

УДК 550.831:[504+622.2]

**О.К. Тяпкин**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСОКОТОЧНОЙ ГРАВИМЕТРИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТАХ**

*Рассмотрены наиболее опасные техногенные процессы при открытых горных работах – динамика развития подземных пустот и понижение уровня подземных вод.*  
*Ключевые слова:* горные разработки, экогеологические исследования, электроразведка, сейсморазведка, гравитационное поле.

**Семинар № 3**

---

**O.K. Tjapkin**  
**USE OF VYSOKOTOCN TH GRAVIMETRII FOR THE CONTROL OF THE CONDITION GEOLOGICAL SREDY AT OPEN MOUNTAIN RABO**

*The most dangerous technogen processes are considered at open mountain rabs – dynamics of development underground pus-that and fall of level of underground waters.*

*Key words:* mountain workings out, ecogeological researches, electro-investigation, seismic prospecting, a gravitational field.

**В**оздействие на окружающую среду и экогеологические последствия горнодобывающих работ на конкретных месторождениях проявляются в разной степени и в различных сочетаниях, в зависимости от особенностей природных условий районов горных разработок и степени воздействия техногенных факторов [5]. Использование исключительно маркшейдерских данных в условиях сложной горно-геологической обстановки разрабатываемого месторождения не дает полной картины о внутреннем состоянии массива горных пород, ограничиваясь данными о геометрии и динамике его отдельных блоков. В тоже время с помощью геофизических методов на эксплуатируемых месторождениях можно изу-

чать и оценивать значимость происходящих изменений окружающей среды, сравнивать ее нарушенное состояние с фоновыми характеристиками и нормативными показателями, исследовать наиболее интенсивные и опасные техногенные процессы. В данной статье будут рассмотрены два из них [2, 4, 8-10]: динамика развития подземных пустот и понижение уровня подземных вод. Суть первого из этих процессов заключается в следующем. Увеличение глубины добычи полезного ископаемого (например, железной руды) открытым способом на участках бывших и действующих подземных рудников приводит к сближению карьера с горными выработками и отработанными пространствами (пустотами). Неопределенное положение пустот, их «всплытие», сопровождающееся непредсказуемым во времени и в пространстве образованием воронок на участках действующего карьера, не позволяет обеспечить надежную безопасность труда и существенно затрудняет планомерную разработку месторождения. Изучение второго из указанных процессов является также важным аспектом экогеологических исследований. В процессе открытой разработки месторождений полезных ископаемых,

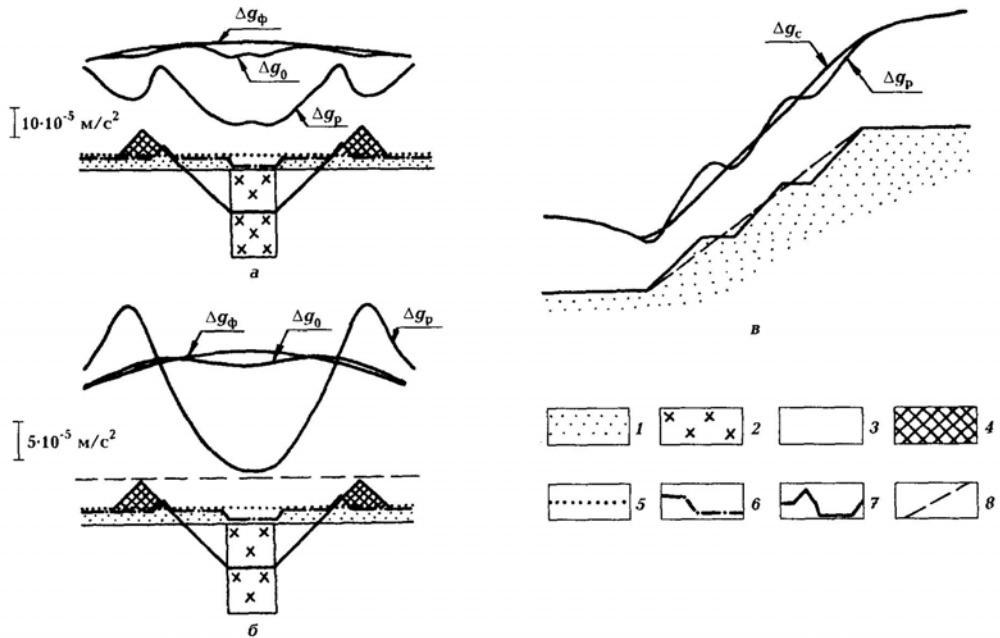
как правило, происходит понижение уровня подземных вод в пределах депрессионного влияния карьерного водоотлива и формируется обширная депрессионная воронка. Эти изменения влекут за собой изменения физико-механических свойств горных пород. В связи с этим вопросы всестороннего изучения указанных условий являются одной из важнейших частей актуальной проблемы безопасного ведения открытых горных работ – борьбы с деформациями уступов, бортов и отвалов.

