

А. ТООМИК, В. ШТЕМБАХ

ОЦЕНКА НАРУШЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ С ОБРУШЕНИЕМ КРОВЛИ НА СЛАНЦЕВЫХ ШАХТАХ

В последние годы на шахтах Прибалтийского сланцевого бассейна все больше применяются системы разработки с использованием для управления горным давлением полного обрушения кровли. Это камерная выемка с принудительной посадкой кровли, комбайновая выемка пласта сланца на полную мощность и используемая ограниченно комбайновая выемка пачек А—С. Кроме того, при камерной системе с поддержанием кровли на целиках случаются и самопроизвольные обрушения кровли.

Неглубокое горизонтальное залегание пласта — причина того, что любые деформации пород кровли горных выработок отражаются на состоянии земной поверхности. С ростом объема полного обрушения кровли увеличились претензии к этим нарушениям со стороны пользователей земель в лесном и сельском хозяйстве. Появилась также необходимость в количественной оценке образовавшихся нарушений земной поверхности и определении характера и зависимости их от основных горно-геологических показателей.

Для оценки деформированности (нарушенности) земной поверхности были выбраны такие известные в области сдвижения горных пород показатели, как величина оседания, наклон земной поверхности и угол полного оседания. Они были экспериментально определены для различных условий ведения горных работ — различных глубин разработки, мощностей вынимаемого пласта и размеров отрабатываемых столбов — и затем статистически обработаны (табл. 1). Анализ экспериментальных данных по Прибалтийскому бассейну показывает, что при горизонтальном залегании пласта величину оседания земной поверхности η можно определять при помощи формулы

$$\eta = am, \quad (1)$$

где a — коэффициент оседания, m — вынимаемая мощность пласта, м. Условие полной подработки, при которой достигается максимальное оседание земной поверхности, выражаем, согласно [1]:

$$n = (0,5Ltg\psi)/H \geq 1, \quad (2)$$

где n — коэффициент подработанности, ψ — угол полного оседания, град, L — минимальный размер выработанного пространства в плане, м, H — мощность покрывающих пород, м.

Из составленного по экспериментальным данным графика (рис. 1) видно, что при полной подработке коэффициент оседания $a = \eta/m$ не превышает 0,65 при выемке пласта в один слой.

На основе формулы (2) определена граничная зона подработанности пород кровли (рис. 1). Видно, что максимальное оседание при полной подработке пород кровли

$$\eta_{\max} = 0,65m. \quad (3)$$

Анализ результатов наблюдений за величиной наклона (крутизной)

Показатели деформированности земной поверхности

| Шахта, лава | Мощность покрывающих пород, м | Вынимаемая мощность пласта, м | Минимальный размер выработанного пространства, м | Максимальное оседание земной поверхности, м | Коэффициент оседания | Максимальный наклон склонов мульд оседания, град | Угол полного оседания, град |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|---|----------------------|--|-----------------------------|
| Шахта № 4: | | | | | | | |
| 1 | 13 | 1,5 | 133 | 0,99 ±0,01 | 0,66 ±0,01 | 5,9 ±1,6 | 41±4 |
| 5 | 20 | 1,0 | 118 | 0,67 ±0,03 | 0,67 ±0,03 | 4,2 ±0,9 | 49±15 |
| «Ахтме»: | | | | | | | |
| 2 | 48 | 2,55 | 115 | 2,01 ±0,02 | 0,79 ±0,01 | 9,4 ±3,8 | 57±5 |
| 2* | 48 | 1,1 | 65 | 0,66 ±0,01 | 0,60 ±0,01 | 2,6 ±0,4 | 64±22 |
| «Сомпа»: | | | | | | | |
| лавы с частичной закладкой | 34 | 2,2 | 70 | 0,73 ±0,02 | 0,33 ±0,01 | 2,1 ±0,2 | 40±4 |
| «Таммику»: | | | | | | | |
| 20э | 32 | 2,6 | 72 | 1,57 ±0,08 | 0,60 ±0,03 | 9,8 ±2,0 | 54±4 |
| «Ленинградская»: | | | | | | | |
| 5315 | 47 | 1,9 | 108 | 1,26 ±0,06 | 0,66 ±0,03 | 5,0 ±0,6 | 61±6 |
| 917 | 89 | 1,65 | 110 | 0,78 ±0,05 | 0,47 ±0,03 | 3,8 ±0,1 | 60±4 |
| 5705 | 57 | 1,8 | 85 | 0,74 ±0,06 | 0,41 ±0,03 | 2,6 ±0,7 | 60±12 |
| 20301 | 75 | 1,6 | 76 | 0,158 | 0,10 | 0,2 | — |
| 20302 | 75 | 1,6 | 84 | 0,298 | 0,19 | 0,5 | — |
| 10315 | 70 | 1,8 | 78 | 0,150 | 0,08 | — | — |

