

И.В. Зуйков, А.В. Данилов

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЗОНАНСНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ДЛЯ КАРТИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА В РАЙОНЕ ПРОКЛАДКИ ТУННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА В Г. КИЕВЕ

Приводятся результаты работ методом резонансно-акустического профилирования на участке вдоль прокладки туннеля метрополитена между станциями “Ипподром”–“Теремки”. По результатам исследований выявлены опасные для исследуемого объекта зоны тектонических нарушений, водопритоков, обводнений, влияющие на проходку туннелей и строящиеся сооружения.

Ключевые слова: резонансно-акустическое профилирование, туннель, метро, зоны тектонических нарушений, обводнения, инженерная геофизика.

Вступление. На сегодня существует потребность в новых геофизических методах, особенно если традиционные методы геофизики недостаточно точны для решения поставленных задач. Метод резонансно-акустического профилирования (РАП) – один из новых геофизических методов. Он применяется для экспресс-оценки состояния строительной площадки и в качестве основного метода, на основании результатов которого даются рекомендации проектировщикам и исполнителям строительных работ. РАП используется и для решения многих геологических задач, таких как изучение геологических разрезов, картирование водоносных горизонтов, зон тектонических нарушений, выявление подземных пустот, а также поиск залежей углеводородов. В предлагаемой статье описаны результаты интерпретации данных, полученных методом РАП в районе прокладки туннеля метрополитена в г. Киеве между станциями “Ипподром”–“Теремки”.

Теоретические основы. Метод РАП использует для получения информации поле акустического резонанса, формирующееся в толщах горных пород под влиянием различных факторов. Этими факторами могут быть источники сейсмической активности земной коры, механические колебания как результат напряженного состояния земной толщи, движения планет и др. Под влиянием указанных факторов в слоистой толще образуются упругие колебания. Поперечные упругие волны могут возникать только в телах, в которых возможны упругие деформации сдвига, а границы разреза обусловлены [1]:

- резкой сменой литотипов пород изучаемого разреза;
- наличием прослоев различного генезиса (углистых, глинистых и др.);
- перерывами в осадконакоплении;
- интрузивными и экструзивными контактами;
- тектоническими нарушениями.

Чем слабее контакт, тем больше амплитуда возникающих собственных колебаний слоя. В результате поверхностные волны локализируют энергию возмущений, созданных на поверхности, в сравнительно узком (маломощном) слое. В случае среды “граница твердого тела и жидкости” образуется незатухающая поверхностная волна, что характеризуется повышением амплитуды колебаний. Искусственное усиление амплитуды принимаемых собственных колебаний слоя возможно путем механического возбуждения, при этом мощность источника возбуждения не имеет особого значения. При возбуждении (ударе в непосредственной близости от датчика) в датчике наводятся акустические колебания широкой полосы частот, которые при совпадении с частотами собственных акустических колебаний подповерхностных объектов вызывают усиление их амплитуды. Частота колебаний обратно пропорциональна мощности колеблющегося “слоя”. Под “слоем” понимается толща горных пород, расположенная между поверхностью наблюдений и поверхностью “ослабленного механического контакта” (ОМК) [1, 2]. На рис. 1 показаны основные принципы и поисковые объекты метода РАП.

Записав и проанализировав суммарный акустический сигнал, можно вычислить его спектральные характеристики и выделить резонансные частоты колебаний, каждая из которых соответствует мощности соответствующего слоя, т. е. глубине залегания поверхности ослабленного механического контакта. Реальные сигналы, записываемые аппаратурой РАП с возбуждением датчика и без возбуждения, и их спектральные характеристики показаны на рис. 2.

Как видно, результаты измерений (положение основных выделяемых экстремумов спектра) практически не зависят от условий их выполнения – с возбуждением датчика либо без возбуждения. Это позволяет говорить о есте-

