

А.Г. Гликман, А.В. Данилов

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА СПЕКТРАЛЬНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ
ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ
И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОЗМОЖНЫХ РАЗРУШЕНИЙ
В РАЙОНЕ ПРОКЛАДКИ ТУННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В Г. КИЕВЕ
МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ “ВАСИЛЬКОВСКАЯ” – “ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР”**

Метод спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) позволяет решать задачи, связанные с поисками зон тектонических нарушений, геопатогенных зон, месторождений воды, разных подземных объектов, прогнозировать разрушения инженерных сооружений, жилых зданий, дорожного полотна, аварии трубопроводов и является альтернативным традиционным методам сейсморазведки. На примере данных, полученных методом ССП по профилю, который проходит вдоль туннеля метрополитена между станциями “Васильковская” – “Выставочный центр”, были выявлены и исследованы тектонические нарушения и спрогнозированы возможные разрушения.

Ключевые слова: спектральная сейсморазведка, спектрально-сейсморазведочное профилирование, зоны тектонического нарушения, геопатогенные зоны, прогнозирование разрушений.

Вступление. Метод спектрально-сейсморазведочного профилирования (ССП) на сегодня занимает особое место в геофизике, поскольку позволяет картировать зоны тектонических нарушений, а следовательно, и так называемые геопатогенные зоны, месторождения воды и другие подземные объекты, а также прогнозировать разрушения инженерных сооружений.

В данной статье на примере профиля, который проходит вдоль туннеля метрополитена между станциями “Васильковская” – “Выставочный центр”, исследованы тектонические нарушения с прогнозированием возможных разрушений методом ССП.

Аппаратурно-программный комплекс метода включает отдельно запатентованный сейсмоприемник оригинальной конструкции, одноканальный АЦП с широким частотным диапазоном и ноутбук в полевом варианте, обеспечивающий работу аппаратуры в течение рабочего дня. Программное обеспечение позволяет получать разрез сейсморазведочного профилирования непосредственно во время работы, в результате чего осуществляется оперативная коррекция направления профиля и параметров аппаратуры.

Теоретические основы. Спектрально-сейсморазведочное профилирование основано на использовании объективных реальных физических эффектов, суть которых изложена ниже.

1. Земная толща по акустическим свойствам представляет собой совокупность колебательных систем. Именно поэтому спектральная сейсмо-

разведка нацелена на спектральный анализ сейсмосигнала, а не на выделение в нем эхосигналов.

2. Зависимость между спектральным составом длительного колебательного процесса, составляющего сейсмосигнал, и геологическим строением в точке ударного воздействия имеет вид

$$h_i = \frac{V_{sh}}{f_{0i}}, \quad (1)$$

где f_{0i} – i -я гармоническая составляющая сейсмосигнала; V_{sh} – скорость распространения поперечных (сдвиговых) упругих колебаний; h_i – i -й размер, в частности, глубина залегания соответствующей границы.

3. Собственные упругие колебания возникают на поперечных волнах.

4. Залегающие субгоризонтально породные слои осадочного чехла проявляют свойства колебательных систем и являются слоями-резонаторами.

5. ССП-разрез представляет собой совокупность спектральных изображений сейсмосигналов, пересчитанных по формуле (1) в мощности породных слоев. По сути это первичная информация, которая не искажена интерпретацией и не зависит от каких бы то ни было субъективных моментов. Таким образом, в отличие от всех известных сейсмометодов, метод ССП является источником объективной информации, которая не зависит от априорных данных.

6. Наличие на ССП-разрезе воронкообразного объекта или одной образующей такого объекта – устойчивый признак того, что профиль пересекает зону тектонического нарушения (ЗТН).
7. При наличии тектонического нарушения весь столб горных пород в его пределах характеризуется повышенной нарушенностью. Как показали дополнительные исследования, нарушенность пород в ЗТН настолько высока, что при разведочном бурении выход керна в таких зонах может оказаться практически равным нулю.
8. ЗТН характеризуется пониженной, а главное, уменьшающейся со временем несущей способностью грунта.
9. В ЗТН вследствие повышенной проницаемости пород можно добывать воду.
10. В ЗТН проявляется планетарная пульсация. Частота ее весьма низкая (доли герц), а амплитуда может достигать 10 см. Обнаружение этого эффекта позволяет, с одной стороны, понять причины многих внезапных разрушений инженерных сооружений, а с другой – эффективно прогнозировать их разрушение.
11. ЗТН являются одновременно и геопатогенными зонами, поскольку в этих местах выходят глубинные газы, такие как радон и др.
12. Осуществление метрологически корректного спектрального анализа сейсмосигнала стало возможным после создания сейсмоприемника, электрический сигнал на выходе которого имеет спектр, идентичный спектру акустического сигнала в точке контакта сейсмоприемника с массивом [1, 2].

