

Д-р геол. наук Л.И. Пимоненко,  
д-р техн. наук В.А. Гончаренко,  
вед. инж. Г.Н. Горбачева (ИГТМ НАН Украины),  
канд. геол-минерал. наук Н.С. Полякова,  
Ю. Сарьян (Национальный горный университет),  
вед. специалист А.А. Каргаполов (ДО УкрГГРИ)

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА**

Розглянута технологія прогнозу викидонебезпеки вугільних пластів, яка розроблена на основі обширної геолого-геофізичної інформації, що дозволяє в процесі проведення гірничих робіт отримувати і оперативно корегувати наявну викидонебезпечну ситуацію по вугільних пластах з урахуванням даних локального і поточного прогнозів.

## **PREDICTION OF THE GEO-MINING CONDITIONS IN THE COAL-ROCK MASSIF**

The discussed technology of the coal-burst risk prediction is developed on the basis of vast geophysical information; the technology helps to detect and efficiently adjust a burst-dangerous situation in the coal strata with taking into account data of local and current forecasts.

В настоящее время в Донбассе имеется ряд участков перспективных для строительства шахт, на которых проведены все стадии разведки и доразведки (работы выполнялись до 1994 г.). Среди них выделяется участок «Успенский-Южный», на котором планировалось строительство двух очередей шахт. Там была выполнена предварительная разведка и сделана прогнозная оценка горно-геологических условий (ГГУ) залегания угольных пластов для обеспечения безопасной разработки. Однако используемые в то время методы прогноза ГГУ не позволили в достаточной мере обеспечить надежность полученных результатов. Разработанные в 2000-2007 г.г. в ИГТМ НАНУ методы прогнозирования ГГУ позволяют значительно повысить качество прогноза за счет комплексного использования имеющейся геолого-геофизической информации и применения современных компьютерных методов обработки и интерпретации.

Для решения подобных задач, весьма эффективно использование статистических моделей, которые представляют собой математические выражения, содержащие вероятностные характеристики изучаемых параметров. Такие модели применяются для выявления и описания зависимости между свойствами геологических и геофизических параметров природных тел, типа угольных пластов и вмещающих пород [1]. Так как на состояние углепородного массива влияет множество факторов: давление, газоносность, степень метаморфизма, зольность, трещиноватость, малоамплитудная нарушенность и т.п., то модель для прогноз-ной оценки показателей горно-геологических условий массива с помощью геофизических параметров, отражающих все природные факторы, должна быть многомерной и ее реализация может осуществляться с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Это направление при изучении частных моделей многомерных связей представляется наиболее приемлемым для решения задач опре-

деления геологических показателей по данным каротажа, поскольку проведенные исследования геофизических параметров указывают на их однородность, нормальность распределения ошибок и детерминированность, которые являются необходимыми условиями корректного применения классического многомерного анализа. Для этих целей используется аппарат статистических зависимостей в виде нелинейных регрессий. В угольной геологии эти методы моделирования используются иногда для локального прогнозирования качества угольных пластов и их физико-механических свойств. Геофизические данные, используемые по разработанной методике, представляют собой параметры стандартного комплекса методов каротажа углеразведочных скважин, которые отражают физико-механические свойства массива (плотность и др.).

Участок «Успенский-Южный» расположен на территории Луганского геолого-промышленного района. Угленосная толща сложена каменноугольными отложениями свит:  $C_2^4$ ,  $C_2^5$ ,  $C_2^6$  и  $C_2^7$ , перекрытых верхнемеловыми (200 м), палеогеновыми (70 м) и четвертичными (5 м) осадками. К западу от участка находится шахта им. В.И. Ленина, на востоке – шахта «Самсоновская-Западная»; по падению отложений на севере участок примыкает к участку разведки «Менчикуровский» и «Чапаевскому руднику» (рис. 1).



1 – изогипсы пласта, 2 – скважины; 3 – разрывные нарушения.