Традиционными и наиболее широко используемыми геофизическими методами в ходе инженерно-экологических исследований являются электrorазведка и сейсморазведка. Однако эти исследования на действующих карьерах приходится выполнять в условиях высокого уровня индустриальных помех микросейсмического, магнитного и электрического характера. Относительная устойчивость к таким помехам, меньшая себестоимость, существующее значимое различие в величинах плотности водно-газонасыщенных толщ горных пород и пустот в них, а также имеющийся опыт изучения ослабленных зон с помощью гравиметрии [1, 12-20] создают объективную предпосылку успешному применению гравиразведки при решении широкого круга горно-геологических и инженерно-экологических задач в условиях действующего карьера.

**Базовая гравитационная модель действующего карьера.** Общий характер изменения гравитационного поля иллюстрируется на упрощенном модельном разрезе (рис. 1, а, б), включающем помимо разрабатываемых рудных объектов в однородной вмещающей среде также однородные перекрывающие отложения. Вычисленные изменения поля

показаны на двух уровнях. Первым является непостоянная во времени дневная поверхность, имитирующая последовательность открытой разработки месторождений полезных ископаемых: начало разработки (фоновое состояние), снятие перекрывающих отложений, частичная выемка рудного тела. Вторым уровнем является неизменная поверхность на фиксированной высоте Н. На первом уровне, по мере извлечения горной породы, происходит общее понижение значений гравитационного поля. Это вызвано как извлечением и удалением значительных масс пород, так и понижением абсолютных отметок точек вычислений по мере углубления карьера. В результате первоначально простые по форме положительные аномалии трансформируются в сложные аномальные зоны гравитационного поля.

Особый интерес здесь представляет выявленный небольшой «ложный» максимум этого поля в центре карьера, который вызван не наличием каких-нибудь масс под ним, а уменьшением значений поля по мере приближения в вышележащим массам бортов карьера. Результаты вычислений на втором уровне характеризуются более плавным изменением значений поля и формы его аномалий. Эти изменения связаны с изменением рудных масс и перераспределением перекрывающих и вмещающих пород (образование отвалов). Результаты этого этапа исследований позволяют оценить общий характер изменения гравитационного поля, вызванного действующим карьером. При повышении детальности (масштаба) исследований соответственно усложняются используемые модели. Так, например, в общем случае, борт карьера представляет собой систему ступеней, усложняющих форму поверхности и,



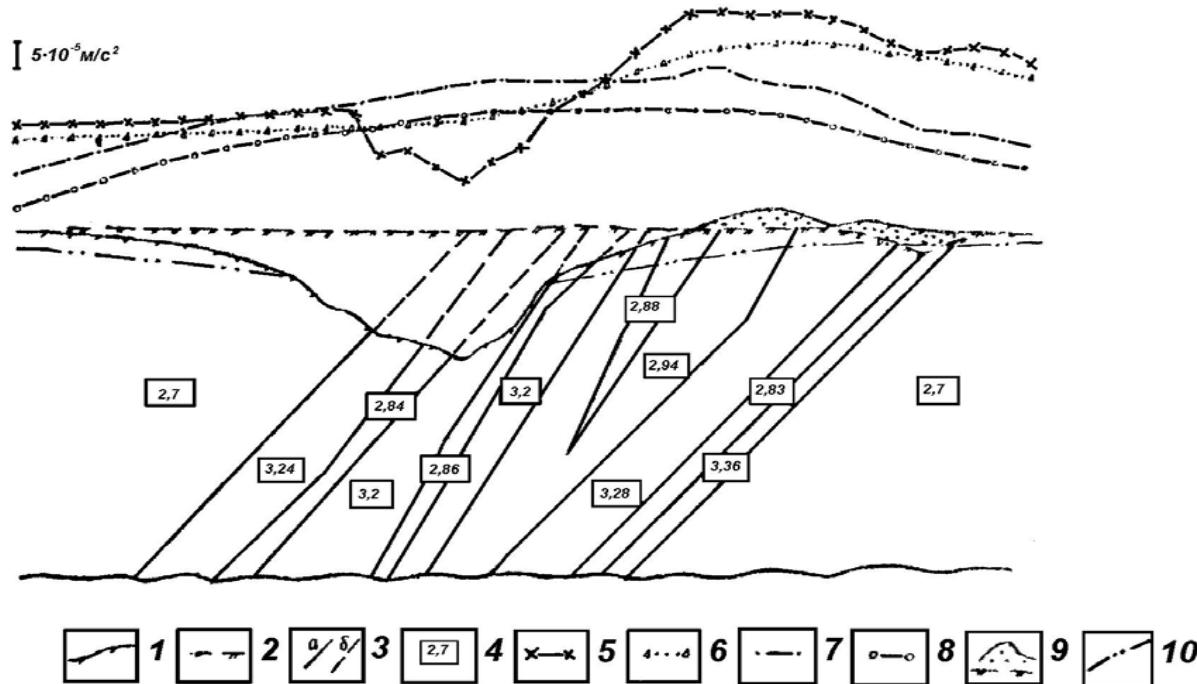
**Рис. 1. Расчет гравитационного эффекта от модели разрабатываемого открытым способом в кристаллических породах рудного месторождения на изменяющейся дневной поверхности (а), фиксированной высоте Н (б) и ступенчатой поверхности борта карьера (в):** 1 – чехол перекрывающих осадочных отложений, 2 – тело полезного ископаемого, 3 – вмещающая безрудная толща, 4 – отвалы, 5–8 – изменяющиеся поверхность вычислений и соответствующие не фиксированным во времени положениям графики гравитационного поля до начала отработки карьера ( $\Delta g_{\phi}$ ) (5), после снятия чехла перекрывающих отложений ( $\Delta g_0$ ) (6), после частичной выемки полезного ископаемого ( $\Delta g_p$ ) (7) и спрятленная упрощенная поверхность борта карьера ( $\Delta g_c$ ) (8)

