

УДК 550.832(474.2) : 551.243

Алла ШОГЕНОВА

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОГО МАССИВА В ЗОНЕ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА РАКВЕРЕСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ФОСФОРИТОВ ПО ДАННЫМ СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИКИ

Из опыта разработки Прибалтийского сланцевого бассейна известно, что наиболее часто встречающимися геологическими явлениями, осложняющими горно-геологические условия сланцевых месторождений, являются малоамплитудные тектонические нарушения, которым сопутствуют вторичные изменения горных пород и карстовые явления (Гази-зов, 1971 и др.).

Для выделения тектонических нарушений на этапе разведочных работ в Эстонии используются с 1952 г. наземные электроразведочные работы, с 1963 г. в модификации дипольного профилирования (ДП) (Вахер, 1986). Однако неоднозначность интерпретации аномалий электропрофилирования не дает возможности определить строение выделенных аномальных зон, степень их нарушенности, прогнозировать наличие карста на определенной глубине, оценить устойчивость горного массива в зонах нарушений. Вероятность вскрытия карстовых нарушений буровыми скважинами при разведочных работах не превышает 1,5% (Гази-зов, 1971), что обусловлено малыми размерами закарстованных зон по сравнению с расстояниями между скважинами. Кроме того, вышеуказанные зоны встречаются не повсеместно. При разбурке аномалий ДП скважинами о карстопроявлениях часто приходится судить только по вторичным признакам.

Для оценки устойчивости горного массива на Раквереском месторождении фосфоритов автором сделана попытка использовать статистическую обработку данных каротажа скважин, пробуренных по нерегулярной сети, методами гамма-каротажа, электрокаротажа и кавернометрии. Для повышения эффективности статистических методов при изучении малоамплитудных нарушений применяется предложенная автором методика детального расчленения разреза карбонатной толщи, перекрывающей промпласт фосфоритов, которая позволяет определять гипсометрические отметки горизонтов, свит, пачек пород и их мощности с точностью ± 20 см при масштабе записи геофизических кривых 1:200 (табл. 1; Шогенова, 1989а).

Детальный структурный анализ и анализ мощностей — основные методы, использующие результаты обработки данных геофизических исследований скважин (ГИС), позволяющие оценить устойчивость горного массива в зонах нарушений.

Автором рассматриваются возможности этих методов на примере профиля скважин Р-2279—Р-2284, пробуренных через аномалию низкого сопротивления дипольного электропрофилирования, выявленную Р. Вахером и детально описанную ранее (Шогенова, 1989а). Аномалию интерпретируют как нарушение III порядка — зона трещиноватости (Пуура и др., 1987). Для анализа профиль был дополнен в северном и южном направлениях скважинами, пробуренными в нормальном поле. Средняя мощность ненарушенной толщи O_2hr-O_{1lt} была принята за фоновую ($m_{cp}=75,7$ м) (табл. 2). В скважинах, пересекающих зону нарушения, были рассчитаны потери мощностей по следующим форму-