На рис. 1 приведен случай трехслойной структуры. При нанесении удара по поверхности такой структуры собственные упругие колебания возникнут во всех слоях – трех простых h_1 , h_2 и h_3 , и в составных структурах $(h_1 + h_2)$, $(h_1 + h_2 + h_3)$ и $(h_2 + h_3)$ на частотах, соответствующих всем этим мощностям. Несмотря на то что собственные колебания действительно возникают, сейсмоприемник, установленный на поверхности массива, воспримет собственные колебания лишь тех структур, которых он касается, а именно h_1 , h_{12} и



Рис. 1. Пример схемы расположения границ в земной толще.

h_{123} . Собственные колебательные процессы слоев-резонаторов, не касающихся сейсмоприемника, зафиксированы не будут. Другими словами, поле упругих колебаний распространяется вдоль слоев-резонаторов без проникновения собственных упругих колебаний в смежные структуры [1].

На схеме перехода от сейсмосигнала к разрезу исследуемого массива показан сигнал на оси времени (рис. 2, а), который взят из реально полученных при измерениях сигналов. Видно, что при ударном воздействии одновременно возбуждаются все колебательные системы, которых касается сейсмоприемник.

Спектральное изображение того же сейсмосигнала получено с помощью преобразования Фурье (рис. 2, б). Ударом возбуждены три гармонические составляющие. По оси ординат отложены значения плотности спектра $A(f)$. Экстремальные значения плотности спектра имеют смысл добротности Q . Таким образом, на спектральном изображении сейсмосигнала видны и частоты, и добротности каждой гармонической составляющей.

Пересчет с помощью основной формулы спектральной сейсморазведки (1) позволяет провести еще одну ось абсцисс – ось глубин (h), и спектр-грамма приобретает смысл разреза (рис. 2, в). Наиболее четкая граница находится на глубине 100 м. Далее, с приближением к поверхности, четкость границ спадает.

Более определенно классифицировать выделяемые границы и даже давать им геологическое истолкование можно при многократных сейсмозмерениях, смещая место измерения от точки к

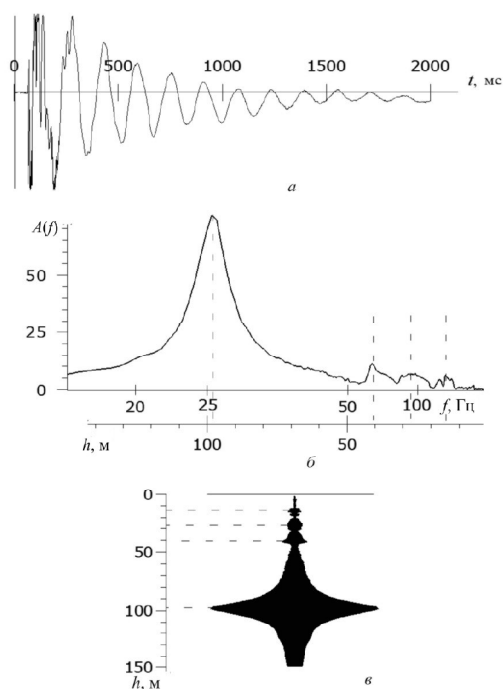


Рис. 2. Схема перехода от сейсмосигнала к разрезу исследуемого массива. Объяснения в тексте