соответственно, гравитационных аномалий (рис. 1, в).

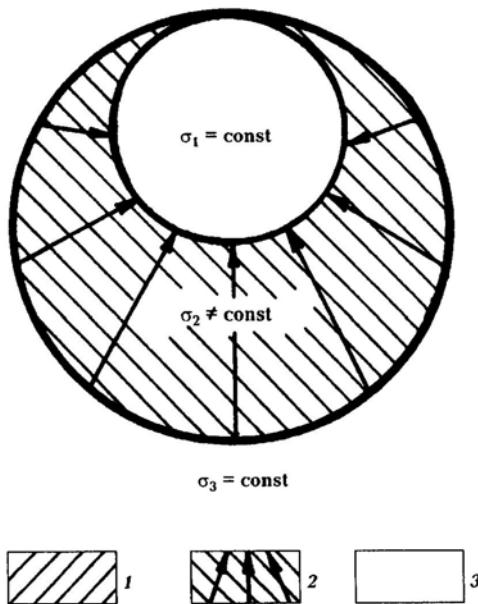
В качестве реального примера рассмотрим разрез по одной из осей шахты «Октябрьской» Криворожского ЦГОКА [4]. Вычисления также были проведены на двух уровнях: на дневной поверхности и на высоте 100 м (рис. 2). Целью исследований здесь была оценка изменения гравитационного поля, вызванные образованием карьера. Так как измерения значений ускорения свободного падения на исследуемой линии в достаточном объеме не проводились ни до закладки карьера, ни во время его эксплуатации, была проведена ретроспектив-

ная реконструкция геологического разреза с вычислением гравитационного поля до закладки карьера (фоновое состояние).

**Гравитационная модель «всплывающей» пустоты.** Изменение положения («всплытие») пустоты приводит к изменению регистрируемых значений гравитационного поля – динамическим аномалиям. В общем случае зоны разуплотнения, обусловленные развитием (обрушением) заброшенных горных выработок и отработанных залежей, в пространстве имеют форму близкую к изометрической [14]. Для изотропной среды в



**Рис. 2. Восстановление фонового гравитационного поля по оси 55 шахты «Октябрьская» Криворожского ЦГOKа:** 1 – поверхность карьера; 2 – реконструированная поверхность без карьера (фоновое состояние); 3 – геолого-геофизические границы: а – существующие, б – реконструированные; 4 – средние значения плотности в блоках пород (в  $\text{г}/\text{см}^3$ ); графики значений гравитационного поля: 5 – на реальной поверхности карьера, 6 – на высоте над реальной поверхностью карьера, 7 – на реконструированной поверхности, 8 – на высоте над реконструированной поверхностью; 9 – отвалы; 10 – динамический уровень подземных вод



**Рис.3. Плотностная модель динамики развития подземной пустоты:** 1 – подземная пустота, 2 – переходная зона с направлениями уменьшения значений плотности, 3 – вмещающие горные породы (монолит)

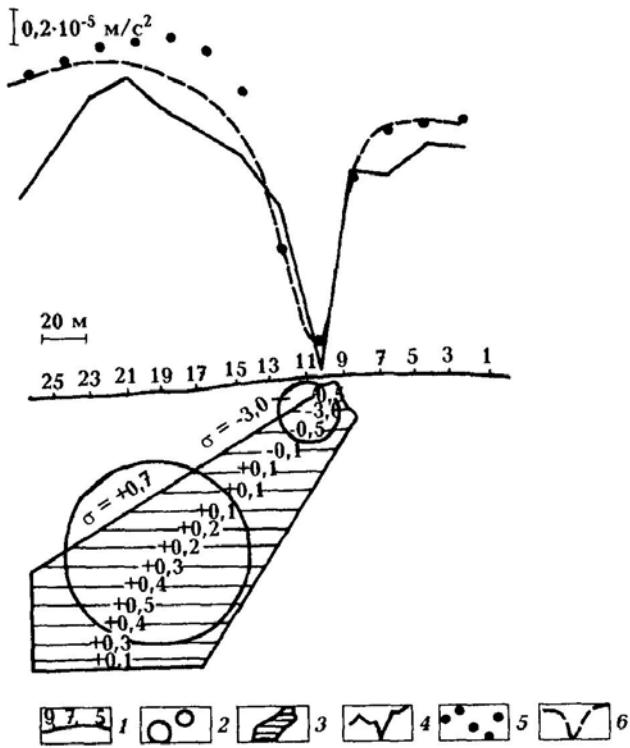
при изучении динамики развития подземной пустоты.

