

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ПРОЕКТ НОВОЙ РОССИЙСКОЙ
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ
(ЧАСТЬ II)

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

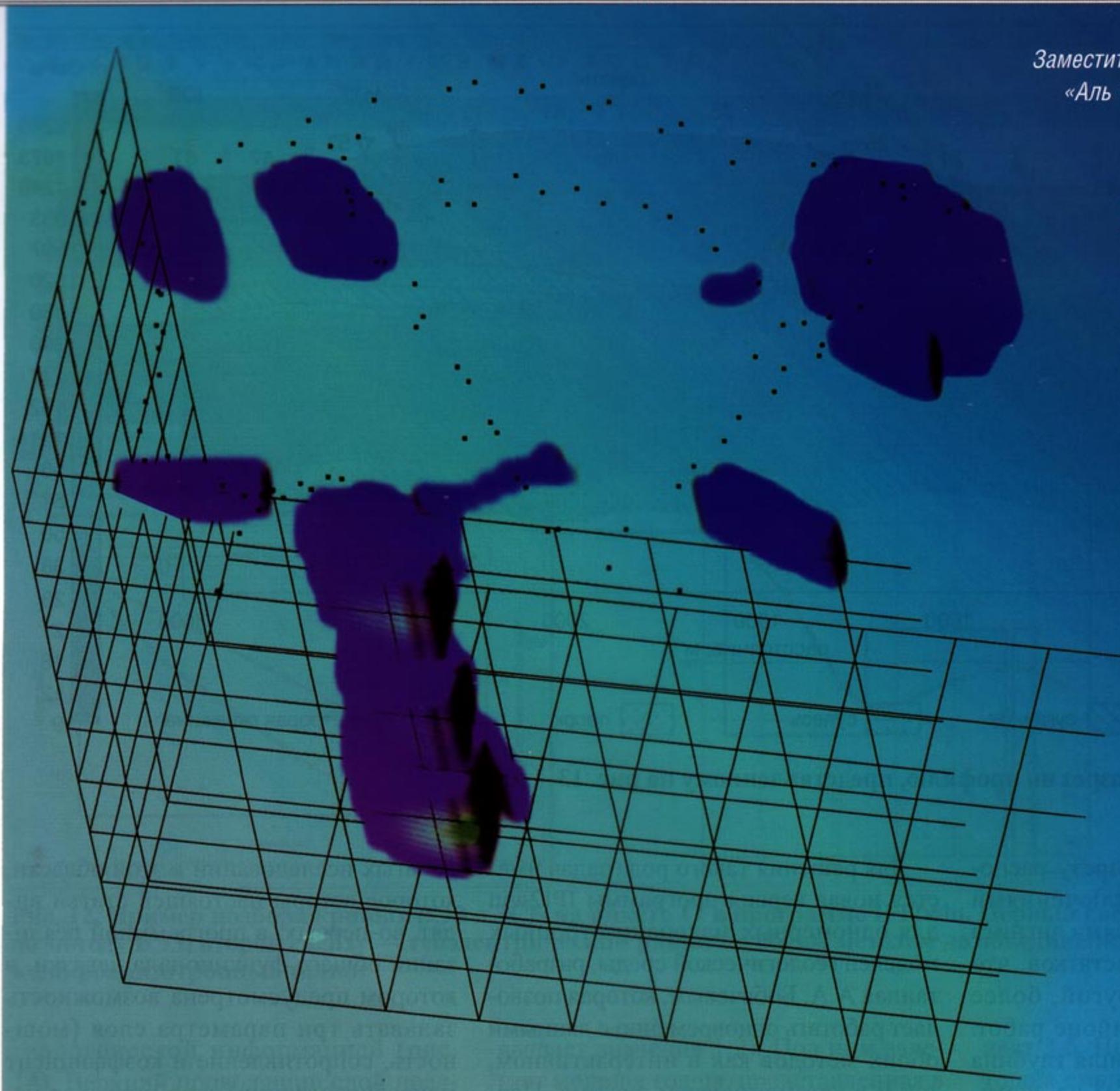
Инженерная геофизика – 2011

Практика применения
электротомографии на акваториях

Выявление зон инженерно-геодинамического
риска по данным геофизических исследований

О комплексировании методов ВЗЗ и ЗСБ

Повышение производительности
многоволновой сейсморазведки

**ЗУЙКОВ И.В.**

Заместитель директора по науке ООО

«Аль Терра», Московская область,

rapusa@aport.ru,

alterra@geoacoustic.com

БЕДИНОВ В.В.

Директор ООО «Аль Терра»,

Московская область,

terravlad@rambler.ru,

alterra@geoacoustic.com

ZUYKOV I.V.The deputy science director
of the «Al Terra» Ltd.,
Moscow Region,

rapusa@aport.ru,

alterra@geoacoustic.com

BEDINOV V.V.The director of the «Al Terra»
Ltd., Moscow Region,

terravlad@rambler.ru,

alterra@geoacoustic.com

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕЗОНАНСНО-АКУСТИЧЕСКОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

USING RESONANCE-ACOUSTIC PROFILING (RAP) METHOD FOR ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Ключевые слова: резонансно-акустическое профилирование (РАП); зона тектонического нарушения; зона повышенного обводнения; карст; механическая прочность; ослабленный механический контакт; геомеханический разрез.

Аннотация: в статье кратко рассматриваются теоретические основы, возможности и примеры применения метода резонансно-акустического профилирования (РАП) для решения задач инженерно-геологических изысканий. Приводятся примеры его использования при картировании зон тектонических нарушений и карстообразования, а также при изучении гидрогеологии участков изысканий.

Введение

В последнее время при проведении геофизических исследований все чаще возникают ситуации, когда стандартные, традиционно используемые методы не позволяют эффективно решить все поставленные задачи. Это связано со многими причинами как техногенного (например, с высоким

Key words: resonance-acoustic profiling (RAP); tectonic disturbance zone; heightened watering zone; karst; mechanical strength; weakened mechanical contact; geomechanical cross-section.

Abstract: the article briefly overviews the theory and possibilities of using the resonance-acoustic profiling (RAP) method for engineering-geological surveys. The authors presents some examples of applying the method for mapping tectonic disturbance and karst zones and also for studying hydrogeology of survey sites.

