

УДК 550.83

## АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ КРИВБАССА

Тиркель М. Г., Туманов В. В., Компанец А. И., Тиркель И. М.  
(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

*Негативний вплив гірничовидобувних, гірничозбагачувальних і металургійних підприємств Кривбасу на навколишнє середовище привів до кризової екологічної ситуації в районах їх розташування. Стосовно до цієї проблеми в статті розглядаються технічні і виробничі можливості тих або інших геофізичних методів з урахуванням досвіду УкрНДМІ НАН України і сучасного розвитку геолого-геофізичних технологій.*

*Unfavorable impact of mining companies, mining-and-processing, iron-and-steel integrated works of the Krivoy Rog iron ore basin on environment has resulted in emergency environmental situation in the areas of their location. With regard to this problem, technical and industrial capabilities of some geophysical methods are considered in the paper taking into account experience of UkrNIMI, National Academy of Sciences of Ukraine, and up-to-date development of geologic-geophysical technologies.*

В Криворожском железорудном районе сконцентрировано большое количество крупных инженерных объектов, которые оказывают масштабное негативное воздействие на геологическую среду и ухудшают экологическую ситуацию целого региона. Карьеры и шахты по добыче полезных ископаемых, хвостохранилища, отстойники токсичных отходов производства, породные отвалы по своим размерам соизмеримы с элементами ландшафта и геологической среды, а их воздействие – с геологиче-

скими процессами. Негативные процессы проявляются в деградации ландшафта местности, загрязнении подземных вод, плодородных почв и воздуха, возникновении техногенных землетрясений, оползней и провалов участков земной поверхности над горными выработками, подтоплением огромных территорий загрязненными водами и т.п.

Образование повреждений земной поверхности при сдвиге породной толщи над шахтными выработками во многом зависит от влияющих факторов. Техногенно нагруженная земная поверхность и породный массив всегда испытывают воздействие целого комплекса факторов.

Например, для пластовых угольных месторождений все факторы, способные в той или иной степени повлиять и спровоцировать процесс обрушения, могут быть разделены на следующие основные группы (рис. 1):

1. сопутствующие факторы;
2. провоцирующие факторы;
3. факторы, способствующие сохранению пустот.

Практически всегда процесс провалообразования происходит под воздействием в той или иной степени гидрогеологического фактора. Это изменение гидрогеологии породного массива на малых глубинах за счет естественного водопритока подземных, поверхностных вод и атмосферных осадков, ежегодных сезонных колебаний уровня грунтовых вод (обводнение и осушение).

Поскольку процесс формирования провала в массиве происходит в течение длительного времени, то соответственно и длительное меняющееся воздействие гидрогеологического фактора вносит свои существенные коррективы в этот процесс.

Проведенный детальный анализ имеющихся последних данных о повреждениях земной поверхности, подработанной шахтами Донбасса, позволяет утверждать о преобладающей роли гидрогеологического фактора (около 50 % всех повреждений). Причина образования практически всех провалов заключается в воде и её разрушающем воздействии на породный массив. На малых глубинах по карбону (20 – 50 м) вся подработанная толща находится в зоне обрушения, повышенной трещиноватости и выветривания, что создает условия для интенсивной фильтрации

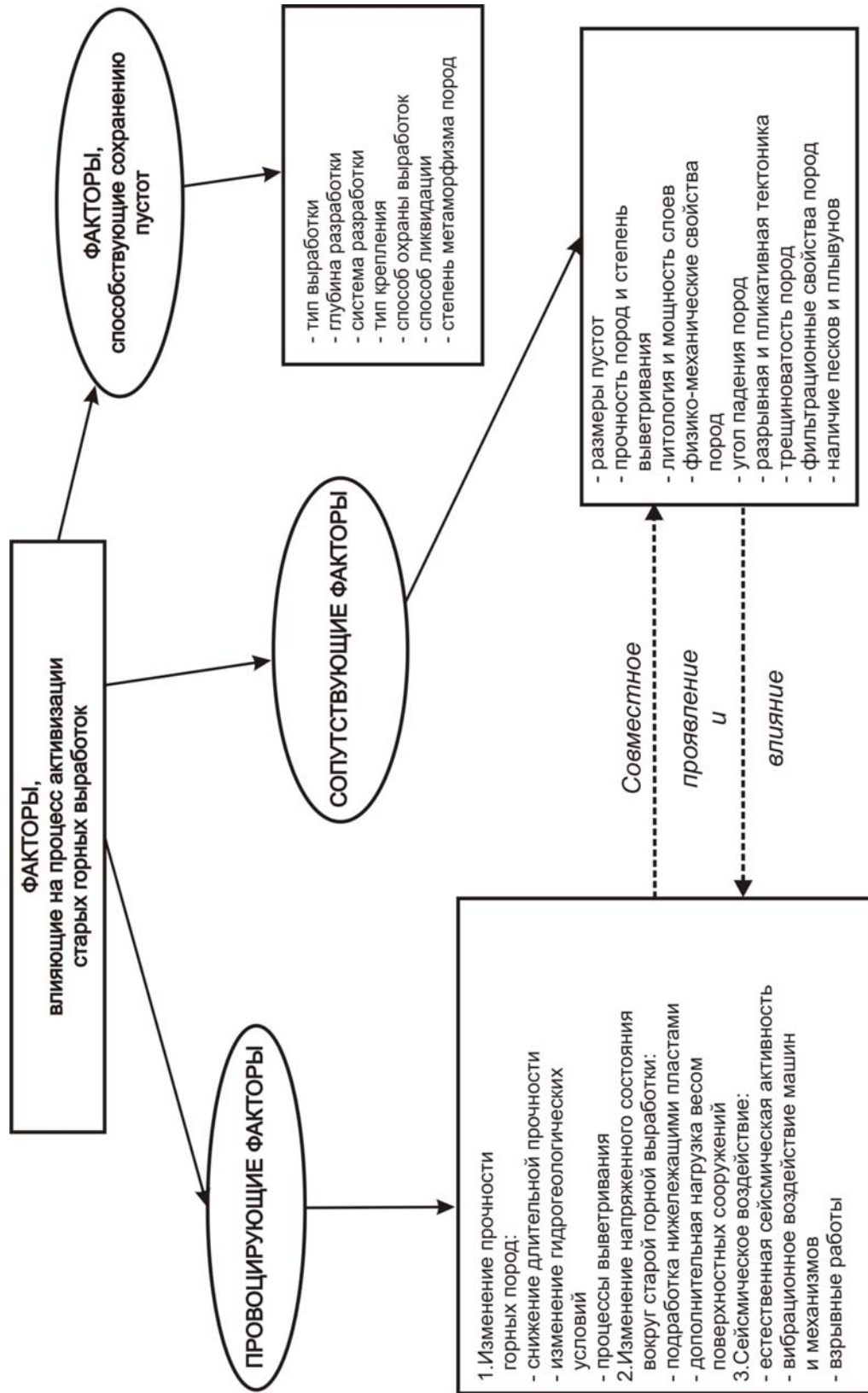


Рис. 1. Факторы, влияющие на процесс активизации породной толщи над старыми горными выработками

в горные выработки как поверхностных, так и вод из деформированных водоносных горизонтов в этой толще.

Одним из провоцирующих факторов, влияющих на процесс провалообразования, является регулярное сейсмическое воздействие на породный массив. Оно может проявляться в виде вибрационных воздействий турбин и механизмов, расположенных как на земной поверхности, так и в горных выработках, проведения взрывных работ и естественной сейсмической активности, характерной для данного горнопромышленного района. Очевидно, что такие сейсмические воздействия приводят к обрушению расслоившихся выветренных пород кровли выработок (пустот), сохранившихся на малых глубинах в приповерхностной зоне карбона с последующим их обрушением и образованием повреждений на земной поверхности.

Техногенное воздействие на земную поверхность и породный массив, определяемое деятельностью человека в природе, непосредственным образом связано с гидрогеологическим и сейсмическим факторами. Такое длительное комплексное воздействие всех факторов приводит к изменению физико-механических свойств пород, залегающих над пустотами массива и их напряжённно-деформированного состояния, образованию зон расслоения, ослабления, повышенной пористости и трещиноватости, что существенно ослабляет массив, и многократно увеличивает вероятность развития провала в этих опасных зонах.