2. В реальных условиях перемещение зоны разуплотнения вверх не происходит с полным восстановлением плотности обрушившихся пород до плотности монолита. Окончательная плотностная модель, построенная по гравитационным данным, представляет собой «деформированный» эллипсоид обрушения, отображающий «перемещение» разуплотненной зоны к поверхности с одновременным уплотнением обрушающейся при этом породы. В этой модели нашло свое отражение образование опасной для ведения горных работ пустоты диаметром 30-40 м с верхней кромкой на глубине 5-10 м в интервале точек №9-11, где зафиксирована интенсивная отрицательная аномалия разностного гравитационного поля. Подтверждением результатов интерпретации гравитационных данных является выход на поверхность воронки диаметром около 30 м между пунктами 9 и 11 [7].

3. **Гравитационная модель гидрогеологического разреза.** В качестве теоретического выбран простой разрез с горизонтальным залеганием пластов горных пород (фоновое состояние). Гравитационное поле во всех точках над таким разрезом постоянно и равно

качестве модели первого приближения принята система вложенных друг в друга сферических слоев, каждый из которых характеризует определенное состояние горного массива: пустота ( $\sigma_1$ ) – переходная зона ( $\sigma_2$ , изменяющейся в пределах от  $\sigma_1$  до  $\sigma_3$ ) – монолит ( $\sigma_3$ ) (рис. 3). Развитие этой модели («всплытие» пустоты) приводит к тому, что объем разуплотненного участка не постоянен, а «след» движения пустоты к поверхности карьера весьма близок по форме к эллипсоиду обрушения [6].

1. В качестве реального примера рассмотрим результаты гравиметрических исследований на одном из карьеров Криворожского ЦГОКа [9, 10]. Здесь основой прослеживания перемещения подземных пустот к поверхности карьера и прогноза воронкообразования являлись периодические гравиметрические наблюдения. На рис. 4 приведены конкретные результаты интерпретации этого поля



**Рис.4. Результаты интерпретации гравиметрических измерений при изучении динамики развития подземной пустоты:** 1 – поверхность измерений, 2 и 3 – плотностные модели первого приближения (2) и окончательная (3), 4-6 – графики гравитационного поля исходного разностного (4), от модели первого приближения (5) и окончательной модели (6)

Границей этих толщ является динамический уровень подземных вод. Зафиксировав величину  $\sigma_m = 2,7 \text{ г}/\text{см}^3$  (что соответствует некоторой усредненной плотности песчано-обломочных и хемогенных образований) расчеты  $\sigma_1$  и  $\sigma_1'$  (и аналогично  $\sigma_2$  и  $\sigma_2'$ ) можно выполнить по известным формулам [11]

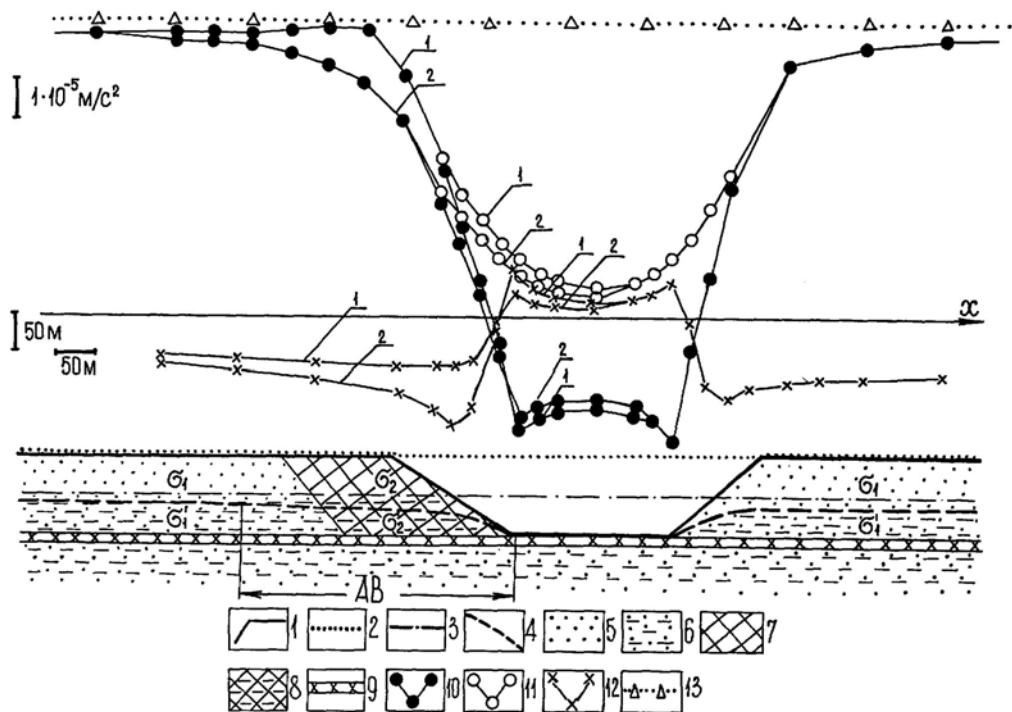
$$\Delta g = \sum_{i=1}^m 2\pi k \sigma_i h_i = \\ = 2\pi k \sum_{i=1}^m \sigma_i h_i \quad (1)$$

