

УДК 622.831.537.86

**Гладкая Е.В.**, канд. техн. наук  
(ИФГП НАН Украины)

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФЕКТНОСТИ СТРУКТУРЫ И  
НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ГЛИНИСТЫХ  
ПОРОД В УСЛОВИЯХ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ НАРУШЕННОСТИ**

**Гладка О.В.**, канд. техн. наук  
(ИФГП НАН України)

**ОСОБЛИВОСТІ ЗМІНИ ДЕФЕКТНОСТІ СТРУКТУРИ І  
НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ВУГЛЕВМІСНИХ ГЛИНИСТИХ ПОРІД В  
УМОВАХ ТЕКТОНІЧНОГО ПОРУШЕННЯ**

**Gladkaya E.V.**, Ph.D.(Tech.)  
(IPMP NAS of Ukraine)

**FEATURES OF DEFECT STRUCTURE CHANGES AND STRESS  
STATE OF CARBONACEOUS CLAY ROCKS IN CONDITIONS  
OF TECTONIC DISTURBANCE**

**Аннотация.** На основе экспериментальных данных был проведен анализ структурного состояния вмещающих угольный пласт пород в зонах тектонической нарушенности. С помощью метода рентгеноструктурного анализа, основанного на явлении дифракции рентгеновских лучей от кристаллического вещества, выделены общие структурные признаки, отражающие различную степень напряженного состояния углевмещающих глинистых пород. Установлено наличие сдвиговых деформаций в структуре изучаемых пород, вызванных касательными напряжениями, что даёт возможность прогнозировать не только разрывные, но и внутрипластовые нарушения, к числу которых относятся мелкие вздутия и пережимы угольного пласта. Выполненные количественная и качественная оценки дефектности структуры пород позволят существенно повысить не только точность прогноза тектонических нарушений, но и безопасность ведения горных работ в зонах их влияния.

**Ключевые слова:** геологические нарушения, структурное состояние, глинистые породы, непосредственная кровля.

Одним из факторов, значительно осложняющим условия отработки угольных пластов, является тектоническая нарушенность углепородного массива. Ее наличие, как правило, активизирует газодинамическую активность угольных пластов особенно при вскрытии мелких тектонических форм в виде малоамплитудных разрывных нарушений (с амплитудой смещения пласта до 10 м) и морфологической нарушенности в виде тектонических пережимов и раздувов мощности угольных пластов.

В настоящее время данной теме посвящено много научных работ. На основании основных закономерностей изменения как физико-механических, так и физических, в частности структурных, свойств углей и углевмещающих песчаников, разработан ряд методов и способов, позволяющих с достаточной точностью прогнозировать местоположение различных тектонических нарушений,

например тектонических разрывных нарушений с амплитудой смещения пласта до 5 м [1 - 4]. Однако, вопросы по прогнозу тектонической нарушенности угольных пластов, обрабатываемых в глинистых вмещающих породах (алевролиты, аргиллиты), остаются не решенными.

Ранее в результате многочисленных исследований углевмещающих песчаников было установлено, что одним из показателей напряженно-деформированного состояния горных пород является микронарушенность породообразующих минералов, в частности кварца. Структурные изменения проявляются в виде дислокаций, пластических деформаций, микротрещин и т.д. [6, 7].

В данной работе для разработки показателей, отражающих связь тектонического фактора и структурного состояния глинистых пород, применялся метод рентгеновской дифракции, основанный на явлении дифракции рентгеновских лучей от кристаллического вещества. Особенностью данного метода является то, что исследования проводятся на малых навесках породы (менее 0,5 г) и позволяют идентифицировать породообразующий кварц при его содержании в горной породе от 3 %, что для глинистых петротипов немаловажно.

В качестве объектов исследования были выбраны малоамплитудные и морфологические нарушения в пределах шахт Донецко-Макеевского района, условно относящиеся к различным тектоническим зонам с различными условиями формирования тектоники.

