© В.В. Демьянов, С.М. Простов, В.А. Хямяляйнен, И.В. Щербаков, 2006

УДК 622.271.333

В.В. Демьянов, С.М. Простов, В.А. Хямяляйнен, И.В. Щербаков

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УСТУПОВ БОРТОВ КАРЬЕРОВ

Семинар № 3

Увеличение глубины выработок на предприятиях открытой добычи полезных ископаемых приводит к повышению требований к безопасности проводимых работ, т.к. при этом нарушается естественное напряженное состояние массива в приконтурной части уступов бортов карьеров, что приводит к их деформации в сторону проводимых выработок. Измерение деформаций и их контроль в натурных условиях представляют собой достаточно трудоемкую работу, поэтому для прогноза устойчивости уступов бортов карьеров целесообразно использовать методы математического моделирования, позволяющие определить напряженно-деформированное состояние в их приконтурной части.

В основу компьютерного моделирования положена математическая модель, связывающая между собой напряжения и деформации в массиве уступа для плоского напряженного состояния соотношениями [1]:

$$\begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{pmatrix} = \frac{E}{1-\mu^2} \begin{pmatrix} 1 & \mu & 0 \\ \mu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\mu}{2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} ; \quad (1)$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{pmatrix} , \quad (2)$$

где σ_x и σ_y – горизонтальные и вертикальные напряжения; τ_{xy} – касательное напряжение; E – модуль Юнга, μ – коэффициент Пуассона; ε_x и ε_y – линейные деформации; γ_{xy} – сдвиговая деформация; u и v – смещения точек массива в направлениях x и y соответственно.

Расчетная модель уступа приведена на рис. 2. Вертикальные напряжения обусловлены весом пород и глубиной выработки: $\sigma_y = \rho H$, где ρ – объемный вес горных пород, H – расстояние от земной поверхности. Горизонтальные напряжения $\sigma_x = \lambda \rho H$, где λ – коэффициент бокового распора, а касательные напряжения равны нулю [2]. Силу реакции уступа $F_x = k \lambda \rho H$, где k – коэффициент, изменяющийся от 0 до 1 в зависимости от типа пород (глинистые, песчано-глинистые, скальные), нужно

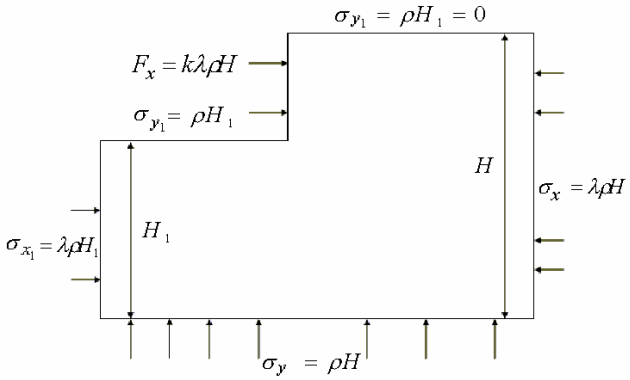

Рис. 1. Схема расчетной модели уступа борта карьера с исходным полем напряжений

учесть при рассмотрении граничного условия на участке от $H = 0$ до $H = H_1$.

Расчет напряженно деформированного состояния модели уступа проведен методом конечных элементов с использованием пакета PDE Toolbox среды MATLAB с использованием принципов расчета, принятых в механике сплошной среды [3]. В состав PDE Toolbox входит приложение pdetool с графическим интерфейсом, которое позволяет задать геометрию области, тип и коэффициенты системы дифференциальных уравнений, граничные и начальные условия, а также произвести разбиение области на конечные элементы, решить получившуюся систему линейных уравнений и визуализировать результат [4].

При расчете выбран эллиптический тип дифференциальных уравнений. Граничные условия Дирихле и Неймана соответственно имеют вид $hu = r$, $n(c\nabla u) + qu = g$, где n – вектор внешней нормали к границе. Коэффициенты объемных сил K_x и K_y определены из следующих соотношений:

$$-\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial y} = K_x; \quad (3)$$

$$-\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} = K_y. \quad (4)$$

Программа позволяет визуализировать результаты расчетов с помощью цвета и контурных линий, векторное поле смещений с использованием стрелок и деформированной сетки. Может быть выведено 15 скалярных тензорных величин, входящих в уравнения (1–4), а также компоненты тензоров напряжений и деформаций, эффективные напряжения.

В качестве иллюстраций применения компьютерной модели на рис. 2 (справа) приведены результаты расчетов для простейших случаев бортов карьеров: с вертикальным и наклонным откосом уступа однородного геологического строения; уступов в массиве с ослабленным слоем. Слева на рис. 2 для сопоставления приведены результаты, полученные для аналогичных условий экспериментально путем моделирования с помощью тензосеток, эквивалентных и оптически активных материалов в ИГД им. А.А. Скочинского и МГУ, приведенные в работе [5].

Анализ результатов моделирования показывает, что характер распределения напряжений, полученный двумя методами, качественно совпадает. Определенные различия связаны с возможным несовпадением в деталях задаваемых граничных условий и свойств среды.

Полученные результаты подтверждают применимость метода конечных элементов для расчета напряженно-деформированного состояния бортов карьеров. Оценка временных затрат позволяет утверждать, что при