* — при подработке только верхней лавой.

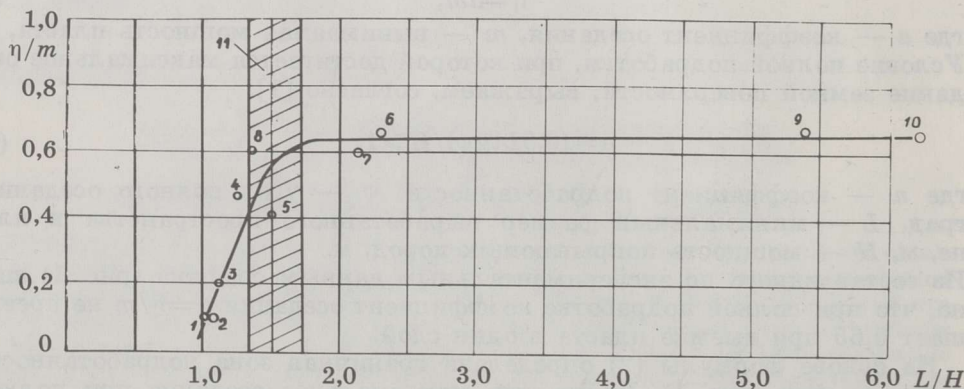


Рис. 1

График зависимости $\eta/m = f(L/H)$: 1—10 — среднearифметические точки, определенные по экспериментальным данным для различных условий бассейна, 11 — границная зона подработанности пород кровли

откосов мульд оседаний в привязке к соответствующим горно-геологическим условиям показывает, что в основном на наклон влияет мощность вынимаемого пласта, а также — через величину шага обрушения основной кровли — мощность покрывающих пород. Соответствующие экспериментальные данные удовлетворительно описываются зависимостью

$$i = \arcsin[(am)/l_0], \quad (4)$$

где i — максимальный наклон (крутизна) откоса мульды оседания, град, l_0 — шаг обрушения основной кровли, м. Ее вид определяется блочным характером обрушения пород основной кровли очистной выработки. По некоторым данным, шаг обрушения не является постоянной величиной, а зависит от ряда факторов. Для условий сланцевых шахт значение имеет зависимость длины шага обрушения от мощности покрывающих (карбонатных) пород на рассматриваемом участке. Предварительно, исходя из экспериментальных данных, можно принять

$$l_0 = 0,15H + 5. \quad (5)$$

Подставив определение l_0 из формулы (5) в формулу (4) получим

$$i = \arcsin[(am)/(0,15H + 5)]. \quad (6)$$

Зависимость (6) позволяет прогнозировать крутизну откосов мульд оседаний для различных глубин залегания и вынимаемых мощностей пласта в условиях Прибалтийского бассейна.

Как показывают наблюдения за относительно одинаковыми массивами карбонатных пород, при небольших глубинах разработки величина угла полного оседания не является постоянной. На него влияют угол плоскости облома пород, размер обрушаемой консоли, вынимаемая мощность пласта и мощность покрывающих пластов пород. Согласно схеме, представленной на рис. 2,

$$\psi = \arctg[(H - am)/(H \operatorname{tg} \varphi + \sqrt{l_0^2 - (am)^2})], \quad (7)$$

где φ — угол плоскости облома пород от вертикали, град.