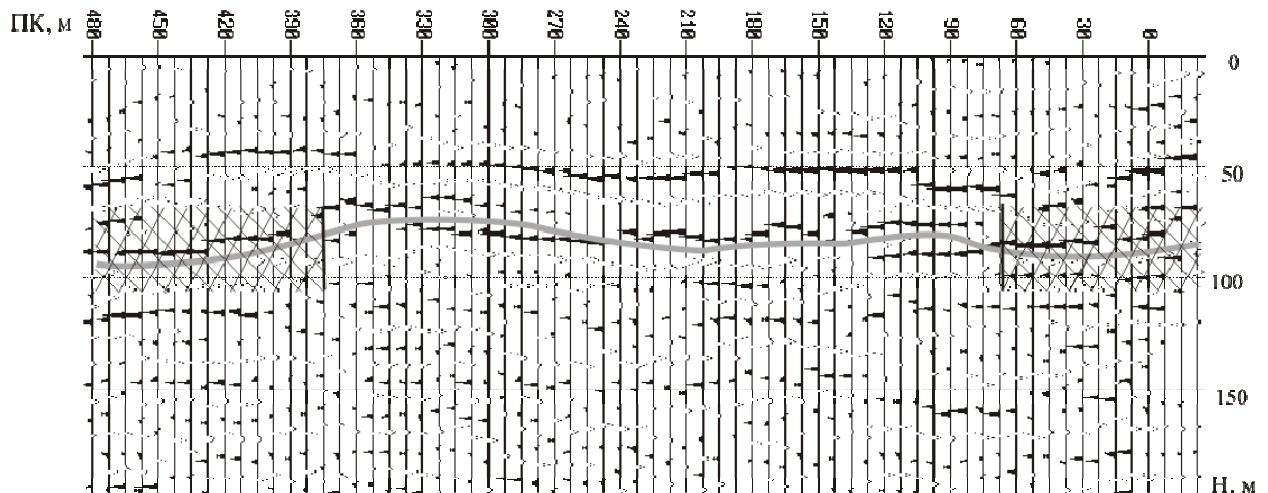
Не вызывает сомнения, что данная проблема должна рассматриваться с точки зрения комплексного подхода к ее решению, учитывающего в том числе результаты различных инструментальных исследований геологической среды, находящейся под воздействием техногенных нагрузок. В последние годы в этом комплексе исследований все большую роль играют геофизические методы. Геофизические методы применяются для решения конкретных задач, связанных с изучением особенностей строения и состояния массивов, закономерностей изменения их важнейших физических характеристик в зависимости от различных природных и техногенных факторов, а также процессов, происходящих в массивах и сооружениях в результате работы производственных предприятий.

В этой связи в статье рассматриваются области применения и характеристики отдельных геофизических методов для изучения опасных природно-техногенных процессов с учетом опыта УкрНИМИ НАН Украины и современного развития геолого-геофизических технологий.

## 1. Сейсмические методы.

### 1.1. Сейсморазведка методом отраженных волн в модификации метода общей глубинной точки (МОГТ).

С помощью МОГТ изучается строение кристаллического фундамента, определяется характер рельефа поверхности коренных пород, (рис. 2) и, что наиболее важно, с высокой степенью достоверности выделяются тектонические нарушения и трещиноватые зоны. Такие зоны зачастую являются источником повышенной обводненности массива осадочных и насыпных пород, что может служить предпосылкой к развитию оползневых процессов [1].

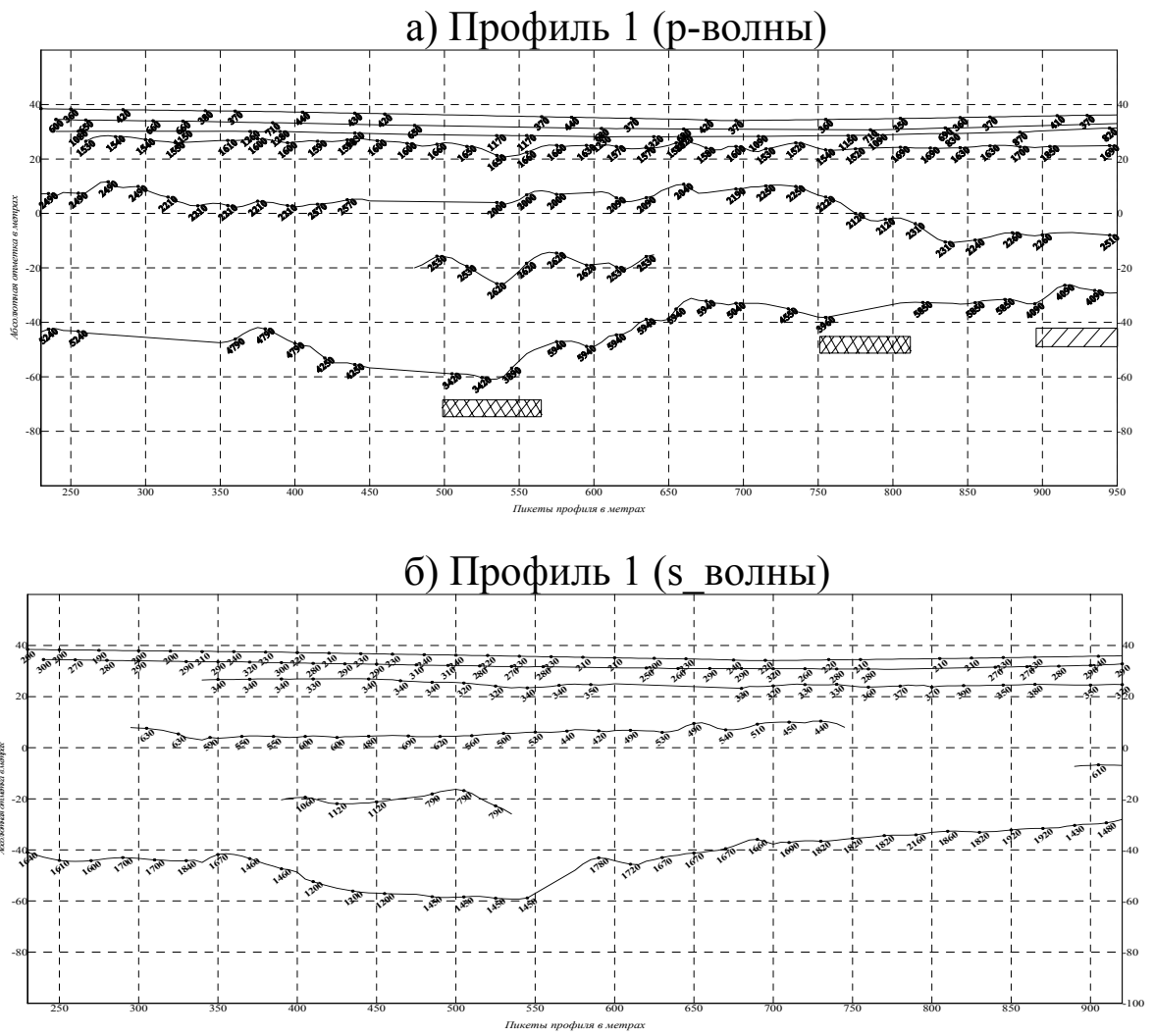


- волны, отраженные от поверхности монолитных пород фундамента; - трещиноватая тектоническая зона; - линия сместителя тектонического нарушения.

Рис. 2. Глубинный экстремированный разрез ОГТ по профилю 4 в районе отвала № 2 Ингулецкого ГОКа

## 1.2. Сейсморазведка корреляционным методом преломленных волн (КМПВ).

С помощью сейсморазведки КМПВ [1, 2] решается достаточно широкий круг геологических задач. В первую очередь, КМПВ незаменим при литологическом расчленении осадочного чехла, а также картировании поверхности и подошвы зоны выветривания кристаллических пород (рис. 3).



▨ - зона тектонического нарушения; ▨ - аномальная зона пониженных скоростей в монолитных породах фундамента;  $\frac{1630}{1630} \frac{1630}{1630}$  - преломляющие границы и скорости упругих волн

Рис. 3. Сейсмогеологический разрез КМПВ по профилю 13 в районе отвала № 2 Ингулецкого ГОКа: а) продольные волны; б) поперечные волны

По результатам КМПВ выделяются участки аномально низкой скорости в коренных породах, которые соответствуют разуплотнениям в кристаллическом фундаменте и, как правило, относятся к тектоническим нарушениям и зонам повышенной трещиноватости.

Метод КМПВ позволяет определять положение уровня грунтовых вод в породах осадочного чехла в их естественном залегании. Для этого сопоставляются результаты обработки продольных и поперечных волн – уровень грунтовых вод в рыхлых отложениях выделяется увеличением скорости продольных волн от значений 330 – 600 м/с до 800 – 1400 м/с (в зависимости от процентного содержания глинистой фракции), в то же время скорости поперечных волн не претерпевают значительных изменений [2].

По соотношению значений скоростей продольных и поперечных волн вычисляются динамические упругие параметры горных пород - динамический модуль упругости, коэффициент Пуассона, модуль сдвига, модуль всестороннего сжатия. По аномальным значениям упругих модулей определяются участки напряженного состояния породного массива, зоны сжатия и разуплотнения.