Экспериментальные работы проводились на пластах  $h_6^1$  «Смоляниновский» (глубина залегания 1300 м) на шахте им. А.А. Скочинского (ГХК «Донуголь»),  $m_3$  (глубина залегания 750 м) на шахте «Северная»,  $l_1$  (глубина залегания 940 м) на шахте «Калиновская - Восточная» ГП «Макеевуголь». В тектоническом отношении исследованные участки имеют сложный характер. Выработки пересекаются серией нарушений различных форм. В пределах шахты им. А.А. Скочинского геологические нарушения являются потенциальными источниками газа метана. Для сопоставления полученных результатов эксперимента и наблюдений все исследования носили сравнительный характер и проводились в каждой из следующих зон: вне зоны нарушения и непосредственно в зоне нарушения. Изучаемые породы представлены как алевролитами, так и аргиллитами.

Ранее экспериментально и теоретически было показано [5], что разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений сопровождается сменной механизма разрушения, структурно-фазовыми переходами (саморазрушение также рассматривается как критический переход), которые приводят к аномалиям прочности, пластичности и эффективной поверхностной энергии. Факт деформации структуры подтверждают данные рентгеноструктурного изучения проб данной серии пород.

Изучение внутрислоистовых нарушений в виде изменения мощности угольного пласта на шахте им. А.А. Скочинского показало, что зоны влияния мелких раздувов пласта характеризуются как качественными изменениями структурных свойств пород основной кровли угольного пласта (видом остаточных мик-

ронапряжений (микрдеформаций)), так и количественными изменениями фазового состава породобразующего кварца. При этом изменение структурного состояния как кварца в аргиллите, так и породы в целом, наблюдалось уже за 4 метра до подхода к нарушению (ПК 101+3 м). Так же было установлено, что в структуре образцов, отобранных непосредственно в местах раздува угольного пласта (ПК 101+7 м, ПК 101+3 м) преобладают растягивающие микронапряжения (рис. 1).

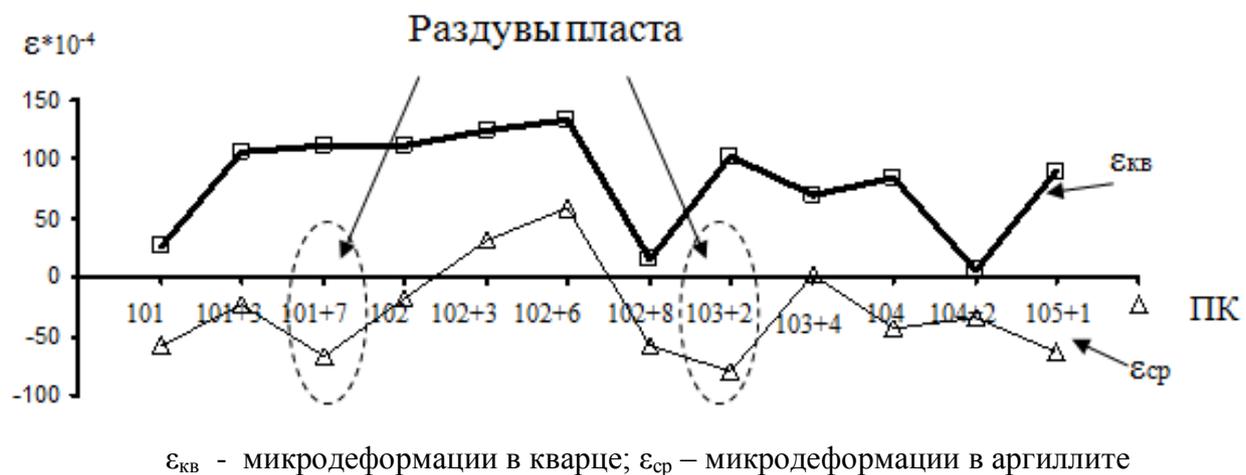


Рисунок 1 – Изменение микрдеформаций в аргиллите непосредственной кровли пласта  $h_6'$  по длине 2-го западного конвейерного штрека шахты им. А.А. Скочинского

Отношение основной фазы породобразующего кварца  $\beta\text{-SiO}_2$  к сопутствующей фазе кварца в виде  $\beta$ -кристобалита составило для ПК 101+7 м 5,14 и 4 для ПК 103+2 м. Вне зон влияния геологических нарушений данное соотношение не превышает значения 2,5, а содержание  $\beta\text{-SiO}_2$  составляет менее 35%.

