

**ИЗМЕНЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗАПИСИ  
ПРИ ИЗУЧЕНИИ УЧАСТКОВ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД  
НА ПРИМЕРЕ КУНГУРСКОЙ ЛЕДЯНОЙ ПЕЩЕРЫ**

**И.А. Селетков**

**Научный руководитель доцент И.Ю. Герасимова**

**Пермский государственный национальный исследовательский университет,  
г. Пермь, Россия**

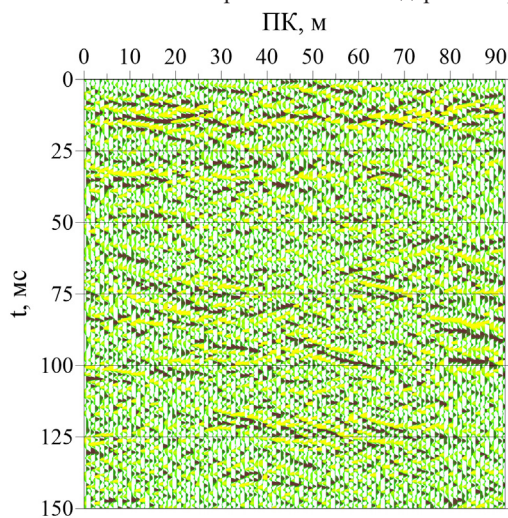
Кунгурская ледяная пещера – одна из самых популярных достопримечательностей Урала. Пещера находится в Пермском крае на окраине города Кунгур, в 100 км от Перми. Вместе с Ледяной горой Кунгурская пещера образует уникальный геологический памятник и является одной из крупнейших карстовых пещер в европейской части России. Протяжённость пещеры составляет около 5700 м, из них 1,5 км оборудовано для экскурсий [2]. В связи с уникальностью Кунгурской пещеры и её научной значимостью правительство Пермского края актуализировало вопрос включения Кунгурской ледяной пещеры в список объектов Всемирного наследия ЮНЕСКО. Однако было подчеркнуто, что для успешного включения в список ЮНЕСКО необходимо проведение новых обширных исследований пещеры, что и определяет актуальность настоящей работы.

Пещера расположена на правом берегу р. Сылвы. Берег здесь имеет вид платообразной возвышенности, называемой Ледяной горой, с превышением 80-90 м над урезом реки. В морфологическом отношении пещера представляет собой совокупность гротов, галерей, соединительных ходов и щелей, простирающихся примерно на одном уровне в северо-восточном и северо-западном направлении вглубь горы на 400-700 м. Большинство разведанных полостей располагается выше водоносного горизонта. Некоторые гроты имеют длину 60-150 м и высоту 10-25 м. Глубина залегания их потолка составляет 50-70 м. Над ними много вертикальных каналов и трещин, образующих своеобразный “ореол” малых карстовых форм в покрывающей толще [2].

Массив Ледяной горы в районе Кунгурской пещеры сложен карбонатными (известняк, доломит) и сульфатными (гипс, ангидрит) породами. Перекрывают поверхность Ледяной горы четвертичные глины и суглинки мощностью до 18 м на водоразделе, полностью смытые вблизи склона и на отдельных участках возвышенности [2].

Материалы для настоящей работы получены в ходе работ, проводившихся в августе 2016 г в рамках полевого лагеря студенческого геофизического общества SEG. Цель исследовательских работ – изучение характера проявления карстовых полостей в различных геофизических полях. Одним из задействованных методов являлась сейсморазведка методом отраженных волн (МОВ). Основной предпосылкой использования этого метода являлся факт неоднородности горных пород в пределах верхней части разреза в отношении упругих свойств, что позволяет регистрировать отраженные и преломленные волны, обусловленные данными неоднородностями. Благодаря этому, возможно использовать сейсморазведку для пространственного выделения различных по упругим свойствам участков, отображающих особенности геологического строения среды [1].

Параметры системы наблюдения, использованной при сейсмических исследованиях, выбирались в соответствии с априорной информацией о морфологии пещеры: шаг между пунктами возбуждения выбран равным шагу между пунктами приема и составлял 2 м, база наблюдений – 94 м, без выноса. Всего было отработано 10 профилей, часть из которых расположена над зонами известного распространения карстовых полостей, а часть – над условно сохранным массивом пород. Полученные данные обрабатывались в специализированном комплексе SPS-PC с применением стандартного графа обработки.



**Рис. 1. Суммарный временной разрез по профилю 6**

В результате цифровой обработки получены суммарные временные разрезы. Для примера на рисунке 1 приведен суммарный временной разрез по профилю, пересекающему известные карстовые полости. Анализ волновой картины говорит о сложности изучаемого массива – отсутствуют выдержанные оси синфазности, за исключением отражающего горизонта, залегающего в интервале времен 15-17 мс, который предположительно соответствует подошве четвертичных отложений. Также на некоторых участках наблюдается потеря корреляции и выклинивание отражающих горизонтов. Таким образом, аномальный эффект, создаваемый во временном поле карстовой полостью, сильно «размазан» за счет наличия различного рода помех. Прежде всего, влияние оказывает зона распространения малых карстовых форм в покрывающей толще.

С целью локализации карстовых полостей применена динамическая интерпретация данных сейсморазведки. При этом подходе вычисляются динамические характеристики – совокупности зависимостей, определяющих характер колебаний частиц среды во времени или в пространстве при распространении волн. Динамические атрибуты сейсмических волн отражают фациальные и

литологические особенности строения геологического разреза, связаны с вещественным составом, пористостью и трещиноватостью горных пород и могут давать информацию об относительном изменении пустотности и водонасыщенности горных пород [3].

