



**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ  
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА  
НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА НА ВОРОБЬЕВЫХ ГОРАХ (Г. МОСКВА)**

**Турчков А.М.<sup>1,2</sup>, Скорнякова А.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> МГУ им М.В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, ГСП-1,  
e-mail: turchkov@gmail.com

<sup>2</sup> ООО «Неоген», г. Санкт-Петербург, пр-т Полустровский, д. 59,  
Литера Ф, пом. 1-Н

**Реферат**

Работа посвящена анализу сходимости результатов основных наземных сейсмических методов, выполняемых при изучении верхней части разреза – преломленных, отражённых и поверхностных волн. В качестве полевых материалов были выбраны данные, полученные на Большом газоне МГУ (участок Воробьёвых гор) в г. Москве. Работы были выполнены на обоих типах волн. Данные были обработаны МПВ, МОВ-ОГТ, MASW. Полученные результаты разных методов на разных типах волн были проанализированы и сопоставлены между собой.

**Ключевые слова:** малоглубинная сейсморазведка, МПВ, сейсмотомография, МОВ-ОГТ, MASW.

**APPLICATION OF A COMPLEX OF SEISMIC METHODS  
FOR STUDYING THE UPPER PART OF THE SECTION  
ON THE EXAMPLE OF THE SITE ON VOROBYOVY GORY (MOSCOW)**

**Turchkov A.M.<sup>1,2</sup>, Skorniyakova A.A.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> MSU, Moscow, Leninskie gory, GSP-1, e-mail: turchkov@gmail.com

<sup>2</sup> Neogen, Saint Petersburg, Polyustrovsky Ave., 59 Litera F, room 1-N

**Abstract**

The work is devoted to comparing the results of different seismic methods: refraction, reflection, MASW. Field data were collected on the territory of the city of Moscow. The field work was carried out using two types of waves: pressure, share. The results of the interpretation were compared and conclusions were drawn.

**Keywords:** shallow seismic, refraction seismic, reflection seismic, MASW.

**Введение**

Наземные инженерно-геофизические исследования, проводимые в составе инженерно-геологических изысканий, выполняются, в подавляющем

большинстве случаев, методами сейсморазведки, электроразведки и георадиолокации. Малоглубинная сейсморазведка объединяет в себе комплекс сейсмических методов, которые различаются по типу используемых волн (продольные, поперечные, поверхностные), по траекториям распространения волн (прямые, отраженные, преломленные, рефрагированные) [Боганик, Гурвич, 2006]. В основе каждого метода сейсморазведки лежат разные теоретические модели среды. Методы малоглубинной сейсморазведки обладают разной информативностью, разрешающей способностью [Турчков, 2013, Владов, Капустин, 2016].

Одной из групп методов изучения верхней части разреза являются методы первых вступлений (МПВ) [Применение..., 1992]. Данные МПВ обрабатываются из предположения, что в первых вступлениях приходят преломлённые волны ( $T_0$ , GRM) или рефрагированные волны (сейсмотомография). Для изучения разреза до больших глубин или решения структурно-геологических задач (выделение тектонических нарушений, расчленение геологического разреза и т.д.) используется метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ). Разрешающая способность и точность структурных построений МОВ-ОГТ зачастую выше, чем при использовании МПВ. Наравне с традиционными методами инженерной сейсморазведки (МПВ, МОВ-ОГТ) все большую популярность приобретает метод многоканального анализа поверхностных волн (MASW), который активно применяется за рубежом. Ключевыми преимуществами метода MASW является быстрая скорость выполнения работ, помехоустойчивость данных, относительная простота обработки.

Целью данной работы являлось сравнение и оценка информативности и применимости методов инженерной сейсморазведки (МПВ, МОВ-ОГТ, MASW), а также оценка сходимости результатов.

Участок исследований располагается в г. Москве на участке Большого газона МГУ.

### Методика производства работ

Сейсморазведочные работы выполнялись на Большом газоне МГУ, который относится к пологому участку оползневого склона Воробьёвых гор. В рамках работы был отработан один профиль. Для интерпретации были привлечены архивные скважины, пробуренные в непосредственной близости от профиля. Плановое положение профиля и архивных скважин приведено на рисунке 1.

Работы выполнялись на обоих типах волн по схемам наблюдений Z-Z, Y-Y. Методика была выбрана таким образом, чтобы данные могли быть обработаны по стандартному графу обработки всеми основными сейсморазведочными методами – методами преломлённых, отражённых и поверхностных волн.