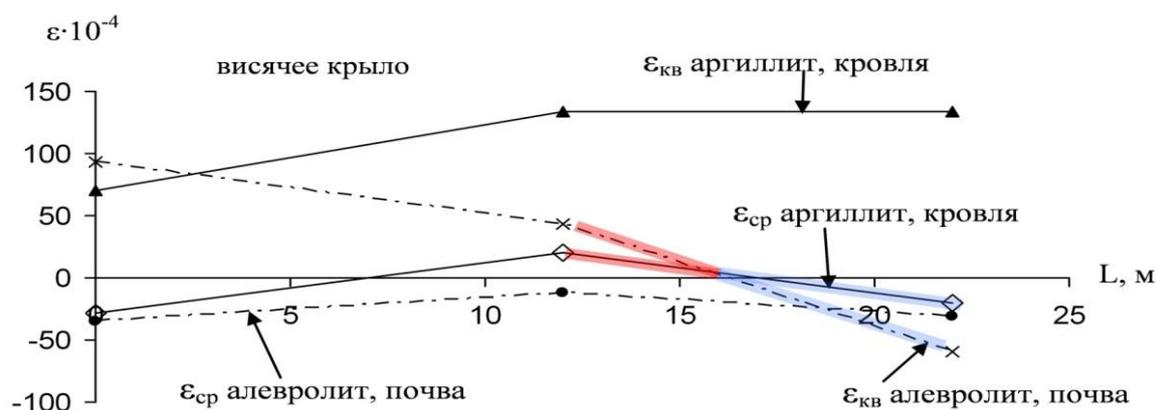
Для определения влияния разрывных тектонических нарушений на структурное состояние углевмещающих глинистых пород были проведены исследования в пределах поля шахты «Северная» ГП «Макевуголь» на пласте  $m_3$  (глубина отработки пласта 750 м) и в пределах шахты «Калиновская - Восточная» на пласте  $l_1$  (глубина залегания 940 м).

Анализ проведенных исследований показал, что изменение структурного состояния кварца как в аргиллите, так и в алевролите наблюдается уже при подходе к разрывному нарушению. В первую очередь это выражается в виде изменения количественного соотношения основных его фаз в изучаемых породах.

На шахте «Северная» отбор проб производился при проведении конвейерного штрека восточной коренной разгрузочной лавы западного поля пласта  $m_3$ . Непосредственная кровля угольного пласта  $m_3$  представлена аргиллитами. Аргиллиты слабослюдистые, трещиноватые. Трещины диагональные, горизонтальные, вертикальные послойные, тонкие, закрытые, реже зияющие, частично заполнены углистым материалом. Почва угольного пласта представлена слоистым слюдистым алевролитом средней крепости. Алевролит средней устойчивости, склонен к пучению.

Во время ведения горных работ на 101 метре конвейерного штрека был встречен надвиг «С» с амплитудой смещения пласта  $H = 7,3$  м. Угол падения надвига составил  $36^{\circ}$ . Плоскость сместителя данного нарушения представлена в виде перемятой зоны шириной 0,9 м. Расчетная зона влияния надвига «С» составляет 70 м от сместителя в лежащем крыле надвига и 15 м от сместителя в висячем крыле сброса. В этой зоне породы кровли смяты в складки с многочисленными зеркалами скольжения и крайне трещиноватые. Для рентгеноструктурных исследований были отобраны образцы пород кровли и почвы угольного пласта  $m_3$  как из зоны надвига, так и вне зоны влияния надвига.

Исследование данного типа тектонического нарушения, вскрытого на шахте «Северная» показало, что в зоне его влияния в пределах висячего крыла, кварц также находится в напряженном состоянии. Повсеместно имеет место смещение плоскостей и атомов из нулевых узлов. Упругие напряжения распространяются вдоль всего направления отбора проб аргиллита из непосредственной кровли угольного пласта и имеют знакопеременный характер типа «растяжение – сжатие» с преобладанием остаточных растягивающих микронапряжений, деформирующих как весь образец породы, так и породообразующий кварц (рис.2).