На этапе динамической интерпретации определены такие атрибуты сейсмической записи, как амплитуда колебаний, частота спектрального центроида, частота максимума спектра, ширина спектра, отношение сигнал/помеха. На основе полученных данных были рассчитаны коэффициент поглощения и декремент поглощения.

Вычисленные динамические атрибуты визуализированы в виде схем распределения в координатах ПК-время. Визуальный анализ показал, что наиболее информативными являются следующие динамические характеристики: амплитуда упругих колебаний, коэффициент поглощения и, в меньшей степени, ширина спектра. В качестве примера на рисунке 2 изображены схемы распределения амплитуд упругих колебаний (а) и коэффициента поглощения (б) по анализируемому профилю. Как видно, рисунок 2а гораздо лучше отображает структуру волнового поля по сравнению с суммарным временен разрезом (рис. 1). То есть, помимо верхнего отражающего горизонта, предположительно соответствующего подошве четвертичных суглинков, также выделяются слабо выдержанные отражающие горизонты на больших временах.

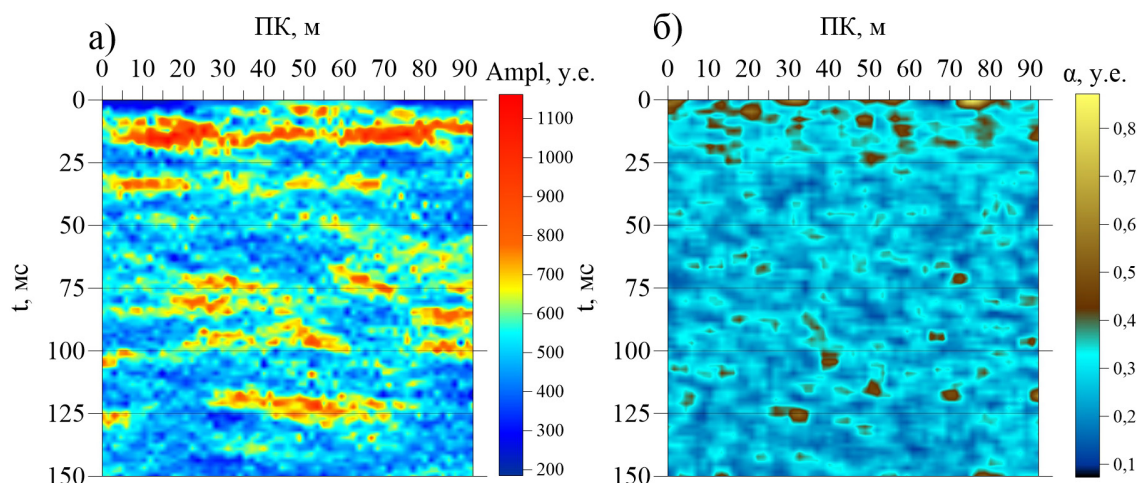


Рис. 2. Динамические атрибуты сейсмической записи по профилю б: а – схема распределения амплитуд, б – схема распределения коэффициента поглощения

Особенностью распределения коэффициента поглощения (рис. 2б) является наличие зон локальных повышений в интервале времен 0-20 мс, что соответствует зоне распространения рыхлых отложений в приповерхностной части разреза. Также выделяется зона повышения коэффициента поглощения в интервале 100-125 мс, которая, по мнению автора, предположительно связана с кровельной частью крупных карстовых полостей. На схеме распределения такого атрибута, как ширина спектра, в том же интервале времен (100-120 мс) выделяются две небольшие зоны повышенных значений. Таким образом, наличие аномалий в полях динамических атрибутов говорит о наличии неоднородностей, предположительно связанных с зоной развития карстовых процессов. Разрезы других динамических параметров отличаются более дифференцированной и сложной картиной. Их применение возможно для конструирования комплексных атрибутов.

Подводя итог, отметим, что исследование Ледяной горы, в недрах которой залегает Кунгурская пещера, показало, что изучаемый массив отличается сложностью за счет наличия малых карстовых форм в покрывающей толще над крупными гротами и галереями Кунгурской пещеры. В результате этого выявление карстовых полостей по результатам только кинематической интерпретации не представляется возможным. Выходом является интерпретация динамических атрибутов сейсмической записи, позволяющая по набору различных характеристик с большей степенью достоверности локализовать карстовую полость, заполненную воздухом. Однако стоит отметить, что для полноты исследования необходимо прибегать к моделированию для стратиграфической привязки отражающих горизонтов, что в свою очередь позволит сузить интервал времен, в пределах которого могут залегать гроты Кунгурской пещеры.

#### Литература

1. Применение сейсмоакустических методов в гидрогеологии и инженерной геологии /Под ред. Н.Н. Горяинова. -М.: Недра, 1992. - 264 с.
2. Дублянский В.Н. Кунгурская Ледяная пещера: опыт режимных наблюдений – Екатеринбург: ГИ УрО РАН, 2005. – 376 с.
3. Спасский Б.А., Герасимова И.Ю. Сейсмостратиграфия: учебно-методическое пособие, Пермский университет, Пермь, 2007. – 267 с.
4. Кадебская О.И., Калинина Т.А. Литологический разрез ледяной горы // Сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию юбилею научной и туристско-экскурсионной деятельности в Кунгурской Ледяной пещере и 100-летию со дня рождения В.С. Лукина. – Пермь. С. 42 - 48.