

УДК 550.832(474.2) : 551.243+519.2

Алла ШОГЕНОВА\*

## ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНОГО МАССИВА РАКВЕРЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ФОСФОРИТОВ ПО ДАННЫМ СКВАЖИННОЙ ГЕОФИЗИКИ

Раквереское месторождение фосфоритов Эстонии характеризуется пологим залеганием тонкослоистой карбонатной толщи пород ордовикского возраста, включающей промпачку горючих сланцев-кукерситов и перекрывающей промышленный пласт фосфоритов. Моноклиальная структура осадочного чехла нарушена линейными дислокациями, зонами трещиноватости и брахискладками (Пуура и др., 1987). Из опыта освоения месторождений Прибалтийского сланцевого бассейна известно, что зоны трещиноватости, представляющие собой малоамплитудные или безамплитудные тектонические нарушения, которым сопутствуют вторичные изменения пород и карстовые процессы, наиболее часто вызывают осложнения при ведении горных работ (Газизов, 1971; и др.).

В Эстонии начиная с 1963 г. для выявления тектонических нарушений ведутся наземные электроразведочные работы методом дипольного электропрофилеирования (ДП) (Вахер, 1986). При этом, кроме протяженных линейных нарушений I порядка и сопутствующих им внутриблоковых нарушений II порядка, по аномалиям ДП выделяются зоны трещиноватости — нарушения III порядка (Пуура и др., 1987). Трудности при интерпретации аномалий ДП не дают возможности однозначно определить строение аномальных зон, степень их нарушенности, прогнозировать наличие карста на определенной глубине, оценить устойчивость горного массива в зонах нарушений.

Информативные для решения этих задач методы анализа мощностей и структурного анализа по данным скважинной геофизики позволяют выделить упомянутые выше нарушения III порядка и оценить устойчивость горного массива в зонах трещиноватости наиболее перспективного по запасам фосфоритов участка Кабала-Западный Раквереского месторождения.

Как видно по сводной карте с осями электроаномалий и структурными элементами, известными ранее и выделенными автором (рис. 1), участок Кабала-Западный ограничен на западе линейным нарушением I порядка — Азериским тектоническим нарушением, представляющим собой сочетание флексуры, антиклинали и синклинали и отражающим разрыв в кристаллическом фундаменте (Пуура и др., 1987). Естественной границей участка Кабала-Западный на востоке является эрозионный врез погребенной долины р. Кунда (глубина вреза 15—40 м) (Таваст, 1987). В районе работ проведены электроразведочные исследования методом ДП в масштабе 1 : 50000 Кохтла-Ярвеской геологической партией ПО «Эстонгеология» (неопубликованный отчет В. Каттая, В. Данченко и др. «Результаты изучения тектонической трещиноватости на Эстонском месторождении горючих сланцев», 1980). Непосредственно на участке Кабала-Западный в масштабе 1 : 10000 Р. Вахером (1986) выделен ряд аномалий ДП, корреляция которых по профилям затруднена (рис. 1). Из более чем десяти выделенных аномальных зон разбурена шесть сква-

\* Eesti Teaduste Akadeemia Geoloogia Instituut (Институт геологии Академии наук Эстонии). 200105 Tallinn, Estonia pst. 7. Estonia.

жинами только одна, детально изученная и описанная по данным бурения и каротажа скважин (Шогенова, 1989а, б, 1990; Шогенова, Туулинг, 1990).

Создание базы данных по району работ осуществлено на персональном компьютере IBM-PC/AT. Она содержит значения глубин геологических слоев по 13 уровням, абсолютные отметки устьев и относительные координаты 400 скважин. Глубины слоев определены по диаграммам геофизических исследований скважин (ГИС) методами гамма-каротажа и кажущегося сопротивления с точностью  $\pm 20$  см при масштабе записи диаграмм 1:200 (Шогенова, 1989а). При построении карт и их анализе использованы готовые пакеты прикладных программ и оригинальные