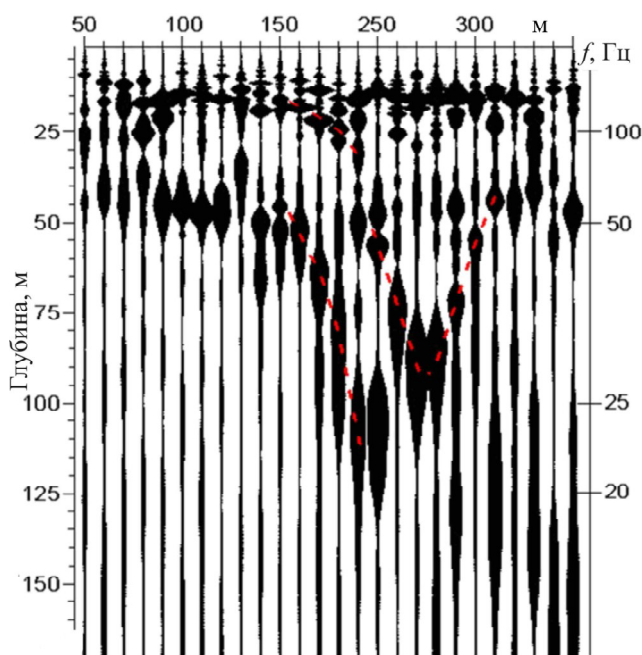


Рис. 3. Вид на ССП-разрезе воронкообразного объекта (зоны тектонического нарушения). По оси абсцисс — точки сейсмоизмерений на линии профиля

точке, т. е. при сейсмопрофилировании. С помощью метода ССП можно выявлять сомкнутые трещины и зоны микронарушенности, зоны дробления в подстилающей гранитной толще, картировать тектонические нарушения, определять места повышенной фильтрации в осадочной толще. Пример прорисовки ЗТН показан на рис. 3.

Постановка и решение задачи. Чтобы выявить опасные геологические объекты и зоны тектонических нарушений, которые могут привести к проблемам эксплуатации или возможных разрушений, в зоне прокладки туннеля метрополитена между станциями “Васильковская” — “Выставочный центр” было проложено 7 профилей.

Работы проводились с 6 по 14 апреля 2011 г. по линии профилей с шагом измерений в 1 м. Такой шаг измерений оптимален при картирова-

нии инженерных объектов для большей детализации (рис. 4).

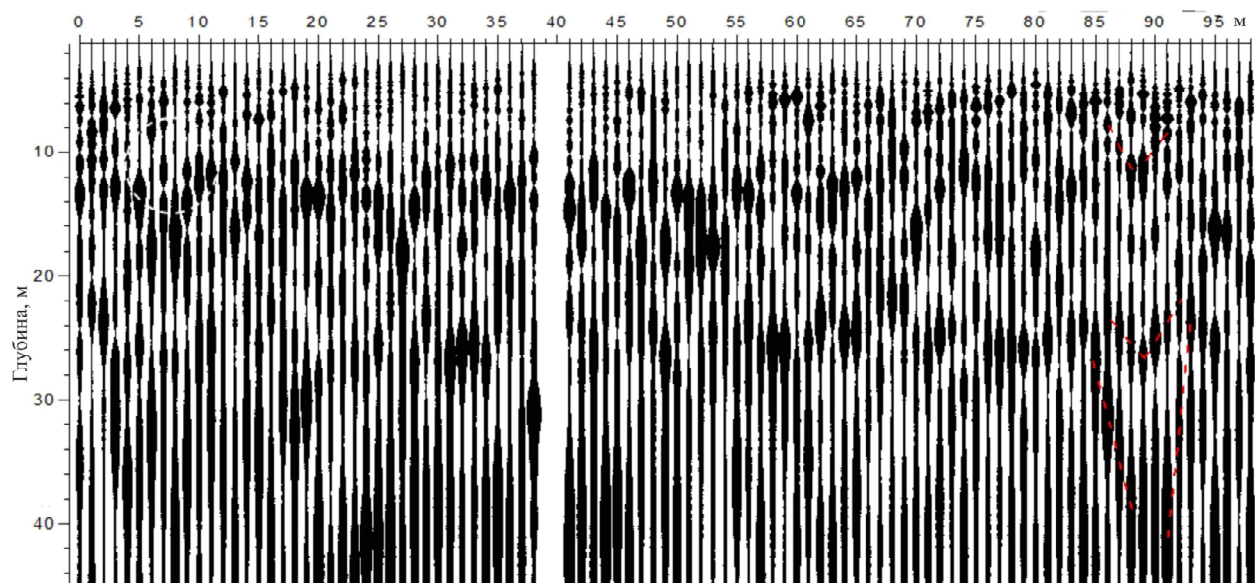
Профиль 1 проходит вдоль здания геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко (КНУ). По геологическим данным в районе здания факультета находился яр, который перед строительством здания был засыпан; перпендикулярно к зданию протекал ручей, который простирался на юг. Вдоль улицы Васильковская основная толща сложена глинами с переходами к теригенным породам, южнее станции метро “Васильковская” находилось озеро, которое позже было высушено. Для более детального исследования профиль был разбит на несколько подпрофилей (рис. 5). В интервале 85–92 м (рис. 5, а) прорисован V-образный объект. Он многоярусный, что свидетельствует о безусловном разрушающем воздействии на инженерное сооружение, а также о наличии водопритока при заглублении в ЗТН. В непосредственной близости от этой зоны на здании геологического факультета наблюдается вертикальная трещина шириной 1–2 см. Рядом с ЗТН расположен технологический участок 103/1 по строительству туннеля метрополитена, в связи с чем следует более детально изучить проходку туннеля в этом и других участках. Пробел между точками 38–41 означает переход через препятствие или участки, где невозможно произвести измерение. В данном случае и далее — это зацементированные или асфальтовые дороги, которые проходят поперек профиля ССП.