уровнем вибрационных и электромагнитных помех), так и геологического характера. В связи с этим возрастает актуальность применения нестандартных методов и методик, позволяющих если не решить, то увеличить эффективность решения большинства прикладных геофизических задач. Одним из таких методов, активно применяе-

мых в последнее время различными изыскательскими организациями как в России, так и в странах СНГ, является метод резонансно-акустического профилирования (РАП). Целью данной статьи является ознакомление специалистов с возможностями метода для решения различных задач инженерных изысканий, последними ре-

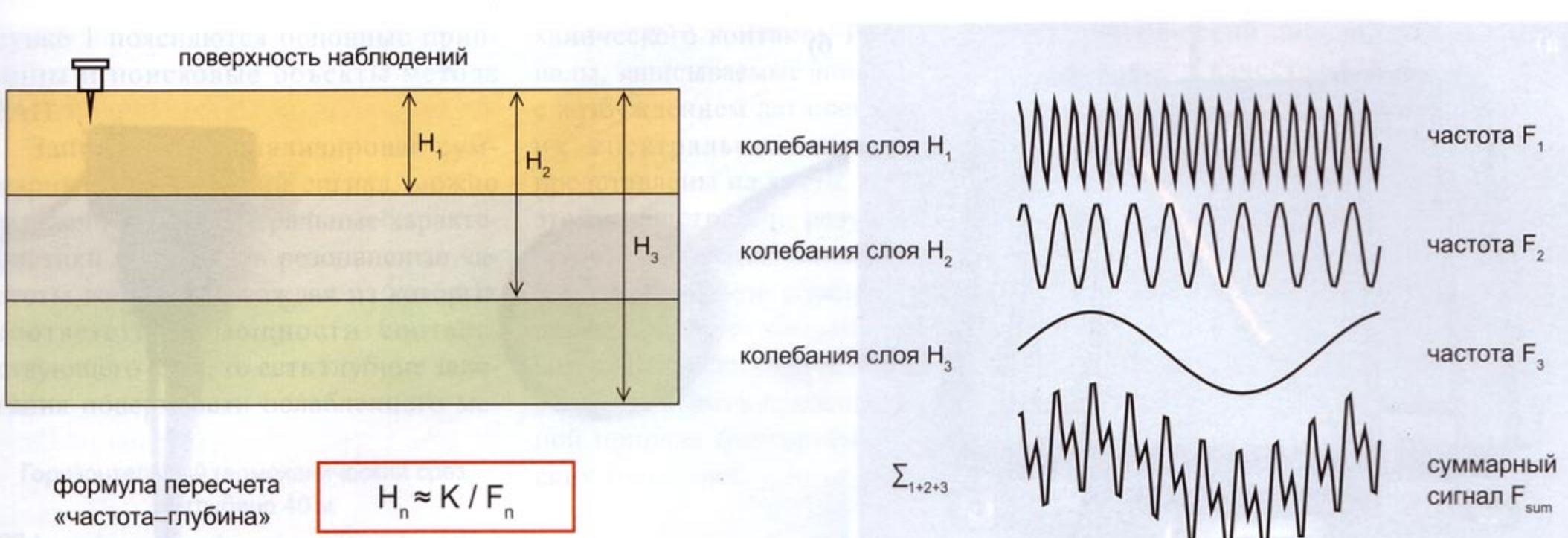


Рис. 1. Основные положения метода резонансно-акустического профилирования

зультатами работ по различным объектам. Надеемся, что это позволит расширить области применения метода, сократить время проведения и повысить эффективность инженерных изысканий в целом.

Метод резонансно-акустического профилирования относится к категории геофизических методов, изучающих и использующих для получения информации естественные физические поля [4]. Это ставит его в разряд методов с небольшой себестоимостью, так как позволяет обходиться без громоздких источников возбуждения. Частотный диапазон изучаемых им акустических сигналов — от долей до десятков тысяч герц.

Теоретические основы метода РАП

Метод РАП [2–4] использует для получения информации естественное акустическое поле Земли, а именно поле акустического резонанса, возникающее в толщах горных пород под влиянием различных внешних факторов. Этими факторами являются источники сейсмической активности земной коры, механические колебания, возникающие в результате напряжений земной толщи, движения планет и многое другое. Под их влиянием в слоистой толще возникают поперечные упругие колебания. Такие колебания могут происходить только в телах, в которых возможны упругие деформации сдвига.

Существование поперечных поверхностных волн является следствием взаимодействия продольных и (или) поперечных упругих волн при их отражении от плоских границ между различными средами. Такими границами могут быть поверхности ослабленного механического контакта [1] между средами, обусловленные:

- резкой сменой литотипов пород изучаемого разреза;
- прослойми различного генезиса (углистыми, глинистыми и т.п.);
- перерывами в осадконакоплении;
- интрузивными и экструзивными контактами;
- тектоническими нарушениями.

Чем слабее контакт, тем больше возможность взаимного перемещения соседних слоев и, следовательно, больше амплитуда возникающих собственных колебаний. В результате поверхностные волны локализуют энергию возмущений, созданных на поверхности, в сравнительно узком слое. Именно это

свойство поверхностных волн приводит к резонансным явлениям. В случае «границы между твердым телом и жидкостью» возникает незатухающая поверхностная волна, которая характеризуется повышением амплитуды колебаний. Возможно искусственное усиление амплитуды принимаемых собственных колебаний, то есть приведение акустического датчика в состояние резонанса путем его механического возбуждения (при этом мощность источника возбуждения не имеет особого значения — как правило, здесь достаточно обыкновенного молотка).