При расчете угла полного оседания для условий Прибалтийского бассейна исходные данные можно рассматривать в следующих пределах: H 20—90 м, l_0 9—16 м, φ 15—35°, am 1—2 м. Значение am как в числителе, так и в знаменателе невелико. С ростом H доля am уменьшается, и при практических расчетах, принимая $\varphi = 25^\circ$ и используя определение l_0 из формулы (5), ψ можно выразить следующим образом:

$$\psi \approx \arctg[H/(0,6H + 5)]. \quad (8)$$

По углу полного оседания можно оценивать степень деформированности земной поверхности и подработанности пород кровли пласта. В последнем случае значение ψ из выражения (8) можно ввести в выражение (2). Тогда приблизительным критерием для оценки полной подработанности пород кровли в условиях бассейна будет выражение

$$L \geq 1,2H + 10. \quad (9)$$

На рис. 1 это условие графически показано заштрихованной зоной, поскольку при заданной абсциссе L/H формула (8) имеет вид:

$$L/H \geq 1,2 + 10/H. \quad (10)$$

При H в пределах 20—90 м получаем $L/H \geq 1,3—1,7$.

Таким образом, зная мощность покрывающих пород и предполагаемую вынимаемую мощность пласта конкретного участка, можно, используя зависимости (3), (6), (8), оценить величину основных элементов деформированности земной поверхности — оседания, наклона и угла полного оседания. Расчет этих показателей в зависимости от некоторых природных и технологических условий, характерных для действующих

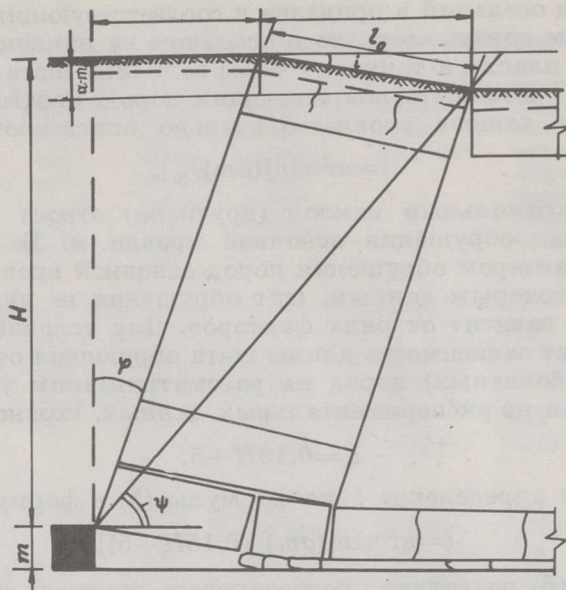


Рис. 2
Схема для определения зависимостей

$$i = f(m, l_0) \text{ и } \psi = f(H, \varphi, l_0, m, a)$$

и проектируемых шахт, приведен в табл. 2. Деформированность земной поверхности — чередование мульд оседаний с возвышенностями над целиками (гребнями) образуется за счет того, что по технологическим требованиям около подготавливающих и выемочных штреков оставляются охраняемые целики. При прямом порядке отработки шахтных полей, как это сейчас принято в бассейне, магистральные и панельные выработки необходимо поддерживать до конца срока службы шахт, сохраняются также целики выемочных штреков внутри панелей. Земная поверхность образует рельеф, где оставшиеся между мульдами оседания гребни повторяют систему целиков выемочных и подготавливающих горных выработок. При этом все отдельные мульды оседания, образовавшиеся в пределах одного выемочного столба, изолированы одна от другой этими гребнями. В таком случае для характеристики деформированности территории, подработанной несколькими столбами, требуется использовать и параметры системы разработки (ширина панели и столба, размеры целиков).

При разработке мер по сокращению вредного влияния горных работ на земную поверхность следует в первую очередь оценить площади и объемы предполагаемых мульд оседаний и гребней. На рис. 3 представлена схема к расчету объемов элементов деформации, где границы мульд определены двумя условными линиями. Нижняя линия обозначает границу плоского дна, а верхняя линия на своих прямых участках является проекцией границы выработанного пространства в шахте. На самом деле, верхняя граница мульды оседания распространяется дальше, однако значения величин оседаний незначительны и их можно не учитывать при определении объемов для указанных целей. Например, максимальное оседание земной поверхности над границей выработанного пространства с целиком, по натурным наблюдениям, не превышает 30 мм при оседании плоского дна мульды на 1,5—1,8 м. Тогда объем мульды V_m , образовавшейся в пределах одного выемочного столба, можно выразить, согласно обозначениям схемы на рис. 3, следующим образом:

$$V_m \approx \eta(l_{\text{пан}} - l_{\text{ц.пан}} - l_{\varphi})(l_{\text{ст}} - l_{\text{ц.ст}} - l_{\varphi}) - V_{\text{окр}}, \quad (11)$$