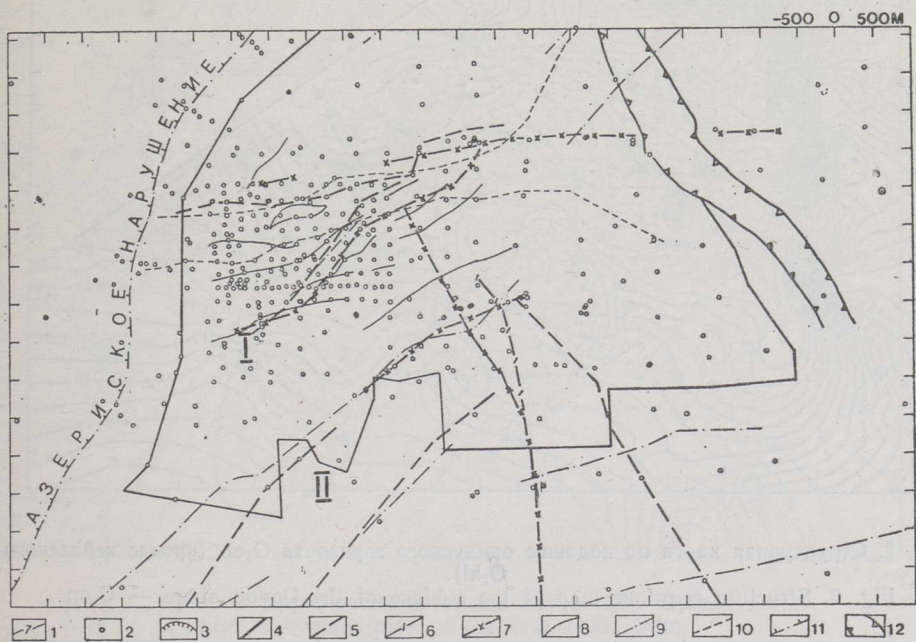


Рис. 1. Оси выделенных зон и аномалий дипольного профилирования. Условные обозначения (здесь и к рис. 2—5, 7, 8): 1 — изолинии со значениями соответствующего параметра, 2 — местоположение скважин, 3 — изолинии с уменьшающимися значениями соответствующего параметра, 4 — контур участка детальных разведочных работ Кабала-Западный, 5 — оси зон трещиноватости, выделенные по отклонениям мощностей толщи пород  $O_2kl-O_1kn$ , 6 — оси зон трещиноватости, выделенные по проседанию подошвы  $O_{2op}$ , 7 — оси зон трещиноватости, выделенные по проседанию подошвы  $O_{1kn}$ , 8 — оси аномалий дипольного электропрофилирования по данным Р. Вахера (1986), 9 — оси аномалий дипольного электропрофилирования по данным из неопубликованного отчета В. Каттая, В. Данченко и др. (1980), 10 — границы Канткюлаского тектонического нарушения по данным из неопубликованного отчета В. Каттая, В. Данченко и др. (1980), 11 — смыкающее крыло флексуры, 12 — эрозионный врез погребенной долины р. Кунда.

Fig. 1. Axes of located fracture zones and low-resistivity anomaly zones.

Here and in Figs. 2—5, 7, and 8: 1 — contours with the values of the respective parameter, 2 — boreholes, 3 — contours with the decreasing values of the respective parameter, 4 — contour of the West-Kabala region, 5 — axes of fracture zone located by thickness losses of the  $O_2kl-O_1kn$  beds, 6 — axes of fracture zone located by the subsidence of the beds of the Oandu stage, 7 — axes of fracture zone located by subsidence of the beds of the Kunda stage, 8 — axes of low resistivity anomaly zones obtained with dipole configuration of electrodes using data by R. Vaher (Baxep, 1986), 9 — axes of low resistivity anomaly zones obtained with dipole configuration of electrodes from the unpublished report of V. Kattai, V. Danchenko, et al. (1980), 10 — boundaries of the Kantküla dislocation according to the unpublished report of V. Kattai, V. Danchenko, et al. (1980), 11 — the limb of the monoclinical fold, 12 — buried valley of the Kunda River.

программы автора на языке Бейсик. Построение структурных карт, карт изопахит и трехмерных изображений осуществлено с применением алгоритма Крайгинга (метод скользящего среднего). Карты распечатаны на матричном принтере EPSON-1500. Имеющаяся база данных и программное обеспечение дают возможность построения структурных карт по любому из введенных геологических уровней, а также карт мощностей (изопахит) по любому слою, заключенному между этими уровнями.