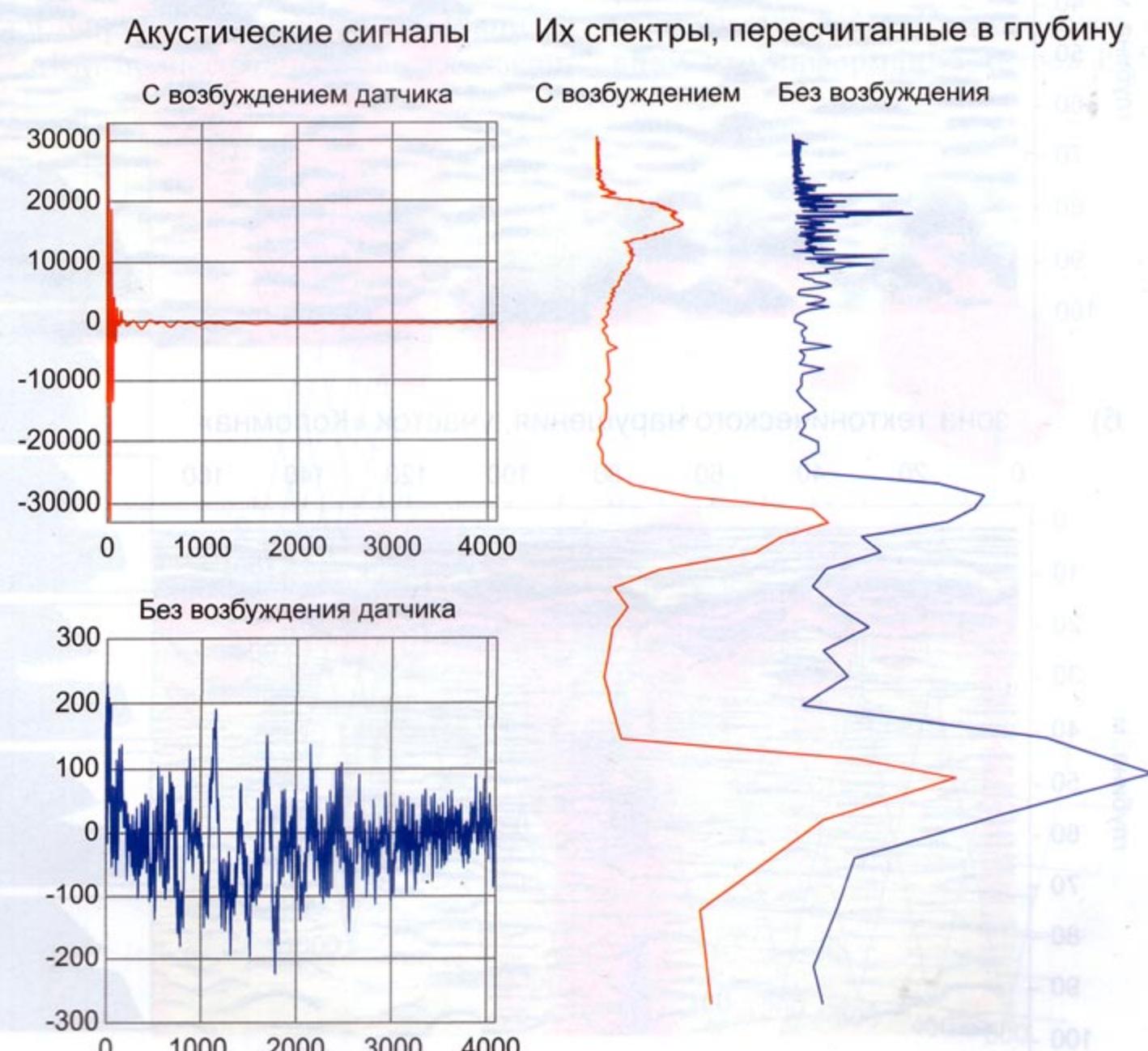


Рис. 2. Результаты сравнения РАП-сигнала с возбуждением и без возбуждения датчика

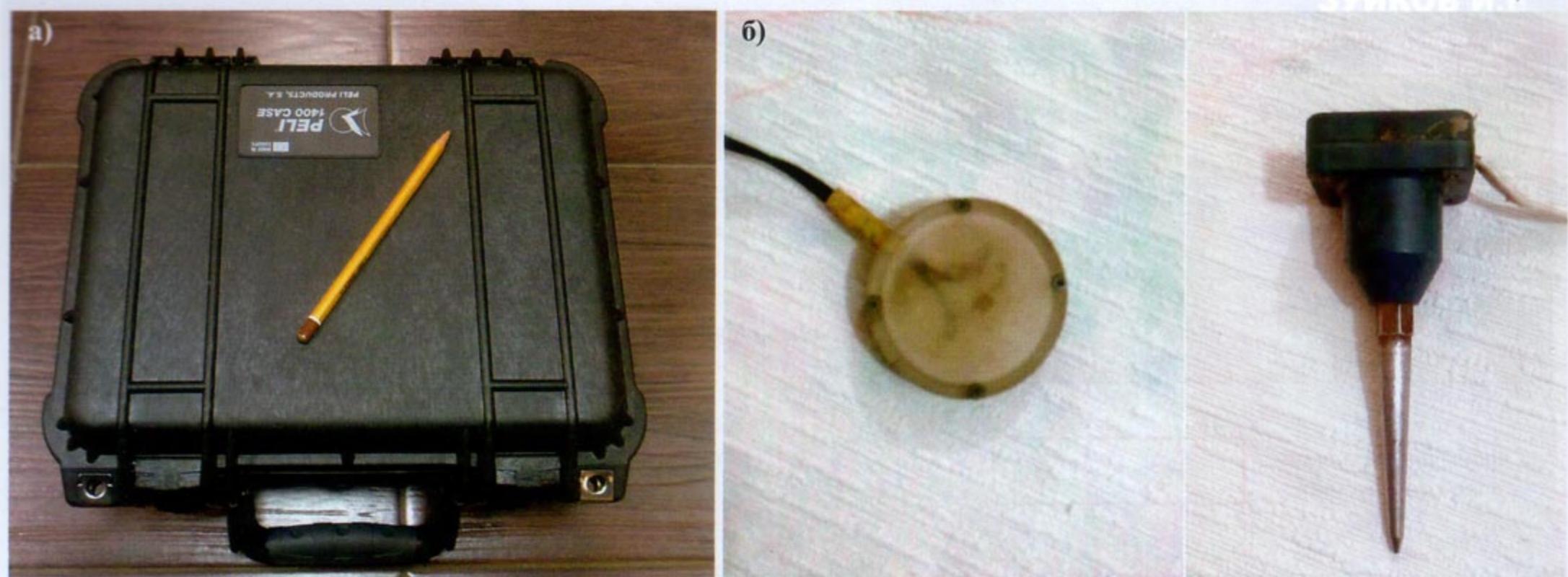


Рис. 3. Блок регистрации РАП-4 (а) и акустоэлектрические преобразователи (б), используемые для выполнения работ методом РАП

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 которым понимается толщина горных пород, находящаяся между поверхностью наблюдений и поверхностью «ослабленного механического контакта» (ОМК) [1]. На ри-