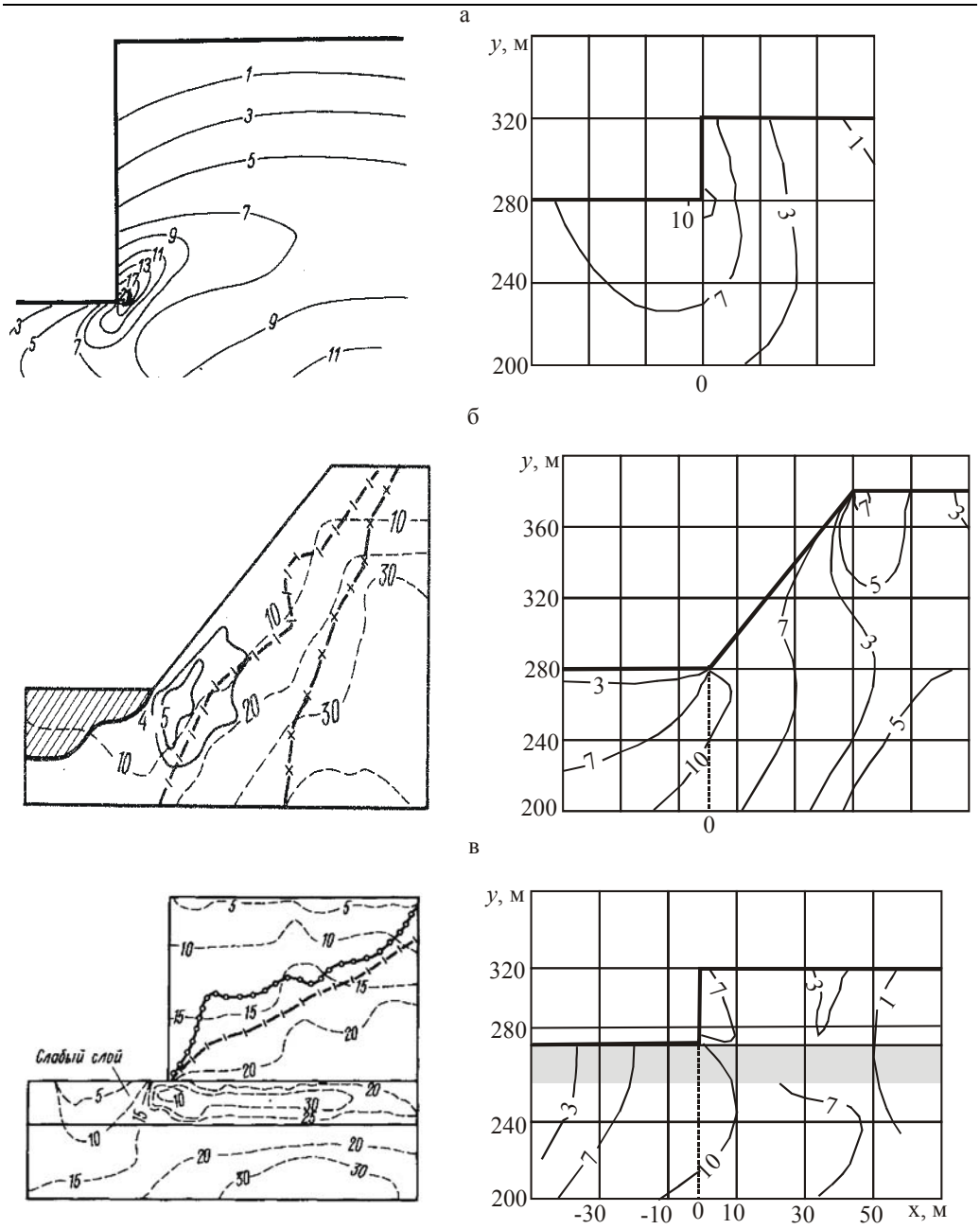

Рис. 2. Результаты компьютерного моделирования напряженного состояния уступов (справа) и лабораторного моделирования по данным [5] (слева) для случаев вертикального откоса уступа однородного строения (а), наклонного откоса (б), уступа с ослабленным слоем (в): 1–30 – относительные величины главных нормальных напряжений; I – I – I – расположение вероятных поверхностей скольжения

расчетах данным методом возможно получение более информативных результатов. Простота задания геометрических примитивов (прямоугольников, окружностей, многоугольников и т. д.) позволяет получать модели сколь угодно сложной формы. Также вполне реализуемо моделирование массивов, неоднородных по своей структуре. Все эти соображения позволяют считать пакет математического моделирования Matlab весьма перспективным в механике сплошной среды.

Основные направления практического применения описанной модели состоят в следующем:

- установление наиболее опасных сочетаний горно-геологических и горно-технических параметров бортов и уступов карьеров для реальных условий разработки с использованием данных геологических служб, результатов инструментальных измерений, смещений поверхностей массива, геофизического мониторинга изменения его состояния и свойств в пространстве и во времени под действием внешних факторов (влагонасыщение, выветривание, подработка и др.);
- использование в качестве программного обеспечения автоматизированных систем прогноза устойчивости бортов в комплексе с геометрическими моделями геологической среды, программами расчета коэффициентов запаса устойчивости и оперативной информацией со стационарно установленных датчиков электронно-оптического, электромагнитного, акустического, пьезометрического типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фадеев А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987. – 221 с.
2. *Курленя М.В.* Техногенные геомеханические поля напряжений / М.В. Курленя, В.М. Серяков, А.А. Еременко. – Новосибирск: Наука, 2005. – 264 с.
3. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред/ О. Зенкевич, И. Чанг. – Нью-Йорк, 1967. Пер. с англ. А. П. Троицкого и С. В. Соловьева. – М.: Недра, 1974. – 240 с.
4. *Ануфриев И.Е.* Самоучитель MATLAB 5.3 / 6.x. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 736 с.
5. *Демин А.М.* Закономерности проявлений деформаций откосов в карьерах. – М.: Наука, 1981. – 144 с.

Коротко об авторах

Демьянов В.В. – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации,

Простов С.М. – доктор технических наук, профессор кафедры теоретической и геотехнической механики,

Хямяляйнен В.А. – доктор технических наук, профессор, первый проректор,

Щербаков И.В. – аспирант кафедры теоретической и геотехнической механики,

ГУ КузГТУ.

© А.Е. Балек, А.Л. Замят
2006

УДК 622.831

А.Е. Балек, А.Л. Замятин

ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ В ИЕРАРХИЧЕСКИ БЛОЧНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ СРЕДЕ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

Семинар № 3

В геомеханике изучение процессов, приводящих к формированию в деформируемом горном массиве пространственных и временных структур, ограничивалось, главным образом, масштабами лабораторного моделирования и геофизическими исследованиями короткопериодных колебаний [1, 2]. Целенаправленных натурных исследований, направленных на выявление закономерностей самоорганизации крупномасштабных блоковых структур, размерами в десятки и сотни метров, проявляющихся в напряженных массивах скальных горных пород за интервалы времени в месяцы и десятки месяцев, до сих пор практически не проводилось.