Мощности горизонтов, свит, пакет, (по данным ГИС), м

| Горизонт | Свита | Пачка | P-2279 | | | P-2280 | | | P-2281 | | | P-2282 | | | P-2283 | | | P-2284 | | |
|-------------------|-------------------|----------------------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|-------|
| | | | Горизонт | Свита | Пачка | Горизонт | Свита | Пачка | Горизонт | Свита | Пачка | Горизонт | Свита | Пачка | Горизонт | Свита | Пачка | Горизонт | Свита | Пачка |
| Q | | | | 5,2 | | | 5,2 | | | 4,1 | | | 3,3 | | | 4,5 | | | 2,9 | |
| O ₃ nb | | | | 3,2 | | | 2,8 | | | 5,2 | | | 2,8 | | | 5,5 | | | — | |
| O ₂ rk | O ₂ rg | T | | | 9,1 | | | 10,4 | | | | | | 9,4 | | | | 9,2 | | 10,3 |
| | | P ⁺ Tr | | 15,3 | 6,2 | | 16,0 | 5,6 | | 15,5 | | | 15,4 | 6,0 | | 15,5 | | 6,3 | 16,9 | 6,6 |
| O ₂ on | O ₂ tr | | | 3,4 | | | 3,7 | | | 3,1 | | | 3,5 | | | 3,4 | | | 3,2 | |
| O ₂ kl | O ₂ kl | S | | | 4,3 | | | 3,5 | | | | | | 4,0 | | | | 4,3 | | 4,5 |
| | | P | 12,0 | 12,0 | 1,8 | | 11,2 | 1,6 | 11,4 | 11,4 | | | 11,9 | 1,9 | 11,9 | 11,9 | 1,9 | 12,2 | 12,2 | 2,1 |
| | | K | | | 5,9 | | | 6,1 | | | | | | 5,5 | | | 5,7 | 5,7 | | 5,6 |
| O ₂ jh | O ₂ jh | M | | | 1,1 | | | 1,1 | | | | | | 1,0 | | | | 1,0 | | 1,0 |
| | | P | 8,4 | 8,4 | 3,5 | | 8,3 | 3,7 | 7,8 | 7,8 | | | 8,3 | 3,8 | 8,3 | 8,3 | 3,5 | 8,4 | 8,4 | 3,6 |
| | | A | | | 3,8 | | | 3,5 | | | | | | 3,0 | | | 3,8 | | | 3,8 |
| O ₂ id | O ₂ vs | | | 2,5 | | | 2,6 | | | 2,7 | | | 2,5 | | | 2,2 | | 2,4 | | |
| | O ₂ tf | 2 | 5,0 | | 1,4 | | 5,1 | 1,3 | 5,3 | 5,1 | 1,1 | | | 1,3 | 5,1 | | 1,5 | 5,0 | | 1,3 |
| | | 1 | | | 1,1 | | | 1,2 | | | 1,5 | | | 1,3 | | | 1,4 | | | 1,3 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|-----------------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----|
| O ₂ kk | O ₂ vv | P | 12,6 | 12,6 | 2,7 | 12,2 | 12,2 | 2,4 | 11,9 | 11,9 | 2,4 | 12,2 | 2,4 | 11,8 | 11,8 | 2,5 | 12,6 | 12,6 | 2,7 | |
| | | M | 12,6 | 12,6 | 4,4 | 12,2 | 12,2 | 4,4 | 11,9 | 11,9 | 4,4 | 12,2 | 4,3 | 11,8 | 11,8 | 3,8 | 12,6 | 12,6 | 4,4 | |
| | | K | 12,6 | 12,6 | 5,5 | 12,2 | 12,2 | 5,4 | 11,9 | 11,9 | 5,6 | 12,2 | 5,5 | 11,8 | 11,8 | 5,5 | 12,6 | 12,6 | 5,5 | |
| O ₂ uh | O ₂ kr | E | 15,4 | 11,6 | 5,0 | 15,5 | 11,2 | 5,6 | 15,5 | 11,4 | 4,9 | 15,5 | 5,0 | 15,5 | 11,4 | 5,1 | 15,6 | 11,6 | 5,2 | |