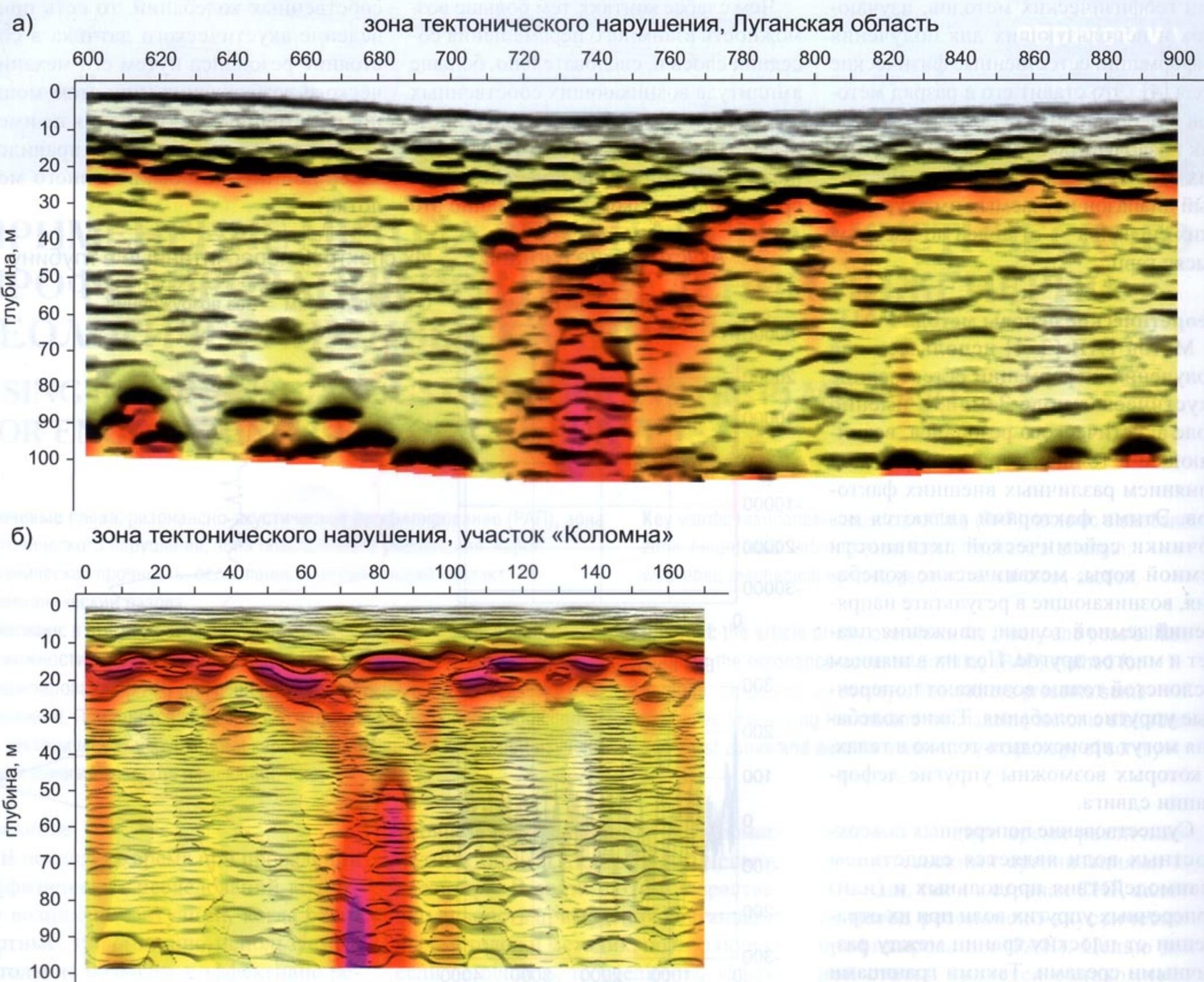


Рис. 4. Примеры применения метода РАП для картирования зон тектонических нарушений

сунке 1 поясняются 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, то есть глубине залегания поверхности ослабленного ме-

ханического контакта. Реальные сигналы, записываемые аппаратурой РАП с возбуждением датчика и без него, и их спектральные характеристики представлены на рис. 2. Как видно из этой иллюстрации, результаты измерений (положения основных выделяемых экстремумов спектра) практически не зависят от того, использовалось возбуждение датчика или нет. Это позволяет говорить именно о естественной природе фиксируемых акустических колебаний.

Аппаратура метода РАП и методика выполнения работ

Метод РАП разрабатывается и применяется для решения самых различных геологических задач с 1995 года. За это время разработано и внедрено в производство несколько модификаций аппаратуры. В настоящее время используется аппаратурный комплекс РАП-4 (рис. 3), который состоит из блока регистрации (рис. 3, а), датчиков акустических сигналов и аккумулятора. Блок регистрации представляет собой высокоточный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) с разрешением 16 бит, включающий в себя также инструментальный малошумящий предварительный усилитель, твердотельную энергонезависимую память, клавиатуру для выбора параметров записываемых сигналов и управления процессом записи, ARM-процессор, а также жидкокристаллический экран для отображения информации о работе. Работа оператора

сталлический дисплей для контроля и оценки качества записи акустических сигналов. Дисплей имеет опции подсветки и подогрева для работы в сложных условиях. Для работы используются два типа датчиков для разных условий наблюдений (см. рис. 3, б). Первый предназначен для работы по твердым поверхностям наблюдений (твердый, мерзлый грунт, асфальт, бетон и т.д.), второй — по мягким.

Полевые наблюдения методом РАП выполняются, как правило, по предварительно разбитой сети наблюдений — по профилю или их серии. В отдельных случаях, при шаге наблюдений более 15–20 м, возможно прохождение профилей с GPS-навигатором. Оператор (в случае использования аппаратуры РАП-2 — РАП-4 возможно выполнение работ одним оператором) устанавливает датчик в точке наблюдений, записывает акустический сигнал и переходит на следующую точку. Для решения инженерных задач время наблюдения в каждой точке не превышает 30–60 с. По завершении работ записанные данные загружаются в компьютер для последующей обработки. Результатом является построение геомеханического разреза по пройденному профилю. При отработке площади

серий профилей возможно построение трехмерной геомеханической модели участка работ.

Следует иметь в виду, что информация метода РАП

Горизонтальный геомеханический срез по глубине 40 м

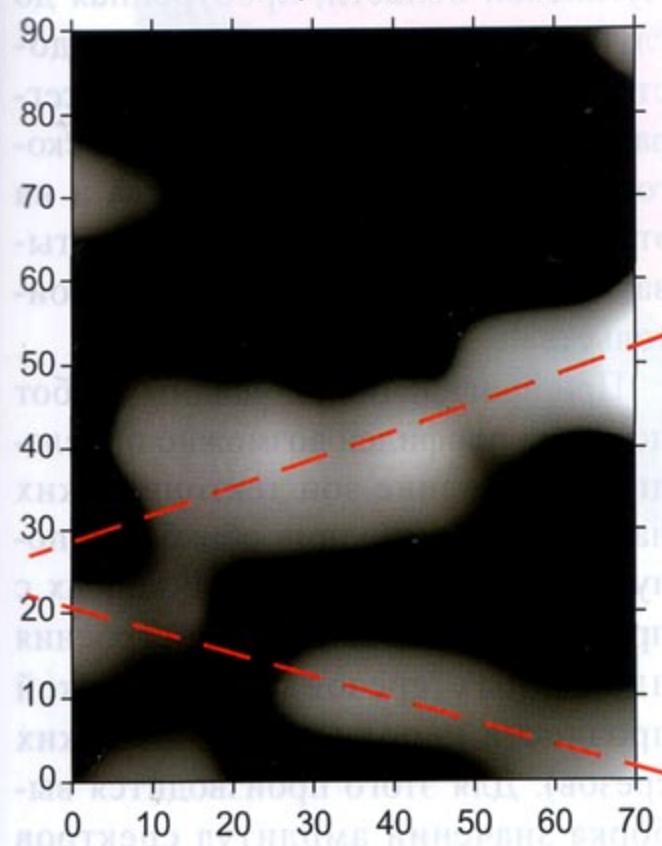


Рис. 5. Выделение (картирование) зон тектонических нарушений по горизонтальному геомеханическому срезу по глубине 40 м на участке «Карамышевская набережная», г. Москва