В ИГД УрО РАН на базе шахты "Северопесчанская" Богословского рудоуправления (г. Краснотурьинск) выполнен комплекс геомеханических и геофизических исследований процессов самоорганизации крупномасштабных породных структур (консолидированных геоблоков), формирующихся в окрестностях развивающейся зоны обрушения шахты. Натурные исследования проводились 30 с лишним лет, с 1974 по 2005 г, в течение которых размеры цилиндрической полости зоны обрушения шахты увеличились со 150x350 метров до 250x1200 метров, что, при сравнительно высоком уровне тектонических напряжений, действующих в этом районе, обусловило интенсивный процесс деформирования окружающего массива. В качестве объекта исследований выступал типичный иерархически блочный массив скальных горных пород, находящийся в лежачем боку крутопадающей залежи вне области гравитационного оседания и сползания, т.е. в радиусе свыше 0,5 км от зоны обрушения.

Анализ результатов маркшейдерских замеров деформаций массива, проводившихся на протяжении 30 лет (1-2 раза в год) по реперным линиям поверхностной (рис. 1) и подземной (рис. 2) наблюдательной станции, показал, что после превышения предельного уровня относительных деформаций $[\varepsilon] \approx 1$ мм/м в массиве происходят процессы самоорганизации, проявляющиеся в формировании крупных, размерами в десятки и сотни метров, консолидированных геоблоков, выделяемых по их разнонаправленным взаимным подвижкам [3]. Вследствие этих процессов в деформационном поле возникают зоны концентрации, приуроченные к границам кон-

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по грантам Президента РФ

солидированных породных

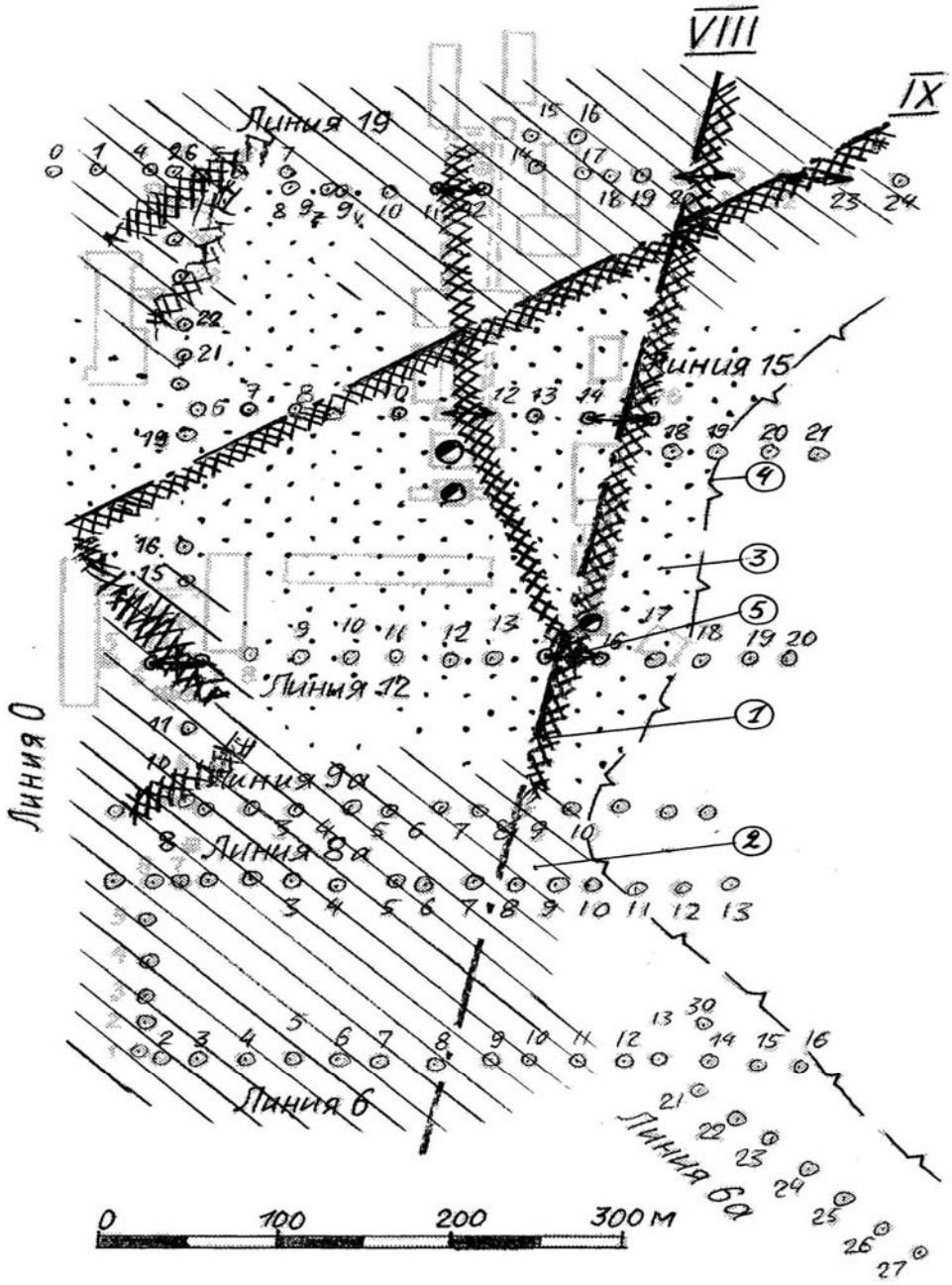

Рис. 1. План промплощадки ш. "Северопесчанская" с реперными линиями наблюдательной станции. Районирование породного массива по степени подвижности структурных элементов: *1* - наиболее подвижные и нарушенные участки; *2* - менее нарушенные участки; *3* - консолидированные геоблоки; *4* - граница зоны разрывных трещин; *5* - реперные интервалы с устойчивой многолетней концентрацией замеряемых горизонтальных деформаций

объемов. Для выявления возможности и условий их оперативного контроля был выполнен комплекс натурных геофизических исследований.

Исходя из главной цели натурных изысканий, выявления подвижных породных структур различных масштабных рангов, в качестве основного метода исследования использовали спектральное сейсмопрофилирова-ние, основанное на использовании зависимости между спектральным составом собственного колебательного процесса, возникающего при ударном воздействии на поверхность породного обнажения, и структурным строением исследуемого массива. Выявляемые неоднородности массива представляют собой поверхности по которым происходит проскальзывание соседних структурных блоков при возбуждении в них собственных упругих колебаний. Различия по величине добротности гармонических составляющих получаемого сейсмосигнала отражают различие в сцеплении пород по каждой из выявленных границ структурных неоднородностей. Таким образом, зачерненные "раздутия" на сейсмограммах отображают участки массива с пониженной зату-хаемостью возбуждаемых сейсмических колебаний, что свидетельствует о наличии подвижных структурных нарушений.