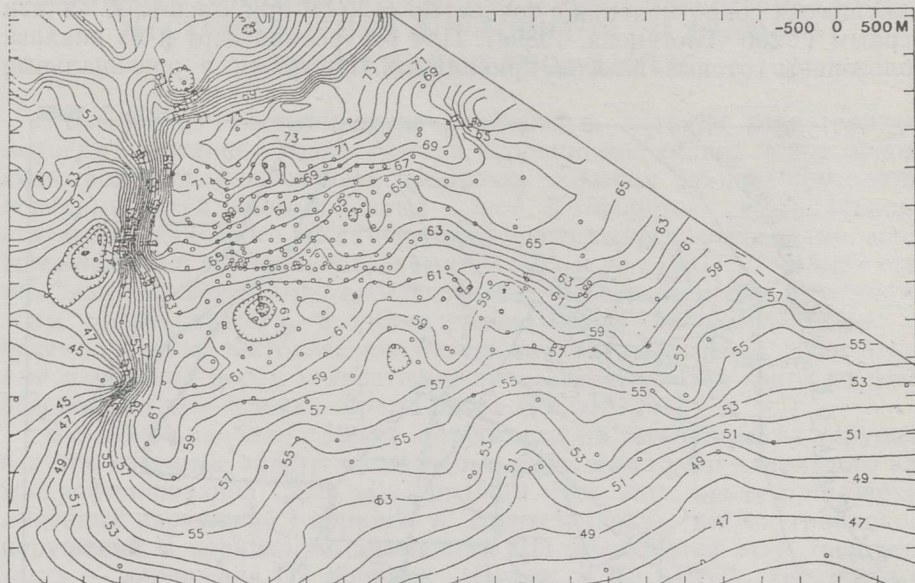


Рис. 2. Структурная карта по подошве оандуского горизонта  $O_{2on}$  (кровле кейлаского  $O_{2kl}$ ).

Fig. 2. Structure contour map of the subsurface of the Oandu stage —  $O_{2on}$ .

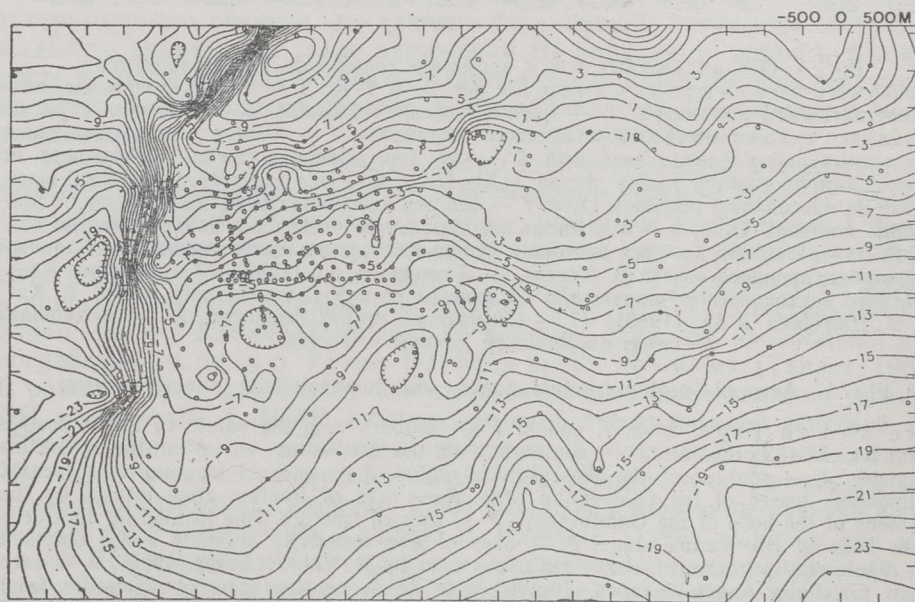


Рис. 3. Структурная карта по подошве кундаского горизонта  $O_{1kn}$ .  
Fig. 3. Structure contour map of the subsurface of the Kunda stage,  $O_{1kn}$ .