Распределение в разрезе значений динамического коэффициента Пуассона позволяет также анализировать степень влагонасыщения рыхлых пород – увеличение значений коэффициента Пуассона в однотипных рыхлых породах свидетельствует об увеличении влажности пород (рис. 4).

В комплексе с методом МОГТ данные КМПВ позволяют надежно определять области, благоприятные для развития оползневых процессов, образования провалов, участков подтопления.

### **1.3. Сейсмическое просвечивание верхней части массива насыпных горных пород (МСП).**

В приповерхностной части отвалов насыпных грунтов, плотин, других насыпных сооружений существует слой, в котором насыпные породы имеют пониженные значения скоростей продольных и поперечных волн. Поскольку подошва этого слоя является преломляющей границей, существует возможность площадного картирования распределения в подошве этого слоя скоростей продольных и поперечных волн. Строятся карты распределения скоростей продольных ( $V_p$ ) и поперечных ( $V_s$ ) волн, их соотношения, динамического коэффициента Пуассона (рис. 5).

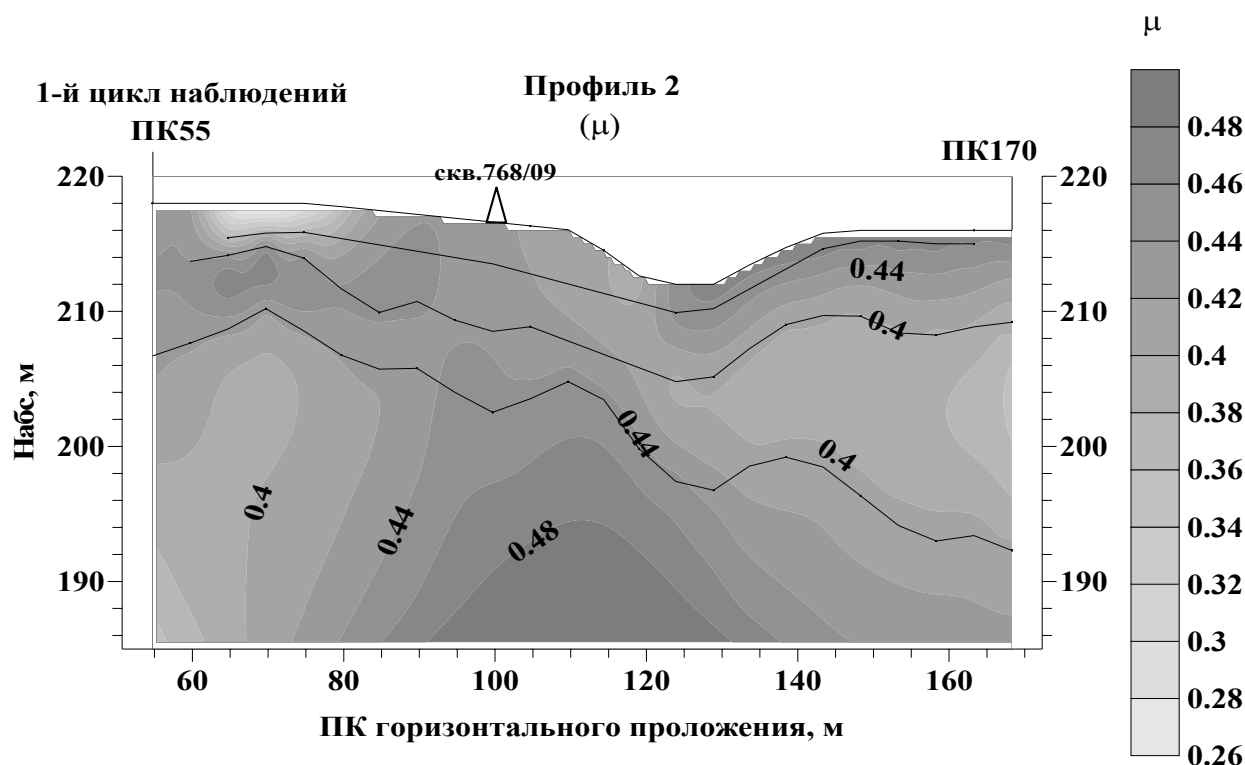


Рис. 4. Распределение значений динамического коэффициента Пуассона в разрезе осадочных пород – суглинков и выветрелых мергелей. Режимные наблюдения за развитием оползней. Красная Поляна

Сейсмическое просвечивание – один из наиболее современных методов сейсморазведки. Применяемое в нем решение обратной задачи через томографическое преобразование на прямых лучах позволяет произвести изучение скоростных характеристик геологического разреза и выделение локальных скоростных неоднородностей в массиве горных пород.

Приведенный пример (рис. 5) демонстрирует результаты наблюдений на оползнеопасном участке на Азовском побережье вблизи пос. Мелекино. Участками с наиболее высокой степенью увлажненности суглинков следует считать области повышенных значений  $V_p$ . Поскольку вещественный состав суглинков достаточно однороден, локальные изменения плотности суглинков в зонах развития растягивающих напряжений, связанных с формированием линии отрыва зарождающегося оползня, могут существенно влиять на скорости продольных волн.



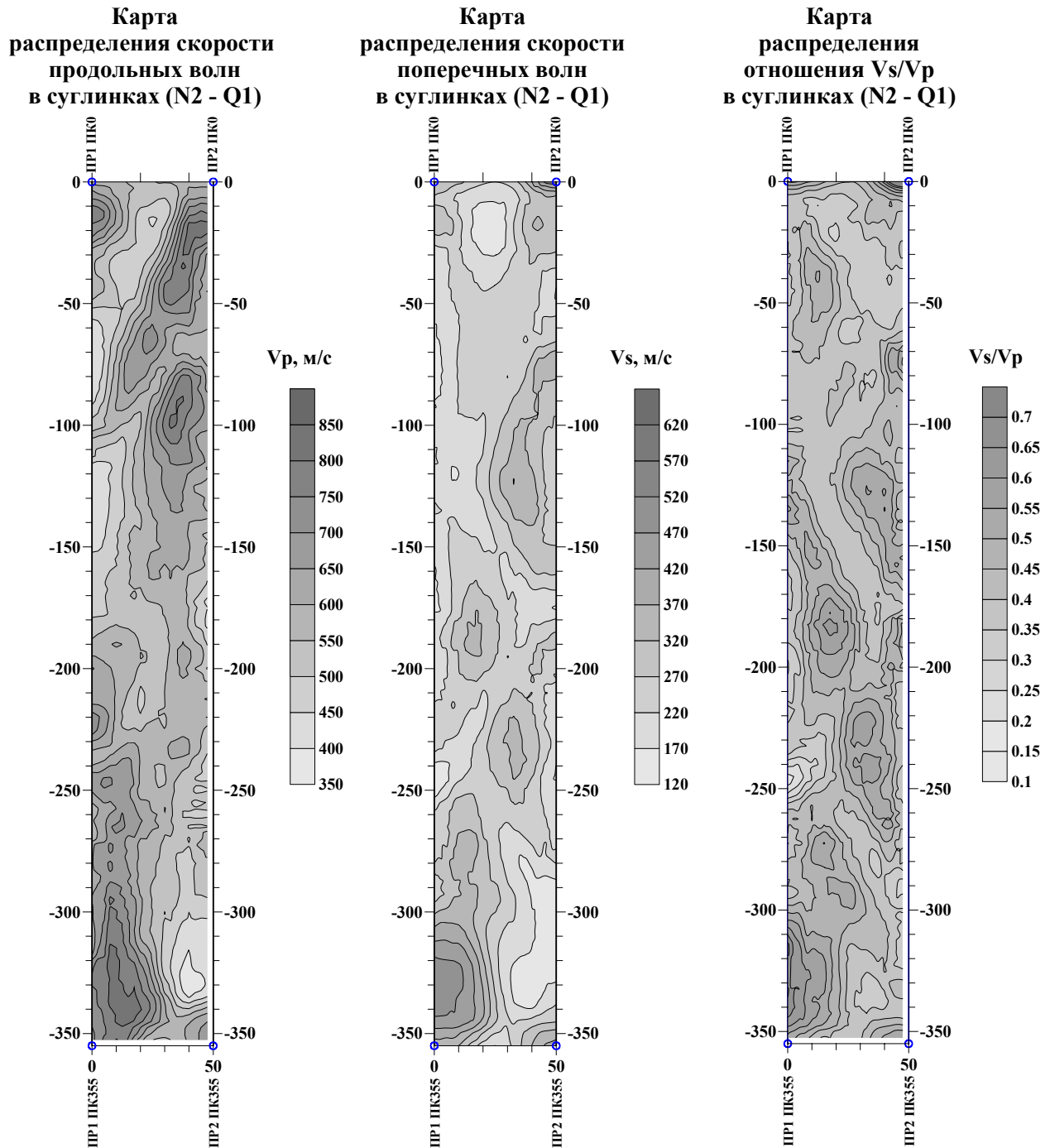


Рис. 5. Томограммы распределения скоростей упругих волн в верхней части красно-бурых суглинков (N<sub>2</sub> – Q<sub>1</sub>): а) продольные волны; б) поперечные волны; в) отношение V<sub>s</sub>/V<sub>p</sub>. Участок оползнеопасного склона в районе пос. Мелекино, Донецкая область

Области пониженных значений V<sub>s</sub> соответствуют разуплотнениям в толще суглинков, возможно, вызванных зарождающимися-

ся оползневыми процессами. Влияние изменения влажности суглинков практически не сказывается на скорости поперечных волн.