Для замеров использовали мелкосерийную аппаратуру НТФ "Геофизпрогноз" [www.newgeophys.spb.ru], включающую сейсмоприемник, усилительно-преобразовательное устройство, портативный компьютер (note-book) и источники питания. Упругие колебания массива возбуждались вручную: путем нанесения короткого удара по породному обнажению в непосредственной близости от сейсмоприемника. Спектр возбуждаемых частот контролировался визуально: на дисплее полевого компьютера.

В качестве вспомогательных методов, дающих косвенную информацию о подвижности породных структур, применяли георадарное и радонометрическое зондирование, с использованием серийного переносного импульсного радиолокатора "ГРОТ-10" в частотном диапазоне 50 ÷ 150 МГц и геологоразведочного радиометра альфа-активных газов РГА-500. Радиометр направлен на выявление участков с повышенной концентрацией природного радона, приуроченной к подвижным тектоническим разломам. Георадар выделяет участки массива с различающимися геоэлектрическими характеристиками, отражающими степень нарушенности и трещиноватости. Учитывая, что практически повсеместно наиболее ослабленными и трещиноватыми являются приповерхностные слои скальных пород и покрывающих наносов, георадар позволяет выявить места, где повышенная нарушенность прослеживается на бóльшую, по сравнению с соседними участками профиля, глубину, а это, как правило, свидетельствует о нахождении в таких местах под приповерхностными наносами подвижного структурного нарушения.

Зондирование породной толщи методом спектрального сейсмопрофилирования выполняли с шагом 2,5 – 3 м на глубину до 150 м по профилям реперных линий маркшейдерской наблюдательной станции: на дневной поверхности (рис. 1) и на глубине 160 м – в квершлаге горизонта +40 м (рис. 2). Суммарная протяженность сейсмопрофилей составила около 2 км. Георадарное зондирование выполняли на глубину 30 м с шагом 1,5 м, параллельно с проведением сейсмопрофилирования.

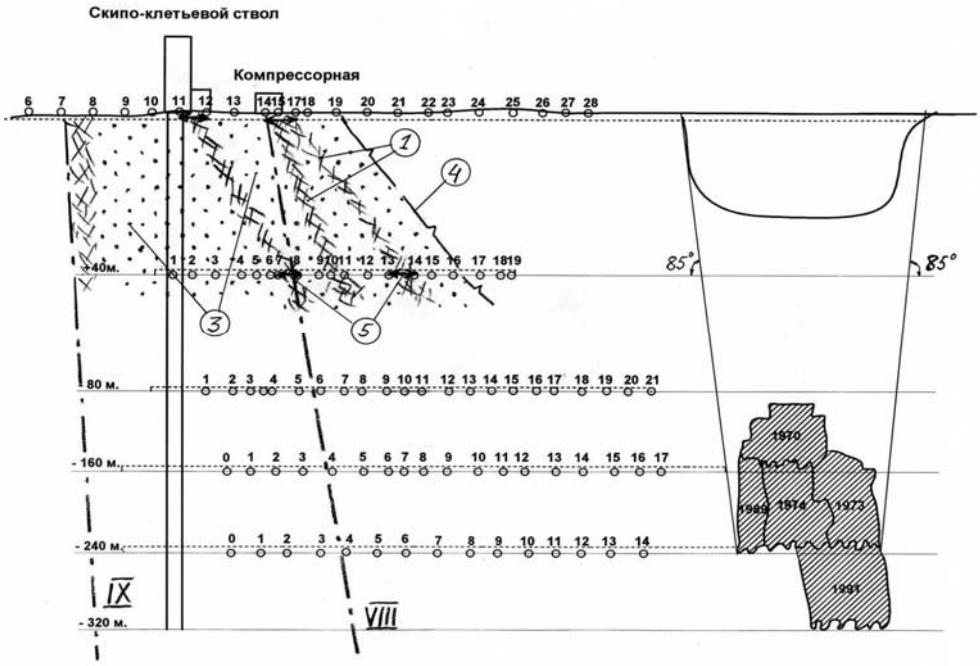

Рис. 2. Вертикальный разрез породного массива по линии 15 с реперами подземной наблюдательной станции (условные обозначения рис. 1)

Радонометрическое зондирование, требующее наличия почвенного слоя, было ограничено линией 6 и первыми реперами линии 0 (рис. 1).

Результаты натурных геофизических исследований подтвердили теоретические положения о механическом состоянии породной толщи лежачего бока Северопесчанской залежи как о подвижной иерархически блочной среде в которой происходят процессы самоорганизации крупномасштабных блоковых структур. Помимо объединенной границы зоны видимых трещин и зоны террас, явственно прослеживающейся как на дневной поверхности, так и в квершлаге горизонта +40 м, в центральной части промплощадки (в районе реперных линий 12–15) выявлена система относительно монолитных породных объемов (консолидированных геоблоков) шириной порядка 75 – 100 м, разделенных дезинтегрированными подвижными пространственно протяженными областями шириной около 10–30 м. На периферии промплощадки, в районах линий 6 и 19 подвижные дезинтегрированные участки проявляются на фоне более менее равномерно ослабленного скаль-ного крупноблочного массива. Выявленные неоднородности характеризуют в основном деформационное поле горного массива, поскольку, согласно геолого-морфологическим данным, полученным по разведочным скважинам и подземным выработкам, все эти районы по своему литологическому и структурному строению существенно не различались.