Для оценки устойчивости горного массива данного участка построены структурные карты по двум опорным геологическим поверхностям — по подошве оандуского горизонта  $O_{2on}$  (кровле кейлаского  $O_{2kl}$ , рис. 2) в верхней части разреза и по подошве кундаского горизонта  $O_{1kn}$  (рис. 3), залегающего в непосредственной близости от промпласта фосфоритов. Эти слои являются реперными при расчленении геологического разреза, и их гипсометрические отметки надежно выделяются по диаграммам ГИС (Шогенова, 1989а). Отложения оандуского горизонта эродированы на северо-востоке врезом погребенной долины р. Кунда (рис. 1).

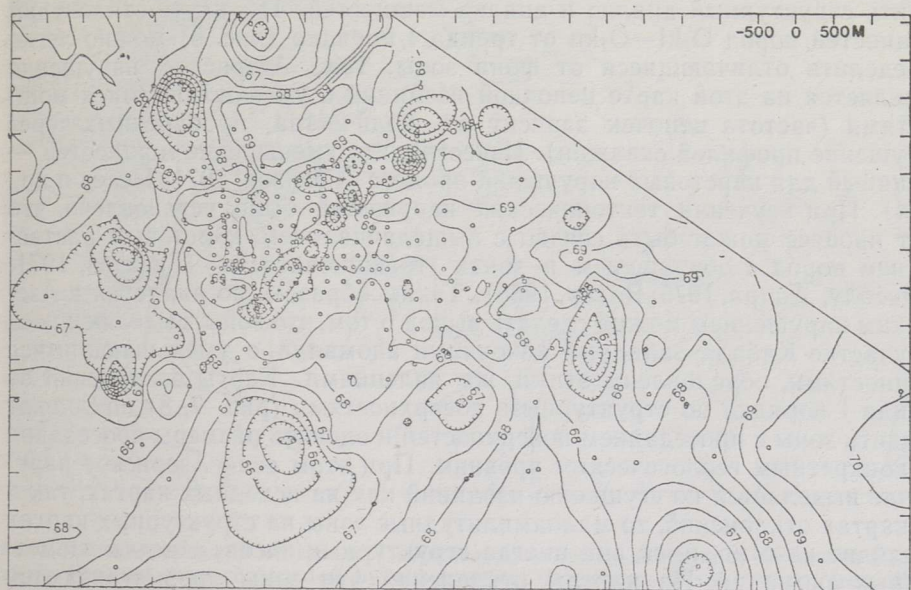


Рис. 4. Карта изопахит толщи пород  $O_{2kl}-O_{1kn}$ .  
Fig. 4. Isopach map of the beds  $O_{2kl}-O_{1kn}$ .

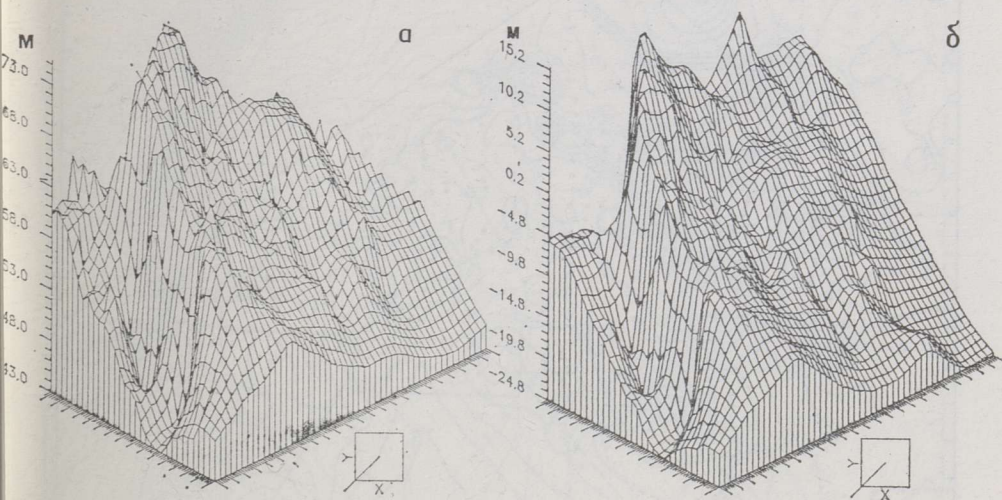


Рис. 5. Трехмерное изображение подошвы оандуского горизонта  $O_{2on}$  (а) и подошвы кундаского горизонта  $O_{1kn}$  (б).