| | | P | 15,4 | 11,6 | 3,0 | 15,5 | 11,2 | 2,2 | 15,5 | 11,4 | 2,8 | 15,5 | 2,8 | 15,5 | 11,4 | 2,7 | 15,6 | 11,6 | 2,9 | |
| | | K | 15,4 | 11,6 | 3,6 | 15,5 | 11,2 | 3,4 | 15,5 | 11,4 | 3,3 | 15,5 | 3,6 | 15,5 | 11,4 | 3,6 | 15,6 | 11,6 | 3,5 | |
| O ₂ ls | O ₂ vū | 3 | 4,6 | 8,4 | 5,7 | 4,2 | 8,5 | 5,9 | 4,2 | 8,6 | 2,4 | 4,0 | 8,1 | 4,7 | 8,8 | 5,7 | 4,3 | 8,3 | 5,7 | |
| | | 1 ⁺ | 4,6 | 8,4 | 2,7 | 4,2 | 8,5 | 2,6 | 4,2 | 8,6 | 2,4 | 4,0 | 8,1 | 2,3 | 4,7 | 3,1 | 4,3 | 8,3 | 2,6 | |
| | | 2 | 4,6 | 8,4 | 2,7 | 4,2 | 8,5 | 2,6 | 4,2 | 8,6 | 2,4 | 4,0 | 8,1 | 2,3 | 4,7 | 3,1 | 4,3 | 8,3 | 2,6 | |
| O ₂ as | O ₂ as | O | 3,1 | 3,1 | 0,7 | 3,3 | 0,9 | 0,9 | 3,1 | 3,1 | 0,9 | 3,3 | 1,2 | 3,1 | 3,1 | 0,9 | 3,2 | 3,2 | 0,9 | |
| | | M | 3,1 | 3,1 | 2,4 | 3,3 | 2,4 | 2,4 | 3,1 | 3,1 | 2,2 | 3,3 | 2,1 | 3,1 | 3,1 | 2,2 | 3,2 | 3,2 | 2,3 | |
| O ₁ kn | O ₁ np | V | 6,9 | 1,5 | 1,5 | 1,3 | 7,0 | 5,1 | 2,0 | 6,7 | 1,3 | 4,9 | 1,8 | 6,7 | 1,3 | 1,7 | 5,0 | 1,2 | 1,8 | |
| | | | | U | 4,9 | 4,9 | 3,1 | 3,1 | 3,1 | 4,9 | 1,9 | 3,0 | 4,9 | 1,7 | 3,3 | 6,8 | 5,0 | 6,8 | 5,0 | 1,8 |
| | | | | V | 4,9 | 4,9 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 4,9 | 0,5 | 0,5 | 4,9 | 0,4 | 0,4 | 6,8 | 5,0 | 6,8 | 5,0 | 1,8 |
| O ₁ vl | O ₁ tl | K | 1,9 | 2,1 | 0,5 | 2,0 | 2,2 | 0,7 | 2,0 | 2,3 | 0,7 | 1,9 | 0,7 | 2,0 | 2,3 | 0,7 | 2,0 | 2,3 | 0,6 | |
| | | K _n ⁺ | 1,9 | 2,1 | 0,7 | 2,0 | 2,2 | 0,4 | 2,0 | 2,3 | 0,4 | 1,9 | 0,6 | 2,0 | 2,3 | 0,6 | 2,0 | 2,3 | 0,7 | |
| | | T _n | 1,9 | 2,1 | 0,7 | 2,0 | 2,2 | 0,9 | 2,0 | 2,3 | 0,9 | 1,9 | 0,6 | 2,0 | 2,3 | 0,7 | 2,0 | 2,3 | 0,7 | |
| O ₁ lt | O ₁ lt | S | 1,5 | 1,2 | 0,3 | 1,2 | 1,0 | 0,2 | 1,4 | 1,1 | 0,3 | 1,6 | 0,3 | 1,6 | 1,3 | 0,3 | 1,4 | 1,1 | 0,3 | |
| | | P | 1,5 | 1,2 | 0,3 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,6 | 0,9 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | |
| | | M | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,6 | 0,9 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | |
| ΣO ₁ lt—O ₂ hr | O ₁ lt | I | 1,5 | 1,2 | 0,3 | 1,2 | 1,0 | 0,3 | 1,4 | 1,1 | 0,3 | 1,6 | 0,4 | 1,6 | 1,3 | 0,3 | 1,4 | 1,1 | 0,2 | |
| | | P | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,6 | 0,9 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | |
| | | M | 1,5 | 1,2 | 0,9 | 1,2 | 1,0 | 0,7 | 1,4 | 1,1 | 0,8 | 1,6 | 0,9 | 1,6 | 1,3 | 1,0 | 1,4 | 1,1 | 0,9 | |