В интервале 110–131 м (рис. 5, б) прорисована ЗТН, более мощная, чем в интервале 85–92 м (рис. 5, а). Она проходит вдоль колонн зданий геологического факультета, и именно в этом месте производились работы по укреплению фундамента колонн здания из-за их просадки в грунт.

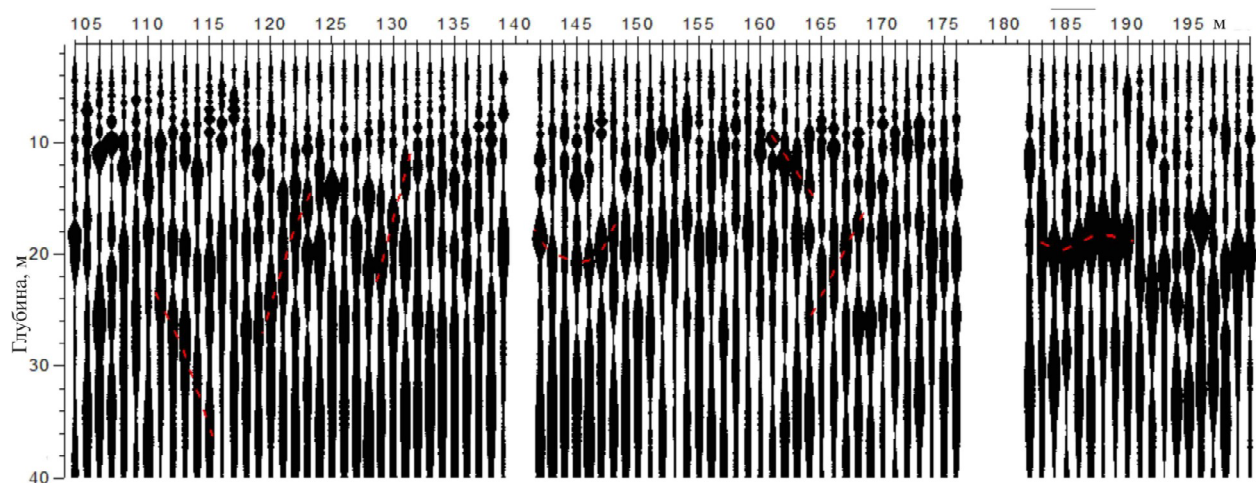
В интервале 143–149 м выделяется чашеобразный объект, а в интервале 161–168 м наблю-



Рис. 4. Обзорная карта района работ вдоль прокладки туннеля метрополитена между станциями “Васильковская” — “Выставочный центр”



a



б

Рис. 5. ССП-разрез по профилю 1: а, б – подпрофили

дается малая зона тектонических нарушений (рис. 5, б). На глубине около 20 м (интервал 183–190 м) прослеживается четкая граница, характерная при контакте терригенных и карбонатных пород (рис. 5, б).