На карте отношения  $V_s/V_p$  области пониженных значений отношения  $V_s/V_p$  наиболее контрастно оконтуривают области пониженной влажности в суглинках, поскольку частично компенсируется фактор изменения скоростей  $V_s$  и  $V_p$  в зависимости от изменения плотности суглинков.

Метод сейсмического просвечивания позволяет выявлять области повышенной влажности и разуплотнения в породном массиве, участки напряженного состояния пород (например, на границе зарождающейся мульды проседания), зоны повышенной трещиноватости в коренных породах.

Существует возможность применения метода сейсмического просвечивания и в трехмерном варианте, но при этом следует учитывать высокий уровень затрат при проведении полевых работ. Необходимо наличие нескольких наблюдательных скважин, да и создание достаточно плотной сети пунктов возбуждения колебаний требует значительных временных затрат.

#### **2.4. Метод сейсмического профилирования на постоянных базах в профильном и площадном вариантах (МСШБ).**

Данный метод позволяет по изменению времен первых вступлений продольных волн, рефрагированных в приповерхностном слое, выделять области напряженного состояния пород и разуплотнений в верхней части породного массива, контролировать степень влажности рыхлых отложений.

В последнее время для исследования различного рода геологических и техногенных аномалий в верхней части геологического разреза достаточно успешно используются энергетические показатели сейсмических сигналов [3-5], обеспечивающие достоверное выявление выходов под наносы тектоники, проявления напряженных и деструктированных областей на оползнеопасных участках, промылов и структурных аномалий в дамбах (рис. 6).

Использование при этом малоканальной аппаратуры с профилированием или площадными наблюдениями на постоянных базах позволяет оперативно исследовать достаточно большие площади, а формализованный характер алгоритма обработки

сейсмической информации определяет оперативность обработки ее значительных объемов.

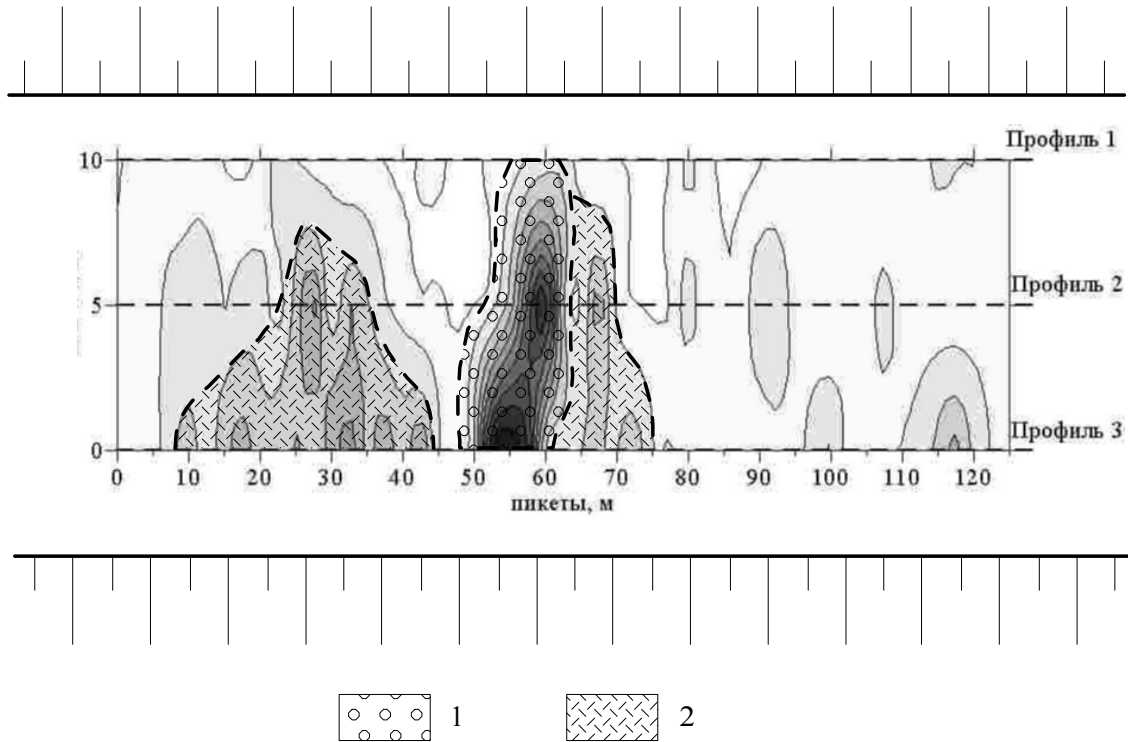


Рис. 6. Распределение относительной энергии рефрагированных волн на верхней берме дамбы пруда-осветителя Ингулецкого ГОКа (1 – область пустотности в материале дамбы; 2 – области развития суффозионных процессов)

Параметрическая насыщенность сейсмических сигналов и их высокая информативность в отношении происходящих в массиве изменений позволяет получать прогностические оценки развития геомеханических процессов с пространственной локализацией их проявления при мониторинге подрабатываемых территорий с оценкой глубины активизации геомеханических процессов [6-7].

Использование при этом, нормированных по энергии сейсмического сигнала в пункте возбуждения, энергетических показателей отраженных волн обеспечивает объективность определения характера происходящих геомеханических изменений (на-

растание напряжений или разгрузка массива), а значительный диапазон изменения этих показателей в процессе мониторинга (см. рис. 7) позволяет однозначно судить о временных тенденциях опасного развития ситуации.

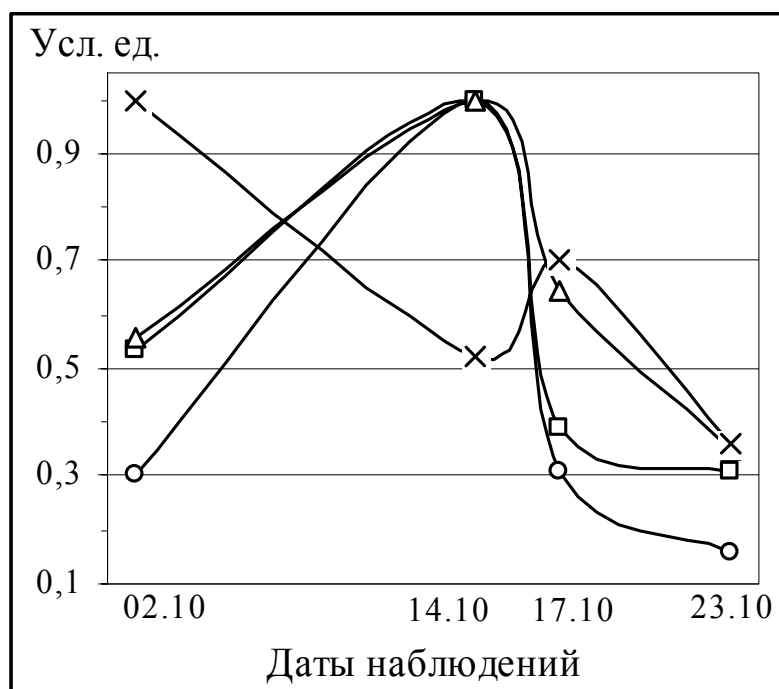


Рис. 7. Изменения относительной энергии сейсмических отражений над очистной выработкой (1 северная лава блока 3 шахты «Красноармейская - Западная № 1») во временных диапазонах 125-200 мс, 200-300 мс, 300-400 мс, и 400-500 мс (соответственно графики с символами - ○, □, Δ, ×) до и после обрушения основной кровли)

Упомянутые в публикациях методы **спектрального сейсморазведочного профилирования (СПП)** и **резонансного акустического профилирования (РАП)**, основанные, по мнению их авторов, на зависимости основной частоты и/или положительных экстремумов спектра сейсмического сигнала с глубиной залегания породных слоев [8, 9], по всей видимости, применимы только для резких и неглубоких акустических границ.