Наиболее наглядно данное положение иллюстрируется на продольном (по простиранию залежи) сечении породной толщи. На рис. 3 представлен обобщенный сейсморазрез, полученный

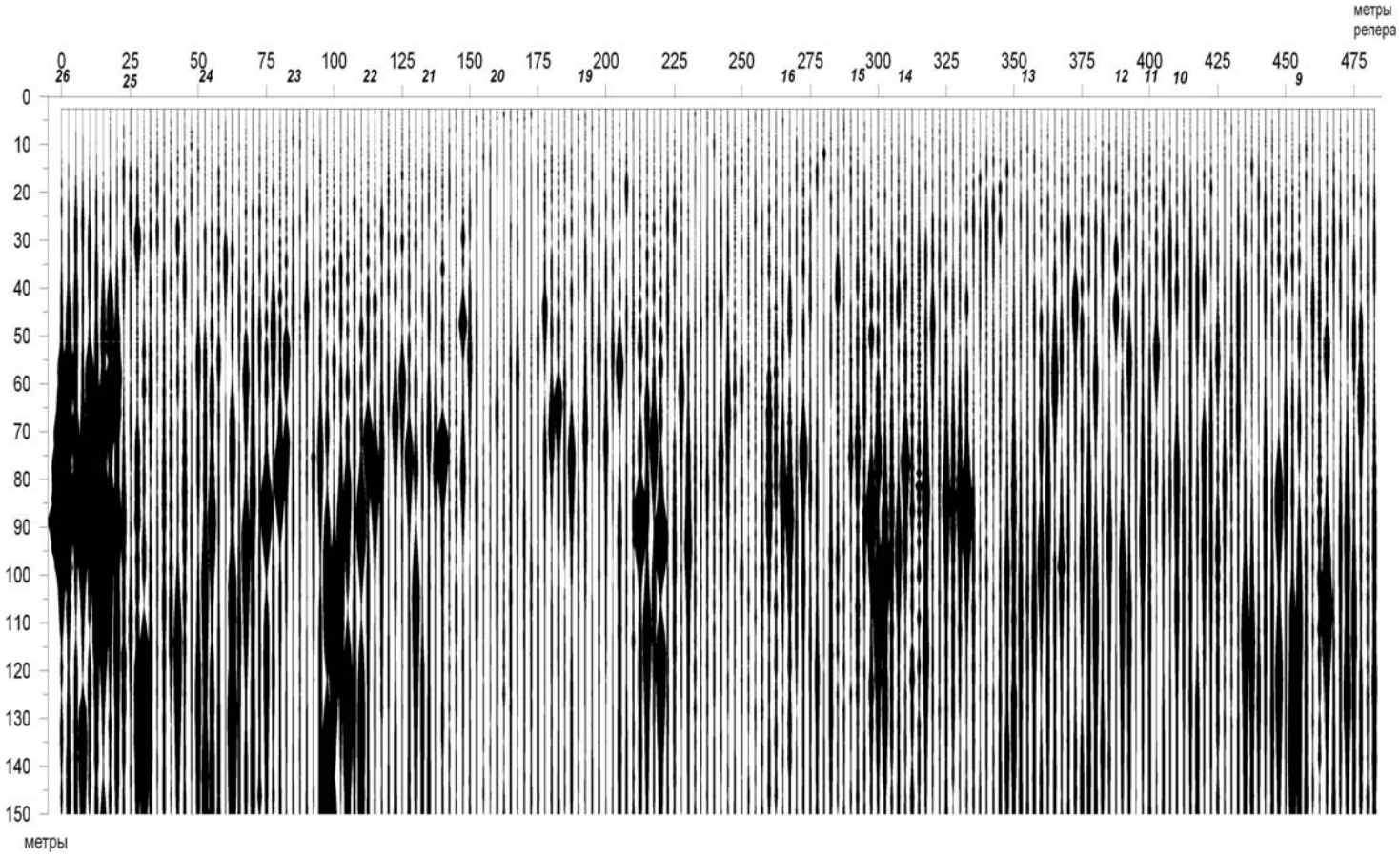

Рис. 3. Сейсморазрез по линии 0

по профильной линии 0, где между реперами 15-16 и 21-22 прослеживается консолидированный геоблок, пересекаемый тектоническим нарушением IX, а южнее репера 15 проявляется относительно равномерно нарушенный крупноблочный массив с зонами ослаблений в районах реперов 9 и 14-15. Более мелкоблочный, но довольно равномерно нарушенный массив залегает к северу от реперов 21-22.

С сейсморазрезом линии 0 согласуются данные, полученные на поперечных реперных линиях. В качестве примера на рисунках 4, 5, 6 представлены, соответственно, сейсморазрезы линий 19, 15 и 6. По линии 15 (рис. 5) консолидированные геоблоки проявляются в интервалах между реперами 8 и 11, а также 12 и 15. По линии 19 (рис. 4) практически весь массив, за исключением относительно монолитной области в интервале 5 – 9, представлен подвижными, в различной степени дезинтегрированными участками. Породный массив по линии 6 (рис. 6) более крупноблочен и менее, но также весьма равномерно, нарушен. Этот факт подтверждается и данными радонометрии, согласно которым по линии 6 корреляция между пространственными координатами точек замеров и эманацией радона практически отсутствовала. Результаты георадарного зондирования также указывали на весьма однородное, по сравнению с другими профилями, структурное строение приповерхностного массива линии 6.

На основании совместного анализа результатов геофизических исследований и ранее полученных геолого-маркшейдерских данных выполнено районирование породного массива промплощадки по критерию подвижности его крупномасштабных (на базах в десятки и сотни метров) структурных элементов. На рис. 1 представлен план, а на рис. 2 разрез породной толщи лежачего бока с трассировкой динамичных структурных элементов и консолидированных геоблоков. Совпадение подвижных участков массива, выявленных геофизическими методами, с местами многолетней устойчивой концентрации горизонтальных деформаций, а также с наиболее крупными тектоническими нарушениями VIII и IX, свидетельствует о временнóй стабильности представленных на рис. 1 и 2 консолидированных породных структур во временных масштабах, соизмеримых с этапами развития зоны обрушения, т.е. десятки месяцев - годы.

Для подтверждения того, что выявленные неоднородности массива не случайны, а являются отражением процесса самоорганизации деформируемой среды, был выполнен сопоставительный анализ. Результаты натурных геофизических исследований сопоставляли с результатами математического моделирования напряженно-деформированного состо-яния массива шахты "Северопесчанская", рассматриваемого как сплошная упругая изотропная среда. Для моделирования применяли метод граничных элементов (программа ELAST-2 ИГД СО РАН), граничные условия принимали на основании многолетних натурных исследований реального напряженно-деформиро-ванного состояния породной толщи лежачего бока Северопесчанской залежи [3]. Рассматривали горизонтальные напряжения и деформации для шести характерных этапов развития зоны обрушения, которые она претерпевала за все время отработки залежи (рис. 7).