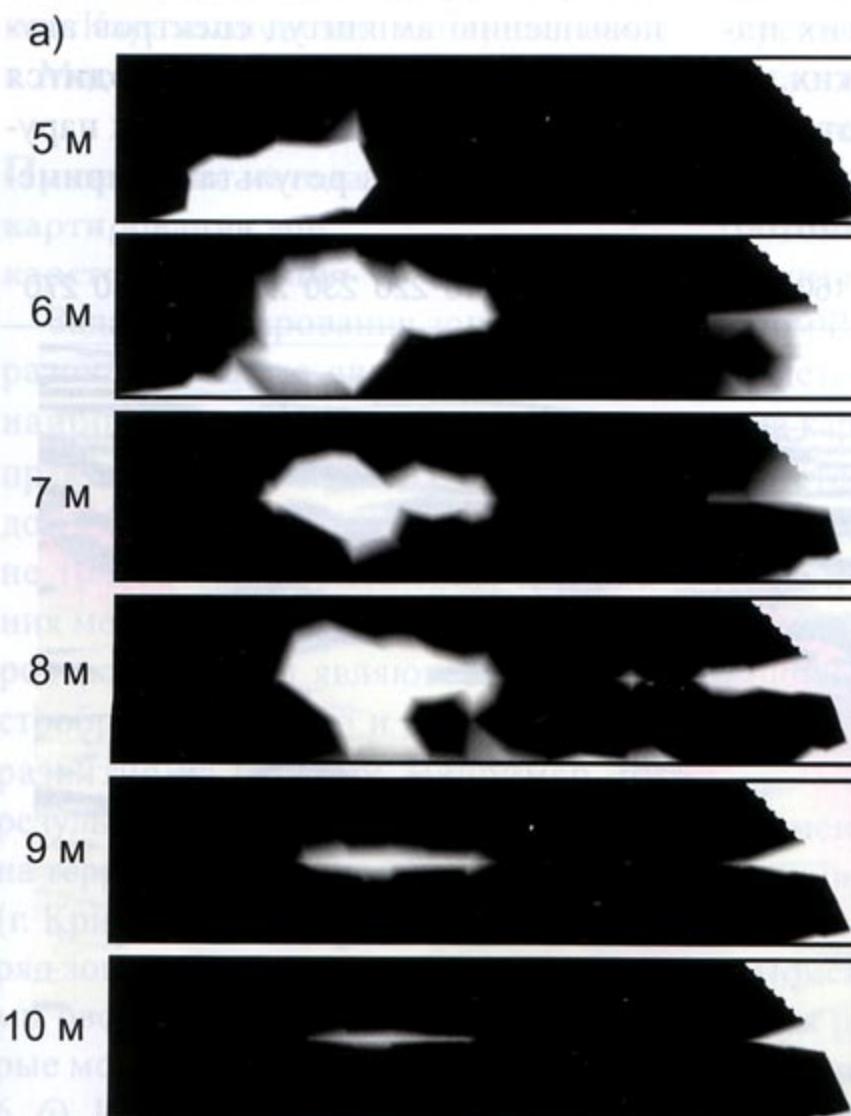


Рис. 6. Картирование зон карстообразования и ухудшения механических свойств горных пород при проведении площадных геофизических работ методом РАП двумя способами: а — построения горизонтальных срезов механической прочности; б — трехмерной визуализации