лам: $(m_{\text{ср}} - m_i)$, м и $\left(\frac{m_{\text{ср}} - m_i}{m_{\text{ср}}} \cdot 100 \right)$, %, где m_i — мощность толщ

$O_2hr - O_{1lt}$ в данной скважине; $m_{\text{ср}}$ — средняя мощность ненарушенной толщи $O_2hr - O_{1lt}$ (фоновая мощность).

Максимальная потеря мощности 3,3 м (4,4%) наблюдается в скв. Р-2281, пробуренной в осевой зоне нарушения. Потеря мощностей в остальных скважинах убывает с удалением от оси нарушения (табл. 2). Данные о мощностях геологических подразделений (табл. 1), полученные по геофизическим кривым, позволяют не только оценить потерю мощности всей толщи пород, но и указать горизонт, свиту или пачку, в которой произошла конкретная потеря мощности. Так, потеря мощностей в скважинах Р-2281, Р-2283 O_2kk наблюдается в майдлаской пачке. Это же подтверждается данными изучения керна кукурузеского горизонта данных скважин. По данным каротажа, потеря мощности в скв. Р-2281 O_2jh возможна в алувереской пачке, а в скважинах Р-2280, Р-2281 O_2kl — в сауэской.

Таким образом, в результате детального анализа можно сделать вывод о том, что основная потеря мощностей перекрывающей промпласт фосфоритов толщи в зоне нарушения произошла в кровле промпласта сланцев. Графики отклонения от среднего значения мощностей геологических слоев, заключенных между реперными контактами, построены по данным ГИС (рис. 1).

Уменьшение мощностей является типичным физическим процессом в кровле над карстовыми нарушениями (Газизов, 1971; Исаев и др., 1984). Высокий процент потери мощностей в толще $O_2hr - O_{1lt}$, а также косвенные признаки развития карста — вторичные изменения горных пород (Шогенова, 1989а, б), позволяют сделать вывод о существенной роли карстовых явлений в процессе формирования нарушения, о выщелачивании пород $O_2kl - O_2kk$, проседании геологических слоев в образовавшиеся ранее полости. Вышеизложенное дает возможность прогнозировать наличие карстовых полостей в промпласте сланцев в зоне нарушения.

Эти выводы подтверждаются и результатами структурного анализа. Так, амплитуда смещения северного крыла изученной зоны нарушения

Таблица 2

Уменьшение мощностей геологических слоев по скважинам

| № скважины | Мощность $O_2hr - O_{1lt}$, м | | Потеря мощности | |
|------------|--------------------------------|---------|---------------------------|---|
| | По скважине (m_i) | Средняя | $m_{\text{ср}} - m_i$, м | $\frac{m_{\text{ср}} - m_i}{m_{\text{ср}}} \cdot 100$, % |
| Р-1856 | 75,20 | 75,64 | | |
| Р-1749 | 75,49 | | | |
| Р-1852 | 76,22 | | | |
| Р-2279 | 74,80 | | 0,93 | 1,23 |
| Р-2280 | 73,70 | | 2,03 | 2,68 |
| Р-2281 | 72,40 | | 3,33 | 4,40 |
| Р-2282 | 74,00 | | 1,73 | 2,28 |
| Р-2283 | 74,10 | | 1,63 | 2,15 |
| Р-2284 | 74,70 | | 1,03 | 1,36 |
| Р-2188 | 75,85 | 75,82 | | |
| Р-2094 | 75,80 | | | |
| Р-1840 | 75,80 | | | |

