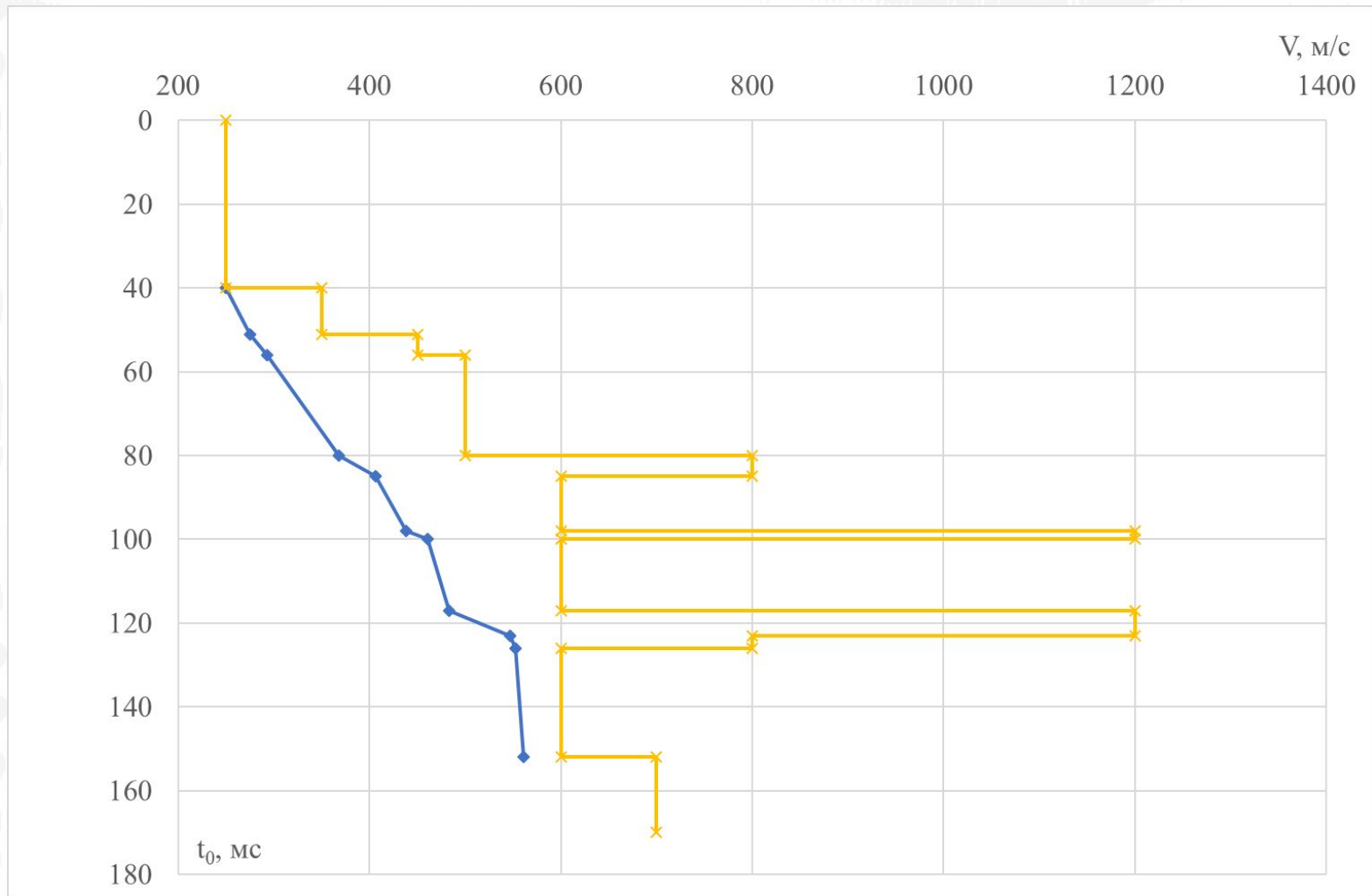
$$V_{\text{CP}} = \frac{\sum_i^N h_i}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}$$

- По результатам скоростного анализа МОВ определяется фиктивная скорость $V_{\text{ОГТ}}$, наиболее точной оценкой которой является **предельная-эффективная скорость**