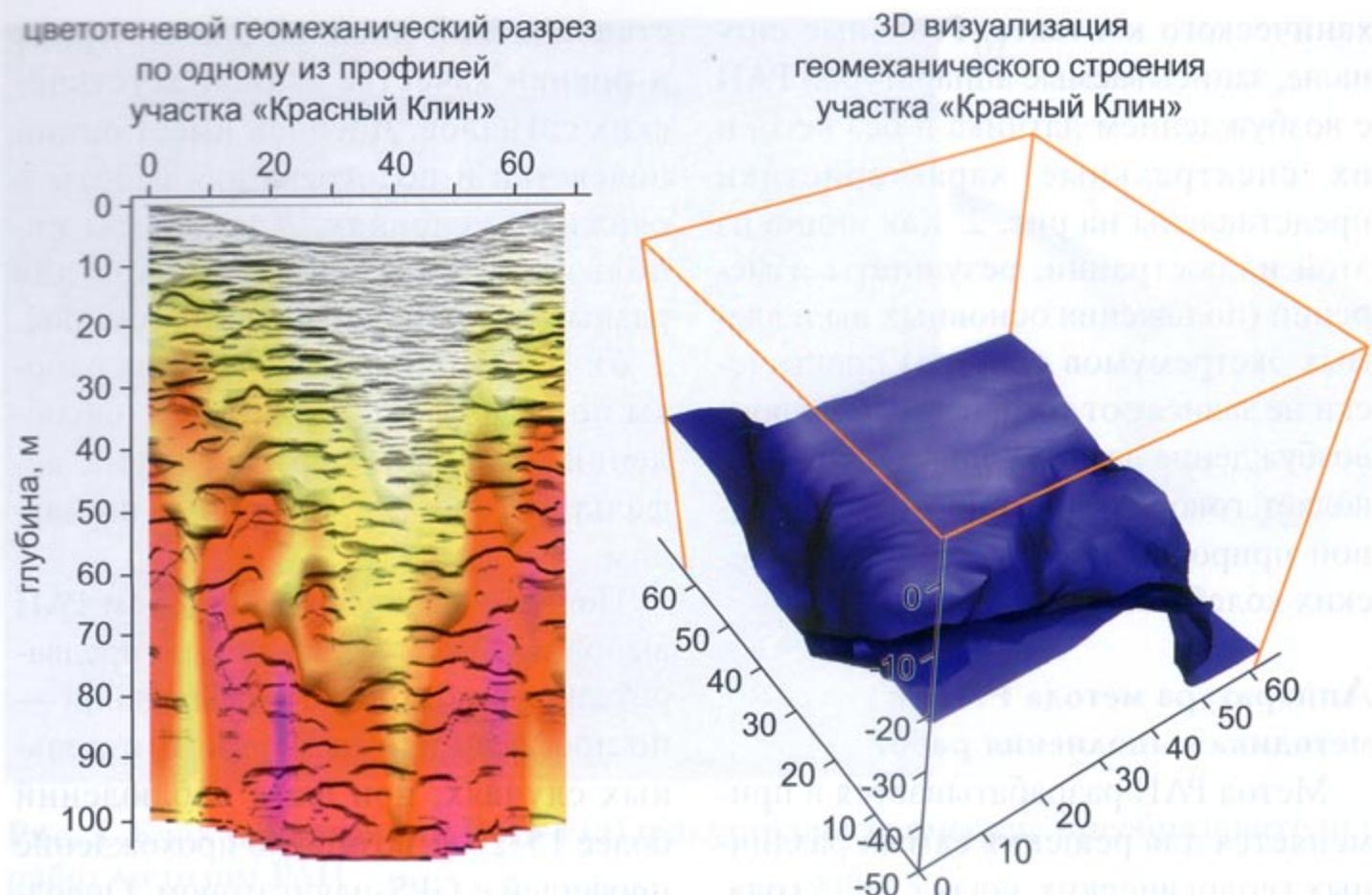


Рис. 7. Результаты геофизических работ методом РАП по участку «Красный Клин»

имеет точечный характер (только в тех точках, где расположен датчик наблюдений), в связи с чем для получения необходимого результата выбор правильного шага наблюдений является одним из важнейших пунктов методики работ.

Как было отмечено выше, основными поисковыми объектами для метода РАП являются поверхности ослабленного механического контакта, то есть зоны понижения величин механических параметров пород. Исходя из этого, метод РАП может успешно применяться для выделения зон их повышенных трещиноватости и обводнения, тектонических нарушений, карстообразования, контрастных механи-

ческих поверхностей контакта пород и многое другое [2, 3].

Применение метода РАП для картирования зон тектонических нарушений

Зоны тектонических нарушений являются поисковыми объектами при решении многих задач, таких как поиск источников водоснабжения, изучение геологического строения площадки под застройку и др. На рисунке 4 представлены примеры решения этих задач в различных районах России и СНГ. Как видно из этих иллюстраций, зоны тектонических нарушений уверенно выделяются на цветотеневых геомеханических раз-

резах повышенными амплитудами спектров акустических сигналов. Если задачей работ является поиск оптимального места заложения водозаборной скважины, то по участку «Коломна» на первый взгляд достаточно бурения скважины до первого водоносного горизонта, расположенного на глубинах от 18 до 20 м по всей линии профиля. Однако вряд ли дебит этой скважины будет достаточным для водоснабжения, особенно в сухое время года. Скважина в Луганской области, пробуренная до глубины 60 м, лишена этого недостатка. Зона разрушения и дезинтеграции пород над зоной тектонического нарушения отчетливо видна и на этом примере, что позволяет учитывать это при проектировании строительства.

При проведении площадных работ по серии профилей возможно проследить положение зон тектонических нарушений, выполнив обработку полученных с помощью РАП данных с применением технологии построения площадных срезов механической прочности пород (геомеханических срезов). Для этого производится выборка значений амплитуд спектров акустических сигналов по необходимой глубине (или их набору), а затем по полученным данным выполняется построение цветотеневой карты изолиний. В соответствии с теорией и практикой метода РАП зоны тектонических нарушений выделяются по повышению амплитуд спектров акустических сигналов (производится трассировка зон тектонических нарушений). Один из результатов приме-

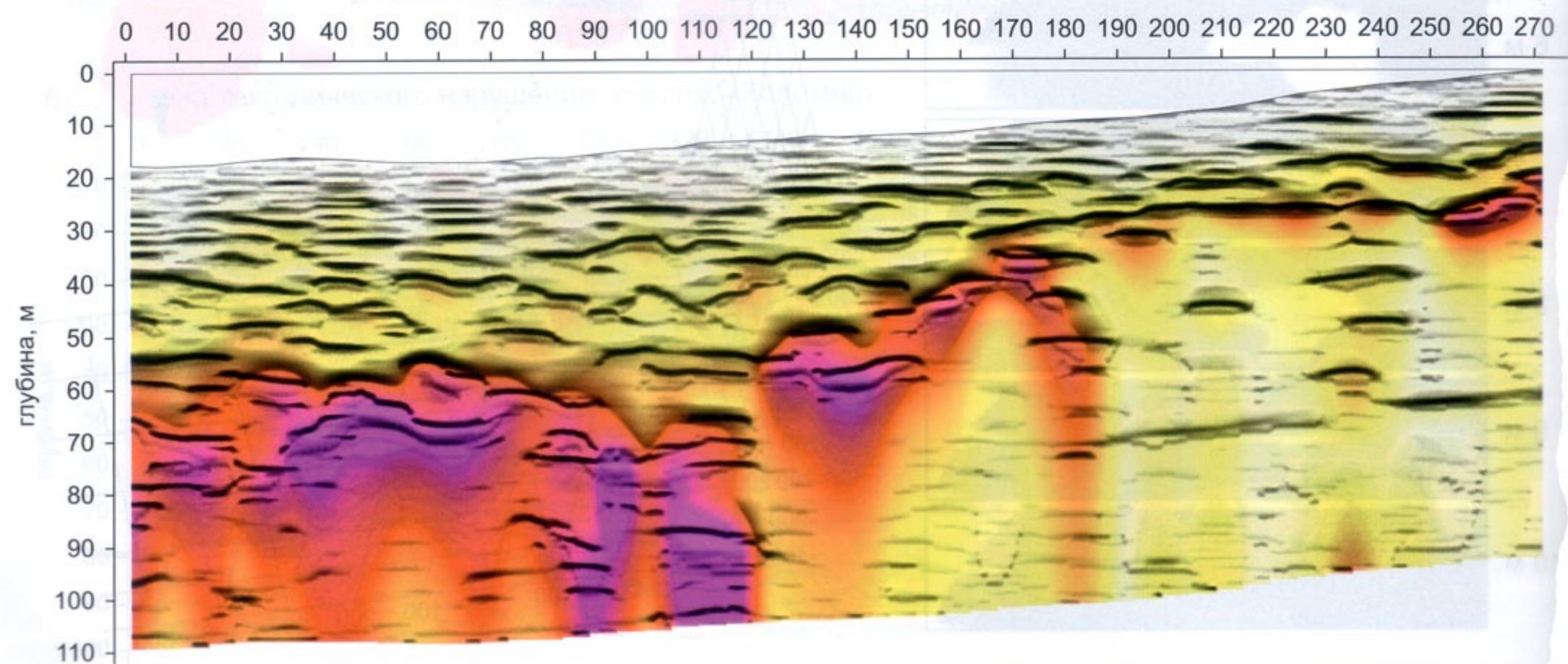


Рис. 8. Выделение зоны повышенной трещиноватости, обводнения (Адыгея)