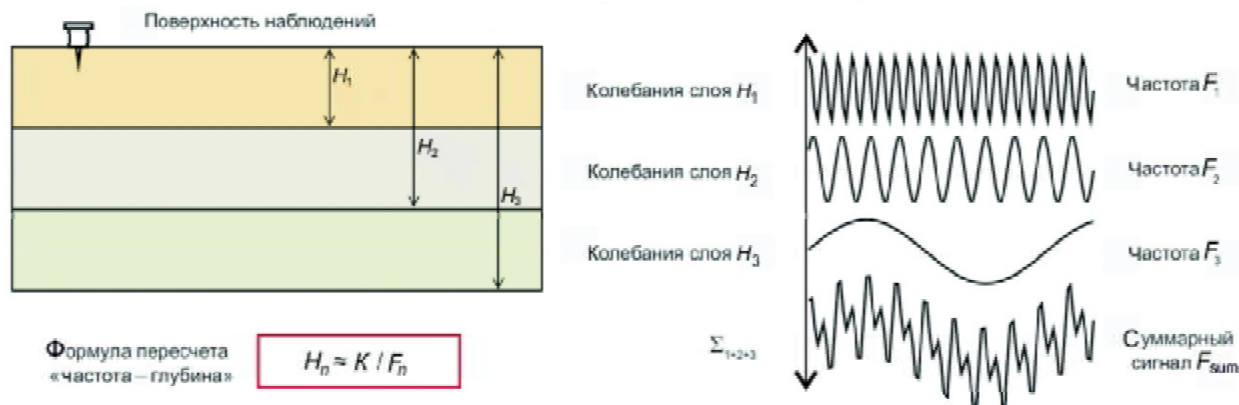


Рис. 1. Основные принципы работы метода РАП

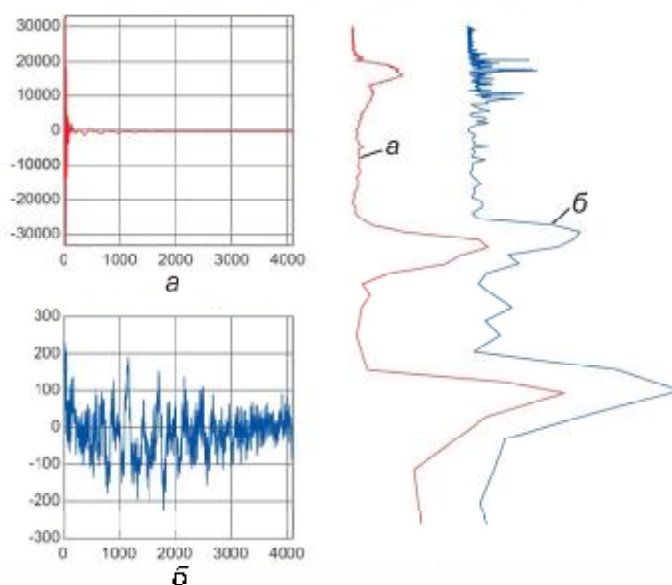


Рис. 2. Результаты сравнения сигнала с возбуждением (а) и без возбуждения (б) датчика

ственной природе фиксируемых акустических колебаний.

Методика наблюдений заключается в измерениях акустического сигнала в точках наблюдений с перемещением датчика (акустоэлектрического преобразователя) по профилю, а детальность получаемой информации зависит от плотности сети наблюдений [3]. Поскольку для проведения работ в большинстве случаев достаточно одного оператора и нет необходимости в использовании громоздких источников возбуждения, измерения могут быть выполнены практически в любом месте.

В идеальном случае РАП-сигнал представляет собой затухающую полигармоническую синусоиду, которая представляет собой сумму собственных акустических колебаний породных толщ. Первый этап обработки состоит в вычислении спектров полученных акустических сигналов и пересчете частот полученных спектров в глубины, в соответствии с формулой и коэффициентом пересчета, установленным для данного участка. Вычисления производятся отдельно для полной и для локальной (остаточной) составляющих спек-

ра. Для каждого участка работ подбирается своя шкала соответствия амплитуд спектра геомеханического разреза и строятся отдельные геомеханические разрезы для каждой компоненты. Затем для более четкой визуализации поверхностей ослабленного механического контакта производится сложение полученных результатов вычислений по полной компоненте спектра акустического сигнала и по локальной его компоненте [5].

Методика и результаты исследований. Геофизические работы выполнялись в г. Киеве в апреле 2012 г. по линии прокладки туннелей метрополитена между станциями “Ипподром”–“Теремки”. Задачей работ было выделение участков повышенного обводнения пород, зон тектонических нарушений, других геологических объектов, которые могли бы вызвать проблемы при проходке и эксплуатации инженерных подземных сооружений. Проведены исследования и в районе строящейся станции метро “Теремки” (рис. 3).