$$\begin{cases} \sigma_{1,2} = \sigma_m \cdot (1 - n \cdot 10^{-2}) \\ \sigma_{1,2}' = \sigma_m + (1 - \sigma_m) \cdot n \cdot 10^{-2} \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  – пористость породы, в %.

По мере отработки карьера формируются отвалы пород (техногенные новообразования) со своими водоносными горизонтами. Минеральная плотность этих образований может несколько отличаться от  $\sigma_m$  ненарушенных пород, но это не имеет существенного значения, так как отличия в минеральной плотности проявляются в общей плотности при близкой пористости и становятся несущественными в случае высокой и различной пористости пород [11]. Учитывая последнее, минеральная плотность техногенных новообразований оставлена неизменной по отношению к коренным породам, пористость же изменя-

где  $\sigma_i$  – плотность  $i$ -го пласта;  $h_i$  – вертикальная мощность  $i$ -го пласта;  $m$  – количество пластов;  $k$  – гравитационная постоянная. Такая модель хорошо аппроксимирует горизонтально залегающую единую пластообразную толщу перекрывающих пород с однородной минеральной плотностью  $\sigma_m$ , распадающуюся на две различающиеся по плотности толши газо- и влагонасыщенных пород с плотностями: как в ненарушенных породах соответственно –  $\sigma_1$  и  $\sigma_1'$ , так и во внутренних отвалах соответственно  $\sigma_2$  и  $\sigma_2'$  (рис. 5).



**Рис. 5. Моделирование гравитационного поля над карьером в осадочных породах при наличии внутренних техногенных новообразований с различной пористостью  $n$  ( $1 - n = 20\%$ ,  $2 - n = 40\%$  при пористости ненарушенных пород, равной 30 %):**  
**1 – дневная поверхность, 2 – поверхность до начала отработки карьера (фоновое состояние), 3 и 4 – уровень подземных вод до начала отработки карьера (3), после образования депрессионной воронки (4), 5 и 6 – перекрывающий чехол газо- (5) и влагонасыщенных (6) отложений, 7 и 8 – газо- (7) и влагонасыщенные (8) техногенные новообразования (отвалы), 9 – пластообразное тело полезного ископаемого относительно малой мощности, 10 и 11 – графики значений гравитационного поля на дневной поверхности (10) и на поверхности, соответствующей фоновому состоянию (11), 12 – аномальный гравитационный эффект, вызванный образованием депрессионной воронки, на дневной поверхности (вертикальный масштаб увеличен в 10 раз), 13 – уровень гравитационного поля до начала отработки карьера (фоновое состояние)**

лась в широких пределах  $\pm 10\%$  от значений  $n$  ненарушенных пород. От величины  $n$  зависит крутизна депрессионной воронки (интервал АВ на рис. 5). Чем больше  $n$  техногенных новообразований, тем положе линия динамического уровня подземных вод, и соответственно положе графики гравитационного поля (линии 1 и 2 на рис. 5).

В качестве реального примера был взят субмеридиональный разрез, пе-

ресекающий два карьера Марганецкого ГОКа (рис. 6). Гравитационное поле здесь в целом представляет собой западный «склон» Запорожской (Томаковской) региональной положительной гравитационной аномалии. Был проведен расчет гравитационных аномалий, обусловленных последствиями открытой разработки месторождения полезного ископаемого на реконструированной поверхности, соответствующей фоновому состоя-

нию (до начала отработки карьеров). Амплитуда аномалий  $\Delta g_g$  достигает  $6 \times 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>, что втрое больше естественного перепада значений ускорения свободного падения вдоль всей линии рассматриваемого разреза. На этом фоне аномальный эффект, вызванный изменением гидрогеологических условий, представляет собой пологие аномалии  $\Delta g_b$  относительно простой формы интенсивностью до  $0,07 \times 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>. Современный уровень развития гравиметрии позволяет уверено выделять эти аномалии и, интерпретируя их с достаточной точностью, установить положение динамического уровня подземных вод в бортах, днище и отвалах карьера (где бурение наблюдательных гидрогеологических скважин сопряжено со сложными условиями проходки), а также фиксировать наличие верховодки в теле многослойного отвала с чередованием щебенистых и песчано-глинистых слоев.