Рис. 1 - Схема участка «Успенский-Южный»

В структурном отношении участок занимает центральную и юго-западную части Лутугинской синклинали, входящей в северную полосу мелкой складчатости Донбасса. В плане синклиналь имеет форму параллелограмма. На основной площади участка угленосные отложения залегают относительно спокойно под

углами 5 - 6°. С юга и юго-запада участок обрамляют крупные дизъюнктивные нарушения: Ильичевский (Самсоновский), Лутугинский Северный и Лутугинский Восточный надвиги. В восточной части участка затухают малоамплитудные надвиги «А», «Б», «Д», развитые преимущественно на поле шахты «Самсоновская – Западная». В южной и западной частях участка вдоль надвигов Ильичевского (амплитуда 500 – 600 м), Лутугинского Восточного (70 – 470 м) углы падения возрастают до 60 - 75° и дислоцированность угленосных отложений увеличивается. Участок осложнен двумя складками второго порядка: Центральной антиклиналью и Южной синклиналью. Учитывая приуроченность участка к северной полосе мелкой складчатости Донбасса, характеризующейся интенсивными сдвиговыми деформациями, можно предположить наличие мелкой кулисообразной складчатости и разрывных дислокаций со сдвиговой составляющей.

Впервые для анализа поверхности угольных пластов были рассмотрены карты, построенные по гипсометрическим отметкам угольного пласта с применением высокочастотных фильтров (рис. 2). Очевидно, что эта карта более детально отражает строение пласта по сравнению с картой построенной традиционными методами: во-первых, на ней выделен целый ряд мелких складок, осложняющих угольный пласт; во-вторых, в районе скважины Е3921 на рис. 1 отмечен изгиб изогипсы, а на рис. 2 отчетливо показано появление поперечных нарушений, а также разрыв и смещение поверхности пласта в зоне Лутугинского надвига. В настоящее время, в связи с развитием компьютерных технологий, построение таких карт представляет определенный интерес при проектировании и работе шахт.

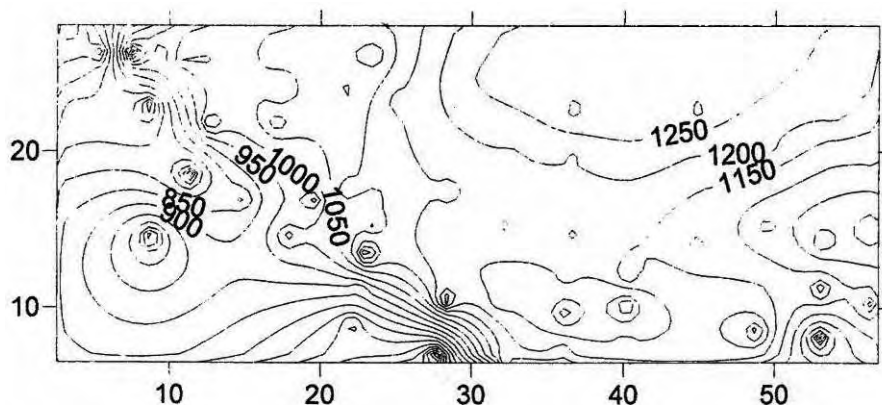


Рис. 2 – Схема гипсометрии участка «Успенский-Южный», построенная с применением высокочастотного фильтра

Литологический состав свит среднего карбона участка «Успенский-Южный»:

$C_2^7$  (415 м): песчаники – 25,3 %; угли – 0,6 %:  $m_8, m_7, m_6^1, m_4, m_2$ ;

$C_2^6$  (330 м): песчаники – 32,1 %; угли – 1,6 %:  $l_7, l_6^{1H}, l_3, l_2^1$ ;

$C_2^5$  (500 м): песчаники – 49,3 %; угли – 1,5 %:  $k_7^{16}, k_7^6, k_6, k_2, k_5, k_8^6$  и  $k_2$ ;

$C_2^4$  (300 м): песчаники – 12,2 %; угли – 0,5 %:  $i_3^1$ ;

$C_2^3$  (80 м): песчаники – 45,8 %; угли – 0,9 %:  $h_4^1, h_7, h_6^1, h_9^H, h_{10}^e, h_{11}^e, h_{11}^H$ .