$\varepsilon_{\text{КВ}}$  - микродеформации в кварце;  $\varepsilon_{\text{ср}}$  – микродеформации в породном образце

Рисунок 2 – Изменение микродеформаций в породах кровли и почвы пласта  $m_3$  в пределах висячего крыла надвига «С» шахты «Северная»

Аналогичная картина наблюдалась при изучении характера изменения структуры пород непосредственной почвы угольного пласта, представленной алевролитом. Кроме этого, было установлено, что величина зоны изменения напряженного состояния микроструктуры пород кровли и почвы угольного пласта соответствует расчетной зоне влияния данного нарушения в пределах висячего крыла и составляет 16 м от сместителя при расчетном значении 15 м (рис. 2).

А переход от растягивающих микронапряжений к сжимающим в кварце сопровождается его фазовым переходом в виде изменения количественного соотношения его модификаций. При этом, неоднородность по фазовому составу в

непосредственной кровле угольного пласта идентична неоднородности по фазовому состоянию в основной кровле (рис. 3 а, б).

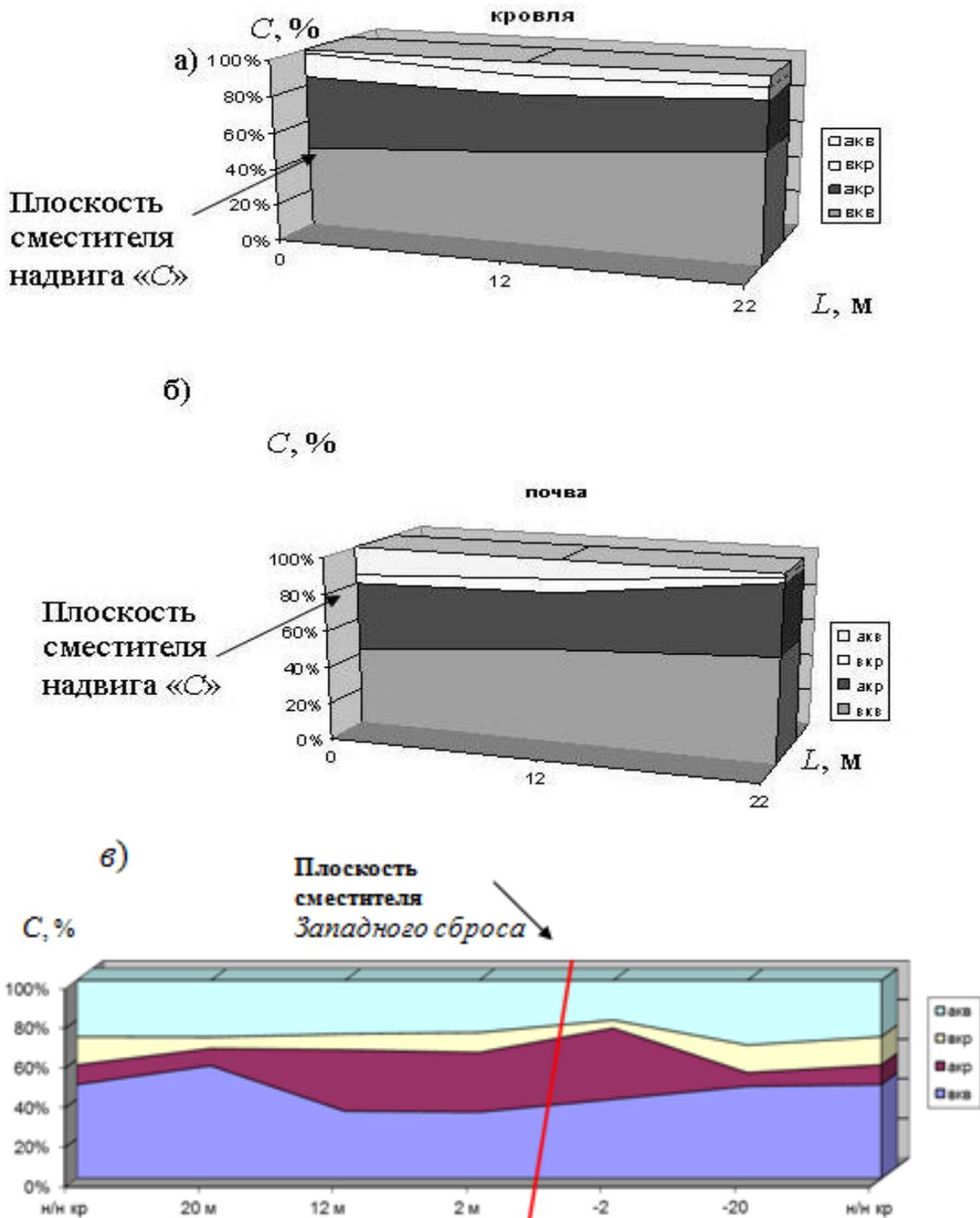
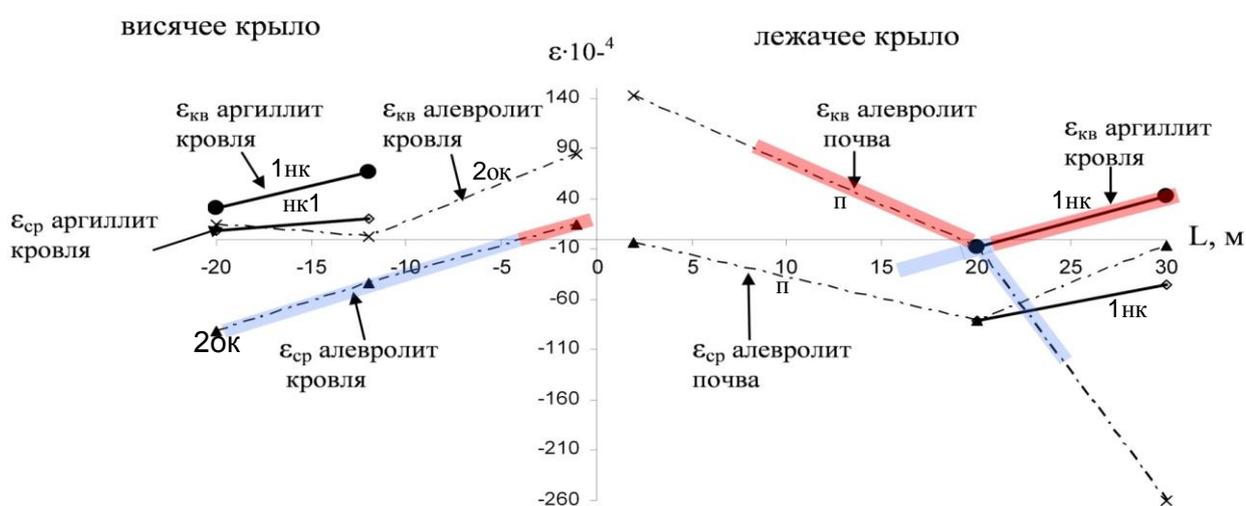


Рисунок 3 – Изменение фазового состояния кварца (С, %) в породах кровли (а) и почвы (б) пласта  $m_3$  в пределах висячего крыла надвига «С» шахты «Северная» и непосредственной кровли пласта  $l_1$  в зоне влияния Западного сброса шахты «Калиновская - Восточная» (в)

Знакопеременный характер изменения микронапряжений кварца наблюдал-

ся также и при вскрытии Западного сброса с амплитудой смещения пласта 8 м на шахте «Калиновская - Восточная» при проведении главного откаточного штрека пласта  $l_1$  (глубина залегания пласта 780 м). Так, в пределах лежачего крыла разрыва, в структуре слоев кровли и почвы угольного пласта наблюдается смена знака преобладающего напряжения с «-» на «+» (растяжение – сжатие) для слоя алевролита (непосредственная почва пласта  $l_1$ ) при одновременной смене знака напряжения с «+» на «-» (сжатие – растяжение) для слоя аргиллита (непосредственная кровля пласта  $l_1$ ) (рис. 4). Аналогичная картина наблюдается в породах основной кровли угольного пласта в пределах висячего крыла Западного сброса, где изменение напряженного состояния исследуемого алевролита также носит знакопеременный характер.