где $l_{\text{пан}}$ — ширина панели, м, $l_{\text{ц.пан}}$ — ширина полосы целиков панельных штреков вместе со штреками, м, l_{φ} — горизонтальная проекция расстоя-

Расчетные показатели нарушения земной поверхности

| Мощность покрытия являющихся пород | Панели | | Столбы | | панельных цегинок | | между столбо- вых цегинок | | Вынимаемая мощ- ность пласта | | Оседание по- верхности, м | | Наклон, град | | Угол полого оседания, град | | Мгуды осе- дания | | Гребня | | Мощность счи- маемого слоя, м | | Система разработки, вынимаемые пакчи | Шахты |
|---------------------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|----------------------|-----------|------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|--------------|-----------|-------------------------------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|--|-----------------|---|-------|
| | Ширина | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | Панельная | Столбовая | | | |
| 30 | 600 | 150 | 35 | 20 | 2,8 | 1,7 | 5 | 54 | 99 | 54 | 54 | 1,7 | 5 | 54 | 99 | 54 | 1,1 | 1,1 | 54 | 1,1 | Камерная | «Таммику» | | |
| 30 | 600 | 100 | 35 | 4 | 2,6 | 1,7 | 10 | 54 | 68 | 54 | 54 | 1,7 | 10 | 54 | 68 | 34 | 1,1 | 1,1 | 34 | 1,1 | А—F _п , с обрушением кровли | | | |
| 30 | 600 | 100 | 35 | 4 | 1,5 | 1,0 | 6 | 54 | 40 | 54 | 54 | 1,0 | 6 | 54 | 40 | 20 | 0,7 | 0,7 | 20 | 0,7 | А—С | | | |
| 50 | 700 | 175 | 35 | 23 | 2,8 | 1,7 | 5 | 57 | 129 | 57 | 57 | 1,7 | 5 | 57 | 129 | 79 | 1,0 | 1,0 | 79 | 1,0 | Камерная | «Виру», «Ахтме» | | |
| 50 | 700 | 100 | 35 | 6 | 2,6 | 1,7 | 8 | 57 | 66 | 57 | 57 | 1,7 | 8 | 57 | 66 | 52 | 1,0 | 1,0 | 52 | 1,0 | А—F _п , с обрушением кровли | | | |
| 50 | 700 | 100 | 35 | 6 | 1,8 | 1,2 | 5 | 57 | 47 | 57 | 57 | 1,2 | 5 | 57 | 47 | 37 | 0,7 | 0,7 | 37 | 0,7 | I—III, с обрушением кровли | «Ленинградская» | | |
| 60 | 700 | 150 | 55 | 23 | 2,8 | 1,7 | 5 | 57 | 94 | 57 | 57 | 1,7 | 5 | 57 | 94 | 85 | 0,8 | 0,8 | 85 | 0,8 | Камерная | «Эстония» | | |
| 60 | 700 | 100 | 40 | 7 | 1,8 | 1,2 | 5 | 58 | 42 | 58 | 58 | 1,2 | 5 | 58 | 42 | 59 | 0,6 | 0,6 | 59 | 0,6 | I—III, с обрушением кровли | «Ленинградская» | | |
| 60 | 800 | 175 | 55 | 23 | 2,6 | 1,6 | 5 | 58 | 131 | 58 | 58 | 1,6 | 5 | 58 | 131 | 93 | 0,9 | 0,9 | 93 | 0,9 | Камерная | «Куремяз» | | |
| 70 | 700 | 100 | 40 | 8 | 1,8 | 1,2 | 4 | 58 | 37 | 58 | 58 | 1,2 | 4 | 58 | 37 | 47 | 0,5 | 0,5 | 47 | 0,5 | I—III, с обрушением кровли | «Ленинградская» | | |
| 70 | 700 | 200 | 40 | 8 | 1,8 | 1,2 | 4 | 58 | 111 | 58 | 58 | 1,2 | 4 | 58 | 111 | 56 | 0,8 | 0,8 | 56 | 0,8 | I—III, с обрушением кровли | «Ленинградская» | | |