Профиль 2 (рис. 6) проходит вдоль маленького участка – палисадника, напротив здания экономического факультета КНУ. Вокруг палисадника уложены железобетонные плиты. Наличие субвертикальной образующей V-образного объекта (по горизонтали 14–16 м, по вертикали 50–85 м) – признак того, что в данном месте неизбежно разрушение любого инженерного сооружения.

На *профиле 3* (рис. 7) в интервале 47–60 м четко прослеживается совокупность однонаправленных образующих V-образных объектов. Такая ситуация соответствует зоне депрессии, т. е. постоянной просадке пород. Это показатель значи-

тельного осложнения при строительстве и эксплуатации инженерного сооружения.

Профиль 5 (рис. 8) огибает строительство новой станции метро “Выставочный центр”. Для лучшей детализации и анализа профиль разбит на 3 подпрофиля.

В интервале 28–80 м прослеживается чащеобразная структура. Она помечена белой штриховой линией. Таким образом прорисовывается палеорусло. И действительно, по геологическим данным здесь находился овраг, который был засыпан. Кроме того, на ССП-разрезе картируется плавун (герметичный объект, заполненный водонасыщенной илоподобной субстанцией), он имеет вид изометрического объекта с уменьшенным зачернением внутри его. Центр плавунa находится на глубине 12 м и на пикете 18 м профиля.