Промышленная угленосность участка «Успенский-Южный» представлена более чем 50-ю угольными пластами и пропластками. К наиболее выдержанным относятся угольные пласты:  $l_3, k_3$  и  $i_3^1$  (угли марок Г и Ж). В литолого-стратиграфическом плане рассматриваемые пласты расположены вблизи мощных до 70 м толщ песчаников («княгиневских», «боковских», «рубежанских»), перекрытых пластами известняков.

Газоносность углей колеблется в среднем от 10 – 16 до 20 м<sup>3</sup>/т с.б.м. Из песчаника  $k_2SK_2^1$  наблюдалось фонтанирование газа в скв. 1516; в районе скв. Е 3841, Е 3900, Е 3827, Е 3824, Г 2925, Л 4839, Л 4855, Л 4881 и Л 4883 отмечается зона повышенной газоносности углей пласта  $l_3$ .

Пористые (пористость песчаников достигает 15 %) и достаточно мощные пласты песчаников, перекрытые известняками (особенно свита  $C_2^5$ ), сложная тектоника и большая газоносность массива позволяют предположить возможность скоплений метана, а, следовательно, появление на более глубоких горизонтах выбросов и суффляров.

Учитывая относительно сложные ГГУ участка, прогноз выбросоопасности выполнялся для наиболее выдержанных по простиранию угольных пластов.

Используя максимальное количество геологических (глубина - Н), геофизических ( $i_{\phi}, \rho_k^{r3}, I_{\gamma}, I_{\gamma\gamma}$ ) и горнотехнических (местоположение выбросов, суффляров) сведений, на основе многомерных математических моделей с применением современных методов регрессионного анализа, реализованных компьютерными программами, проведен расчет комплексного критерия выбросоопасности  $V^y$  для угольных пластов  $k_7^e, k_5, i_3$  [1]:

$$\begin{aligned} \langle V^y \rangle = & 22,591 - 15,521 H + 1,544 i_{\phi} - 0,005 \rho_k^{r3} - 0,693 I_{\gamma} + 0,905 I_{\gamma\gamma} - \\ & - 0,104 \Delta d + 14,946 (H)^2 + 8,454 (i_{\phi})^2 - 1 \cdot 10^{-6} (\rho_k^{r3})^2 + 0,022 (I_{\gamma})^2 - \\ & - 0,061 (I_{\gamma\gamma})^2 + 4 \cdot 10^{-4} (\Delta d)^2, \end{aligned}$$

где Н – глубина залегания угольного пласта,  $i_{\phi}$  – сила тока, регистрируемая методом фокусированного зонда,  $\rho_k^{r3}$  – кажущееся сопротивление, измеренное градиент – зондом,  $I_{\gamma}$  и  $I_{\gamma\gamma}$  – интенсивность, соответственно, естественного и рассеянного гамма-излучения,  $\Delta d$  – изменение диаметра скважины по глубине.

Коэффициент множественной корреляции уравнения равен 0,82, остаточная дисперсия 0,002. При проверке этого уравнения на контрольной группе данных « $V^y$ » (по 37 пробам из 25 скважин) оказалось, что между контрольными и расчетными значениями критерия « $V^y$ » нет значительных случайных и систематических расхождений (критерий  $t_{расч}=1,36$ , а  $t_{табл}=1,96$ ; критерий  $F_{расч}=1,22$ , а  $F_{табл}=1,29$ ; оба критерия рассматривались при доверительной вероятности 0,95). Среднеквадратическая погрешность определения « $V^y$ » составила 12,9 %.

Вычисленные значения критерия « $V^y$ » по 237 угольным пластопересечениям и значения критерия " $V^n$ " по 473 слоям песчаников в 79 скважинах участка «Успен-