Средняя фоновая мощность ($m_{\text{ср}}$) = 75,73

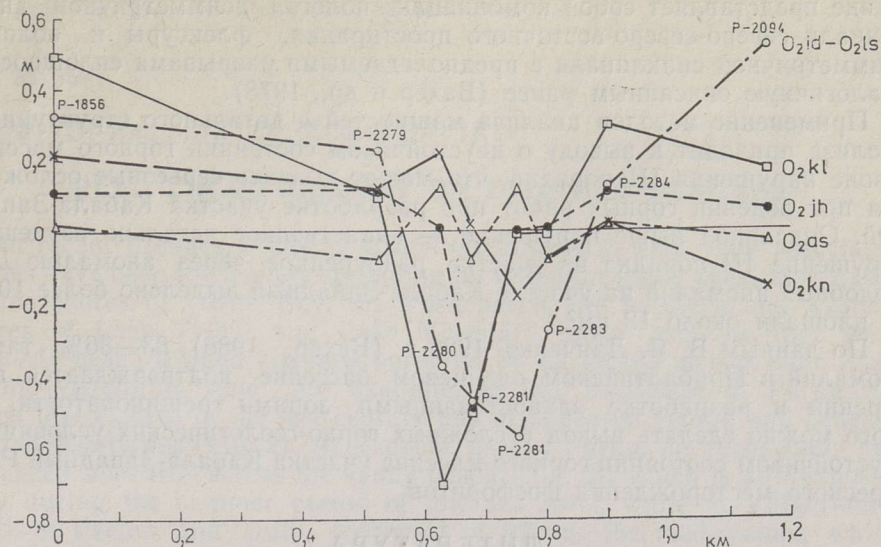


Рис. 1. Отклонение мощностей слоев в скважинах от фоновых значений, м.
(Вместо O_{2kp} должно быть O_{1kp} .)

составляет 7,3 м по подошве O_{2rg} (между скв. P-2281 и скв. P-2094), постепенно убывает с глубиной до 4,3 м по подошве $O_{2v\ddot{a}}$, не изменяясь далее до кровли фосфоритов. Аналогично амплитуда смещения южного крыла составляет 5 м по подошве O_{2rg} (между скв. P-2281 и P-1856), уменьшается до 2,3 м по подошве $O_{2v\ddot{a}}$ и сохраняется таковой до конца разреза. Для оценки устойчивости горного массива в зоне нарушения III порядка построена схема-разрез деформации поверхностей (рис. 2). Абсолютные отметки реперных подошв горизонтов или свит отложены последовательно, без соблюдения масштаба мощностей, что позволяет более рельефно отобразить деформации геологических поверхностей. Таким образом, представленное на схеме нарушение III порядка можно интерпретировать как зону тектонической трещиноватости, осложненную карстовыми процессами и проседанием геологических слоев. Нару-

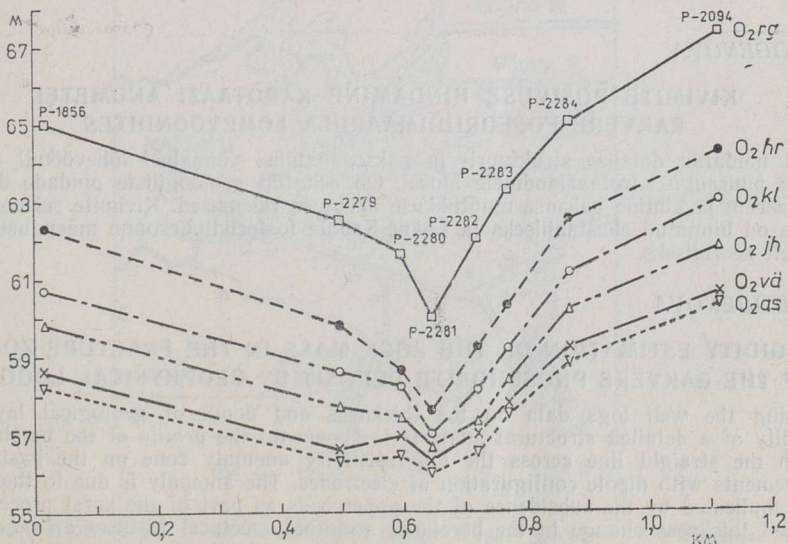


Рис. 2. Схема-разрез деформации геологических поверхностей в зоне нарушения III порядка

шение представляет собой комбинацию пологой асимметричной антиклинали северо-северо-восточного простирания, флексуры и пологой асимметричной синклинали с предполагаемыми разрывами сплошности, аналогичную описанным ранее (Вахер и др., 1978).