Исходя из поставленных задач, измерения выполнялись по нескольким профилям, с расстоянием между точками наблюдений 10 м. По мно-



Рис. 3. Обзорная карта района работ вдоль прокладки туннеля метрополитена между станциями "Ипподром"—"Теремки"

голетнему опыту работ, данный шаг наблюдений является оптимальным и достаточным при проведении детальных рекогносцировочных инженерно-геофизических изысканиях. Поверхность наблюдений по линиям профилей отличается различной структурой (часть профилей проходит по мягкому грунту, часть — по асфальту), поэтому для наблюдений был выбран датчик с плоской контактной поверхностью и частотой дискретизации записываемых сигналов 3600 (линия метрополитена) и 7200 Гц (район станции "Теремки"). Длина записываемого акустического сигнала была выбрана равной 16 384 отсчетам с увеличением эффективной длины до 32 768 при обработке (рис. 4).

Как видно из рис. 4, а, разрешающая способность метода при использовании частоты дискретизации сигнала 3600 Гц на глубине до 100 м не превышает 0,5 м, что вполне достаточно для решения поставленных задач и составляет не более 1 % глубины исследований. Верхняя граница наблюдений при таких параметрах съемки — около 1,4 м.

При использовании частоты дискретизации сигнала 7200 Гц на глубине до 100 м разрешающая способность метода не превышает 0,9 м, что также вполне достаточно для решения поставленных задач. Верхняя граница наблюдений при таких параметрах съемки составляет около 0,7 м (рис. 4, б).

Все наблюдения проводились по ровной поверхности, поэтому при обработке полученных данных поправка за высоту точек наблюдений в результаты не вводилась. При обработке результатов была использована стандартная методика обработки данных РАП, в результате чего были получены геомеханические разрезы (рис. 5).

Поскольку наблюдения по линии профиля выполнялись в разных условиях (асфальт и грунт), в геомеханическом разрезе отмечаются резкие скачки глубин залеганий выделяемых структурных элементов, особенно в районе 510 м от начала линии профиля наблюдений. Характерная геомеханическая граница здесь резко меняет

свою глубину с 17 до 24 м при отсутствии зон тектонических нарушений, по которым возможен данный сдвиг. Это связано с тем, что пересчет частот акустических сигналов на глубину выполнен с одним коэффициентом пересчета. Однако асфальт и грунт имеют различные скоростные и прочностные характеристики, следовательно, вычисления должны выполняться с разными коэффициентами пересчета "частота—глубина". В процессе обработки были вычислены истинные коэффициенты, произведена переобработка данных и получен геомеханический разрез, показанный на рис. 6 [4].

На геомеханическом разрезе после интерпретации (рис. 7) отображены основные аномалии (1—6) по профилю проведенных работ.

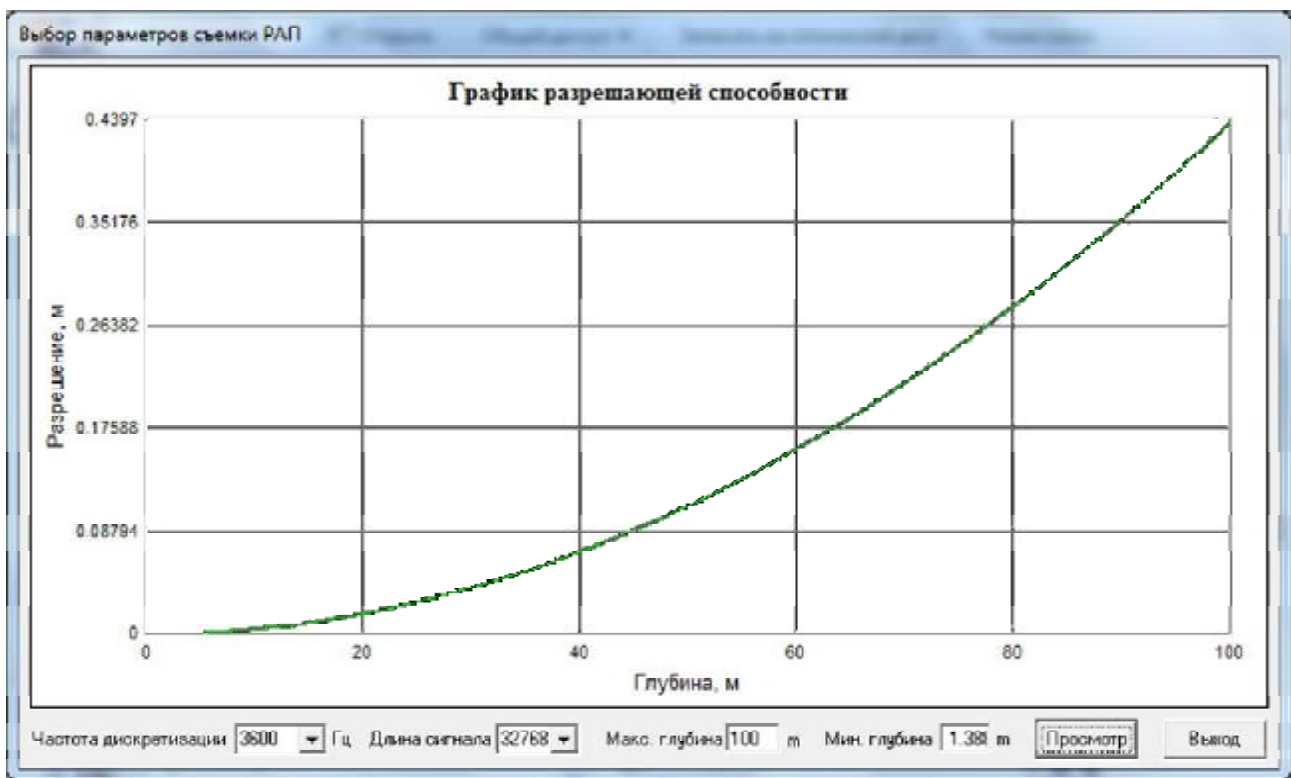
В пределах обследованных профилей можно выделить несколько типов аномальных геомеханических объектов.