Отсутствие достаточной физической обоснованности механизма возникновения резонансных проявлений в горной среде,

определяет субъективность этих методов для глубин более 20-30 метров, даже при наличии акустически контрастных границ. Тем не менее, методы СПП и РАП позволяют оперативно и достаточно эффективно проводить исследования верхней части массива горных пород с выявлением акустических неоднородностей и поверхностей ослабленных механических контактов (пустоты, смена литологии и т.п.). При этом детальность исследований, соизмеримая с размерами выделяемых объектов, может достигать 1-2 м как и в методе МСППБ (2-10 м для методов КМПВ, МОГТ и МСП).

## **2. Электрометрические методы.**

### **2.1. Методы вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и электропрофилеирования (ЭП).**

С помощью методов электроразведки решается достаточно широкий круг геологических задач, связанных с водно-физическими свойствами геологической среды и насыпных сооружений – ограждающих дамб и породных отвалов.

Электроразведочные методы дают возможность выделять в геологическом разрезе водопроницаемые и водоупорные слои горных пород; определять уровень подземных вод, положение в разрезе водоносных горизонтов и их мощности; изучать динамику подземных вод; выявлять места сосредоточенной фильтрации жидких компонент в теле ограждающих дамб отстойников; прослеживать пути фильтрации загрязненных вод на прилегающей территории [1, 10, 11].

Наиболее широкое применение из методов электроразведки получили вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) и электропрофилеирование (ЭП).

ВЭЗ является основным методом электроразведочных исследований, позволяющий изучать массив как по вертикали, так и по латерали. Работы методом ВЭЗ выполняются симметричной или трехэлектродной установкой с необходимой для решения задачи глубиной зондирования и плотностью точек наблюдений. Для прослеживания и оконтуривания искомых объектов по площади применяется метод электропрофилеирования различными установками с не менее чем двумя разносами питающих заземлений, которые определяются по результатам ВЭЗ на этих

участках. При этом при решении различных инженерных задач с необходимой детальностью шаг наблюдений ЭП в 5-10 раз меньше, чем расстояние между точками ВЭЗ и составляет, как правило, 2-5 м.

Дифференциация массивов горных пород и искусственных насыпей по электрическим свойствам проявляется в геоэлектрических разрезах, построенных по данным ВЭЗ и отражающих характер обводненности основания и материала насыпи (рис. 8).

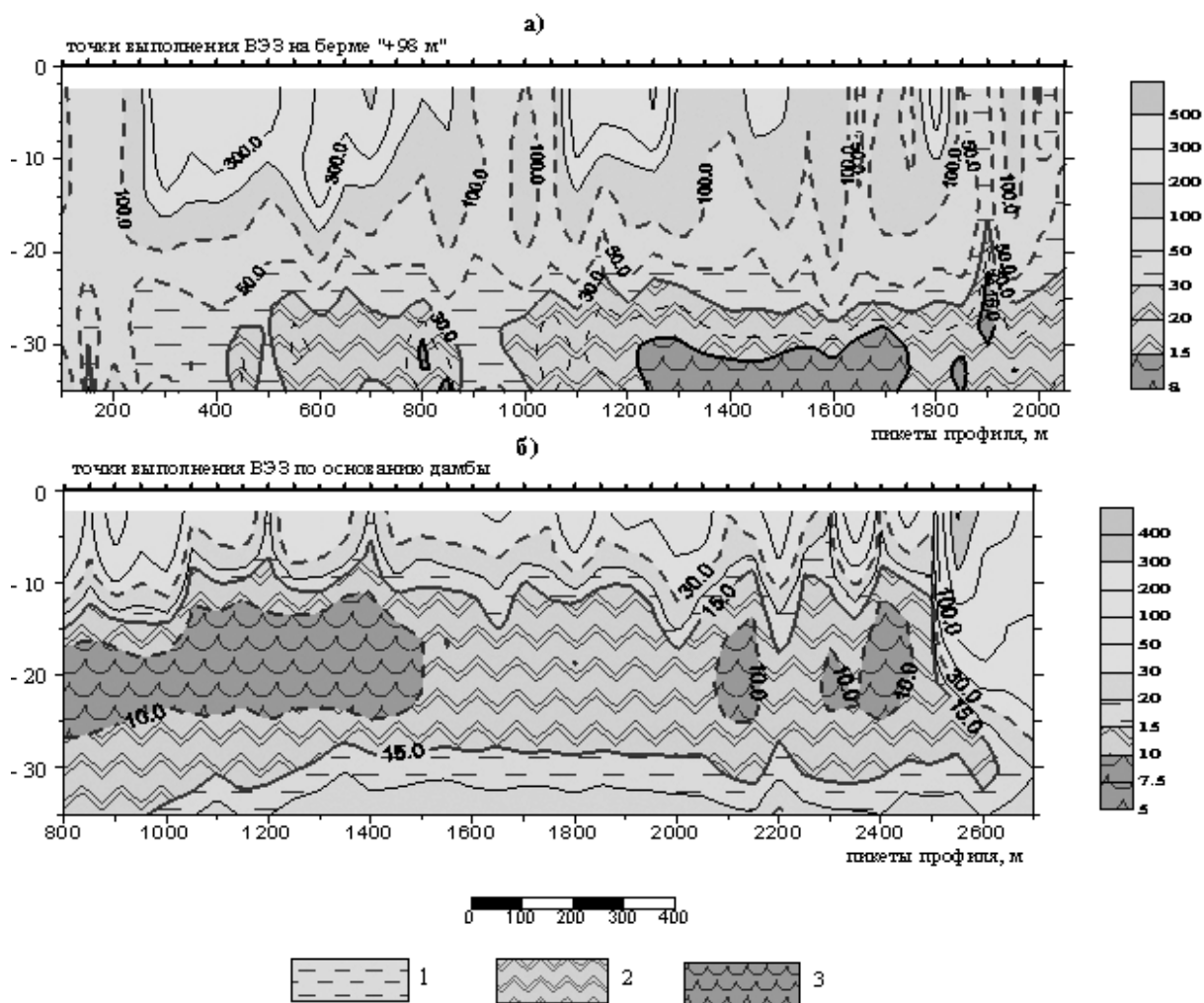


Рис. 8. Изучение методом ВЭЗ характера обводненности дамбы (а) и основания (б) хвостохранилища Ингулецкого ГОКа 1 – области повышенной влажности; 2 – обводненные области; 3 – области сосредоточенной фильтрации

Локализация минимальных значений электросопротивлений отражает области развития повышенной обводненности как материала дамбы, так и массива пород основания. Совместное рассмотрение геоэлектрических разрезов по насыпи и по ее основанию позволяет констатировать, что обводненные зоны в теле дамбы коррелируются с зонами повышенной обводненности пород основания. Такое их взаимное расположение является весьма опасным в отношении дальнейшей активизации процесса утечки жидких компонент из шламохранилища, потере несущей способности дамбы и ее основания.

Следует отметить, что метод ВЭЗ в настоящее время обеспечен мощнейшим математическим аппаратом, позволяющим решать прямые и обратные задачи практически в любых сложно построенных средах в 2D и 3D вариантах. В тоже время, как показано ниже, развитие современных геофизических технологий создает определенную альтернативу широко известным методикам ВЭЗ в плане разрешающей способности и достоверности получаемых данных.

## **2.2. Импульсная электроразведка методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ-МПП).**

ЗСБ – наиболее известная технология индуктивной импульсной электроразведки. Возникнув более 40 лет назад как метод структурной электроразведки, технология ЗСБ привлекла специалистов главным образом благодаря трем особенностям – во-первых, размеры установки зондирования могут быть в несколько раз меньше глубины исследования геологического разреза, во-вторых, результаты измерений обладают повышенной чувствительностью к изменению его параметров, а в-третьих, они не зависят от условий заземлений.

Как правило, при решении инженерных задач ЗСБ выполняется по методике переходных процессов, отсюда название ЗСБ-МПП [12]. К факторам, сдерживающим широкое применение этого метода, следует отнести наличие «мертвой» зоны в верхней части разреза, достигающей в некоторых случаях первых десятков метров, и недостаточное развитие математического аппарата (по крайней мере, в Украине), позволяющего на сегодняшний момент проводить интерпретацию только в рамках одномерных

моделей (см. рис. 9). Поэтому метод может быть эффективен при комплексировании его с другими методами, например сейсморазведочными, с использованием данных разведочного бурения для правильного задания исходной интерпретационной модели. На приведенном рисунке показаны результаты интерпретации материалов ЗСБ-МПП, выполненные с привлечением данных КМПВ и априорной геологической информации.