$$V_{\text{П.ЭФ}} = \sqrt{\frac{\sum_i^N h_i V_i}{\sum_i^N \frac{h_i}{V_i}}}$$

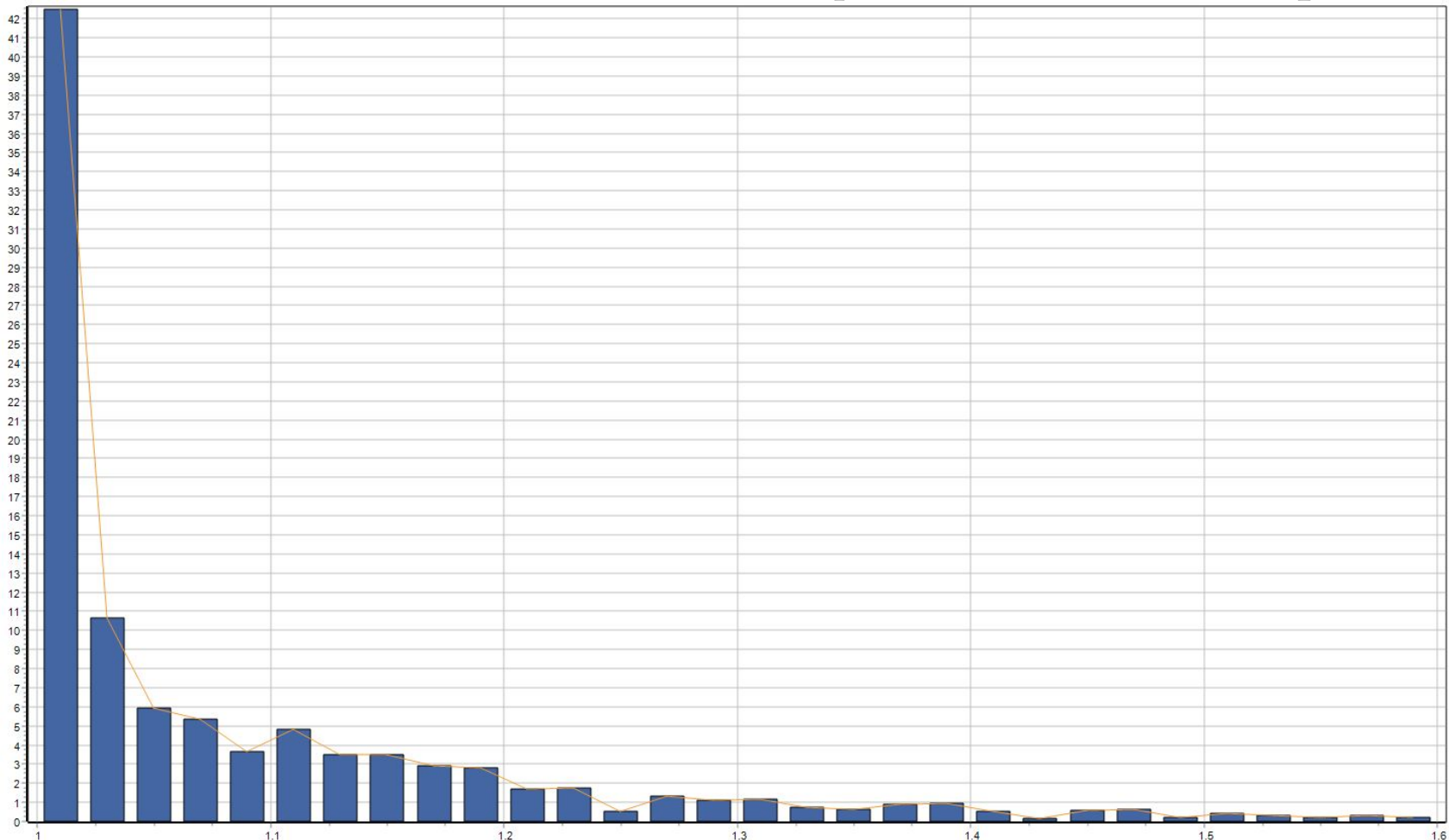
- Предельная эффективная скорость всегда больше или равна средней скорости, и кроме того относится к кровле отражающей границы, которая не совпадает с нижней отметкой расчетной толщи (10 и 30).

Связь пластовой и предельно-эффективной скорости

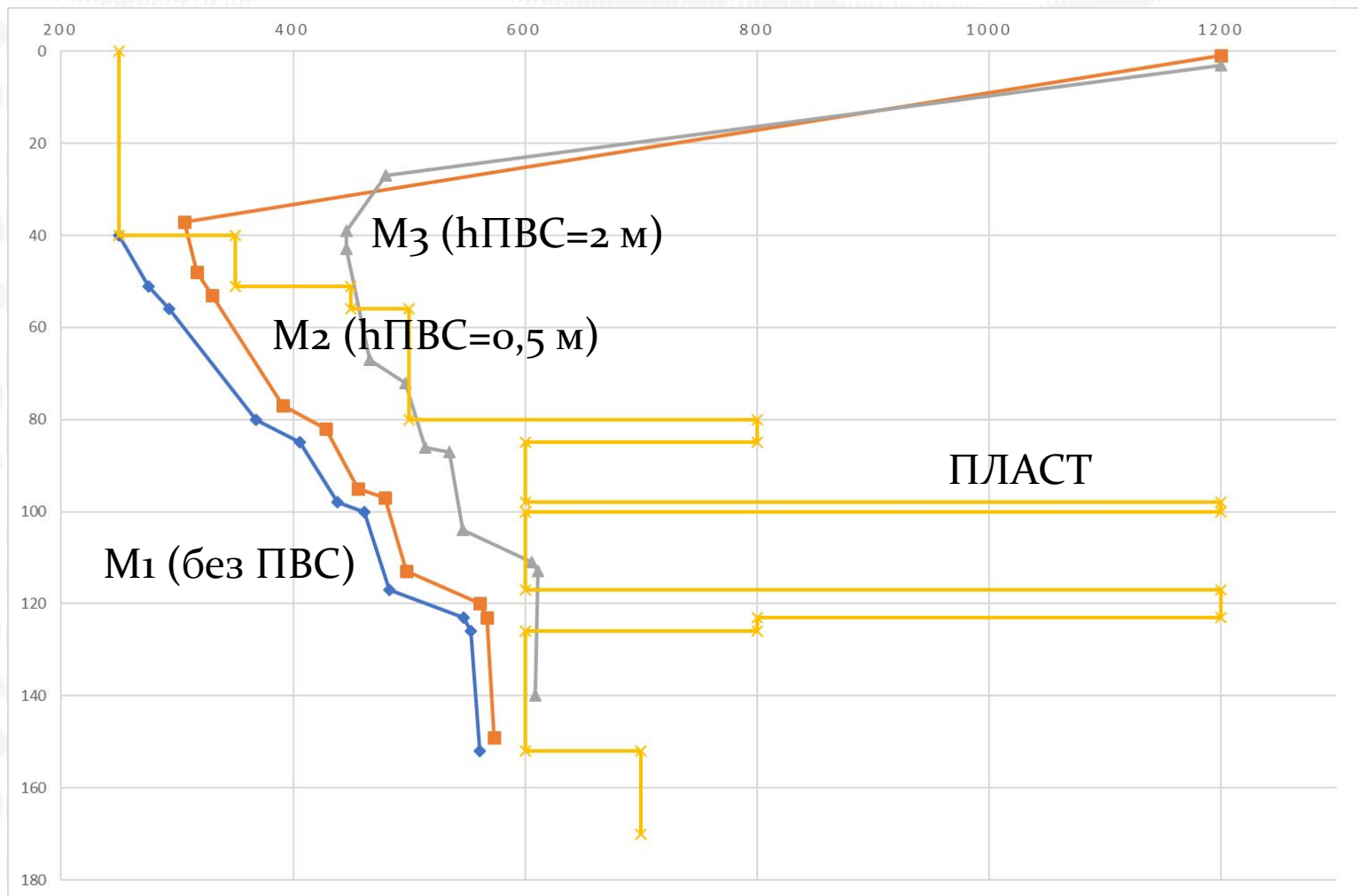


Распределение отношения предельно-эффективной и средней скорости

С вероятностью 99% предельно эффективная скорость не превысит среднюю более чем в 1,4 раза