На вертикальной оси — абсолютные отметки поверхности, м

Fig. 5. Three-dimensional view of the subsurface of the Oandu stage,  $O_{2on}$  (a) and the subsurface of the Kunda stage,  $O_{1kn}$  (b).

Карта изопахит показывает изолинии мощности толщи пород  $O_2kl-O_1kn$ , заключенной между упомянутыми поверхностями (рис. 4), включающей промпачку сланцев и перекрывающей промпласт фосфоритов. Модели трехмерных изображений подошв  $O_2op$  и  $O_1kn$  (рис. 5) наглядно отражают особенности их структурного строения. По значениям глубин  $O_2op$  и  $O_1kn$  и мощностей  $O_2kl-O_1kn$  с помощью программы на языке Бейсик вычислены коэффициенты трендов I порядка, характеризующих региональный фон. Карты отклонений тренда, построенные путем вычитания из значений в каждой точке регулярной сети, рассчитанных для исходной карты, значений тренда I порядка, позволяет более эффективно проводить структурный анализ и анализ мощностей. По карте отклонений мощностей пород  $O_2kl-O_1kn$  от тренда I порядка (рис. 6) можно легко определить отличающиеся от фона зоны. Так, Азериское нарушение выделяется на этой карте цепочкой изолиний с уменьшающимися мощностями (частота цепочек зависит от количества пробуренных через нарушение профилей скважин). Известно, что уменьшение мощностей — типичный для карстовых нарушений процесс (Газизов, 1971; Исаев и др., 1984). При изучении тектонических нарушений было установлено, что этот процесс может быть связан с выщелачиванием, карстовым растворением пород и обрушением в зонах трещиноватости (Газизов, 1971; Хейнсалу, Андра, 1975; Вахер, 1986). Таким образом, по аналогии с Азериским нарушением можно сделать вывод о том, что зоны, выделяющиеся на участке Кабала-Западный цепочками аномалий с уменьшающимися мощностями, обусловлены этими же явлениями. Карты отклонений от тренда I порядка по структурным поверхностям (рис. 7, 8) позволяют выявить зоны с проседанием поверхностей и оценить размеры проседания по конкретным геологическим уровням. При этом если Азериское нарушение выделяется по сгущению изолиний как на исходных картах, так и на картах отклонений, то малоамплитудные зоны на структурных картах выглядят нечетко, имея вид иногда структурных носов, изредка изометричных аномалий. По картам отклонений эти зоны просматриваются более четко.

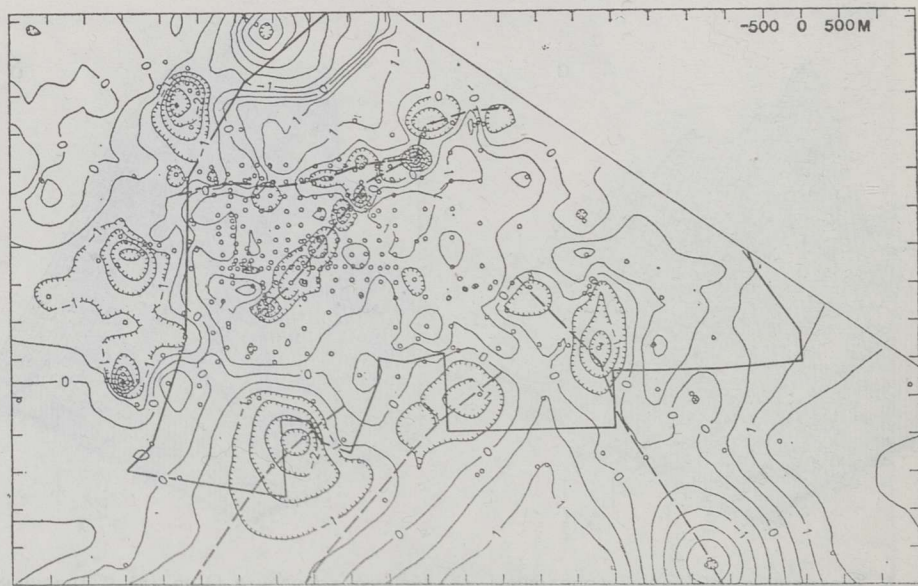


Рис. 6. Карта отклонений мощностей толщи пород  $O_2kl-O_1kn$  от тренда I порядка.  
 Fig. 6. Residual map constructed by subtracted first-degree trend surface from isopach map of the beds  $O_2kl-O_1kn$ .