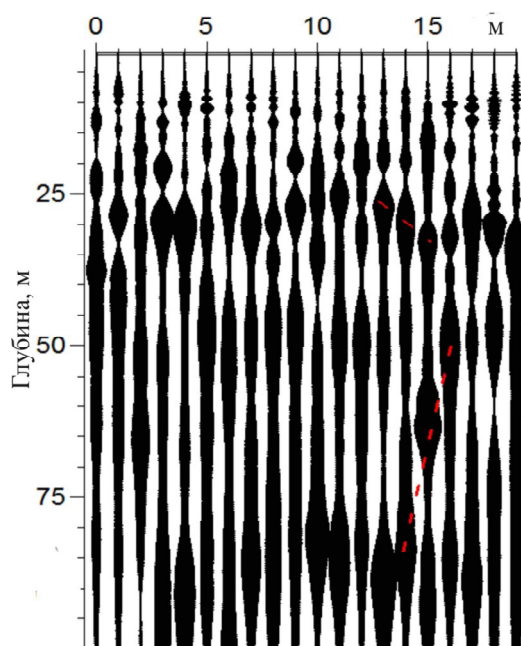


Рис. 6. ССП-разрез по профилю 2

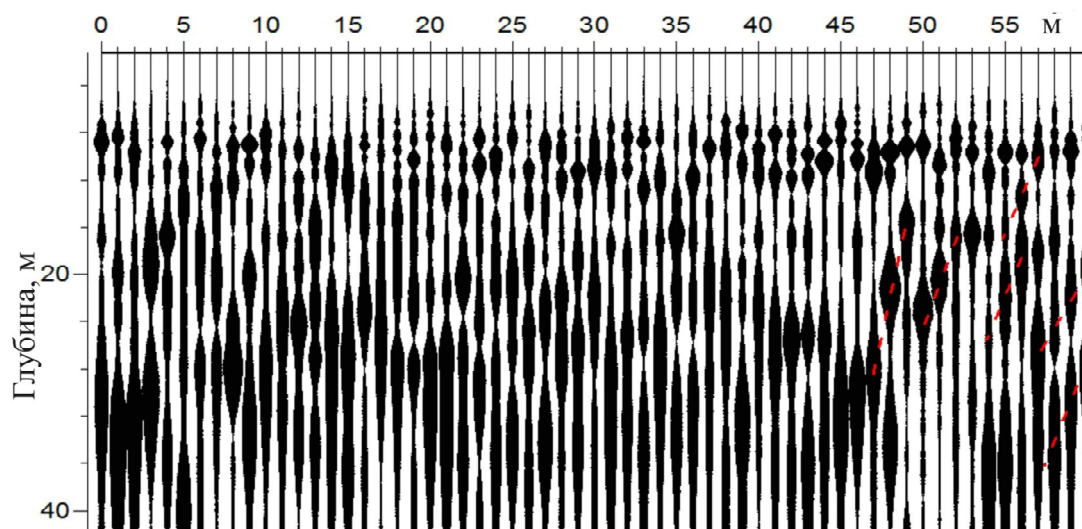


Рис. 7. ССП-разрез по профилю 3

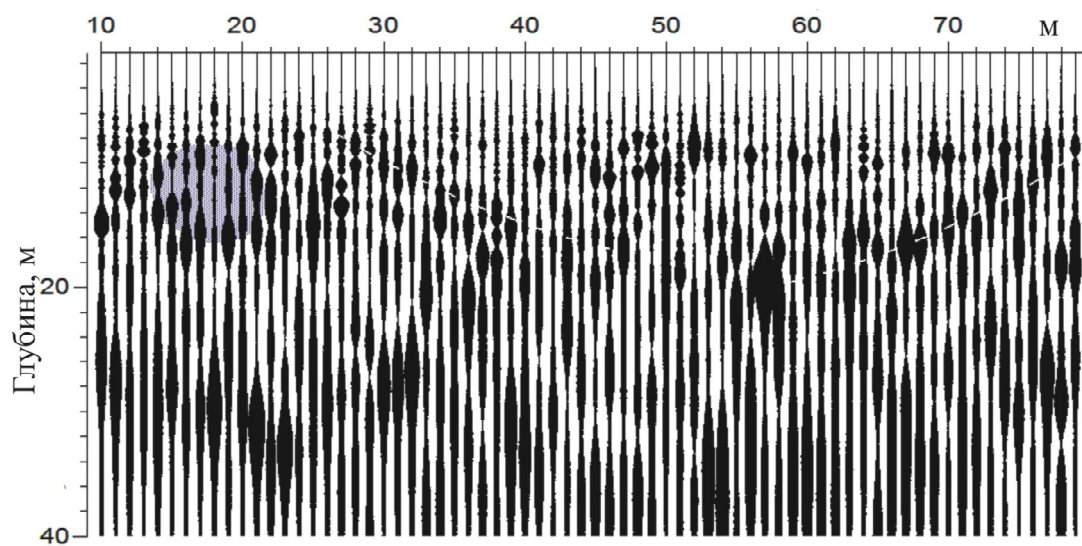


Рис. 8. ССП-разрез по профилю 5

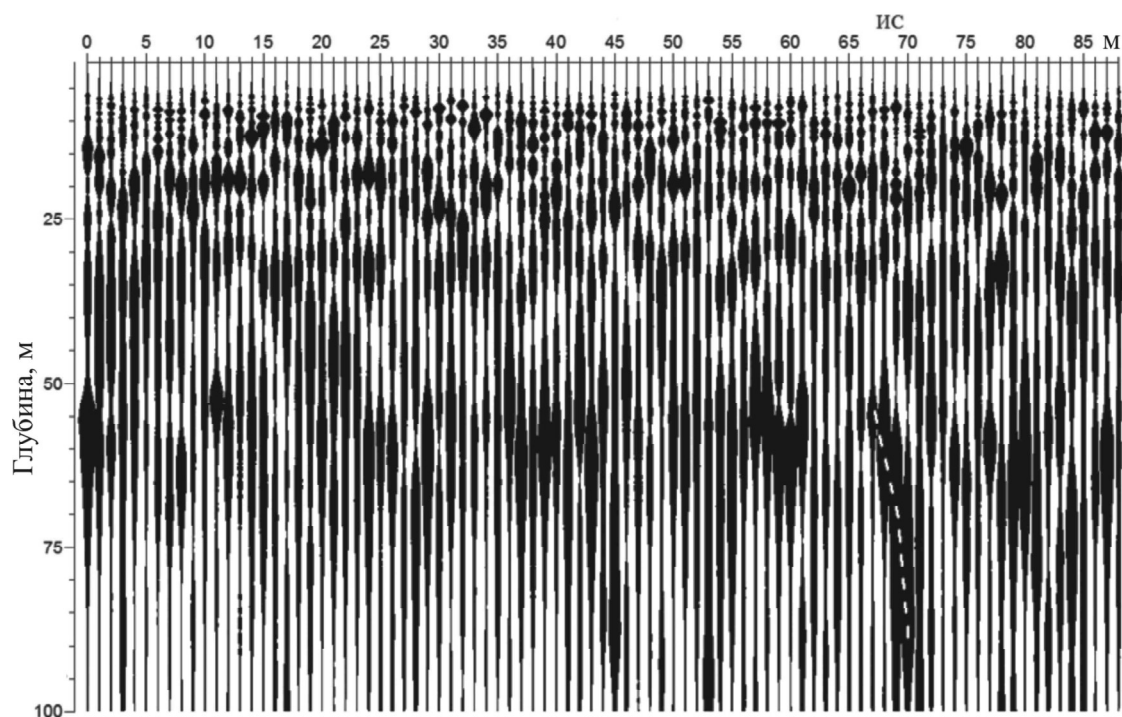


Рис. 9. ССП-разрез по профилю 6

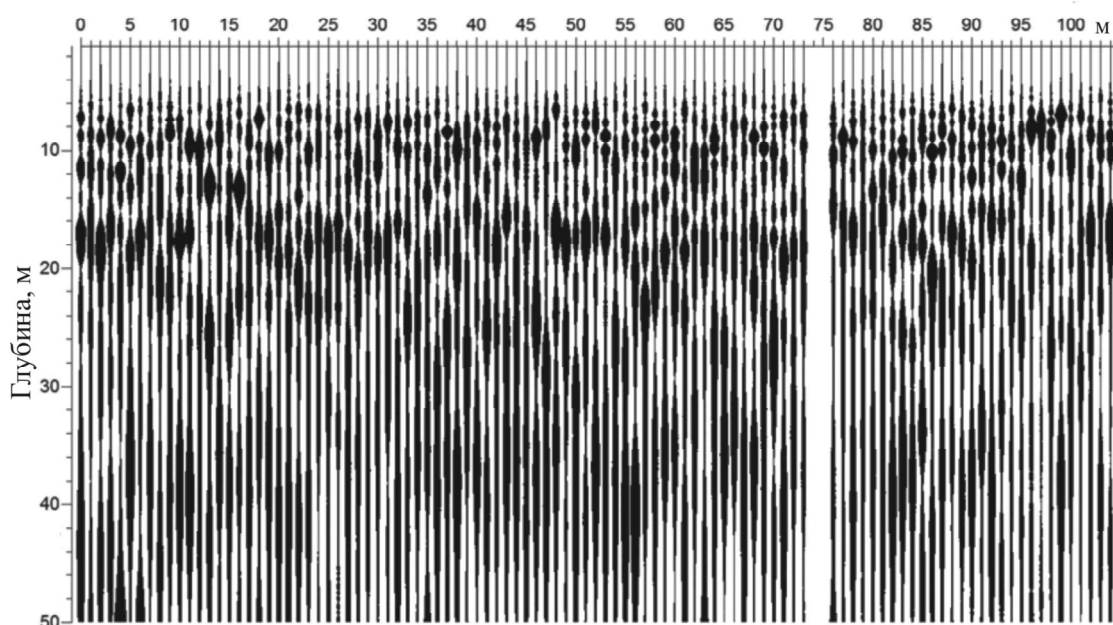


Рис. 10. ССП-разрез по профилю 7

В случае если в результате строительных работ (сооружения котлована) или бурения герметичность плавунa нарушается, жидкость из него уходит и могут произойти просадка и разрушение фундаментов близлежащих инженерных сооружений. На сегодня плавунy выявляют только методом ССП.

На *профиле 6* (рис. 9) в интервале 67–70 м фиксируется ЗТН, наличие которой может привести к разрушению любого объекта. Причина в том, что прорисовывавшаяся образующая V-образного объекта почти вертикальная. Это указывает на наличие мощного сброса. Так как профиль 6 проходит вдоль сквера, явных признаков разру-

шений нет, но если в данном районе будет осуществляться какое-либо строительство, то инженерное сооружение начнет разрушаться уже во время строительства.

На *профиле 7* (рис. 10) ССП-разрез не содержит осложняющих объектов. Вместе с тем в интервале 65–99 м на глубине около 10 м прослеживается чашеобразная структура. Для выяснения ее геологических характеристик и особенностей целесообразно обратить внимание геологов на этот участок профиля.