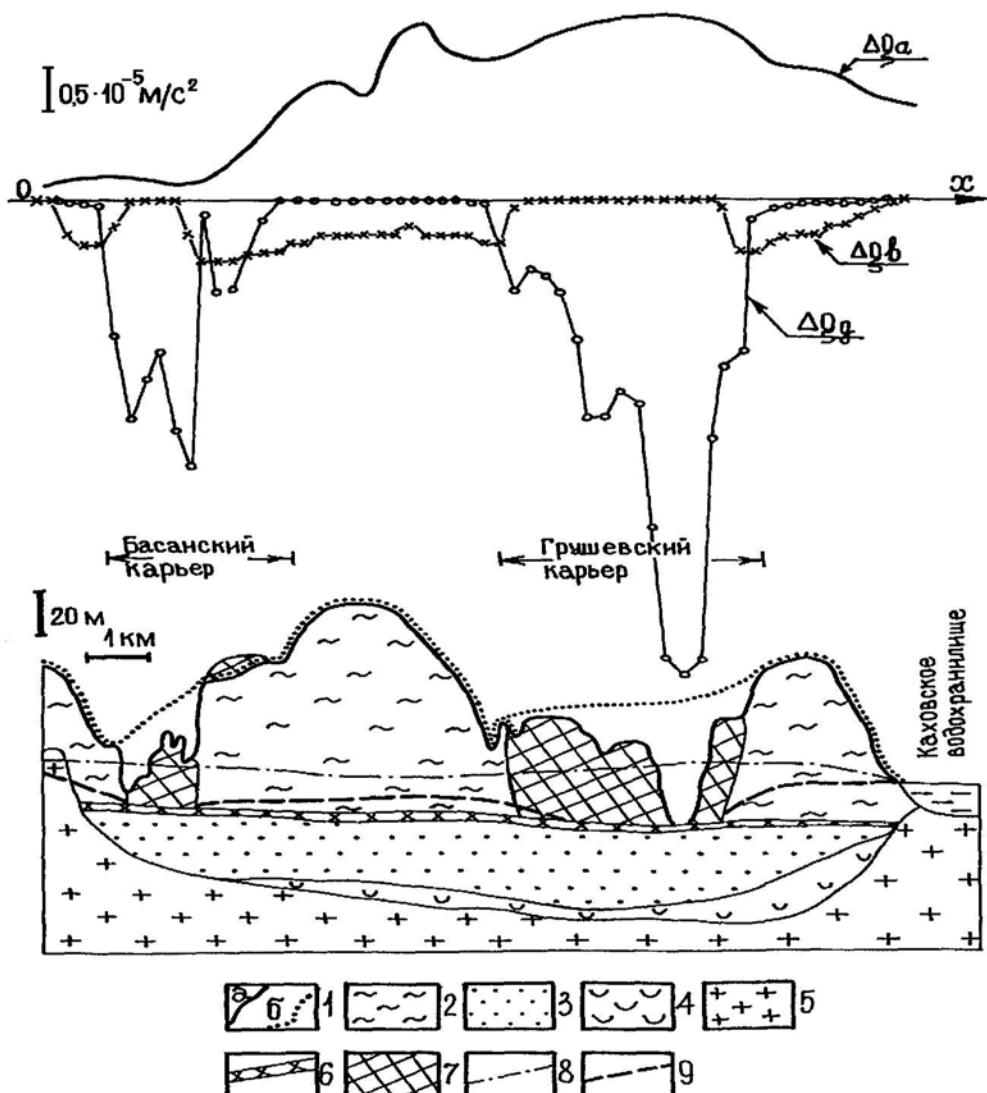
**4. Учет и ослабление влияния мешающих гравиразведке факторов горнодобывающей деятельности.** В районах разрабатываемых открытым способом месторождений гравиметрические исследования проводятся в заведомо недостаточных объемах – короткие рейсы только на дне карьеров и вдоль их бортов (уступов-ступеней). В то же время проведенные расчеты на моделях свидетельствуют о значительных изменениях  $\Delta g$  поперек уступов карьера. Наличие боковых вышележащих масс с одной стороны уступа и отсутствие их внизу с другой его стороны искажают гравитационные аномалии от подповерхностных источников. Эти искажения соизмеримы с величинами аномалий от «всплывающих» пустот. Так изменения  $\Delta g$  поперек 20-ти метрового уступа составляют  $\sim(0,6-$

$0,8) \times 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>, а в случае 30-ти метрового уступа  $\sim 1 \times 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>. Таких же величин достигают гравитационные аномалии от пустот сферической формы диаметром 15-40 м на глубинах 10-40 м. По результатам расчетов даже небольшие пустоты в кристаллических породах радиусом 5-10 м на глубинах до 10-20 м создают заметный гравитационный эффект величиной – первые десятые доли  $1 \times 10^{-5}$  м/с<sup>2</sup>.