Применение методов анализа мощностей и детального структурного анализа приводит к выводу о неустойчивом состоянии горного массива в зоне нарушения III порядка, что может вызвать серьезные осложнения при ведении горных работ при разработке участка Кабала-Западный. Описанное выше нарушение — единственное детально изученное нарушение III порядка на участке, разбуренное через аномалию ДП. Подобных аномалий на участке Кабала-Западный выделено более 10-ти на площади около 12 км².

По данным В. Я. Данченко 1980 г. (Вахер, 1986), 83—86% таких аномалий в Прибалтийском сланцевом бассейне подтверждается при бурении и разработке закарстованными зонами трещиноватости. Из этого можно сделать вывод о сложных горно-геологических условиях и неустойчивом состоянии горного массива участка Кабала-Западный Раквереского месторождения фосфоритов.

ЛИТЕРАТУРА

- Газизов Н. С. Карст и его влияние на горные работы. М., 1971.
Вахер Р. М., Кала Э. А., Пуура В. А. Линейные дислокации осадочного чехла Северной Эстонии // Локальные структуры Белоруссии и Прибалтики. Тез. VII годичн. совещ. комиссии по тектонике Белоруссии и Прибалтики. Вильнюс, 1978, 31—34.
Вахер Р. М. Применение метода сопротивлений для выявления зон трещиноватости в Северо-Восточной Эстонии // Изв. АН ЭССР. Геол., 1986, 35, № 4, 146—155.
Исаев Ю. С., Вишняков Э. Х., Левин А. С. Геофизические методы исследований в горных выработках // Методы и критерии промышленной оценки минерально-сырьевой базы сланцедобывающих предприятий. Л., 1984, 111—125.
Пуура В. А., Вахер Р. М., Туулинг И. И. Тектоника // Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритноносного района. Таллинн, 1987, 90—104.
Шогенова А. Расчленение ордовикской карбонатной толщи на Раквереском месторождении фосфоритов по данным скважинной геофизики // Изв. АН ЭССР. Геол., 1989а, 38, № 1, 10—13.
Шогенова А. Оценка нарушения ордовикской карбонатной толщи на Раквереском месторождении фосфоритов по данным скважинной геофизики // Изв. АН ЭССР. Геол., 1989б, 38, № 3, с. 118—123.

Институт геологии
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
1/XII 1988

Alla SOGENOVA

KIVIMITE PÜSIVUSE HINDAMINE KAROTAAZI ANDMETEL RAKVERE FOSFORIIDIMAARDLA LÕHEVÕÖNDITES

On näidatud detailse struktuuri- ja paksusanalüüsi võimalusi lõhevõõndi ristlõikes kaheksa puuraugu karotaažiandmete alusel. On esitatud geoloogiliste pindade deformatsiooni skeem ja kihtide paksuse muutlikkuse arvutuse tulemused. Kivimite seisundit lõhevõõndis on hinnatud ebastabiilseks ja Lääne-Kabala fosforiidipiirkonna mäendustingimusi äärmiselt keeruliseks.

Alla SHOGENOVA

RIGIDITY ESTIMATION OF THE ROCK MASS IN THE FRACTURE ZONES OF THE RAKVERE PHOSPHORITE DEPOSIT BY GEOPHYSICAL LOGGING

Using the well logs data on the thickness and depth of geological layers, the possibility of a detailed structural analysis is shown on the profile of the boreholes falling on the straight line across the low-resistivity anomaly zone on the basis of the measurements with dipole configuration of electrodes. The anomaly is due to the fracture zone complicated by the subsidence of the upper beds as part of the karst processes. An estimated thickness change in the boreholes and the structural features arrangement in the fracture zone are shown. The state of the rock mass in the fracture zone is estimated as unstable and the structural environment in the West-Kabala region is assumed to be adverse to mining.