Параметры методики приведены в таблице 1.

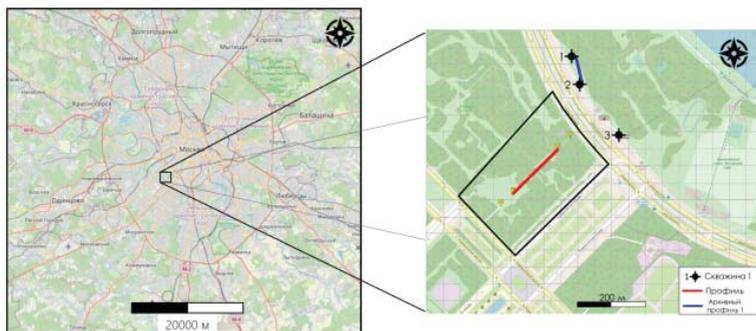


Рис. 1. Обзорная карта участка производства работ

Таблица 1

Параметры методики производства работ

Схема наблюдения	Z-Z, Y-Y
Шаг ПП, м	4
Шаг ПВ, м	4
Количество каналов	48
Длина расстановки, м	188
Количество выносных ПВ	5
Длина записи, с	2

Полевые сейсмограммы, полученные по схеме наблюдений Z-Z (продольные волны) и схеме наблюдения Y-Y (поперечные волны), приведены на рисунке 2. Качество полевых данных было оценено, как «хорошее» и пригодное для дальнейшей обработки методами преломленных, отражённых и поверхностных волн.

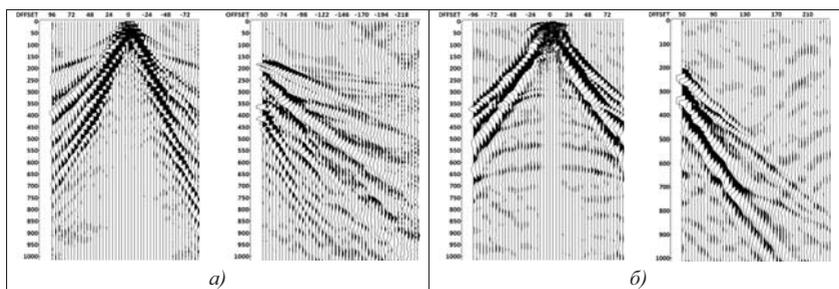


Рис. 2. Полевые сейсмограммы:  
 а) схема регистрации Z-Z (продольные волны),  
 б) схема регистрации Y-Y (поперечные волны)

### Обработка данных

Данные, полученные по схеме наблюдения Z-Z (продольные волны), были обработаны МПВ, МОВ-ОГТ, MASW. Данные, полученные по схеме наблюдения Y-Y (поперечные волны), были обработаны МПВ (в модификации сейсмотомографии), МОВ-ОГТ.

Обработка МПВ продольных волн велась методом T0 из предположения, что в первых вступлениях были зарегистрированы преломлённые волны. Это предположение было сделано на основе анализа графика разности нагоняемого и нагоняющего годографа: после точки излома график разности представляет собой константу, что свидетельствует, что годографы параллельны (рис. 3).

В результате обработки данных МПВ методом T0 была построена одна преломляющая граница, определены скорости в верхнем слое, граничная скорость.

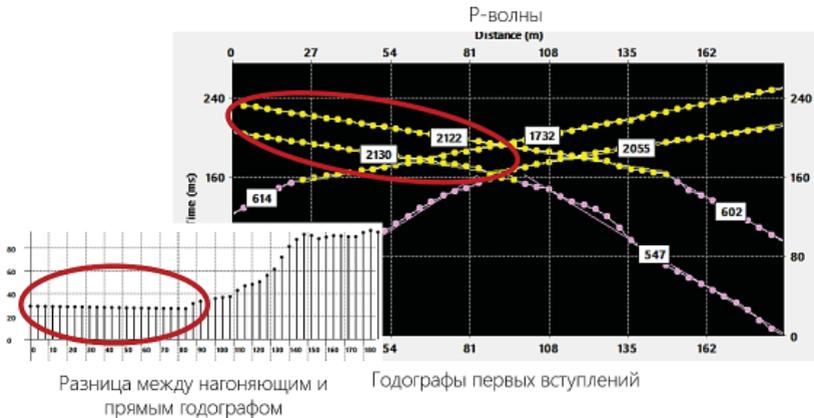


Рис. 3. Годографы первых вступлений продольных волн, график разности нагоняющего и нагоняемого годографа