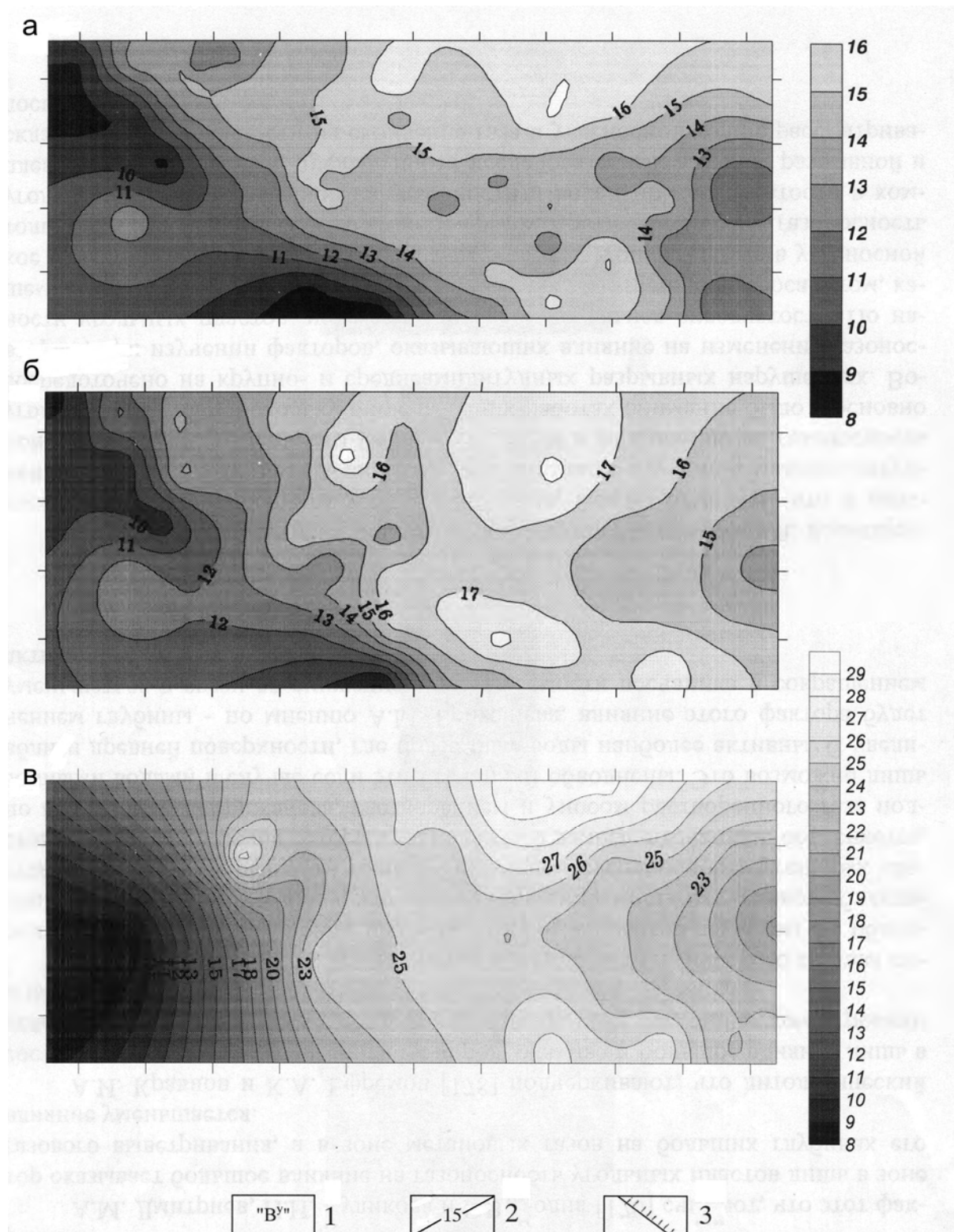
ский-Южный» позволили получить пространственное представление прогнозируемой выбросоопасной ситуации. Для этого по каждому из исследованных угольных пластов  $k_7^e$ ,  $k_5$  и  $i_3^1$  были созданы электронный и графический варианты материалов, в состав которых вошли карты по указанным пластам с прогнозируемой выбросоопасной ситуацией с изолиниями (режим 2D). Отмеченные особенности горно-геологических условий исследованного массива пород на участке разведки «Успенский-Южный» весьма наглядно иллюстрируются на рис. 3.