Сопоставительный анализ показал, что из всего комплекса параметров,

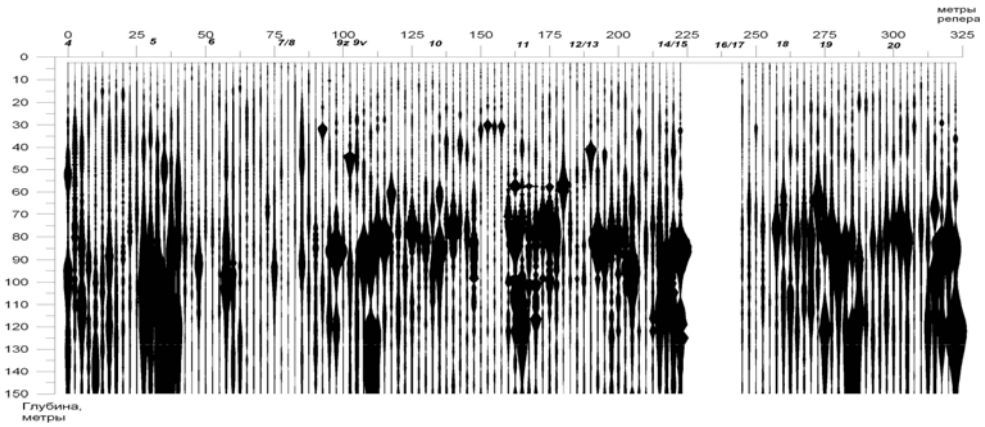

Рис. 4. Сейсморазрез по линии 19

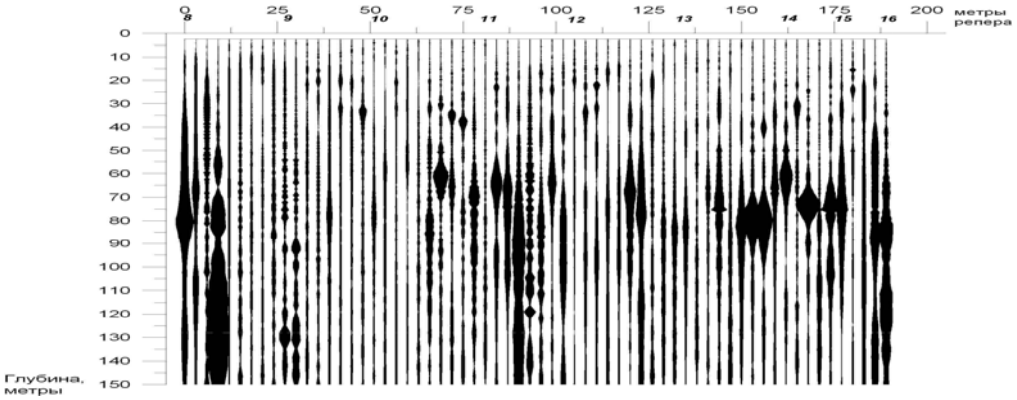

Рис. 5. Сейсморазрез по линии 15

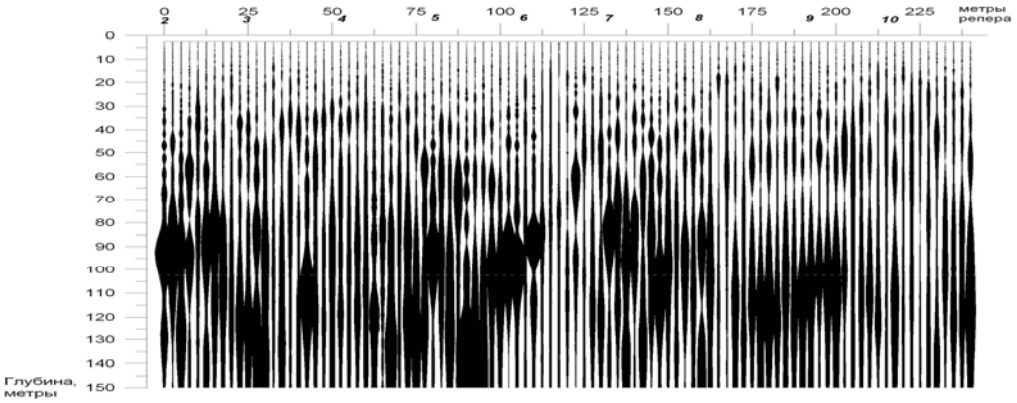

Рис. 6. Сейсморазрез по линии 6

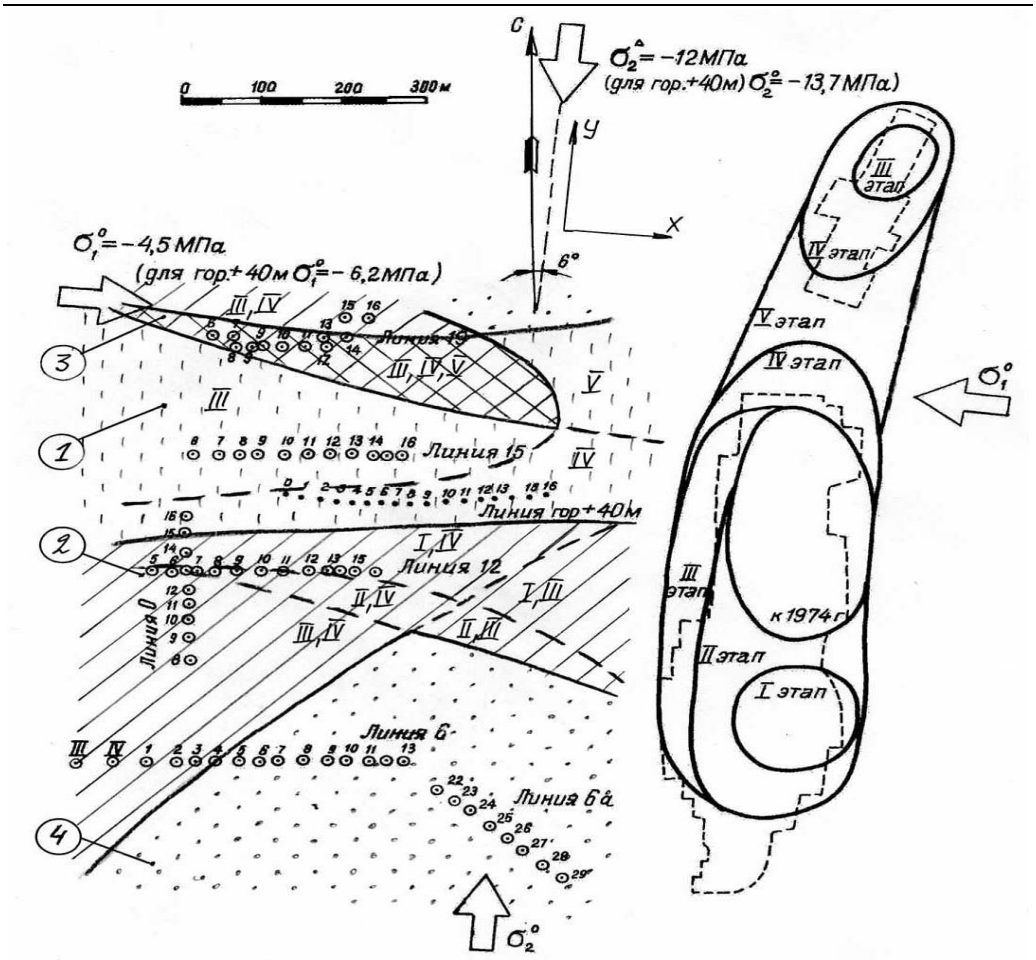

Рис. 7. План промплощадки ш. "Северопесчанская" с реперными линиями и границей зоны обрушения (по этапам развития зоны). Районирование массива по количеству смен знака перед приращениями касательных напряжений τ_{xy}, происходивших в процессе развития зоны обрушения с 1974 по 2006: *1* - одна смена; *2* - две смены; *3* - три смены; *4* - смен знака не было

отражающих изменения напряженного состояния массива в процессе развития зоны обрушения, в наибольшей степени с результатами натурных геофизических исследований коррелируют изменения касательных напряжений. На рис. 7 представлено полученное на основании данных математического моделирования районирование промплощадки шахты по количеству смен направления действия касательных напряжений, которое качественно совпадает с районированием, составленным по геофизическим данным (рис. 1). Это согласуется и с результатами лабораторных исследований процессов самоорганизации сыпучих сред [4], где консолидация блоковых структур происходила в условиях однородного сдвига сыпучего материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Курленя М.В., Опарин В.Н.* Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. 1/ ФТПРПИ. - 1999. - № 3. - С. 12-26.

2. *Курленя М.В., Опарин В.Н.* Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. 2/ ФТПРПИ. - 2000. - № 4. - С. 3-26.

3. *Балек А.Е.* Натурные исследования процесса деформирования горного массива как диссипативной системы// Геомеханика в горном деле – 2000// ИГД УрО РАН. - Екатеринбург, 2000. - С. 9-18.

4. *Бобряков А.П., Ревуженко А.Ф., Шемякин Е.И.* Однородный сдвиг сыпучего материала. Локализация деформаций// ФТПРПИ. - 1983. - №5. - С. 17-21.

Коротко об авторах

Балек А.Е., Замятин А.Л. – Институт горного дела УрО РАН.

© **В.В. Мельник, 2006**

УДК 550.3

В.В. Мельник

*ДИАГНОСТИКА КАРСТООПАСНОСТИ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО СЕЙСМОПРОФИЛИРОВАНИЯ**

Семинар № 3

В ходе решения инженерно-геологических задач по диагностике массива горных пород с целью определения его прочностных характеристик часто сталкиваешься с проблемами развития процессов карстообразования. Многолетний опыт использования геофизических методов для выявления карстовых пустот на объектах Уральского региона дает возможность судить о пригодности того или иного метода к решению практических задач.

По мере развития инструментальной базы в нашем трудовом коллективе использовались разные геофизические методы. Первые исследования проводились на газопроводе Бухара-Урал в Красногорском районе Челябинской области. В то время лаборатория располагала лишь электроразведочным оборудованием АНЧ-3. На участке газопровода проходящего по известнякам появились карстовые воронки, оголившие трубы. С помощью методов электрораз-