$\epsilon_{кв}$  - микродеформации в кварце;  $\epsilon_{ср}$  – микродеформации в породном образце

Рисунок 4 – Изменение микродеформаций в породах кровли и почвы пласта  $l_1$  в зоне влияния Западного сброса шахты «Калиновская - Восточная»

В тоже время вне зоны геологического нарушения наблюдается значительная релаксация структуры и наличие напряжений разного знака (сжимающих и растягивающих).

Данные исследования, а также исследования, проведенные в условиях других шахт Донецко-Макеевского района, позволили выделить общие структурные признаки, отражающие степень напряженного состояния пород, обусловленную наличием в углепородном массиве тектонического нарушения. Установлено, что для глинистых пород при различных видах нарушений угольных пластов в пределах Донецко-Макеевского района, характерно преобладание растягивающих пластических микродеформаций основной фазы кварца по типу «сдвиг с разворотом». При этом выявление сдвиговых деформаций, вызванных касательными напряжениями, дает возможность прогнозировать не только разрывные, но и внутрипластовые нарушения, к числу которых относятся мелкие вздутия и пережимы угольного пласта (табл. 1).

Таблица 1 – Особенности микроструктуры породообразующего кварца различных углевмещающих пород для определения вида тектонического нарушения

Вид нарушения	Структурные свойства кварца			
	Вид пластической деформации	Остаточные микронапряжения	Основная фаза кварца, %	Отношение основной и сопутствующей фаз
Тектоническая морфологическая внутрипластовая нарушенность	Сдвиг с разворотом	Растягивающие микронапряжения I, II, III рода	$\geq 35$	$\geq 2,5$
Тектоническая разрывная нарушенность	Сдвиг с разворотом	Растягивающие микронапряжения I, II, III рода	$\geq 80$	$\geq 2,5$
Тектоническая пликативная нарушенность	Сдвиг с разворотом	Растягивающие микронапряжения I, II, III рода	50 - 80	$\geq 2,5$

Таким образом, рентгеноструктурный анализ углевмещающих горных пород позволяет сделать количественную и качественную оценку их дефектности и выделить зоны с неустойчивым напряженным состоянием их структуры, что в дальнейшем позволит существенно повысить не только точность прогноза тектонических нарушений, но и безопасность ведения горных работ в зонах их влияния.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование структурного состояния горных пород в зонах тектонической нарушенности / Е.В. Гладкая, В.Н. Ревва, З.А. Самойленко [и др.] // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк. – 2001. – Вып. 3. – С. 50–56.
2. Гречухин, В.В. Петрофизика угленосных формаций / В.В. Гречухин. – НПО «Нефтегеофизика». – М.:Недра, 1990. – 472 с.
3. Баранов, В.А. Структурные превращения песчаников Донбасса и прогноз их выбросоопасности: автореф. дис. ... д-ра геол. наук. – Днепропетровск, 2000. – 34 с.
4. Кольчик, Є.І. Вплив тектонічної порушеності на умови проведення та підтримання пластових виробок / Є.І. Кольчик, І.Є. Кольчик, В.І. Пільюгін – Донецьк: ТОВ «Донецьк-Вторма», 2007. – 184 с.
5. Алексеев, А.Д. Разрушение горных пород в объемном поле сжимающих напряжений / А.Д. Алексеев, В.Н. Ревва, Н.А. Рязанцев. - К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.
6. Лукинов, В.В. Тектоника метанноугольных месторождений Донбасса / В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко. – Киев: Наук. Думка, 2008. – 352 с.
7. Стариков, Г.П. Влияние изменения структуры основной кровли на угольный пласт / Г.П. Стариков, Е.В. Гладкая, А.В. Кравченко // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк. – 2009. – №12. – С. 11 – 14.