Обработка данных МОВ-ОГТ на продольных и поперечных волнах осуществлялась в следующей последовательности:

- ввод данных, присвоение геометрии;
- шумоподавление (мьютинг, фильтрация, F-K фильтрация, регулировка усиления)
- сортировка по ОГТ;
- скоростной анализ;
- ввод кинематических поправок;
- суммирование по ОГТ;
- шумоподавление после суммирования (2D фильтрация, F-K фильтрация).

На рисунке 4 приведены ключевые этапы обработки данных МОВ-ОГТ на поперечных волнах: вертикальный спектр скорости, суперсейсмограмма ОГТ, временной разрез. На суперсейсмограмме ОГТ выделяется 4 группы осей синфазности отражённых волн. На каждую наблюдаемую ось синфазности нанесена теоретическая гипербола отражённой волны. Каждой отражённой волне на суперсейсмограмме ОГТ соответствует максимум на вертикальном спектре скоростей. Дополнительно на вертикальный спектр скорости нанесён скоростной закон интервальных скоростей, пересчитанных из эффективных при помощи уравнения Дика.

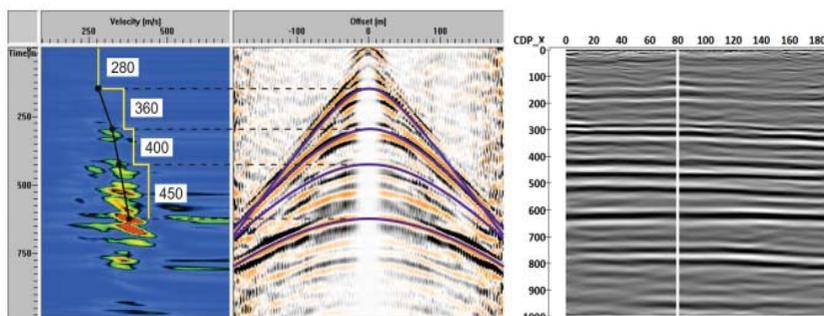


Рис. 4. Вертикальный спектр скорости (слева), суперсейсмограмма ОГТ (по центру), итоговый временной разрез на поперечных волнах (справа)

Обработка методом MASW велась в следующей последовательности:

- предобработка сейсмограмм общего пункта возбуждения (ОПВ) (фильтрация, мьютинг);
- расчёт дисперсионных изображений;
- корреляция фундаментальной и первой моды поверхностной волны;
- инверсия.

### Результаты

На рисунке 5 приведены глубинный разрез МОВ-ОГТ и положение преломляющей границы МПВ на продольных волнах. На обоих разрезах выделяется граница на глубине около 40 метров. По данным бурения эта граница является уровнем грунтовых вод. Значения скоростей продольных волн выше и ниже преломляющей границы (580 и 1800 м/с, соответственно) являются характерными для сухих и водонасыщенных дисперсных пород.

На рисунке 6 приведены глубинный разрез МОВ-ОГТ на поперечных волнах с интерпретацией. Всего по разрезу выделяется до 7 отражений различной степени интенсивности. Самое глубокое отражение (от кровли карбонатно-известняковых известняков) на глубине 110 метров.

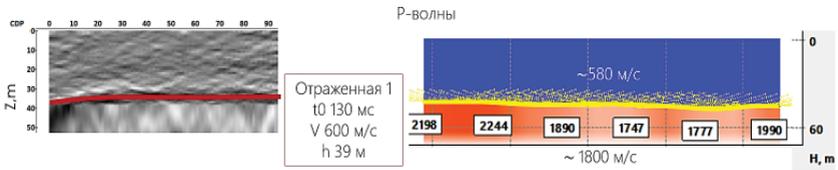


Рис. 5. Глубинный разрез МОБ-ОГТ (слева) и результат МПВ методом Т0 (справа) на продольных волнах