Аномалия 1 — это зоны пониженных значений спектров акустических сигналов без выраженной характерной структуры слоистости. Данный объект, вероятнее всего, соответствует толще рыхлых четвертичных отложений, представленной песками, супесями и суглинками с редкими прослоями глин.

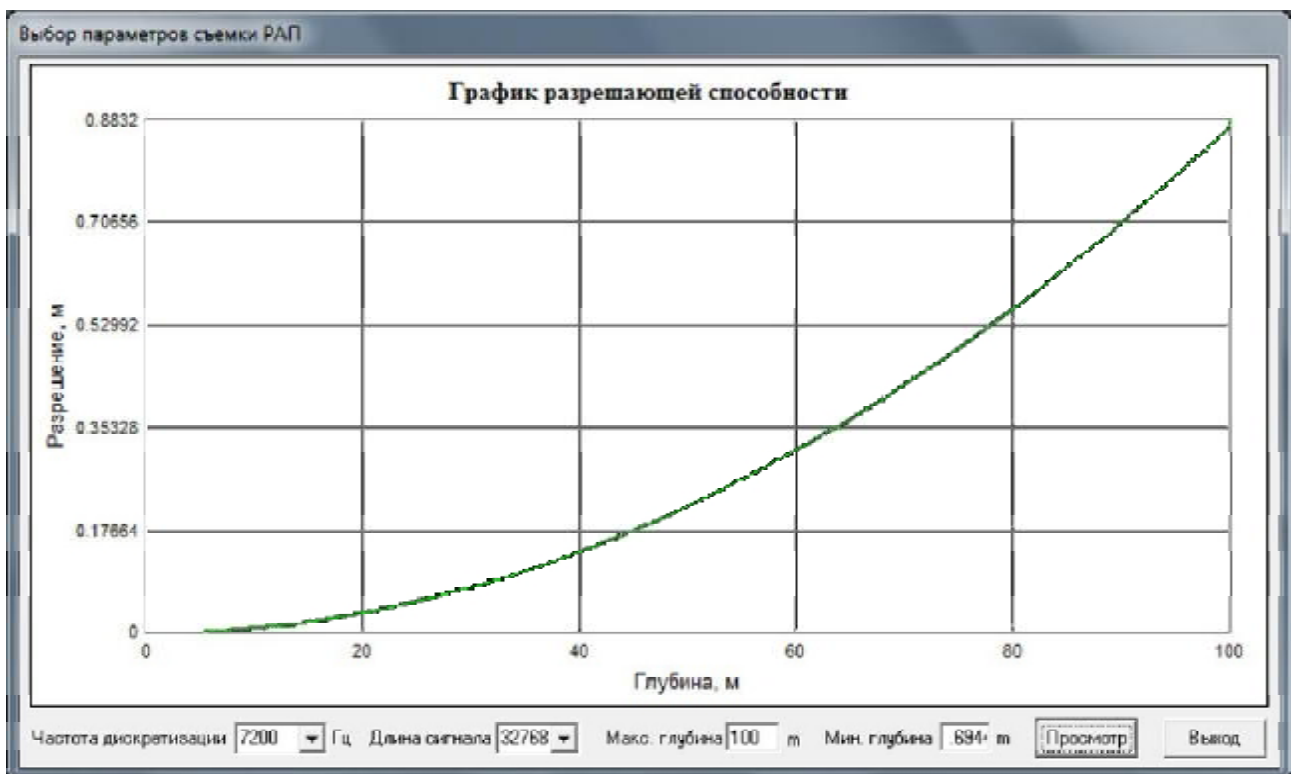
Аномалия 2 — ярко выраженная поверхность ослабленного механического контакта вследствие резкого изменения амплитуды спектров акустических сигналов. К ней можно отнести границу контакта пород различного литологического состава.