В результате анализа можно выделить две основные зоны трещиноватости со значительными потерями мощностей, расположенные под острым углом к Азерискому тектоническому нарушению, и примыкающие к ним более мелкие зоны с уменьшенными мощностями или/и с проседанием геологических слоев. I зона пересекает участок детальных работ почти по диагонали, прослеживается по проседаниям подошв  $O_2op$  и  $O_1kn$  по всей длине и характеризуется потерей мощностей перекрываю-

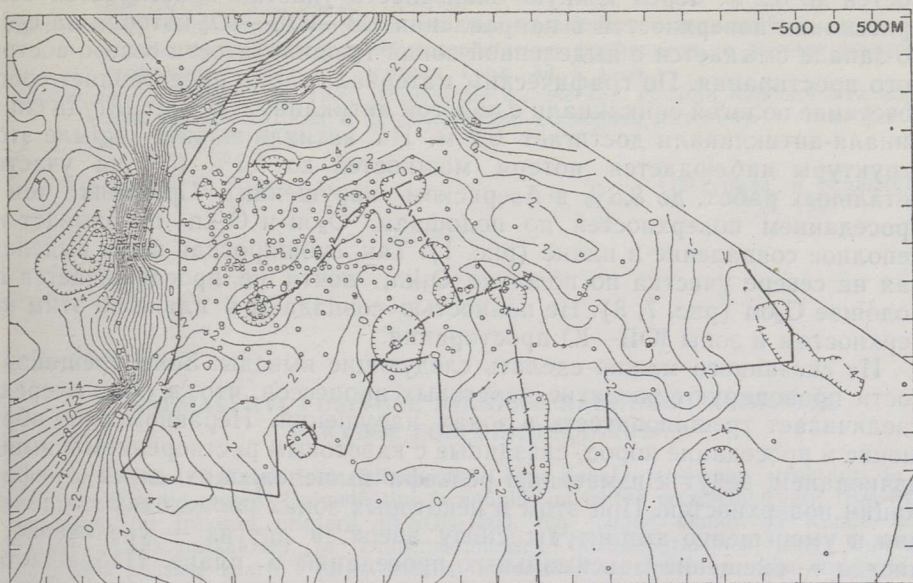


Рис. 7. Карта отклонений от тренда I порядка по подошве оандуского горизонта  $O_2op$ .  
Fig. 7. Residual map constructed by subtracting first-degree trend surface from the structure map of the subface of the Oandu stage.