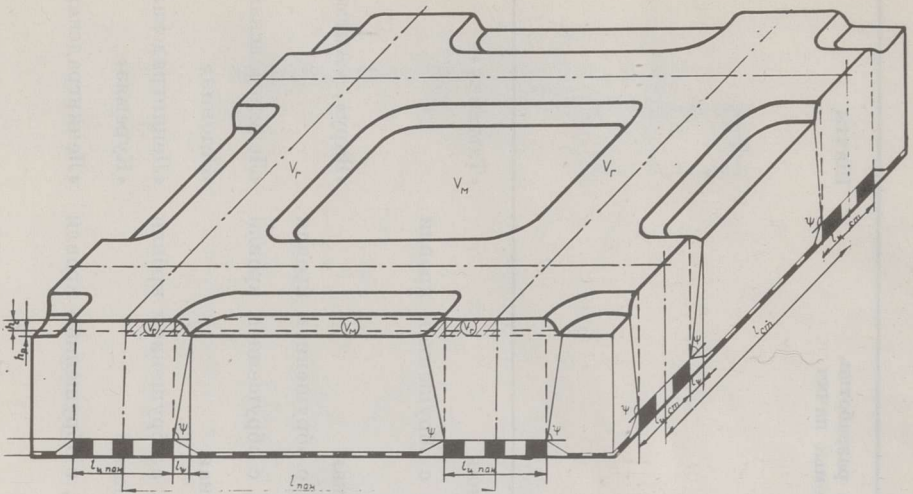


Рис. 3

Схема к расчету деформированных площадей подработанных территорий и удельного объема их планировки. Условные обозначения приведены в тексте статьи

ния от границы целика до плоского дна мульды, м, $l_{ст}$ — ширина столба (полублока), м, $l_{ц.ст}$ — ширина целика или полосы целиков выемочных штреков вместе со штреком, м, $V_{окр}$ — объем гребня, образовавшегося за счет округления в четырех углах мульды, м³.

Средняя величина $l_{ф}$ определяется так:

$$l_{ф} = H \operatorname{ctg} \psi. \quad (12)$$

Объем гребня, образовавшегося за счет округления в углах мульды, можно выразить следующим образом:

$$V_{окр} \approx 0,86 l_{ф} \eta. \quad (13)$$

Подставляя выражения (12) и (13) в формулу (11) получим:

$$V_{м} = \eta (l_{пан} - l_{ц.пан} - H \operatorname{ctg} \psi) (l_{ст} - l_{ц.ст} - H \operatorname{ctg} \psi) - 0,86 \eta (H \operatorname{ctg} \psi)^2. \quad (14)$$

Объем оставшихся гребней $V_{г}$, окружающих мульду в пределах одного выемочного столба, можно приблизительно описать так:

$$V_{г} = \eta l_{ст} (l_{ц.пан} + l_{ф}) + \eta (l_{ц.ст} + l_{ф}) \times (l_{пан} - l_{ц.пан} - l_{ф}) + V_{окр}. \quad (15)$$

Подставив выражения (12) и (13) в формулу (15) получим:

$$V_{г} = \eta [l_{ст} (l_{ц.пан} + H \operatorname{ctg} \psi) + (l_{ц.ст} + H \operatorname{ctg} \psi) \times (l_{пан} - l_{ц.пан} - H \operatorname{ctg} \psi) + 0,86 (H \operatorname{ctg} \psi)^2]. \quad (16)$$

Формулы (14) и (16) описывают случаи, когда после отработки столба целика между столбами сохраняются длительное время. В случае разрушения этих целиков оседает и земная поверхность на этих участках. Как показывают наблюдения, оседание земной поверхности в местах плоского дна мульды над камерными блоками, составляющее 1,5—1,6 м, незначительно (на 0,2—0,6 м) превышает оседание земной поверхности над барьерными и охранными целиками после их разрушения. Если считать эту величину несущественной для изменений рельефа, то при обрушении охранных целиков выемочных штреков объем «большой» мульды над панелью можно выразить следующим образом:

$$V_{м} \approx \eta l_{ст} (l_{пан} - l_{ц.пан} - H \operatorname{ctg} \psi), \quad (17)$$