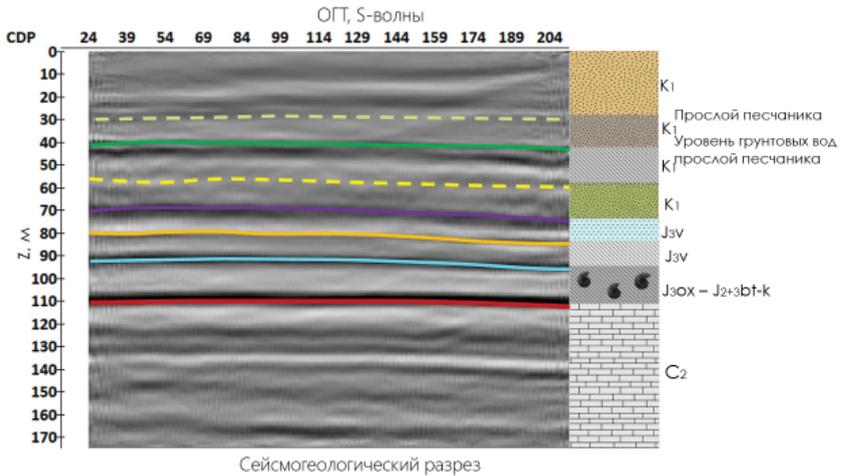


Рис. 6. Глубинный разрез МОБ-ОГТ на поперечных волнах с интерпретацией

Самая верхняя часть разреза была исследована МПВ на поперечных волнах методом сейсмической томографии и методом MASW. Результатом обоих методов является скоростной разрез на поперечных волнах. На рисунке 7 приведены графики 1D скоростной модели поперечных волн по данным сейсмической томографии и метода MASW. Методом сейсмической томографии был получен нормальный скоростной закон с относительно равномерным градиентом (от 300 до 400 м/с). Методом MASW была получена шестислойная модель с двумя инверсными слоями. Анализ формы годографов первых вступлений и дисперсионных изображений свидетельствует о наличии в разрезе инверсных слоёв. Но методом сейсмической томографии не было получено инверсии скоростей, что связано, по всей видимости, с недостаточной длиной годографов первых вступлений. Поэтому в данном случае для оценки скоростей поперечных волн предпочтительнее использовать результаты метода MASW.

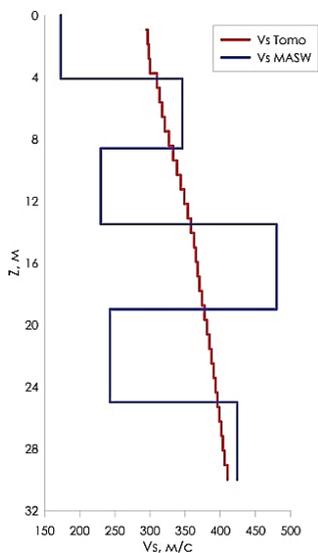


Рис. 7. Скоростная 1D модель поперечных волн по данным сейсмической томографии (красный график) и метода MASW (синий график)

### Результаты и выводы

Настоящая работа посвящена анализу сходимости результатов различных сейсмических методов, выполняемых при изучении верхней части разреза. В качестве объекта исследования был выбран участок, расположенный на территории Воробьёвых гор в г. Москве. На выбранном участке на одном профиле были выполнены работы методами преломленных, отраженных, поверхностных волн. Работы были выполнены на обоих типах волн (продольные, поперечные).

Полученные данные были обработаны МПВ, МОВ-ОГТ, MASW.

В результате обработки данных продольных волн МПВ и МОВ-ОГТ была получена одна граница, которая является уровнем грунтовых вод в разрезе. В результате МОВ-ОГТ на поперечных волнах был получен глубинный разрез, на котором было выделено 7 границ.

Выделенные границы совпали с границами, полученными в результате бурения. Самая верхняя часть разреза (до 30 м) была исследована поперечными волнами МПВ в модификации сейсмической томографии и методом MASW. Результаты этих двух методов дали различный результат. По результатам анализа первичных материалов обработки (форма годографов первых вступлений, дисперсионные изображения) было принято решение отдать предпочтение результатам метода MASW.

### Литература

- Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка. Тверь: АИС, 2006. 743 с.  
 Владов М.Л., Капустин В.В. О проблемах инженерной сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. 2014. № 2. С. 104-112.  
 Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии / Под ред. Н.Н. Горяинова; Министерство геологии СССР; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидрогеол. и инж. геол. М.: Недра, 1992. 264 с.  
 Турчков А.М. Метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки в инженерной сейсморазведке // Технологии сейсморазведки. 2013. №2. С. 98-111.