Для оценки необходимой точности гравиметрических наблюдений при решении гидрогеологических задач в районе действующего карьера были проведены вычисления с использованием выражения (1) для одного пласта. В качестве  $\sigma$  была использована разность плотностей газо- и влагонасыщенных пород из (2)

$$\sigma = \sigma_1' - \sigma_1 = \sigma_m + (1-\sigma_m) \cdot n \cdot 10^2 - \sigma_m \times \times (1-n \cdot 10^2) = n \cdot 10^2 \quad (3)$$

Расчеты прямого гравитационного эффекта плоскопараллельного слоя малой мощности  $h$  моделируют изменения мощности водоносного горизонта за счет колебания его верхней границы (уровня подземных вод). Результаты вычислений сведены в табл. 1, которую можно использовать для оценки необходимой точности гравиметрических наблюдений при исследованиях колебаний статического уровня подземных вод. Подобная оценка для динамического уровня подземных вод может опираться на гравитационный эффект от вертикальной ступени – горизонтального полупласти (уменьшенные вдвое данные табл. 1). Максимумы гравитационных аномалий, вызванных изменением гидрогеологических условий, находятся в районах бортов карьера, где наиболее сложны аномалии и интенсивны градиенты изучаемого поля (рис. 1, в). Для оценки необходимой точности плановой привязки точек



**Рис. 6. Геолого-геофизический разрез через карьера Марганецкого ГОКа:** 1 – поверхность вычислений (наблюдений) (а – дневная поверхность, б – реконструированная поверхность, соответствующая фоновому состоянию); 2–7 – толщи осадочных пород глинистого (2) и песчаного (3) составов, кора выветривания кристаллических пород (4), кристаллический фундамент (5), пласт марганцевой руды (6), техногенные новообразования (7), 8 и 9 – динамические уровни подземных вод до начала отработки карьера (8) и современный (9) ( $\Delta g_a$  – график аномальных значений гравитационного поля по данным крупномасштабной площадной съемки в процессе геолого-разведочных работ,  $\Delta g_d$  – график динамических гравитационных аномалий, вызванных последствиями открытой разработки месторождения полезного ископаемого,  $\Delta g_g$  – график аномального гравитационного эффекта, вызванного изменением гидрогеологических условий, образование депрессионных воронок (вертикальный масштаб увеличен в 10 раз))

**Изменения значений ускорения свободного падения  
(в  $10^{-8} \text{ м/с}^2$ ) при колебаниях вертикальной мощности  
влагонасыщенного пласта**

Изменение вертикальной мощности влагонасыщенного пласта, в м	Пористость пород, в %					
	2	5	10	20	30	40
0,5	~1	~1	2	4	6	8
1,0	~1	2	4	8	13	17
2,0	2	4	8	17	26	35
3,0	2,5	6	13	26	38	50
4,0	3	8	17	35	50	67
5,0	4	10	21	42	63	84
10,0	8	21	42	84	126	168
20,0	17	42	84	168	251	335

гравиметровых наблюдений в рассматриваемых условиях было проведено сравнение величины локальных гравитационных аномалий, вызванных изменением гидрогеологических условий, с горизонтальным градиентом суммарного поля  $\Delta g$  в районе разработки полезного ископаемого и, особенно, на бортах карьера. (При этом проблема наличия и учета регионального фона достаточно уверено решается традиционными методами [3], и в данной работе нами не рассматривается.)

В модельном расчете (рис.5) горизонтальный градиент  $\Delta g$  достигает  $0,1 \times 10^{-5}$  ( $\text{м/с}^2$ )/м, а гравитационные аномалии гидрогеологической природы не превышают  $(0,2-0,3) \times 10^{-5}$   $\text{м/с}^2$ . Такую же величину, как было показано выше, могут иметь аномалии, вызванные наличием разуплотненной зоны (пустоты). Поэтому точность плановой привязки гравиметрических измерений должна быть не грубее 1 м.

#### Заключение

Подводя итог, можно отметить следующее.

1. Высокоточная гравиметрия позволяет не только выявлять зоны разуплотнения пород, но и проследи-

вать изменения, происходящие с этими зонами. В частности, определяется их перемещение - "всплытие", прогнозируется образование провалов и воронок на поверхности земли, что способствует целенаправленному ведению природоохранных мероприятий на участках развития естественных и техногенных подземных пустот.

2. В настоящее время с помощью гравиразведки можно уверено фиксировать и изучать изменение уровня подземных вод (образование депрессионных воронок) при решении вопросов устойчивости склонов карьера и внутренних (внешних) отвалов горных пород.