Аномалия 3 — поверхность ослабленного геомеханического контакта, отличающаяся максимальными значениями спектров акустических сигналов. Она соответствует первому, наиболее обводненному в пределах вычисленных глубин, водонасыщенному горизонту и прослеживается по всей длине профиля наблюдений.

Аномалия 4 — локальные повышения амплитуд спектров акустических сигналов. Это локальные зоны и участки повышенного расслоения пород разреза, вероятнее всего, соответствующие сильно обводненным зонам.



а



б

Рис. 4. Разрешающая способность метода РАП при частоте дискретизации 3600 (а) и 7200 Гц (б)

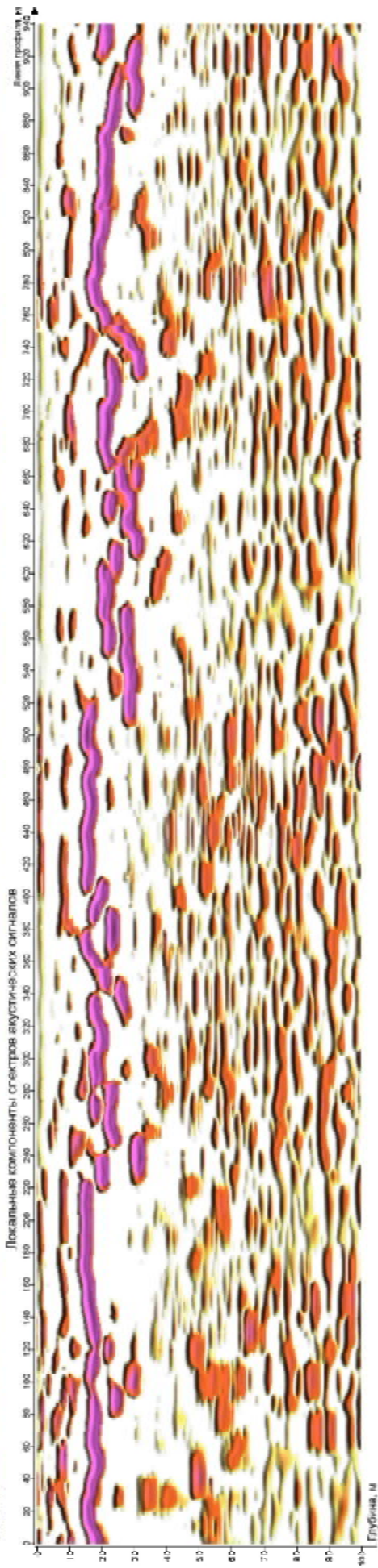
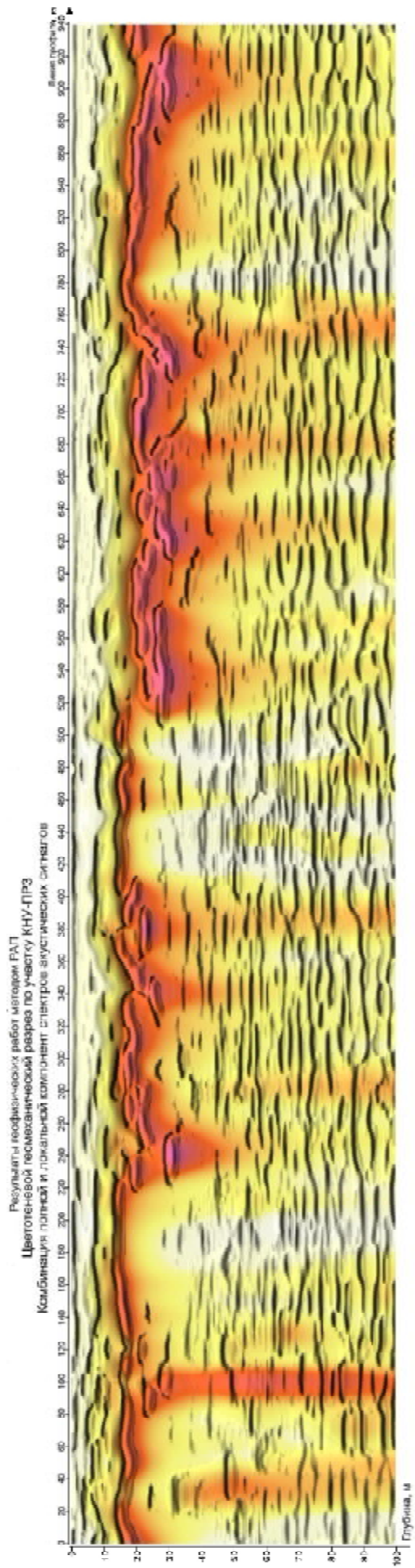