*Работа выполнена при поддержке РФФИ и Совета по грантам Президента РФ

ведки удалось выяснить причину активизации карстообразования и очаги дальнейшего развития карстовых провалов. Выпавшая возможность наблюдения за массивом в течение двух лет помогла проработать методическую основу подобных исследований, а также убедиться в достоверности получаемых данных. Электрометрия при правильной постановке исследований с геодезическим сопровождением показала хорошую сходимость прогнозной оценки с произошедшими в дальнейшем кастовыми процессами. В данном случае наиболее быстро и качественно получаются результаты по площадному районированию, для определения же глубинных параметров карстовых полостей требуется детальное зондирование методом ВЭЗ, которое занимает много времени.

Для этих целей в последующее время был привлечен метод спектрального сейсмопрофилирования, разработанный НПФ «Геофизпрогноз» г. Санкт-Петербург. Физические основы метода и возможности его использования хорошо представлены на сайте компании (www.newgeophys.spb.ru), и нет никакого смысла пытаться пересказывать автора.

Следует отметить, что данное оборудование уже на протяжении 3-х лет широко используется нашим коллективом для решения самых различных задач, как на поверхности, так и в шахтных условиях. Конечно, нет смысла ограничиваться только одним методом изучения, как правило, используется для взаимоконтроля как минимум два или три геофизических метода (в основном это электроразведка, георадарное зондирование и спектральное сейсмопрофилирование (ССП)), но встречаются работы, в которых кроме ССП, ни одно оборудование использовать не представляется возможным. В таких случаях приходится опираться только на данные, полученные при спектральной сейсморазведке. В большинстве случаев этого бывает достаточно для изучения структурных особенностей массива горных пород. Из недостатков метода следует выделить сложность интерпретации данных в условиях сильно нарушенного скального массива Уральского региона.

Летом 2005 года наш коллектив столкнулся с решением инженерно-геологической задачи по обследованию оснований проектируемых базовых станций сети СРТС стандарта GSM900/1800 в Пермской области. Причиной возникновения интереса к детальному глубинному изучению площадок строительства послужило наличие в непосредственной близости от объектов карстовых воронок, что в свою очередь говорит о возможности развития процессов карстообразования с последующим выходом на дневную поверхность. Проведенные буровые работы не дали четкого представления о наличии, или отсутствии карста непосредственно на площадке строительства.

Учитывая глубокий уровень залегания грунтовых вод (35-40 м), а следовательно возможную активизацию процессов карстообразования ниже этого уровня, возникли осложнения при использовании методов электроразведки (застроенная и сильно холмистая территория). Георадарное зондирование использовалось, но только для приповерхностной части массива горных пород, к сожалению, глубинность этого оборудования не велика хотя качество и информативность достаточно высока. Основная задача была возложена на метод спектрального сейсмопрофилирования.