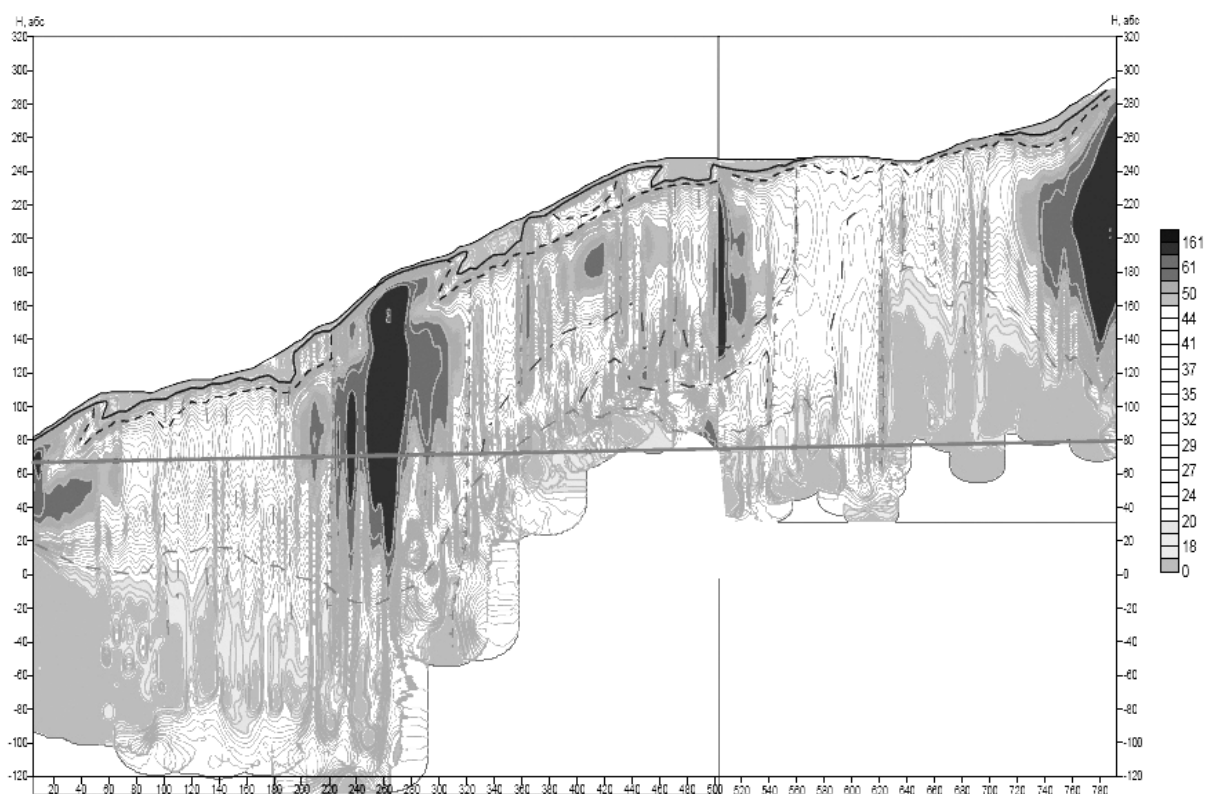


Рис. 9. Фрагмент геоэлектрического разреза по данным одномерной интерпретации материалов ЗП. Северо-Западный Кавказ, 2005 г.

### 2.3. Электротомография (ЭТ).

В настоящее время активно внедряется в практику методика электротомографии [13], которая позволяет исследовать сложно построенные среды и проводить интерпретацию в рамках двумерных и даже трехмерных моделей. Такая методика применяется на Западе уже около 15 лет, но в странах СНГ она до сих пор не получила широкого применения. В англоязычной литературе



наиболее часто употребляется два термина: *Resistivity Imaging* и *Electrical Resistivity Tomography*. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и тех же фиксированных на профиле наблюдений положений электродов. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач, за счет исследования сред, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых.

Применительно к экологическим проблемам Кривбасса данный подход позволит существенно повысить разрешающую способность электроразведки при практически неограниченной глубинности исследований с получением в конечном итоге полной картины распределения электрических свойств изучаемых природных и техногенных сложно построенных массивов.

На геоэлектрических разрезах четко фиксируются геологические границы, пустоты, зоны повышенной трещиноватости и обводненности, другие деструктивные участки, а при мониторинговых исследованиях и пространственно-временные изменения электрических свойств слагающих массив грунтов. Не вызывает сомнений, что рассматриваемый метод может быть рекомендован в комплексе, а в некоторых случаях и как самостоятельный, при изучении геологических разрезов и опасных процессов природно-техногенного характера.

На рис. 10 для примера приведены результаты исследований методом электротомографии, выполненных специалистами УкрНИМИ НАНУ на оползнеопасном склоне в Сочинском районе вблизи пос. Красная Поляна. Электротомографический разрез, построенный с помощью программы 2D-инверсии «ZondRes2D», наглядно иллюстрирует геологическое строение массива до глубины коренных пород (мергелей мелового возраста), при этом на вышележащем слое рыхлых оползневых отложений четко фиксируются фрагменты крупнообломочного материала. Поскольку оба цикла наблюдений выполнены в летний период при практическом отсутствии атмосферных осадков, на разрезе вариаций не проявляются аномалии, характеризующие какие-либо существенные изменения физических свойств изучаемого массива.

### 3. Георадиолокація.

Основой метода георадиолокации, известного еще как подповерхностная радиолокация или радиолокационное зондирование [14], является отражение излучаемой высокочастотной электромагнитной волны от границ раздела слоев в верхней части разреза, имеющих различные электрические свойства (диэлектрическую проницаемость).

Таковыми границами могут являться как геологические объекты, так и локальные неоднородности различного происхождения.

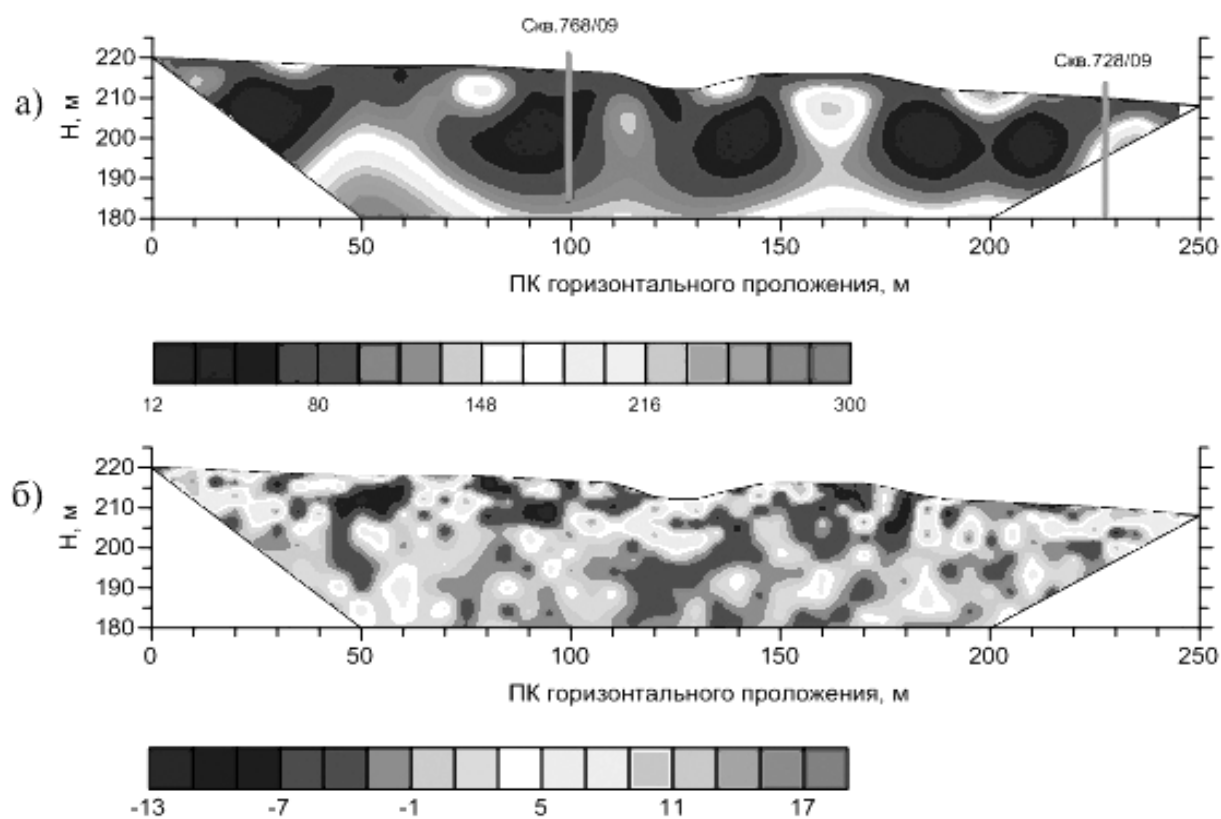


Рис. 10. Электротомографический разрез (а) по второму циклу режимных наблюдений и разрез параметра (б) относительных изменений в процентах по результатам двух циклов на оползнеопасном склоне вблизи пос. Красная Поляна