а соответствующий объем гребня для панельной мульды равен

$$V_r \approx \eta l_{ct}(l_{ц.пан} + H \operatorname{ctg} \psi). \quad (18)$$

Формулы (14), (16)—(18) можно применять при определении параметров систем разработки с полным обрушением кровли, а также камерной системы разработки с принудительной посадкой кровли. Значения $l_{пан}$, l_{ct} , $l_{ц.пан}$ и $l_{ц.ст}$ берутся для действующих шахт фактические, для будущих шахт проектные. Величины η и ψ принимаются согласно зависимостям (3) и (8). В табл. 2 даны объемы деформированной земной поверхности при различных параметрах подготовки и систем разработки, различных величинах оседаний, которые могут встречаться в условиях шахт Прибалтийского бассейна.

Если параметры деформированности земной поверхности на рассматриваемом участке превышают допустимые для конкретного вида землепользования значения, необходимо уменьшить их до допустимых. Одним из мероприятий, проводимых с целью использования нарушенных земель под сельскохозяйственные угодья, может быть планировка деформированной части четвертичных отложений с предварительным складированием почвенно-растительного слоя.

При рассмотрении рельефа, схема которого показана на рис. 3, точный расчет объемов отдельных элементов становится сложным. При рассмотрении же нарушенных площадей с мульдами и гребнями, представленными в виде усредненных прямоугольников, можно использовать отношение

$$V_r/V_m = h_p/h_c, \quad (19)$$

где V_r , V_m — объемы оставшихся гребней и мульд оседаний над столбом, определяемые согласно формулам, m^3 , h_p — высота планировки со дна мульды, m , h_c — мощность слоя, перемещаемого с гребней при планировке, m .

Подставив в формулу (19) значение $h_p = \eta - h_c$, получим

$$h_c = (\eta_{max} V_m) / (V_m + V_r), \quad (20)$$

где η_{max} — максимальное оседание плоского дна мульды, m .

Объем пород, перемещаемых из гребней в мульду в пределах одного столба, равен

$$V_{пер} = h_c S_r,$$

где S_r — усредненная площадь гребней в плоскости $h_c = h_p$, m^2 . Тогда

$$S_r = V_r / \eta$$

и

$$V_{пер} = (h_c V_r) / \eta = (V_m V_r) / (V_m + V_r).$$

Приведенные зависимости позволяют оценивать ожидаемые степень нарушенности земной поверхности и объемы планировки на полях действующих и перспективных шахт в зависимости от глубины разработки, вынимаемой мощности пласта, а также размеров обрабатываемых столбов и оставляемых целиков.

ЛИТЕРАТУРА

Земисев В. М. Расчеты деформации горного массива. М., 1973.

Представил Э. Кальюевэ

Эстонский филиал
Института горного дела
им. А. А. Скочинского
г. Кохтла-Ярве

Поступила в редакцию
23. 03. 1984

EVALUATION OF SURFACE RESPONSE TO ROOF-CAVING IN OIL SHALE MINES

The horizontal bedding and small depth of oil shale seam cause the fact that roof deformations reach the land surface without essential reduction. This problem has become urgent due to new methods of oil shale mining — roof caving and full-seam extraction developed lately. The land deterioration on the mined-out territories is evaluated by the parametres of ground movement mechanism: the subsidence of surface, slope and the limiting angle of full subsidence. With using lands in forestry and farming these parametres describe relief changes satisfactorily.

The analysis of data under different mining conditions indicates the empirical dependence of the ground movement parametres on the depth and extracted thickness of the seam. Thus, it becomes possible to predict the degree of land disturbance. The alternation of pillars and goafs cause the alternation of deflections and elevations on the surface. The formation of the «water-surface» is the main cause of land deterioration. The size of pillars and goafs, the depth of seam and thickness of extraction determine the size of relief elements. Using the formulae, based on the above empiric dependences, it is possible to predict the relief changes in a territory concerned with operating and perspective mines.

*A. Skochinsky Mining Research Institute
Estonian Branch
Kohtla-Järve*