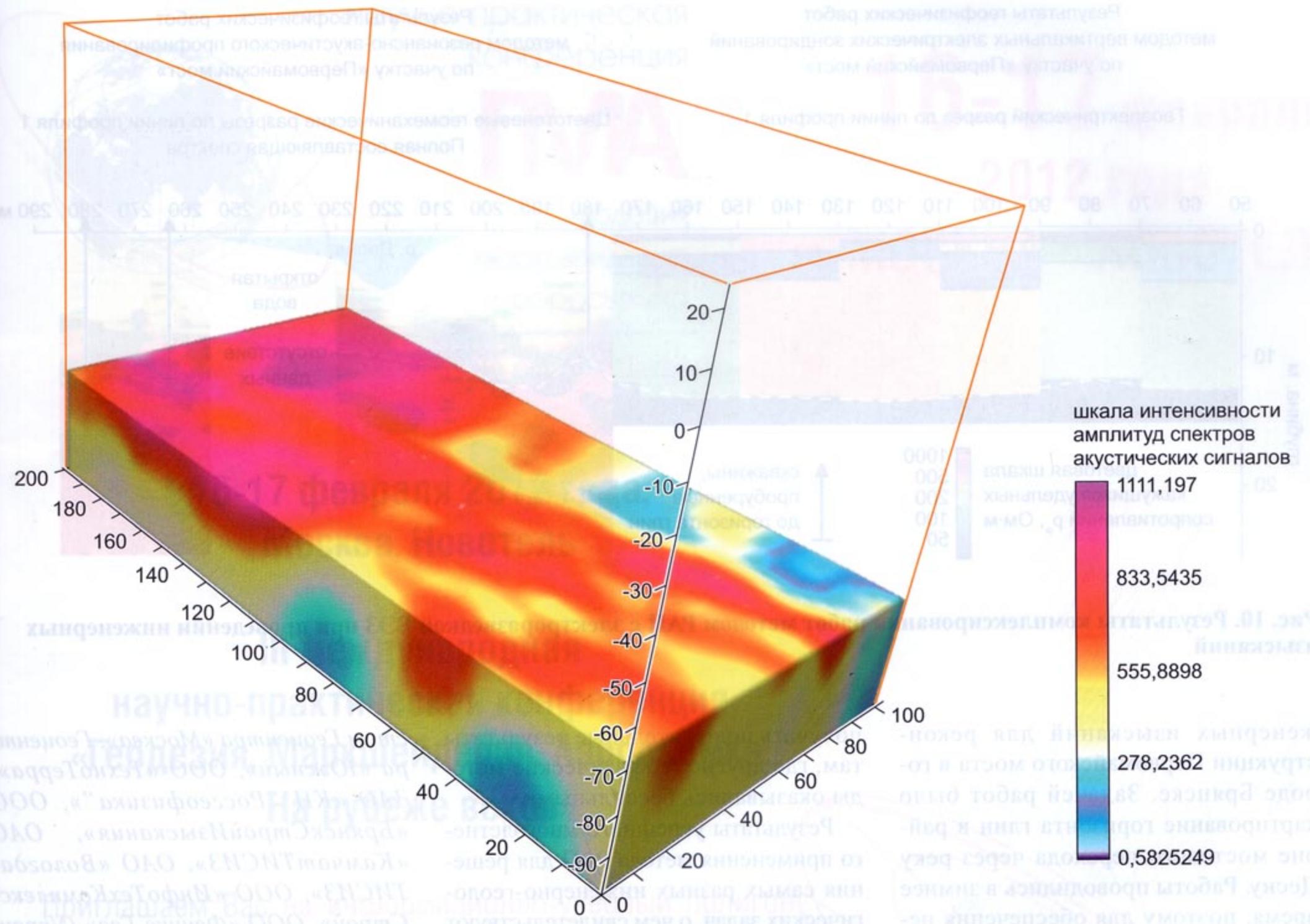


Рис. 9. Трехмерная геомеханическая модель обследованного участка (Адыгея)

и залегающие в них горные породы. Понимание технологии построения площадных срезов механической прочности можно увидеть на примере участка «Карамышевская набережная» в г. Москве (рис. 5).

Применение метода РАП для картирования зон карстообразования

Задача картирования зон карстообразования также является одной из наиболее часто встречающихся в практике геофизических работ методом РАП. Как видно из рис. 6, можно не только оконтурить зоны понижения механических свойств горных пород (каковыми и являются зоны карстообразования), но и проследить их развитие на глубину. Например, по результатам работ в августе 2010 года на территории Первомайского карьера (г. Кривой Рог, Украина) был выделен ряд зон с пониженными механическими свойствами пород разреза, которые могут привести к обвалу (см. рис. 6, б). Именно это и произошло в конце января 2011 года на одном из потенциально аварийных участков, выделенных по результатам РАП.

Опытно-методические работы по картированию карстовой полости были проведены в августе 2011 года в районе деревни Красный Клин в Калужской области. Данный объект интересен тем, что был исследован в том же году специалистами МГУ методами электротомографии, георадиолокации и магниторазведки. Результаты работ методом РАП по данному объекту можно увидеть на рис. 7. Из него видно, что зона карстового провала надежно фиксируется как по вертикальным разрезам механической прочности пород (см. рис. 7, а), так и по результатам 3D визуализации данных РАП по двум взаимно перпендикулярным профилям наблюдений.

Применение метода РАП для изучения гидрогеологических условий участка

Поиск зон повышенного водонасыщения пород разреза является, пожалуй, одной из наиболее востребованных задач, для решения которой привлекаются геофизические методы. Это связано как с поисками источников водоснабжения, так и с изучени-

ем гидрогеологического строения (обводнения) участков будущего строительства. Особенно актуальна эта задача в горных районах, где необходимо искать зоны повышенной трещиноватости (обводнения) в горных породах.

Один из примеров применения метода РАП для поисков источника водоснабжения в горном районе показан на рис. 8. Зона повышенной трещиноватости и обводнения пород выделена в левой части геомеханического разреза на глубинах от 60 м. Возможно, она приурочена к зоне тектонического нарушения, расположенной в районе 100 м от начала линии профиля наблюдений. Построение трехмерной геомеханической модели отработанного участка позволяет не только выделить зоны максимальной трещиноватости и обводнения пород разреза, но и определить направление водотоков (рис. 9).