Влияние тонкого слоя на предельные эффективные скорости



Наличие ПВС искажает предельные эффективные скорости, особенно для неглубоких границ

Условное отражение от подошвы расчетной толщи

Модель 1

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
10	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ _{ср} , г/см ³	1.97
V _{ср} (30), м/с	486
Gamma1, τ/(м ² *с)	957
V _{эфф} (30)	569
Gamma2, τ/(м ² *с)	1120
dl	-0.11

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
0.5	1500	2.20
9.5	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ _{ср} , г/см ³	1.98
V _{ср} (30), м/с	497
Gamma1, τ/(м ² *с)	983
V _{эфф} (30)	584
Gamma2, τ/(м ² *с)	1155
dl	-0.12

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
2	1500	2.20
8	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ _{ср} , г/см ³	2.01
V _{ср} (30), м/с	533
Gamma1, τ/(м ² *с)	1069
V _{эфф} (30)	631
Gamma2, τ/(м ² *с)	1265
dl	-0.12

Условное отражение от кровли скального грунта

Модель 1

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
10	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ ср, г/см ³	1.97
V _{ср} (30), м/с	486
Gamma1, τ/(м ² *с)	957
Vэфф(30)	387
Gamma2, τ/(м ² *с)	762
dl	0.17

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
0.5	1500	2.20
9.5	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ ср, г/см ³	1.98
V _{ср} (30), м/с	497
Gamma1, τ/(м ² *с)	983
Vэфф(30)	407
Gamma2, τ/(м ² *с)	804
dl	0.15

h, м	Vs, м/с	γ, г/см ³
2	1500	2.20
8	300	1.60
10	500	2.00
0	1200	2.30

H, м	30
γ ср, г/см ³	2.01
V _{ср} (30), м/с	533
Gamma1, τ/(м ² *с)	1069
Vэфф(30)	465
Gamma2, τ/(м ² *с)	934
dl	0.10

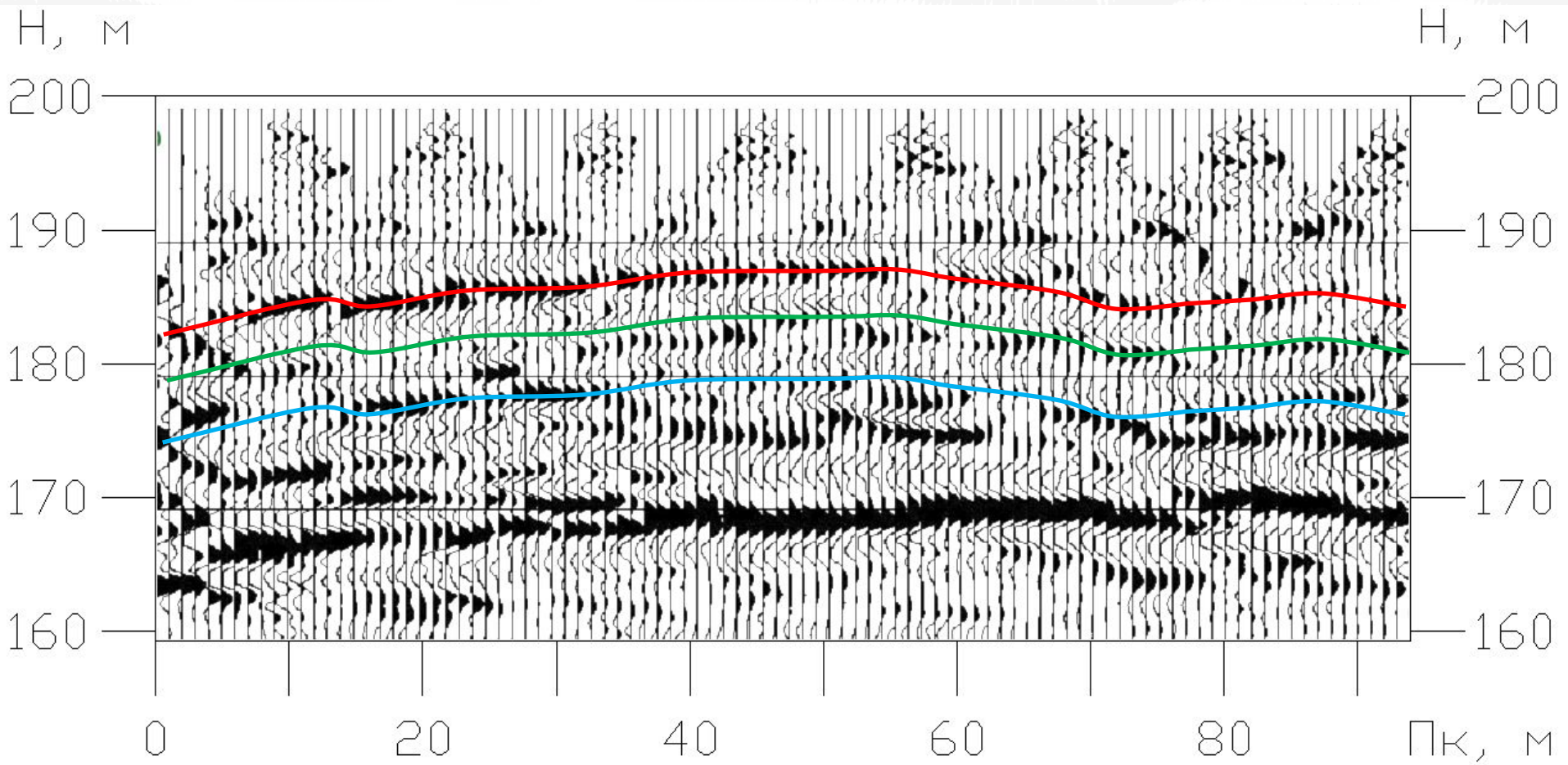
Решение проблемы

- Для восстановления пластовых скоростей нужно выделить не менее двух опорных отражений, одних из них должно быть связано с границей, находящейся глубже нижней отметки расчётной толщи
- По скорости отраженной волны независимо от её типа нельзя установить скорости волн ниже отражающей границы
- Распределение пластовых скоростей восстанавливается при помощи формулы Урупова-Дикса