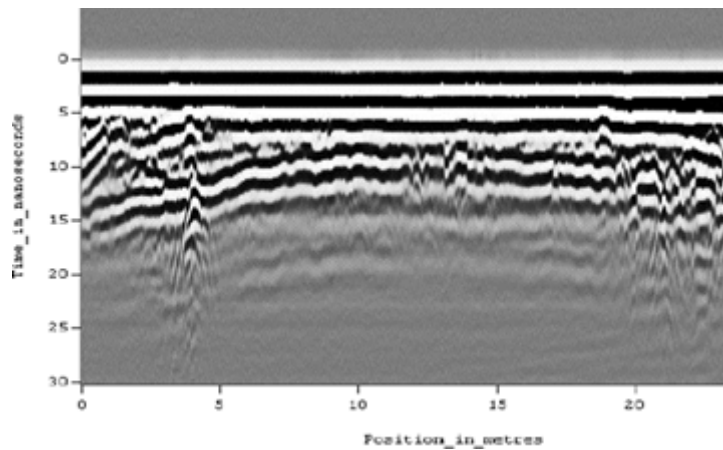
Метод может быть использован для выявления участков развития опасных физико-геологических процессов (карста, пустот, суффозии, оползней и др.), однако его возможности ограничены малой глубиной проникновения высокочастотной электро-

магнитной волны, составляющей для типичных рыхлых пород верхней части разреза не более нескольких метров (рис. 11).

#### 4. Метод естественных импульсов электромагнитного поля земли (ЕИЭМПЗ).

В методе ЕИЭМПЗ на основе анализа электромагнитной эмиссии горного массива судят о напряженно-деформированном состоянии территории [15, 16]. Метод используется как дополнительный к другим геофизическим методам при исследовании негативных природных (оползни и др.) и техногенных процессов (провалообразование в результате горных работ и др.).

а)



б)

морская вода  
 бетон  
 асфальт  
 глина, сланец  
 ил, сель  
 древесина  
 пресная вода  
 песок, гравий  
 известняк  
 соль  
 гранит  
 лед, воздух  
 Глубина, м

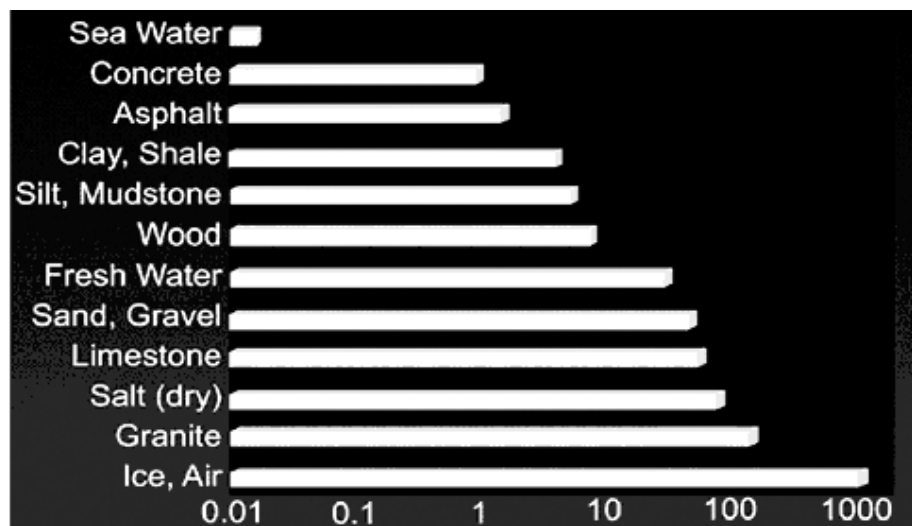
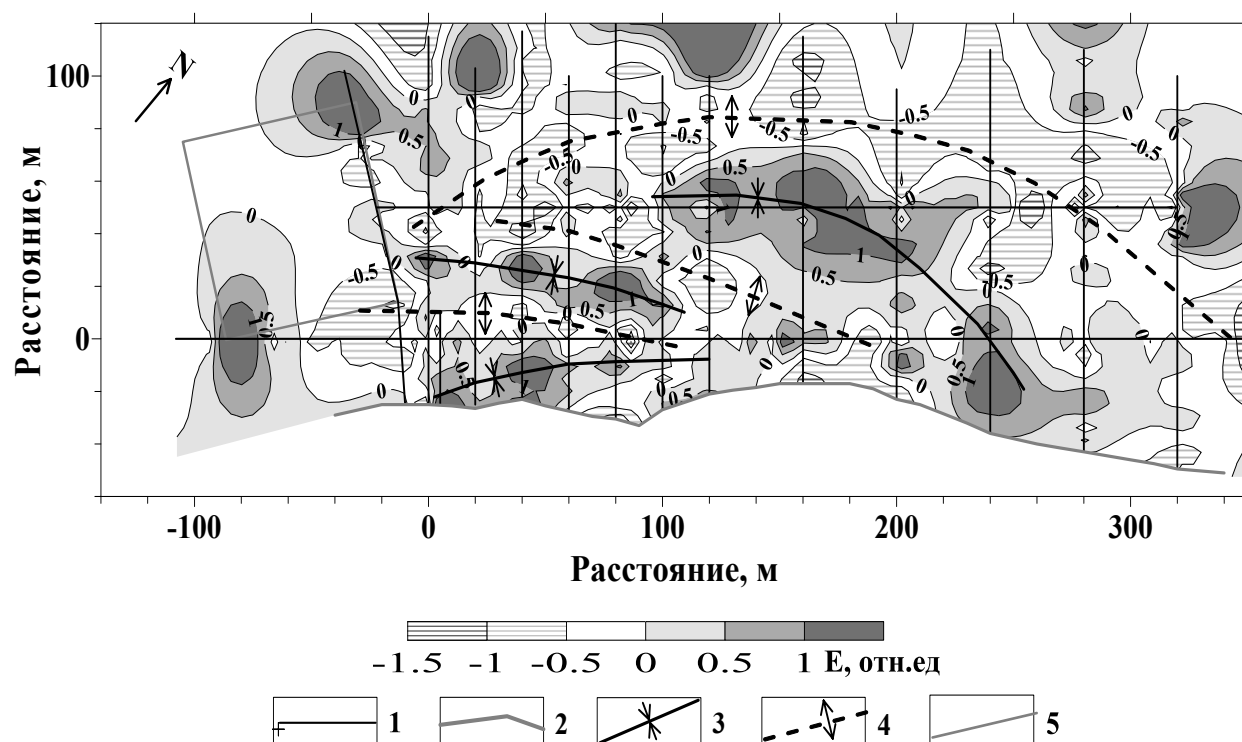


Рис. 11. Вид регистрируемой информации (а) и типовые значения глубины зондирования для различных сред (б) при радиолокационных исследованиях

Например, при изучении оползней методом ЕИЭМПЗ выявляются и прослеживаются аномальные участки повышенных значений ЕИЭМПЗ, которые указывают на наличие областей повышенного напряженного состояния грунтов, и участки аномально низких значений, которые свидетельствуют о наличии областей растягивающих деформаций с повышенной увлажненностью трещиноватых (разуплотненных) грунтов (см. рис. 12).

Для оценки зоны разгрузки в горных выработках при прогнозе выбросоопасности угольных пластов в УкрНИМИ НАНУ разрабатывается шахтный анализатор электромагнитных импульсов ШАИ-8, который можно использовать также и в полевых условиях.



1 - профили геофизических наблюдений; 2 - бровка материкового плато; 3 - области концентрации напряжений; 4 - области ослабления массива; 5 - контур водосборника.

Рис. 12. Карта плотности потока ЕИЭМПЗ (E) на оползнеопасном участке в районе северо-восточной окраины пгт Мелекино

5. Кроме приведенных в статье методов исследований, при решении экологических проблем геофизический комплекс может включать и такие известные методы, как *гравиразведка* и *магниторазведка* [11]. Их использование определяется спецификой решаемых инженерных задач, в том числе связанных с геодинамическими процессами естественного и техногенного происхождения, и подразумевает в любом случае высокоточные методики наблюдений. При этом к чувствительности приборов и точности наблюдений предъявляются повышенные требования.