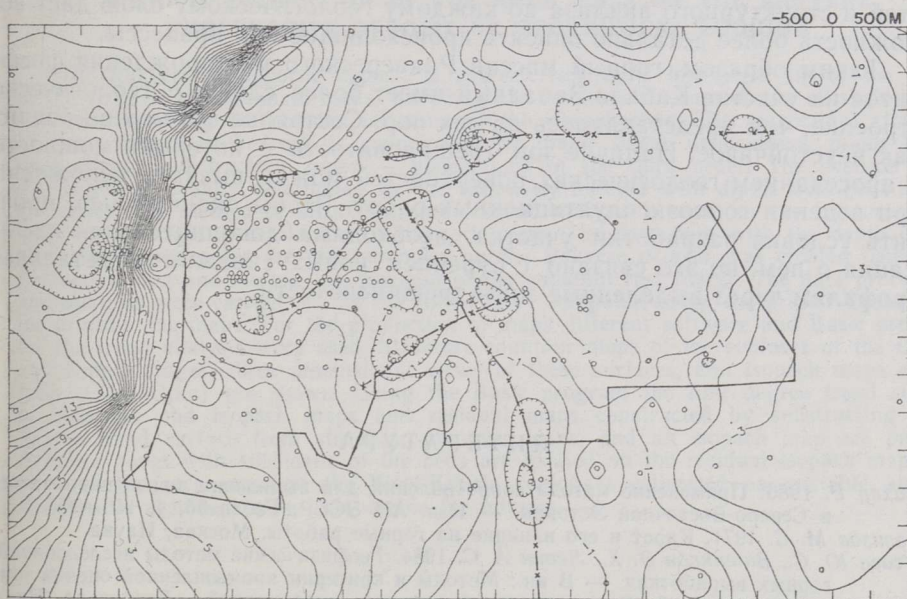


Рис. 8. Карта отклонений от тренда I порядка по подошве кундаского горизонта  $O_1kn$ .  
Fig. 8. Residual map constructed by subtracting first-degree trend surface from the structure map of the subface of the Kunda stage.

щей пласт фосфоритов толщи до 4,4% (по детально изученному профилю, см. Шогенова, 1990). Зона сочленяется с менее четкой субширотной зоной, ось которой частично параллельна ранее выделенному Канткюласкому тектоническому нарушению (отчет В. Каттая, В. Данченко и др., 1980) и местами пересекается с его северной границей (рис. 1). П зона пересекает участок с юго-запада на северо-восток и представляет собой широкую полосу с двумя параллельными осями и потерей мощностей до 6,2%. Через южную оконечность участка простирается зона проседания поверхностей в направлении СЗ—ЮВ—Ю, которая на северо-западе смыкается с выделенной зоной трещиноватости северо-восточного простираения. По графическим материалам, она представляет собой сочетание пологой синклинали с пологой антиклиналью. Амплитуда синклинали-антиклинали достигает 6,2 м. На антиклинальном крыле этой структуры наблюдается потеря мощностей до 7,3% (5% на участке детальных работ, до 8,5% в Азериском нарушении). Сравнение зон с проседанием поверхностей по подошвам  $O_2op$  и  $O_1kp$  показывает их неполное совпадение в плане (рис. 1). Так, субширотная зона, выделенная на севере участка по подошве  $O_1kp$ , почти не прослеживается по подошве  $O_2op$  (рис. 7, 8). Не полностью совпадают в плане по этим поверхностям и зоны ЮВ—Ю простираения.

Из сказанного можно сделать следующие выводы. Зоны трещиноватости провоцируют развитие карстовых процессов, что, в свою очередь, увеличивает трещиноватость в зонах нарушений. Неравномерное обрушение и проседание пород, связанные с карстовым растворением и выщелачиванием, ведут к изменению рельефа вышележащих слоев и деформации поверхностей. При этом в некоторых зонах происходят компенсация и уменьшение амплитуды снизу вверх, в других — увеличение, а иногда — смещение максимальных проседаний в плане. Наблюдается также смещение в плане осей, выделенных по потерям мощностей и по проседаниям геологических поверхностей (рис. 1). В основном прослеживается тенденция потери мощностей на крыльях, смыкающих синклинальные части структур с проседанием поверхностей с их антиклинальными частями, или в узлах этих структур. Проведение анализа мощностей и структурного анализа по каждому геологическому слою даст возможность более детально описать происходящие там процессы.

Таким образом, горный массив Раквереского месторождения фосфоритов на участке Кабала-Западный имеет более сложное геологическое строение, чем представлялось до сих пор. Состояние его можно оценить как неустойчивое. Наличие зон трещиноватости с потерями мощностей и проседанием геологических поверхностей может вызвать осложнения при ведении горноэксплуатационных работ. Чтобы окончательно прояснить условия разработки участка, необходима дополнительная информация о нем, но это связано с бурением новых скважин по детальным профилям через выделенные зоны трещиноватости.

## ЛИТЕРАТУРА

- Вахер Р. 1986. Применение метода сопротивлений для выявления зон трещиноватости в Северо-Восточной Эстонии. — Изв. АН ЭССР. Геол., 35, 4, 146—155.
- Газизов М. С. 1971. Карст и его влияние на горные работы. Москва, Наука.
- Исаев Ю. С., Вишняков Э. Х., Левин А. С. 1984. Геофизические методы исследований в горных выработках. — В кн.: Методы и критерии промышленной оценки минерально-сырьевой базы сланцедобывающих предприятий. Ленинград, Недра, 111—125.
- Пуура В. А., Вахер Р. М., Туулинг И. И. 1987. Тектоника. — В кн.: Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритоносного района. Таллинн, Валгус, 90—104.