Рис. 5. Первичный геомеханический разрез по профилю проведенных работ

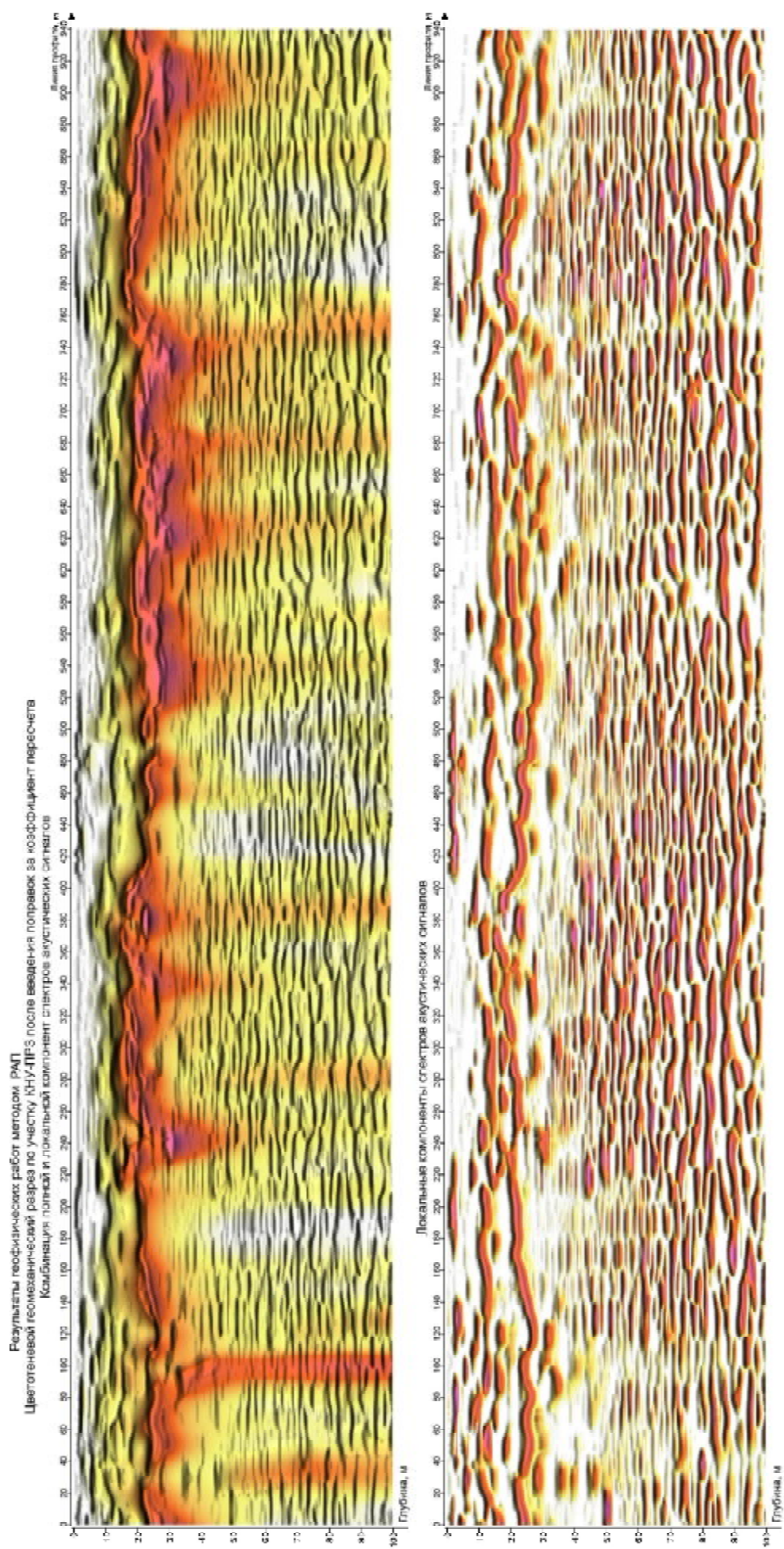


Рис. 6. Геомеханический разрез после переработки данных и внесения поправок

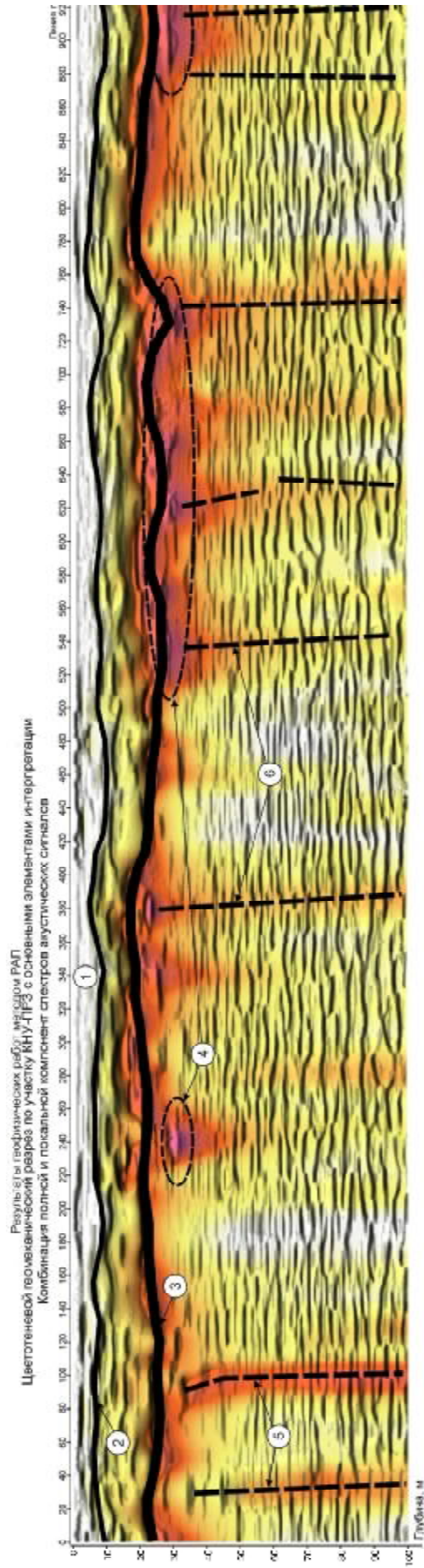


Рис. 7. Геомеханический разрез после интерпретации

Аномалия 5 – субвертикальные зоны повышенного расслоения пород разреза. Отличаются также повышенными значениями спектров акустических сигналов, что указывает на их обводнение. Соответствуют обводненным зонам тектонических нарушений.

Аномалия 6 – зоны, аналогичные зонам аномалии 5. Это зоны повышенного расслоения пород разреза, однако не имеют повышенных значений интенсивностей спектров акустических сигналов. Соответствуют малообводненным зонам, тектоническим нарушениям.

По результатам интерпретации данных профиля, пройденного до инженерного объекта – строящейся станции метро “Теремки”, мощность рыхлых четвертичных отложений достаточно выдержана по всей длине профиля и составляет от 8 до 13–14 м. Глубина залегания водонасыщенного горизонта 18–27 м от поверхности наблюдений. Водонасыщенный горизонт достаточно выдержан по мощности и водонасыщению, но в его пределах можно выделить несколько локальных аномальных участков, которые характеризуются повышенными значениями спектров акустических сигналов и, следовательно, повышенным водонасыщением. От начала линии профиля наблюдений участки расположены на расстояниях: 220–250 м – глубина 31 м от поверхности наблюдений; 500–750 м – глубина 28 м от поверхности наблюдений; 880–930 м – глубина 29 м от поверхности наблюдений.

В пределах линии профиля наблюдений выделяются множественные субвертикальные зоны повышенного расслоения (разуплотнения), которые могут соответствовать зонам тектонических нарушений. Некоторые из них сопряжены с локальными зонами обводнения, расположенными в верхней части разреза. Данные зоны, выделяющиеся в районе 30 и 90 м от начала линии профиля наблюдений (глубина от 35 м), отличаются повышенным водонасыщением, что может создавать проблему при проходке тоннеля метрополитена.