#### REFERENCES

1. Gladkaya, E.V., Revva, V.N., Samoilenko, Z.A. and Pushenko, E.I. (2001), "Investigation of the structural state of rocks in zones of tectonic disturbances", *Physical and technical problems of mining, Donetsk*, vol. 3, pp. 50-56.
2. Grechukhin, V.V. (1990), *Petrofizika ughlenosnykh formatsiy* [Petrophysics coal-bearing formations], Nedra, Moscow, Russia.
3. Baranov, V.A. (2000), "Structural transformations of Donbass sandstones and prognosis of outburst", Abstract of D.Ge. dissertation, NMU, Dnepropetrovsk, Ukraine.
4. Kolchik, E.I., Kolchik, I.E. and Pilyugin, V.I. (2007), *Vplyv tektonichnoi porushenosti na umovy*

*provedennya ta pidtrymannya plastovykh vyrobok* [Influence of tectonic disturbance on the conditions of the formation and maintenance of mines], TOV "Donetsk-Vtorma", Donetsk, Ukraine.

5. Alekseev, A.D., Revva, V.N. and Ryazantsev, N.A. (1989), *Razrusheniye gornyykh porod v obemnom pole szhymayushchikh napryazheniy* [Destruction of rocks in the volume field of compressive stresses], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

6. Lukinov, V.V. and Pimonenko, L.I. (2008), *Tektonika metanougolnykh mestorozhdeniy Donbassa* [Tectonics CBM fields Donbass], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

7. Starikov, G.P., Gladkaya, E.V. and Kravchenko A.V. (2009), "Effect of changes in the structure of the main overlying on the coal seam", *Physical and technical problems of mining*, Donetsk, vol.12, pp.11 - 14.

---

### Об авторе

**Гладкая Елена Викторовна**, кандидат технических наук, и.о. заведующего отдела управления состоянием горного массива, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [gladkaya\\_ev@mail.ru](mailto:gladkaya_ev@mail.ru).

### About the author

**Gladkaya Elena Viktorovna**, Candidat of Technical Sciences (Ph.D.), performing duties of chief of Department of control the state massif, Institute of Physics of Mining Processes the National Academy of Sciences of Ukraine (IPhMP, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [gladkaya\\_ev@mail.ru](mailto:gladkaya_ev@mail.ru).

---

**Анотація.** На основі експериментальних даних був проведений аналіз структурного стану порід, що містять вугільний пласт в зонах тектонічних порушень. За допомогою методу рентгеноструктурного аналізу, заснованого на явищі дифракції рентгенівських променів від кристалічної речовини, виділені загальні структурні ознаки, що відображають різну ступінь напруженого стану глинистих порід, що містять вугілля. Встановлено наявність зсувних деформацій в структурі досліджуваних порід, викликаних дотичними напруженнями, що дає можливість прогнозувати не тільки розривні, а й внутрішньоопластові порушення, до числа яких відносяться дрібні здуття і перетискання вугільного пласта. Виконано кількісну та якісну оцінку дефектності структури порід, що дозволяють істотно підвищити не тільки точність прогнозу тектонічних порушень, але й безпеку ведення гірничих робіт у зонах їх впливу.

**Ключові слова:** геологічні порушення, структурний стан, глинисті породи, безпосередня покрівля.

**Abstract.** On the basis of experimental data has been analyzed the structural state of the coal seam enclosing rocks in zones of tectonic disturbances. Using the method of X-ray analysis, based on the phenomenon of X-ray diffraction of crystalline substance, marked the common structural features that reflect varying degrees of stress state carbonaceous clay rocks. Established the presence of shear deformations in the structure of the studied species, caused by shear stresses, which makes it possible to predict not only explosive, but also in situ disturbances, which include bulges and small kinks coal seam. Completed quantitative and qualitative evaluation of defects in the structure of rocks will significantly improve not only the accuracy of the prediction of tectonic disturbances, but also the safety of mining operations in their areas of influence.

**Keywords:** geological disturbances, structural state, clay rocks, immediate overlying.

*Статья поступила в редакцию 05.09.2015*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским*