

## МАЛОГЛУБИННАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД

*Ермаков А.П., Владов М.Л., Шмурак Д.В.*

При проведении инженерно-геологических изысканий для строительства различных линейных сооружений (дорог, трубопроводов и др.) на разрезах с развитием карста возникает необходимость в подробном описании геометрии и прочностных свойств кровли карстующихся пород, в том числе коры выветривания, нередко перекрытых рыхлыми отложениями.

Проявление карстовых процессов в рельефе дневной поверхности хорошо известно и изучено. Особое внимание при строительстве линейных сооружений должно уделяться выявлению карстовых полостей, не выраженных в рельефе дневной поверхности. Наиболее часто такая ситуация наблюдается на склонах берегов рек, где широко развиты оползневые процессы.

В инженерной геологии для определения деформационно-прочностных характеристик грунтов проводятся полевые испытания в условиях их естественного залегания. На стадии предварительного проектирования применяются различные варианты статических и динамических зондирований в шурфах или скважинах [2]. Результатом полевых экспериментов могут являться такие деформационно-прочностные характеристики грунтов как модуль деформации и предел прочности на одноосное сжатие с последующим выделением инженерно-геологических элементов.

Альтернативным, не нарушающим сплошности грунтового массива, инструментом для решения задач определения деформационных и прочностных свойств грунтов является малоглубинная сейсморазведка. Этот геофизический метод в силу своих физических принципов способен получать изображение геологической среды – геометрию и форму границ, а также ее прочностные и деформационные характеристики. Возможность применения сейсморазведки для картирования кровли скальных пород, перекрытых рыхлыми отложениями, и поиска карстовых полостей обусловлена контрастом акустических свойств рыхлых, скальных и разрушенных скальных пород.

Возможности сейсморазведки карстующихся пород рассмотрены на примере одного сейсмического профиля, выполненного в рамках комплексных инженерно-геологических изысканий вдоль трассы проектируемого магистрального газопровода «Ухта-Торжок» в 2016 г. Профиль пересекал реку Ухта (респ. Коми), где широко развиты оползневые процессы, и распространен скрытый карст. Длина профиля 656 м без учета ширины реки Ухта. Профиль располагался ортогонально руслу реки. Исследования проводились методом преломленных волн с регистрацией продольных и поперечных волн в первых вступлениях.

Обработка полевых материалов направлена на получение сейсмических разрезов в изолиниях скоростей распространения продольных и поперечных волн и последующий расчет разрезов упругих параметров:  $V_s/V_p$ , модуля Юнга, коэффициента Пуассона, модуля деформации, предела прочности на одноосное сжатие и др. Построение скоростных разрезов осуществлялось в программном пакете «Годограф». В основе алгоритма работы программы лежит метод однородных функций (МОФ), предложенный В.Б. Пийп [1].

Основными результатами работы являются вычисленные разрезы значений динамического модуля деформации и значений предела прочности на одноосное сжатие, а также итоговый инженерно-геологический разрез с выделенными инженерно-

геологическими элементами (ИГЭ). Рассчитанные упругие и прочностные характеристики инженерно-геологических элементов, выделенные по данным сейсморазведки показаны в табл. 1.

Табл. 1. Сводная таблица рассчитанных упругих и прочностных характеристик инженерно-геологических элементов, выделенных по данным сейсморазведки.

|     | $V_p$ , м/с |           |          | $V_s$ , м/с |           |          | $V_s/V_p$ |           |          |
|-----|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| ИГЭ | Мин.зн.     | Средн.зн. | Макс.зн. | Мин.зн.     | Средн.зн. | Макс.зн. | Мин.зн.   | Средн.зн. | Макс.зн. |
| 1   | 600         | 1100      | 1600     | 250         | 325       | 400      | 0.25      | 0.30      | 0.42     |
| 2   | 1600        | 1863      | 2125     | 400         | 575       | 750      | 0.25      | 0.30      | 0.35     |
| 3   | 2125        | 2413      | 2700     | 750         | 925       | 1100     | 0.35      | 0.38      | 0.41     |
| 4   | 2200        | 2500      | 2800     | 1200        | 1250      | 1300     | 0.46      | 0.50      | 0.55     |

|     | $\sigma$ |           |          | $E$ , МПа |           |          |
|-----|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|
| ИГЭ | Мин.зн.  | Средн.зн. | Макс.зн. | Мин.зн.   | Средн.зн. | Макс.зн. |
| 1   | 0.39     | 0.45      | 0.47     | 331       | 583       | 892      |
| 2   | 0.40     | 0.41      | 0.43     | 984       | 2180      | 3376     |
| 3   | 0.43     | 0.44      | 0.46     | 3376      | 5246      | 7117     |
| 4   | 0.29     | 0.33      | 0.36     | 8904      | 10000     | 11053    |

|     | $E_{def}$ , МПа |           |          | $R_c$ , МПа |           |          |
|-----|-----------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|
| ИГЭ | Мин.зн.         | Средн.зн. | Макс.зн. | Мин.зн.     | Средн.зн. | Макс.зн. |
| 1   | 36              | 69        | 112      | 0.5         | 0.8       | 1.3      |
| 2   | 126             | 325       | 524      | 1.4         | 3.1       | 4.9      |
| 3   | 524             | 940       | 1355     | 4.9         | 7.8       | 10.6     |
| 4   | 1610            | 1842      | 2068     | 14.4        | 15.6      | 16.9     |

Таким образом, возможности и задачи сейсморазведки при исследовании карста не исчерпываются картированием кровли карстующихся пород и ее рельефа. Многоволновой подход в сейсморазведке в данном случае состоит в получении разрезов в изолиниях скоростей распространения продольных и поперечных волн, что позволяет рассчитывать такие характеристики среды как предел прочности на одноосное сжатие и модуль деформации. Отдавая себе отчет в том, что формулы связей между этими характеристиками и значениями скоростей продольных и поперечных волн носят корреляционный характер, их расчет позволяет выполнять основную функцию сейсморазведки – корреляцию свойств среды между точками независимых определений (скважинами). В любом случае разрезы в изолиниях этих характеристик позволяют судить об относительных изменениях прочностных и деформационных характеристик карстующихся пород по латерали и глубине.

### Список литературы

1. Пийп. В.Б. Локальная реконструкция сейсмического разреза по данным преломленных волн на основе однородных функций. Физика Земли. № 10, 1991.
2. Тер-Мартirosян З.Г. Механика грунтов / Учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005.