По линии профиля в районе строительства станции “Теремки” мощность рыхлых четвертичных отложений составляет от 6 до 9 м. Основная зона водонасыщения расположена на глубине 12–21 м от поверхности наблюдений и достаточно выдержана по всей линии профиля. Небольшое увеличение ее мощности (обводнения) отмечается в районе 90–160 м от начала линии профиля.

В районе 70 (глубина 53 м) и 90 м от начала линии профиля (глубина 66 м), а также 180–190 м (глубина 26 м) выделяются локальные участки водонасыщения. Более обширная зона водонасыщения фиксируется в районе 140–190 м, начиная с глубины около 65 м от поверхности наблюдений. Эта зона сопряжена с субвертикальной зоной повышенного расслоения (разуплотнения) пород, также существенно обводненной. Данная зона может представлять проблему при строительстве станции. Подобная субвертикальная зона, но гораздо менее обводненная, выделяется в районе 110 м.

Выводы. При постройке и эксплуатации любого инженерного объекта необходимо иметь как можно больше информации о геологическом разрезе, особенно при строительстве таких сложных инженерных объектов, как станции и тоннели метрополитена. По результатам геофизических исследований методом РАП на участке вдоль прокладки туннеля метрополитена между станциями “Ипподром”–“Теремки” были выявлены зоны тектонических нарушений, водопритоков, обводнений, которые влияют на проходку туннелей и постоянно будут влиять как на туннель, так и на объекты и сооружения, которые находятся вблизи этих зон. Рекомендуется детальное исследование всех описанных выше аномалий, выделенных в результате проведения геофизических работ методом РАП. Предлагается не только проводить исследования методом РАП на уже существующих инженерных объектах, но и закладывать такие работы еще на стадии их проектирования.

1. *Физика и практика спектральной сейсморазведки* [Электрон. ресурс] / Гликман А.Г. – Режим доступа: <http://newgeophys.spb.ru/ru/book/index.shtml>.
2. *Спектральная сейсморазведка – истоки и следствия* [Электрон. ресурс] / Гликман А.Г. – Режим доступа: <http://www.newgeophys.spb.ru/ru/book2>.
3. *Зуйков И.В.* Применение метода резонансно-акустического профилирования при проведении инженерно-геологических изысканий / Зуйков И.В., Бединов В.В. // Инж. изыскания. – 2011. – № 11 – С. 52–58.
4. *Зуйков И.В.* Применение метода резонансно-акустического профилирования для изучения оползневых процессов / Материалы II Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию ПГСГА. – Самара, 2011. – С. 201–207.
5. *Pat. 6199016 B1 US Pat. Resonance acoustical profiling system and methods of using same / Zuykov I.V.;* March 6, 2001.

ООО “Аль Терра”, Брянск, Российская Федерация

Поступила в редакцию 01.11.2012 г.

Киевский национальный университет
имени Тараса Шевченко, Киев, Украина,
E-mail: daniloff@lan.com.ua

I. В. Зуйков, О. В. Данилов

**ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ РЕЗОНАНСНО-АКУСТИЧНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ
ДЛЯ КАРТУВАННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО РОЗРІЗУ В РАЙОНІ ПРОКЛАДКИ ТУНЕЛЮ МЕТРОПОЛІТЕНУ
В М. КИЄВІ**

Наведено результати робіт методом резонансно-акустичного профілювання на ділянці вздовж прокладки тунелю метрополітену між станціями “Іподром”–“Теремки”. За результатами досліджень виявлено небезпечні для досліджуваного об’єкта зони тектонічних порушень, водоприпливів, обводнення, що впливають на проходку тунелів і будівництво інших споруд.

Ключові слова: резонансно-акустичне профілювання, тунель, метро, зони тектонічних порушень, обводнення, інженерна геофізика.

I. V. Zuykov, A. V. Danilov

**RESONANCE ACOUSTIC PROFILING TO DETECT ANOMALIES AND TECTONIC FAULTS MAPPING
IN THE AREA OF UNDERGROUND TUNNEL, KIEV**

The paper presents the results of the resonance acoustic profiling method along the underground tunnel between stations “Ippodrom”–“Teremki”. According to the research there was identified a number of risks for the studied object, tectonic fault zones, areas of water inflow, flooding, which affect tunnels driving and facilities that are under construction.

Keywords: resonance acoustic profiling, tunnel, underground, tectonic fault zones, flooding, engineering geophysics.