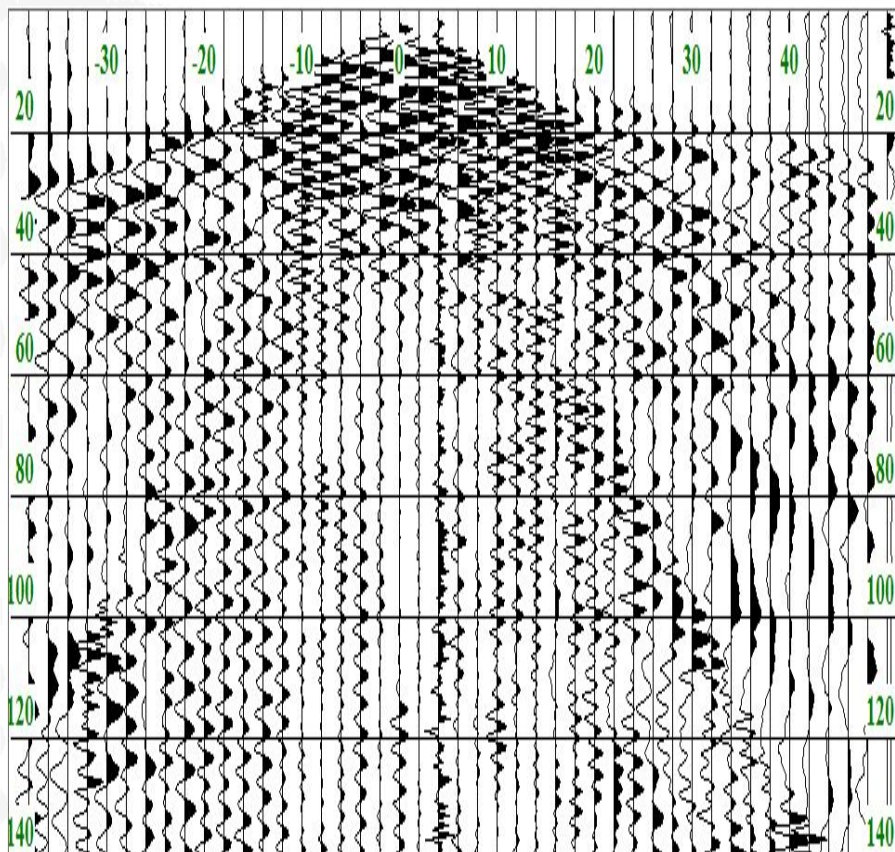
$$V_i = \sqrt{\frac{V_{\Delta i}^2 t_{0i} - V_{\Delta i-1}^2 t_{0i-1}}{t_{0i} - t_{0i-1}}}$$

- По распределению пластовых скоростей находится средняя скорость на заданной глубине