Возникает также необходимость использования специальных приемов обработки информации. С соблюдением этих правил, например, при изучении насыпных дамб в комплексе с электроразведкой и сейсморазведкой может успешно применяться высокоточная магнитная съемка, основанная на возможности дифференциации слабо аномальных значений магнитного поля. Аномалии магнитного поля возникают над участками с измененной гранулометрической структурой или пористостью материала тела дамбы. При этом использование двухвысотной площадной магнитной съемки позволяет снизить техногенное влияние на результаты обработки с одновременным повышением достоверности результатов.

Таким образом, в результате проведенного анализа геофизических методов, которые могут в комплексе или самостоятельно быть привлечены для изучения экологической ситуации Кривбасса и в конечном итоге для минимизации последствий негативных природно-техногенных процессов, получено представление об их результативности, применяемых параметрах, разрешающей способности, глубинности исследований и представляемых материалах.

В приведенной ниже таблице 1 эти данные сведены по каждому методу с указанием ориентировочных сроков, стоимости проведения работ и оценкой их возможностей по десятибалльной системе.

Таблиця 1  
**Фізико-технічні та виробничо-економічні характеристики методів  
 інженерної геофізики**

№ п/п	Найменування метода	Основні фізичні передумови	Получаемые параметры	Глубина, м	Разрешающая способность, м	Помехоустойчивость	Время проведения на 1 пог./кв.км, мес	Стоимость 1 пог./кв.км, тыс. грн.	Решаемые задачи, комплексирование	Возможность использования в баллах
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Сейсмические	Различные физико-механических свойств								
1.1	МОВ-ОГТ	-/-	$t_0, V_p$	Св. 100	5,0	средняя	0,15/0,9	150,0/1000,0	Г, ГДП, ТФ	9
1.2	КМПВ	-/-	$V_p, V_s, \text{ДУМ}^*$	До 100	2,0	средняя	0,2/1,0	120,0/700,0	Г, ГДП, ТФ, М	10
1.3	МСП	-/-	$V_p, V_s, \text{ДУМ}$	До 600**	5,0	средняя	-/1,5	-/2000	Г, ГДП, ТФ, М	7
1.4	МСПБ	-/-	* $V_p, t_0, \text{АЧХ}$	До 50	1,0	высокая	0,15/1,5	50,0/500,0	Г, ГДП, ТФ, М, К	8
1.5	РАП	-/-	АЧХ	До 30	1,0	высокая	0,1/1,0	20,0/200,0	ГДП, ТФ, К	6

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Электрометрические	Различие водно-физических свойств								
2.1	ВЭЗ	-//-	$\rho_k, \rho, \eta_k, \eta$	До 100	10,0	средняя	0,2/1,2	40,0/250,0	Г, ГДП, ТФ, М	10
2.2	ЭП	-//-	$\rho_k, \eta_k$	До 50	5,0	средняя	0,1/0,7	20,0/150,0	ГДП, ТФ, М, К	7
2.3	ЗСБ-МПП	-//-	$\rho$	До 100	10,0	низкая	0,2/1,0	50,0/300,0	Г, ГДП, ТФ, К	6
2.4	ЭТ	-//-	$\rho, \eta$	До 100	2,0	средняя	0,25/1,0	200,0/800,0	Г, ГДП, ТФ, М	9
3	Георадиолокация	Различие диэлектрической проницаемости $\epsilon$	$n_i, \epsilon_i$	До 10	0,1	высокая	0,3/-	30,0/-,0	Г, ТФ	7
4	ЕИЭМПЗ	Механические деформации, окислительно - восстановительные, фильтрационные и другие процессы	Плотность потока ЕИЭМПЗ $E_x, E_y, E_z$	До 100	5,0	средняя	0,1/1,0	30,0/400,0	ГДП, ТФ, М, К	6
5	Магнито-разведка	Различие магнитной восприимчивости $\mu$	$\Delta T$	До 20	2,0	низкая	0,1/2,0	10,0/200,0	ГДП, ТФ, М, К	4
6	Грави-разведка	Различие плотности $\delta$	$\Delta g$	До 50	10,0	высокая	0,2/5,0	20,0/1000,0	ГДП, ТФ, М, К	4

Примечания:

\* - динамические упругие модули; \*\* - по длине луча просвечивания;  
 Г – геологическое строение; ГДП – геодинамические процессы; ТФ – техногенные факторы; М – мониторинг;  
 К – только в комплексе

Из опыта УкрНИМИ НАНУ и других ведущих организаций по данному направлению исследований следует, что положительные и исчерпывающие результаты при прогнозировании строения и состояния породных массивов могут быть достигнуты лишь при комплексировании **сейсмических** и **электрометрических** методов, реагирующих соответственно на физико-механические и водно-физические свойства грунтов.

Отсюда также вытекает их ведущая роль и при мониторинговых (режимных) наблюдениях. Другие методы являются, как правило, вспомогательными и привлекаются для инженерных изысканий, в т.ч. мониторинга, в особо сложных горно-геологических условиях с развитой геодинамикой при наличии соответствующих физических предпосылок и технических условий их реализации, хотя в редких случаях могут иметь самостоятельное значение (например, метод георадиолокации при обнаружении приповерхностных малоразмерных объектов).

Сделанные выводы помогут потенциальным заказчикам и производителям работ обосновано выбрать оптимальный комплекс геофизических методов для эффективного решения конкретных экологических задач Кривбасса.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Исследование состояния насыпных дамб и их оснований комплексом сейсмо- и электроразведочных методов / М.Г. Тиркель, М.Ю. Богак, Я.М. Юфа / Горный информационно-аналитический бюллетень. – Москва: МГГУ, 2005. - № 7. – С. 119 – 121.
2. Применение геофизических методов в комплексе линейных инженерно-строительных изысканий / М.Г. Тиркель, В.В. Туманов, Я.М. Юфа, А.В. Савченко, Е.В. Сухина, С.А. Шурховецкий / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, УкрНДМІ, 2007. - № 1. – С. 55-68.
3. Диагностические показатели сейсмических сигналов при решении инженерно-геологических задач / А. С. Трифонов, В. В. Туманов, Я. М. Юфа / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2008. - № 3. – С. 185-191.



4. Оптимальное решение задач техногенной безопасности геофизическими методами / В. В. Туманов, Я. М. Юфа, А. С. Трифонов, А. И. Архипенко, Ю. А. Балакин / Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. – Москва, 2005. - № 6. – С. 75-78.
5. Особенности сейсмоакустической диагностики строения и состояния приповерхностной части техносферы / А. С. Трифонов, В. В. Туманов, Я. М. Юфа, Н. Н. Киселев, М. Ю. Богак, Н. Я. Азаров / Проблеми гірського тиску: Зб. Наук. праць ДонНТУ. – Донецьк, 2005. - № 13. – С. 17-25.
6. Оценка изменения напряженного состояния подрабатываемого горного массива по параметрам сейсмических отражений / А. В. Анциферов, А. С. Трифонов, М. Г. Тиркель, В. В. Туманов / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2009. - № 5 ч. I. – С. 434-440.
7. Анциферов А. В., Тиркель М. Г., Глухов А. А., Трифонов А. С., Туманов В. В., Развитие основ сейсмического мониторинга геомеханического состояния массива горных пород при отработке угольных месторождений Украины / Методы и системы сейсмодеформационного мониторинга техногенных землетрясений и горных ударов. Новосибирск: ИГД СО РАН, 2009.
8. Гликман А.Г. Метод спектрального сейморазведочного профилирования / Материалы II Общероссийской конференции изыскательских организаций ОАО ПНИИС. – М: ОАО ПНИИС, 2007 г. – С. 3-8
9. Зуйков И.В. Метод резонансно-акустического профилирования / Проблемы геологии и освоения недр: Труды X Международного симпозиума студ., аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2006. – С. 34-37
10. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. / Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989. – 252 с.
11. Огильви А. А. / Основы инженерной геофизики. - М.: Недра, 1990. - 468 с.
12. Кожевников Н. О., Плотников А. Е. Оценка возможностей метода переходных процессов при изучении верхней части

- геологического разреза / Н. О. Кожевников, А. Е. Плотников / Геофизика. – 2004. № 6. С. 33-38.
13. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. / Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. / Приборы и системы разведочной геофизики. – Москва, 2006, № 2, С. 14-17.
14. Вопросы подповерхностной радиолокации. Коллективная монография / Под ред. Гринева А. Ю.– М.: Радиотехника, 2005.- 416 с.: ил. ISBN 5-88070-070-4
15. Методические рекомендации по изучению напряженного состояния горных пород методом ЕИЭМПЗ / Разраб. ИМР. - Симферополь: ИМР, 1991. - 27 с.
16. Оценка геодинамического состояния шахтных полей геофизическими методами / Туманов В. В., Савченко А. В., Богак М. Ю. и др. / Зб. наук. пр. УкрНДМІ НАН України. – Донецьк, 2007. - № 1. – С. 115-127.