- Таваст Э. 1987. Рельеф коренных пород. — В кн.: Геология и полезные ископаемые Раквереского фосфоритоносного района. Таллинн, Валгус, 77.
- Хейнсалу Ю., Андра Х. 1975. Трещиноватость в районе сланцевых шахт Эстонии и геофизические методы ее исследования. Таллинн, Валгус.
- Шогенова А. 1989а. Расчленение ордовикской карбонатной толщи на Раквереском месторождении фосфоритов по данным скважинной геофизики. — Изв. АН ЭССР. Геол., 38, 1, 10—13.
- Шогенова А. 1989б. Оценка нарушенности ордовикской карбонатной толщи на Раквереском месторождении фосфоритов по данным скважинной геофизики. — Изв. АН ЭССР. Геол., 38, 3, 118—123.
- Шогенова А. 1990. Оценка устойчивости горного массива в зоне тектонической трещиноватости на Раквереском месторождении фосфоритов по данным скважинной геофизики. — Изв. АН Эстонии. Геол., 39, 1, 1—6.
- Шогенова А., Туулинг И. 1990. Изменение физических свойств карбонатных пород в зоне трещиноватости и доломитизации (Северная Эстония). — Изв. АН Эстонии. Геол., 39, 2, 41—49.

Представил В. Пуура

Поступила в редакцию  
29/I 1991

Alla ŠOGENOVA

### MAEMASSIIVI PÜSIVUSE HINNANG KAROTAAŽI ANDMETEL RAKVERE FOSFORIIDIMAARDLAS

On esitatud Rakvere fosforiidimaardla Lääne-Kabala jaoskonna struktuuri ja paksuse analüüsi tulemused. Andmetöötlus ja analüüs on tehtud personaalarvutil IBM-PC/AT, graafikud on trükitud printeril EPSON-1500. On toodud Oandu ja Kunda lademe lamami struktuurikaartid ja kolmemõõtmelised blokkdiagrammid ning  $O_2kl-O_1kn$  kihtkonna paksuse kaart. I järgu trendist kõrvalekallete alusel on välja eraldatud rida lõhevõõndeid, kus on toimunud kivimite vajumine ja nende paksuse vähenemine 4,4—7,3%. Määmassiiv lõhevõõndites on ebapüsiv, see raskendab kaevamist.

Alla SHOGENOVA

### RIGIDITY ESTIMATION OF THE ROCK MASS ON THE RAKVERE PHOSPHORITE DEPOSIT BY GEOPHYSICAL LOGGING

The Rakvere phosphorite deposit is characterised by a low-angle dip to the south of the Ordovician carbonate rocks, including the commercial seam of the oil-shale-kukersites and covering the commercial seam of the phosphorites. The monoclinical structure of the sedimentary bedrock is complicated by major linear dislocations, minor linear dislocations, and fracture zones — dislocations of the third order. The position of a dislocation is usually determined by the resistivity method with dipole configuration of electrodes. The method of structural environment analysis is used for the fracture zones location and rigidity estimation of the rock mass. The data base with the depth of the 13 regional stages for the 400 boreholes on the Rakvere deposit was created using the gamma-ray log and electric log (method of the apparent resistivity). The data processing and analysis were carried out on the IBM-PC/AT computer, using the printer Epson-1500 for printing the maps. For the production of maps different software and Basic program for the trend analysis were used. Structure contour maps of the subfaces of the Oandu and Kunda stages, three dimensional views of these surfaces, and isopach maps of the beds ( $O_2kl-O_1kn$ ) are shown. Using the Basic program the first degree trend surface of structure and isopach maps and residual maps constructed by subtracting first-degree trend surface from structure contour maps, and an isopach map are printed. Fracture zones with subsidens of the beds are located on the residual isopach map. The state of the rock mass in the West-Kabala region is estimated as unstable and its structure is assumed to be unfavorable for mining.