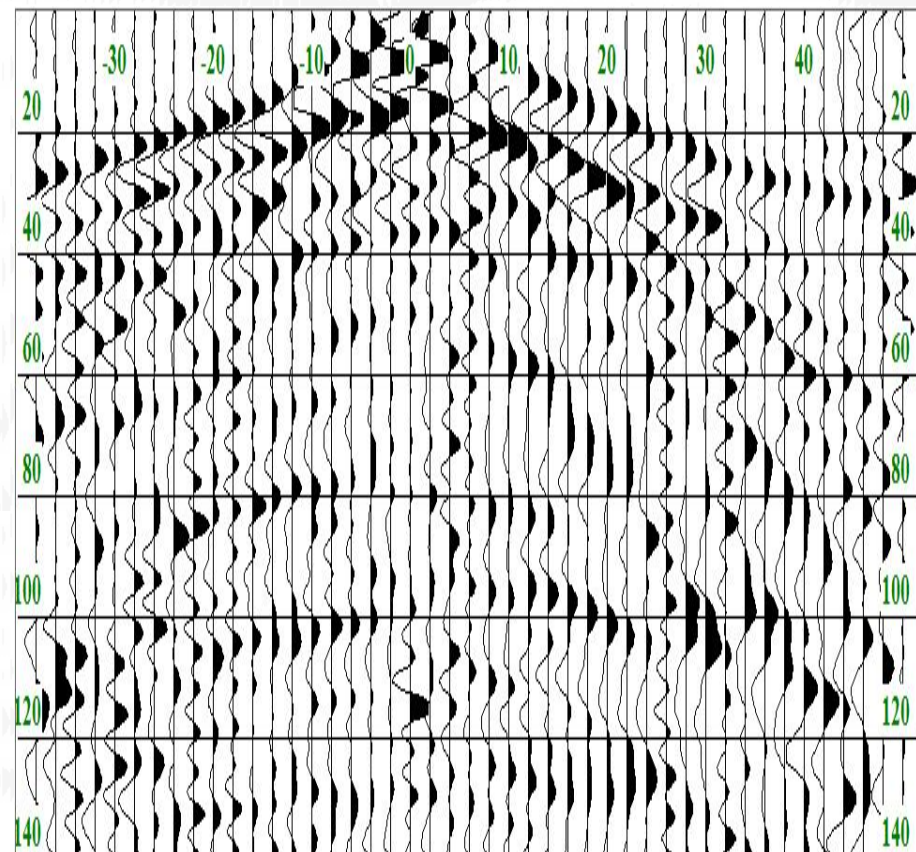
Глубинный разрез



Пример 2

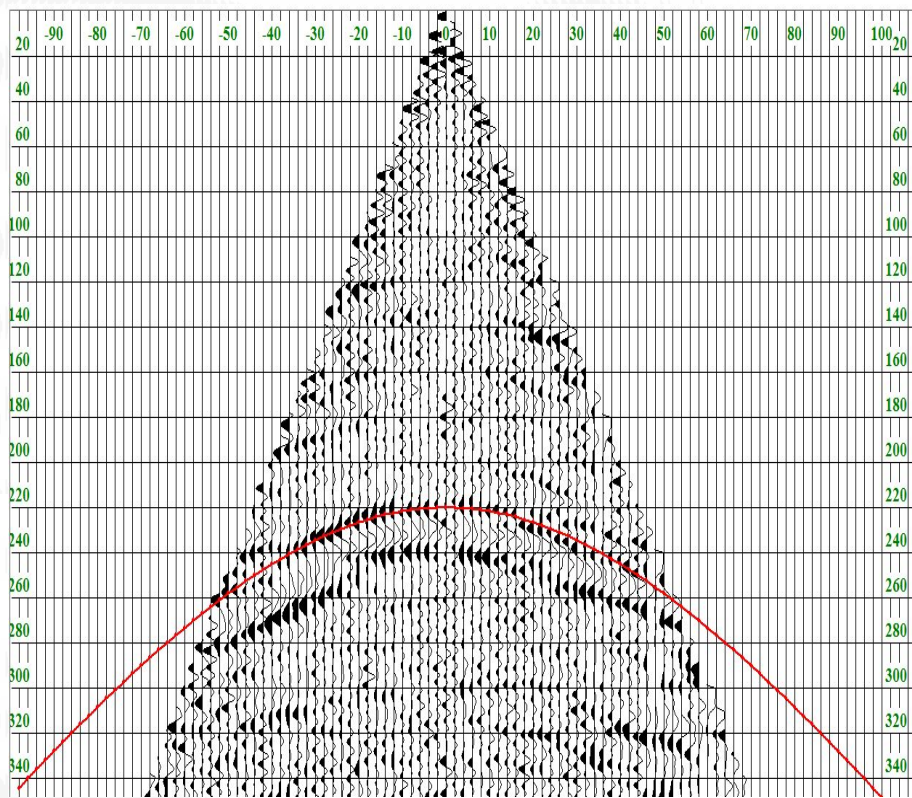


Автоматическая регулировка усиления в окне 200 мс;

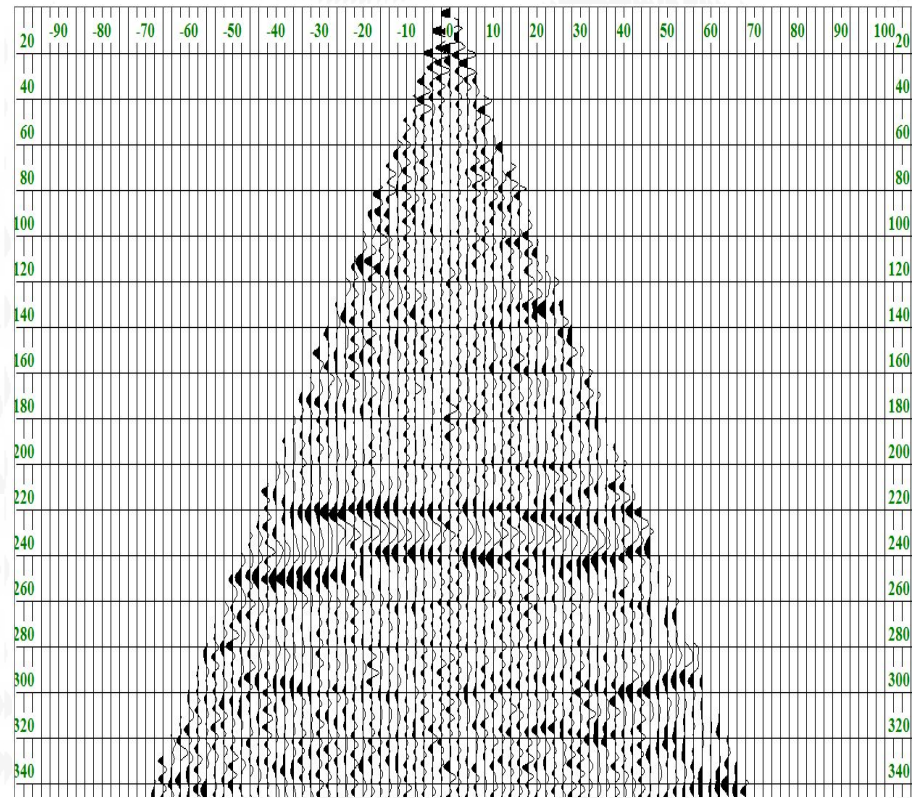


Автоматическая регулировка усиления в окне 200 мс;
Фильтрация 0-40-140-160;

Стадии обработки

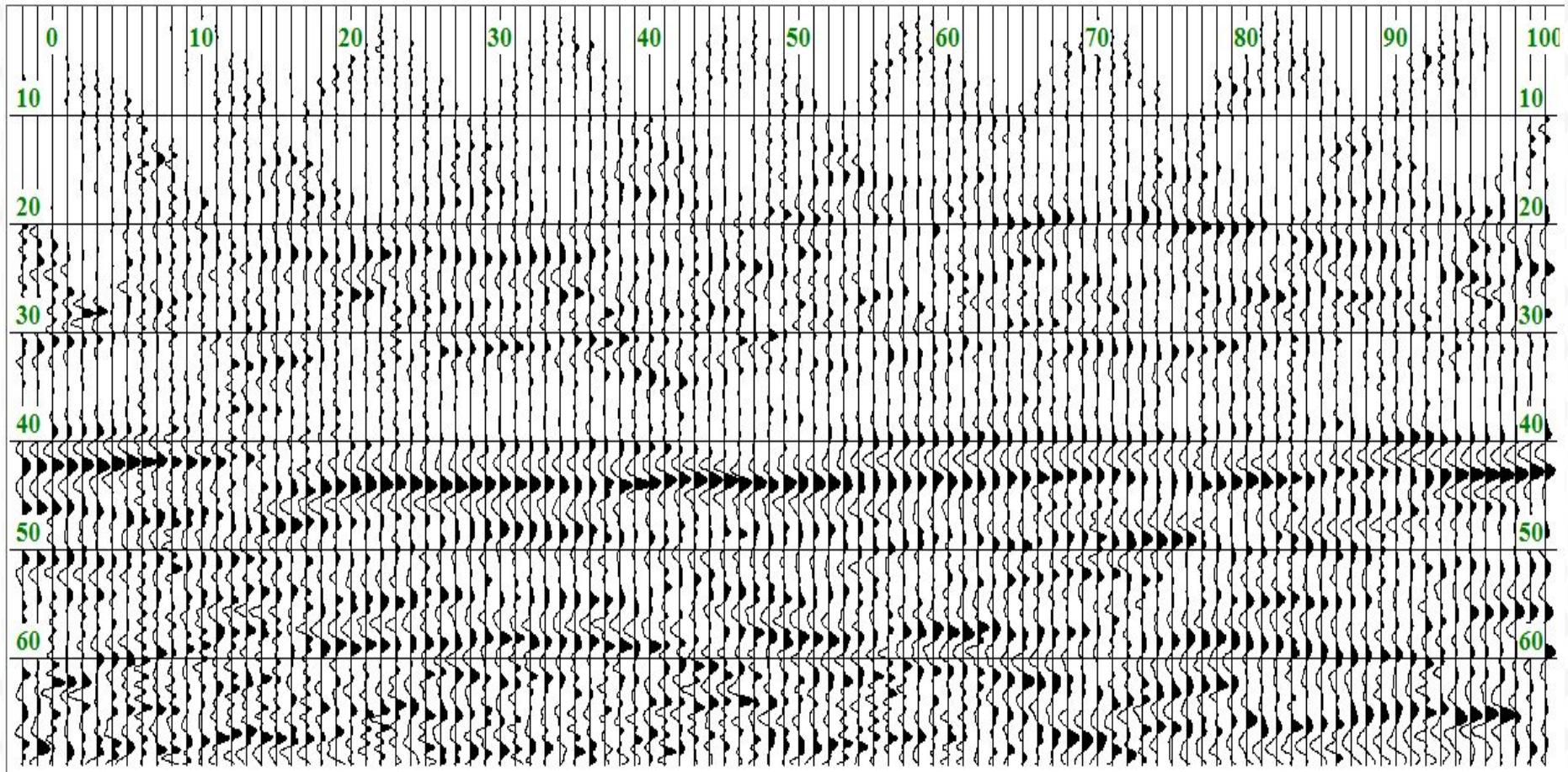


Выбор скорости для отражающих границ



Результат ввода кинематических поправок

Глубинный разрез



Выводы по использованию отраженных волн

Использование отраженных волн позволяет получить информацию даже в крайне неблагоприятных условиях работы. При этом, разумеется, у метода есть как плюсы, так и минусы.



- Возможно использовать при высоком уровне помех (подавляется суммированием);
- Значительно больший математический аппарат как при работе с исходным сигналом и при постообработке;
- Возможность прослеживания нескольких литологических границ;
- Наличие инверсии скоростей, не является проблемой;
- Большая разрешающая способность.