3. Результаты проведенных исследований являются основой построения гравитационной части физико-геологической модели предельно-допустимой экологической нагрузки разрабатываемого месторождения и прилегающих территорий в пределах ожидаемой сферы техногенного воздействия и распространения его последствий. Такая модель представляет собой необходимую базу применения высокоточной гравиметрии для решения широкого круга задач экологической безопасности, связанных с горнодобывающей деятельностью.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев Ю.И. Высокоточная гравиразведка при поиске древних пустот // Разве-дочная геофизика. – Москва: Недра. – 1988. – Вып.108. – С.70-75.
2. Возможности применения гравиразведки для решения экогидрогеологических задач в районе разрабатываемого месторождения / О.К. Тяпкин, В.П. Солдатенко, Н.В. Кушинов, Я.Я. Сердюк / Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины. – Днепропетровск, 1996. – 16 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 16.04.96, №943-Ук96.
3. Гравиразведка. Справочник геофизика / Под ред. Е.А.Мудрецовой. – Москва: Недра, 1981. – 397 с.
4. Изменение гравитационного поля в районе разрабатываемого месторождения / О.К. Тяпкин, В.П. Солдатенко, Н.В. Кушинов, Я.Я. Сердюк / Ин-т проблем природопользования и экологии НАН Украины. – Днепропетровск:, 1996. – 11 с. – Рус. – Деп. в ГНТБ Украины 16.04.96, №942-Ук96.
5. Изучение и оценка геолого-экологических последствий разработки месторождений твердых полезных ископаемых / Г.Н. Кащковский, М.В. Кочетков, Н.В. Сокулина, Л.А. Соколовская // Геоэкологические исследований и охрана недр. – Москва: ГеоИнформмарк. – 1992. – Вып. 1. – С.3-13.
6. Куликов В.В. Совместная и повторная разработка рудных месторождений. – Москва: Недра, 1972. – 347 с.
7. Солдатенко В.П. Высокоточная гравиметрия при прогнозе провалов и воронкообразования на разрабатываемых месторождениях // Физ. география и геоморфология. – Киев: КГУ. – 1991. – Вып.38. – С.169-172.
8. Солдатенко В.П., Тяпкин О.К. Применение гравиразведки для решения экогидрогеологических задач // Науковий вісник Національної гірничої академії України. – 1998. – №1. – С.53-57.
9. Тяпкин О.К. Применение гравиразведки для оценки состояния окружающей среды в горнодобывающих районах // Труды 26-й сессии Междунар. семинара «Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей». – Екатеринбург, 1999. – С.108-110.
10. Тяпкин О.К., Солдатенко В.П. Применение гравиразведки для оценки геолого-экологических последствий горнодобывающей деятельности // Геофизический журнал. – 2000. – Т.22, №1. – С.21-30.
11. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика /Под ред. Н.Б.Дортман. – Москва: Недра, 1984. – 455 с.
12. Arzi A.A. Microgravimetry for engineering applications // Geophys. Prosp. – Vol.23. – 1975. – P.408-425.
13. Barrows L., Fett J.D. A high-precision gravity survey in the delaware basin of southeastern New Mexico // Geophysics. – 1985. – Vol.50, №5. – P.825-833.
14. Fajkiewicz Z. Geneza anomalii sily ciezkosci i jej pionowego gradienia nad pustkami, wystepujacymi w skalach kruchych //Ochorona Terenow Gorniczych. – Vol.XIX, №3-4. – 1985. – S.3-13.
15. Hinze W.J. The Role of Gravity and Magnetic Methods in Engineering and Environmental Studies // Geotechnical and Environmental Geophysics. – Tulsa (Oklahoma, USA). – 1990. – Vol.I. – P.75-126.
16. Hinze W.J., Roberts R.L., Leap D.I. Combined Analysis of Gravity and Magnetic Anomaly Data in Landfill Investigations // Geotechnical and Environmental Geophysics. – Tulsa (Oklahoma, USA). – 1990. – Vol.II. – P.267-
17. Lakshmanan J. The generalized gravity anomaly: endoscopic microgravity // Geophysics. – 1991. – Vol.56, №5. – P.712-723.
18. Lashmanan J., Montluccon J. Microgravity probes the great pyramid // Geophysics: The leading edge of exploration. – 1987. – Vol.6, №1. – P.10-17.
19. Roberts R.L., Hinze W.J., Leap D.I. Application of the Gravity Method to Investigation of a Landfill in the Glaciated Midcontinent, U.S.A. // Geotechnical and Environmental Geophysics. – Tulsa (Oklahoma, USA). – 1990. – Vol.II – P.253-259.
20. Wenjin L., Jiajian X. Effectiveness of the High-precision Gravity Method in Detecting Sinkholes in Tai'an Railway Station of Shandong Province // Geotechnical and Environmental Geophysics. – Tulsa (Oklahoma, USA). – 1990. – Vol.III. – P.169-174. ГИАБ

### Коротко об авторе

Тяпкин О.К. – кандидат геолого-минералогических, Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, Днепропетровск, Украина