Выводы. Использование альтернативных методов инженерной геофизики, а именно спектральной сейсморазведки, при строительстве объек-

тов любого типа необходимо еще на стадии проектной документации. В результате исследований на участке вдоль прокладки туннеля метрополитена между станциями “Васильковская” – “Выставочный центр” обнаружены опасные для будущего объекта ЗТН, зоны водопритокков, которые постоянно будут влиять как на исследуемый объект, так и на объекты и сооружения, которые находятся вблизи этих зон.

Для более детального картирования выявленных ЗТН необходимы дополнительные площадные исследования с целью четкого определения влияния этих зон на объекты. Строго говоря, метод ССП выявляет объекты, расположенные под линией профиля, и для того, чтобы полученная информация имела прогностическую ценность, исследования следовало осуществлять тогда, когда туннеля еще не было.

ООО НТФ “Геофизпрогноз”, Санкт-Петербург, Россия

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

А.Г. Гликман, О.В. Данилов

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ СПЕКТРАЛЬНОЇ СЕЙСМОРОЗВІДКИ ДЛЯ КАРТУВАННЯ ТЕКТОНІЧНИХ ПОРУШЕНЬ І ПРОГНОЗУВАННЯ МОЖЛИВИХ РУЙНУВАНЬ У РАЙОНІ ПРОКЛАДЕННЯ ТУНЕЛЮ МЕТРОПОЛІТЕНУ В М. КИЄВІ МІЖ СТАНЦІЯМИ “ВАСИЛЬКІВСЬКА” – “ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР”

Метод спектрально-сейсморозвідувального профілювання (ССП) дає змогу вирішувати завдання, що пов'язані з пошуками зон тектонічних порушень, геопатогенних зон, родовищ води, різних підземних об'єктів, прогнозувати руйнування інженерних споруд, житлових будинків, дорожнього полотна, аварії трубопроводів і є альтернативним традиційним методам сейсморозвідки. На прикладі даних, отриманих методом ССП по профілю, який проходить уздовж тунелю метрополітену між станціями “Васильківська” – “Виставковий центр”, було виявлено та досліджено тектонічні порушення та спрогнозовані можливі руйнування.

Ключові слова: спектральна сейсморозвідка, спектрально-сейсморозвідувальне профілювання, зони тектонічного порушення, геопатогенні зони, прогнозування руйнувань.

A. G. Glikman, A. V. Danilov

SPECTRAL EXPLORATION SEISMIC IN TECTONIC FAULTS MAPPING AND PREDICTION OF POSSIBLE DESTRUCTIONS IN THE AREA OF UNDERGROUND TUNNEL BETWEEN THE STATIONS “VASYLKIVSKA” – “EXHIBITION CENTRE”, KIEV

Method of spectral and seismic profiling (SSP) allows to solve the problems of searching of tectonic faults zones, geopathogenic zones, water deposits, various underground objects, to predict the destruction of engineering buildings, residential buildings, roadways, pipelines breaking. This method is an alternative to the traditional ones. Tectonic faults were identified and investigated; possible destructions in the area of underground tunnel between the stations “Vasylykivska” – “Exhibition Centre” were predicted according to the profile data obtained by the SSP.

Keywords: spectral exploration seismic, spectral and seismic profiling, tectonic faults zones, geopathogenic zones, fracture prediction.

1. Гликман А.Г. Физика и практика спектральной сейсморозведки: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>.
2. Гликман А.Г. Спектральная сейсморозведка – истоки и следствия: [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book2/>.
3. Гликман А.Г. Выявление проблемных зон при инженерно-геологических изысканиях под строительство наземных и подземных сооружений и захоронений // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр. Материалы Первой междунар. конф., г. Москва, 16–18 сент. 2002 г. – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 2002. – С. 205–206.
4. Гликман А.Г. Изучение и прогнозирование техногенных катастроф с помощью метода спектрально-сейсморозведочного профилирования (ССП) // Восьмые геофизические чтения им. В.В. Федынского, 2–4 марта 2006 г.: Тез. докл. – М.: НПО ИНТЕК-ГЕОН, 2006. – С. 48–49.
5. Гликман А.Г. Свойства зон тектонических нарушений (ЗТН) // Жизнь и безопасность. – 2005. – № 1–2. – С. 213–241.

Поступила в редакцию 01.11.2011 г.