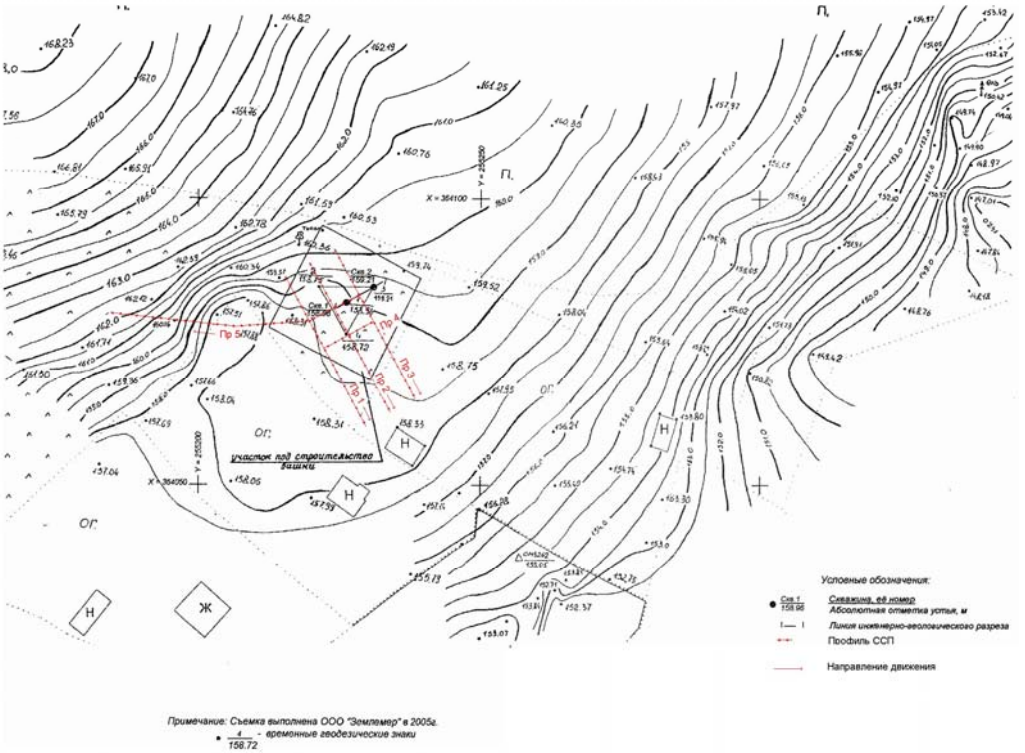

Рис. 1. Схема расположения участка исследований с расположением профилей спектрального сейсмопрофилирования

Возможности метода позволяют детально изучить структурное строение массива горных пород до глубины 100 метров профильными линиями, при этом полевые работы не занимают много времени. Исследования проводились по трем участкам, наиболее опасным из них являлся участок базовой станции ПО-Чере-пахи. Рельеф сильно расчленен, с существенным уклоном в юго-восточном направлении. Разрез представлен скальным грунтом известняков, в верхней части разрушенным до дресвы, сверху перекрытым глинами и суглинками. Повсеместно вокруг участка присутствуют следы карстовых провалов в виде воронок обрушения (рис. 1).

Основной профиль №5 захватывал, как сам участок исследований, так и воронку обрушения от старых карстовых проявлений. В этом отношении при высокой детальности (шаг профиля через 2 м) хорошо просматриваются различия в строении массива горных пород затронутого карстовыми процессами и участка проектируемого сооружения (рис. 2).

В интервале 25-30 м от начала профиля на глубинах 35 и 55 м ярко проявляются следы карстовых проявлений прошлых лет, воронкообразное падение трещиноватости говорит о прошедшем обрушении. Этот карстовый провал хорошо выражен в рельефе. В интервале от начала профиля до 15 м таких объектов не наблюдается, что говорит об отсутствии в настоящий момент времени активизации процессов карстообразования. Учитывая рекомендации изыска-

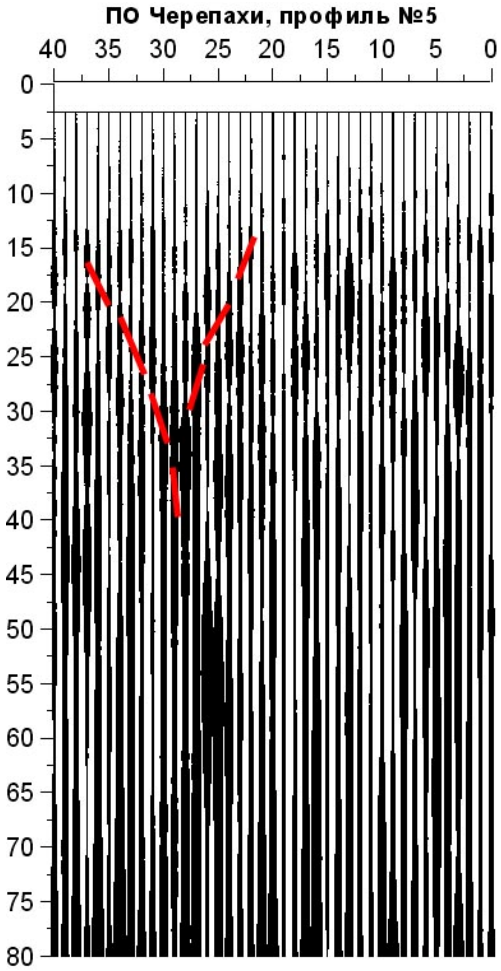

Рис. 2. Спектральный разрез по профилю 5

тельской организации проводившей инженерные изыскания и при соблюдении всех требований к строительству в карстоопасных районах было заключение о возможности строительства базовой станции на этом участке.

Анализируя все материалы, полученные при изучении карстовых областей методами геофизики, следует отметить высокую разрешающую способность и глубинность метода спектрального сейсмопрофилирования. Но для достижения максимальной достоверности и информативности желательно использовать его в комплексе с другими геофизическими методами, изучающими физические параметры (удельное электрическое сопротивление и т.п.) массива горных пород.

Коротко об авторах

Мельник В.В. – Институт горного дела УрО РАН.