Применение метода РАП для картирования механически контрастных поверхностей

Ниже приведен пример применения метода РАП при проведении ин-

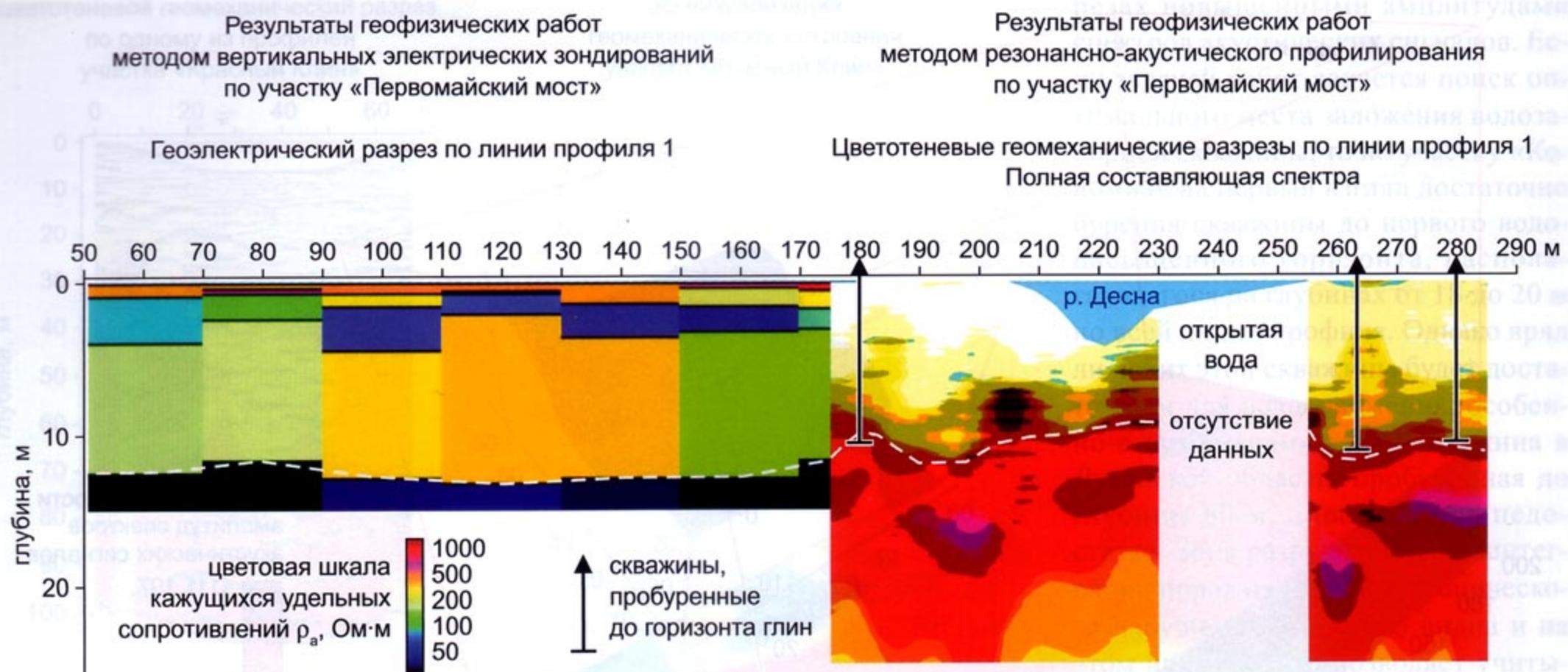


Рис. 10. Результаты комплексирования работ методом РАП с электроразведкой ВЭЗ при проведении инженерных изысканий

жнерных изысканий для реконструкции Первомайского моста в городе Брянске. Задачей работ было картирование горизонта глин в районе мостового перехода через реку Десну. Работы проводились в зимнее время, поэтому для обеспечения непрерывности информации было принято решение для прохождения части профиля применить метод РАП (там, где было невозможно выполнить вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ). Как видно из рис. 10, кровля глинистого горизонта по данным РАП выделяется достаточно четко и коррелирует с данными электроразведки. Данные, полученные при бурении нескольких звеночных скважин, полностью подтвердили результаты РАП.

Выводы

В статье были представлены лишь некоторые типы примеров применения метода РАП при проведении инженерных изысканий. Как показывает многолетний опыт его использования в ООО «Аль Терра» и многих других организациях (в том числе изыскательских), данный метод может применяться, например, для изучения оползневых процессов [2], выявления зон фильтрации в телах плотин и дамб, детализации геологических разрезов при выполнении изысканий на мостовых переходах, выяснения причин возникновения аварийных ситуаций на уже существующих сооружениях и многое другое. В ряде случаев он позволял

получать положительные результаты там, где другие геофизические методы оказывались бессильными.

Результаты успешного многолетнего применения метода РАП для решения самых разных инженерно-геологических задач, о чем свидетельствуют в том числе приведенные в данной статье примеры, позволяют говорить о необходимости его более широкого внедрения в практику инженерно-геофизических изысканий как в качестве самостоятельного метода, так и в комплексе с другими.

Авторы выражают благодарность руководителям и специали-

стам Геоцентра «Москва», Геоцентра «Южный», ООО «ТехноТерра», ЗАО «КЦ «Росгеофизика»», ООО «БрянскСтройИзыскания», ОАО «КамчатТИСИЗ», ОАО «ВологдаТИСИЗ», ООО «ИнфоТехКомплексСтрой», ООО «Феникс-Гео» (Украина) и многих других организаций в России и других странах СНГ и дальнего зарубежья, которые используют метод РАП в своей практике и присыпают в ООО «Аль Терра» свои материалы по новым объектам и направлениям работ, что способствует развитию метода и расширению сферы его применения.

Список литературы

- Гликман А.Г. Метод спектрального сейсморазведочного профилирования // Материалы 2-й Общероссийской конференции изыскательских организаций ОАО «ПНИИИС». М.: ОАО «ПНИИИС», 2007. С. 3–8.
- Зуйков И.В. Применение метода резонансно-акустического профилирования для изучения оползневых процессов // Материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции, посвященной столетию ПГСГА. Самара, 2011. С. 201–207.
- Зуйков И.В. Резонансно-акустическое профилирование / Технология. URL: <http://www.geoacoustic.com/russian.html>.
- Zuykov I.V. Resonance acoustical profiling system and methods of using same / US Patent № 6199016 B1, March 6, 2001.