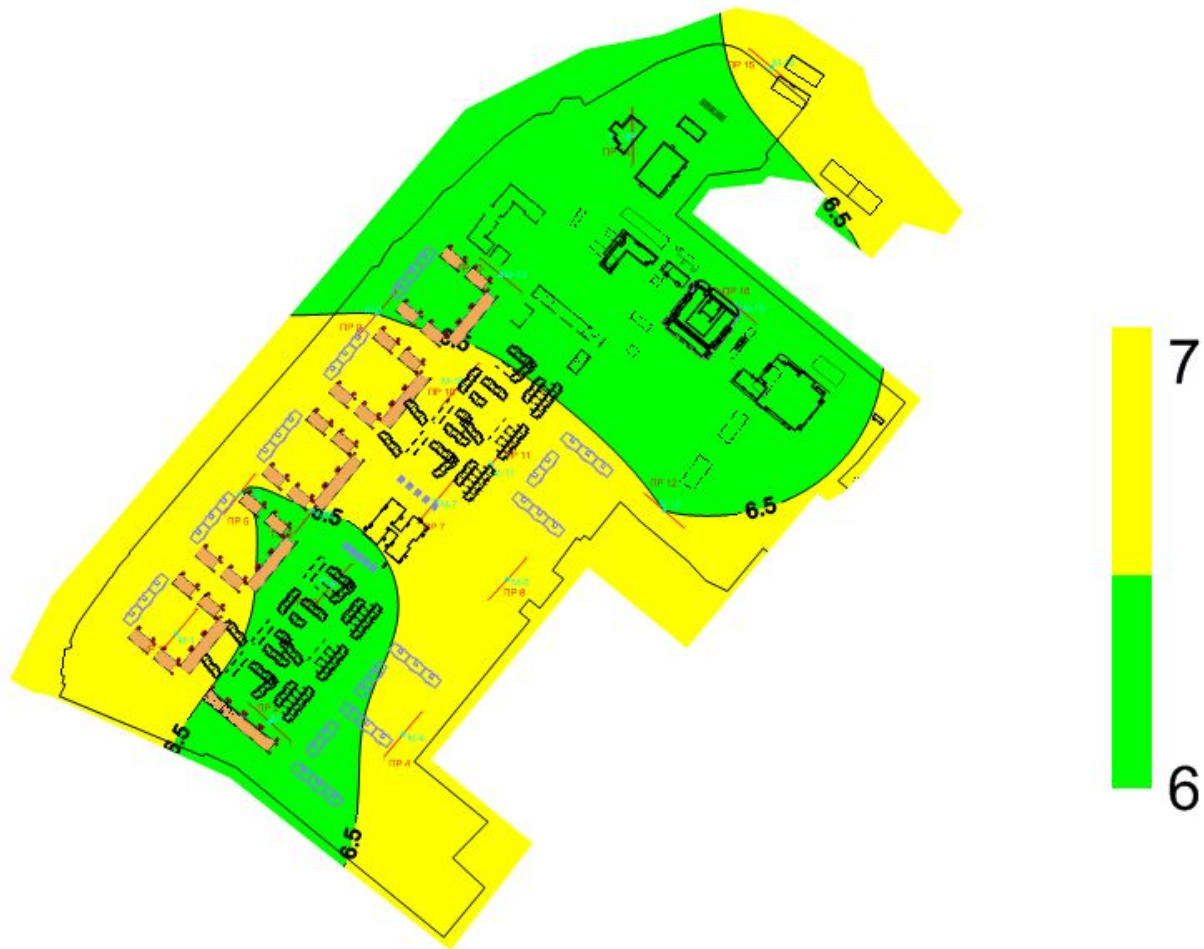


- Большие затраты времени на обработку данных;
- Повышенные требования к квалификации исполнителя;
- Появление «слепой зоны» на небольших глубинах;
- Некоторое закругление расчетных скоростей;
- **Необходимость наличия отражающих границ.**

Скоростные параметры 20-и метровой толщи в пределах участка работ и приращения сейсмичности

Профиль	V_{s1}	V_{s2}	V_{s3}	M_1	M_2	M_3	ΔI (МСЖ)	ΔI (DeepSoil)
1	310	340		16	4		0.1	0.3
2	375	385	390	13	5	2	-0.1	-0.1
3	400	410		17	3		-0.1	0.0
4	335	370		13	7		0.0	0.2
5	360	405		13	7		0.0	0.1
6	365	390		18	2		0.0	0.1
7	310	350		14	6		0.1	0.2
8	295	382		10	10		0.1	0.2
9	370	410		4	16		-0.1	0.1
10	320	335	420	4	7	9	-0.1	0.2
11	390	405		14	6		-0.1	0.2
12	390			20			-0.1	0.1
13	445	465		17	3		-0.3	-0.1
14	405	440	460	5	9	6	-0.2	-0.2
15	340	355		12	8		0.0	0.2
16	370	395	455	13	6	1	0.0	0.0

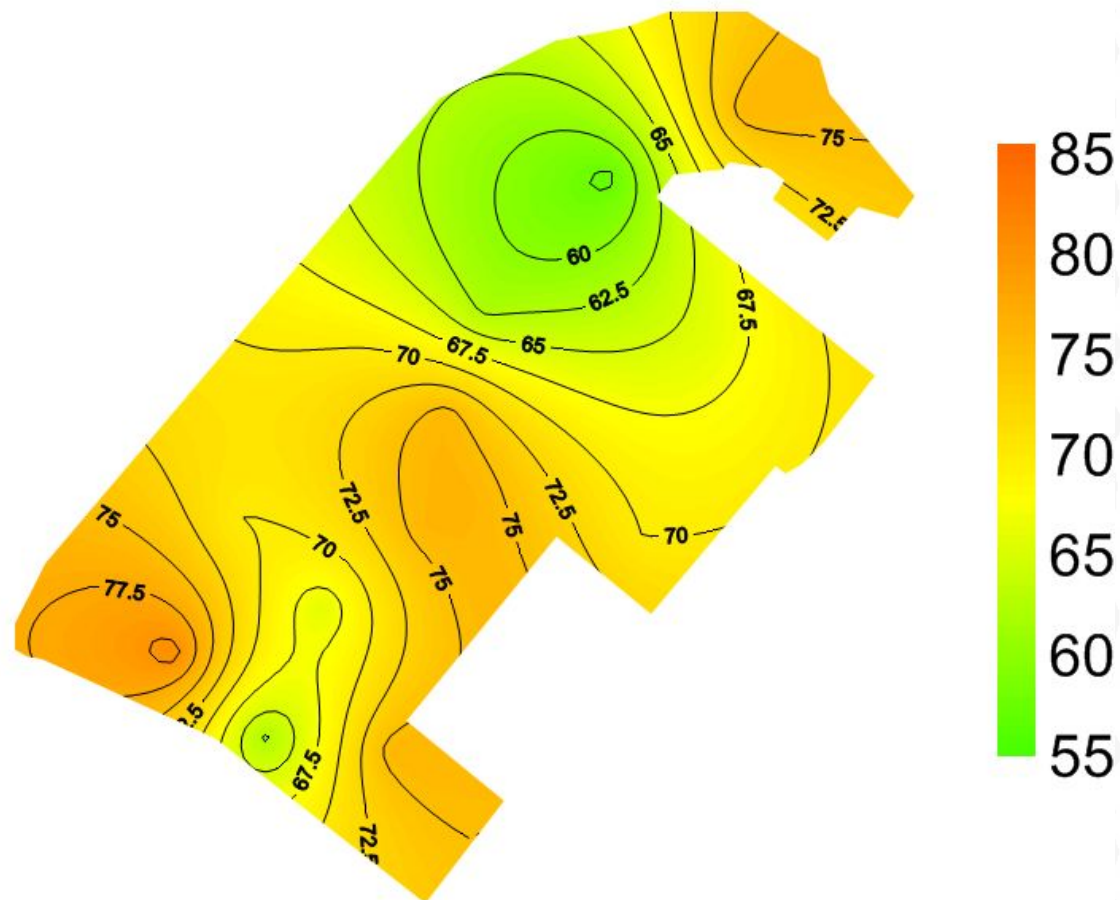
Карта сейсмического микрорайонирования округленная до целых баллов



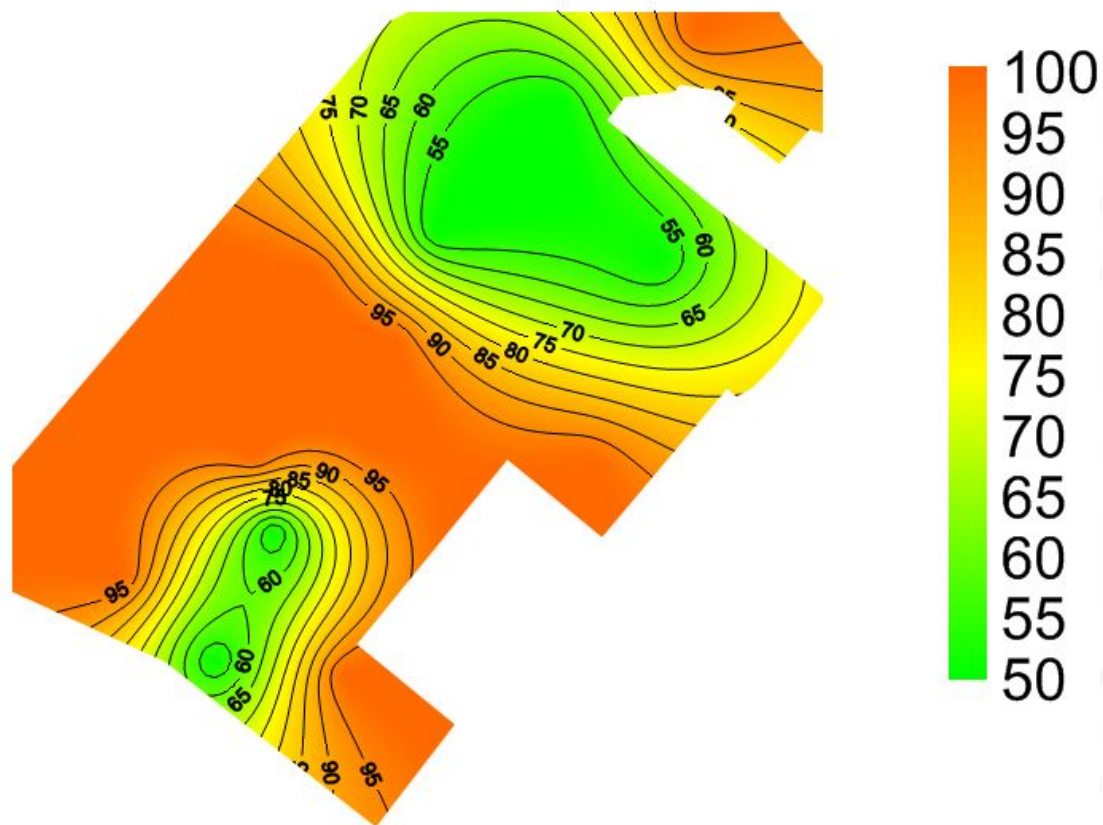
Карта сейсмического микрорайонирования с шагом 0.1 балла



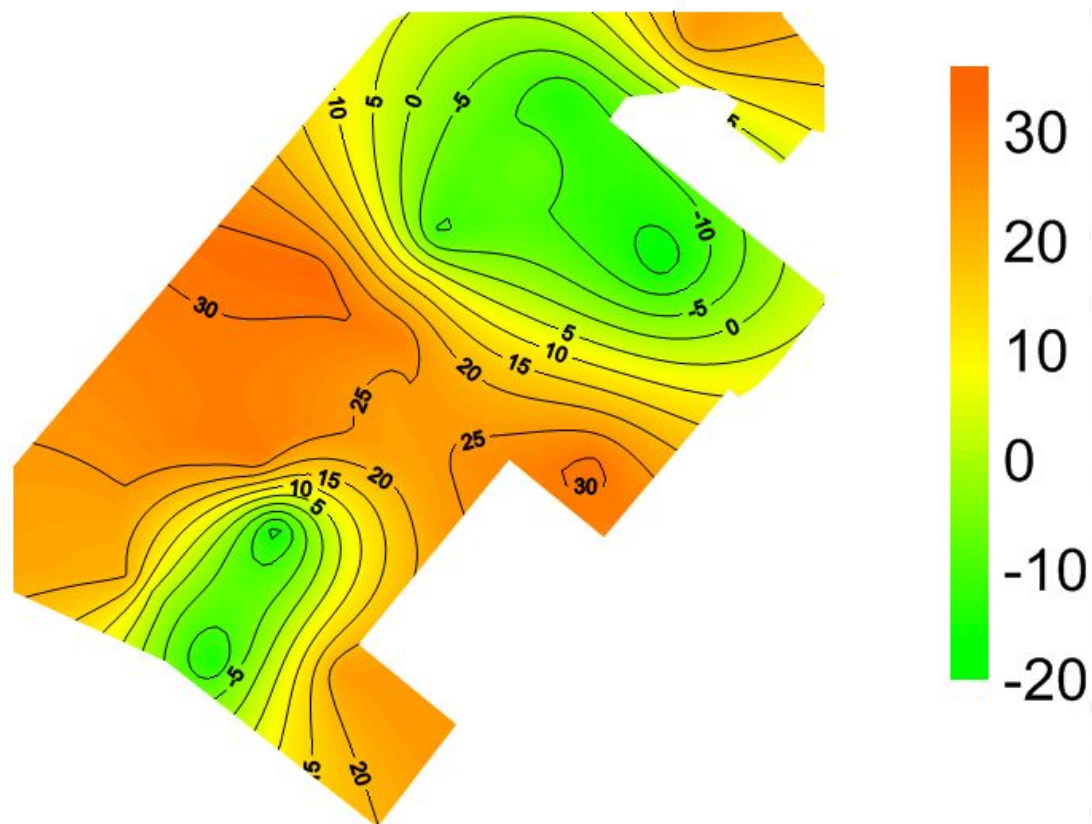
Карта сейсмического микрорайонирования в ускорениях с шагом 0.1 балла



Карта сейсмического микрорайонирования в ускорениях соответствующих целым баллам



Разница ускорений



При использовании целочисленных баллов, разница ускорений составляет 43%

Вопросы требующие более детальной проработки в перспективных нормативах

- Необходимость «узаконить» использование отраженных волн, в качестве метода получения упругих характеристик;
- Использование расчетных баллов с точностью до десятых долей, либо отказ от баллов в пользу использования ускорений;
- Актуализировать (заменить) РСНы в части сейсмического микрорайонирования, устранив двойственность «правильных» расчетов;

Спасибо за внимание!

**Криволапчук М.Л.
Комплексная геофизическая экспедиция «Астра»
г. Санкт-Петербург**