Однако при расчете комплексного критерия  $V^y$  не учитывается тектоническая дислоцированность, которая является одним из основных факторов, осложняющих горные работы и по геофизическим данным на имеющемся уровне знаний прогноз ее весьма сложен. Для прогноза тектонической дислоцированности в данной работе был применен метод аналогии [2], который основывается на предположении о подобии морфологии, расположения и параметров разрывных и складчатых малоамплитудных нарушений в сходных по своему строению и генезису структурах.

По подобию региональных тектонических условий, в качестве объекта-аналога выбраны шахты «Перевальская» (угольные пласты  $k_5$ ,  $k_3^H$ ,  $k_3^e$ ) и им. Артема (угольные пласты  $l_1^1$ ,  $l_2^1$ ,  $l_4$ ), поля которых расположены в пределах Селезневской котловины. Последняя представляет собой полузамкнутую складку асимметричного строения, вытянутую в широтном направлении. Северное крыло котловины крутое с углами падения пород  $55-80^\circ$ , южное - пологое ( $10-25^\circ$ ). Простираение пород на крыльях Селезневской котловины широтное и почти прямолинейное. Малоамплитудная нарушенность изучалась по планам горных работ и картам локальных структур. Отмечено, что угольные пласты осложнены малоамплитудными нарушениями, которые, в основном, представлены надвигами, реже – сбросами, сопровождающимися зонами перемятых и неустойчивых пород. Судя по картам локальных структур и планам горных работ, нарушения приурочены, в основном, к местам, где действие тектонических сил проявилось наиболее активно - к перегибам пликативных структур, а также к зонам влияния крупных разрывных нарушений. К этим, наиболее нарушенным участкам угольных пластов приурочено подавляющее большинство выбросов.

Так, на шахте «Перевальская» по пласту  $k_3^e$  зарегистрировано 39 выбросов угля, которые происходили в зоне концентрации малоамплитудных нарушений (амплитуда нарушений 0,5 - 5 метров); на пласте  $k_5$  зарегистрировано 2 выброса угля, которые приурочены к зоне Селезневского надвига. На поле шахты им. Артема более нарушенным является крутое крыло синклинали складки ( $\text{grad}$  наклона 0,5) и большая часть выбросов приурочена к зонам влияния разрывных нарушений на этом крыле.

По аналогии на участке «Успенский-Южный» посредством тренд - анализа по поверхности угольных пластов  $l_3$ ,  $k_3$  и  $i_3^1$  с использованием данных буровых скважин и горных работ были построены и проанализированы карты локальных структур.



1 – градации критерия выбросоопасности "В<sup>у</sup>";  
 2 – изолиния критерия выбросоопасности "В<sup>у</sup>"; 3 – тектоническое нарушение.

Рис. 3 – Прогнозируемая выбросоопасность и тектоника угольных пластов:  
 а –  $k_7^6$ , б –  $k_5$ , в –  $i_3^1$  (участок разведки «Успенский-Южный»);

Очевидное смещение осей локальных синклиналильных складок позволяет рассматривать их, как кулисообразную складчатость, образование которой большинство исследователей связывает со сдвиговыми процессами. В тектоническом плане наиболее сложными являются центральная часть участка «Успенский-Южный», осложненная мелкой складчатостью, и западная, в которой сосредоточены разрывные дислокации.

По аналогии с шахтами «Перевальская», им. Артема и полученными данными о тектонической дислоцированности участка, можно предположить, что на участке разведки «Успенский-Южный», во-первых, наиболее опасна по выбросам угля и газа центральная, наиболее нарушенная часть, во-вторых, отмечается тенденция нарастания выбросоопасности угольных пластов от  $k_7^6$ , до  $i_3^1$  (значения «В<sup>у</sup>»  $\geq 15$ ) с глубиной.<sup>1</sup>

Аномальному повышению степени выбросоопасности пласта  $i_3^1$  на участке разведки «Успенский-Южный» способствует, очевидно, и то, что в его почве залегают очень мощные и крупнозернистые разновидности песчаников свиты  $C_2^4$ . Такое "соседство" создает жесткую энергетическую подушку, которая, увеличивает выбросоопасность залегающих вблизи угольных пластов.

Учитывая вероятностный характер прогноза выбросоопасности на всех картах, для обеспечения надежности и исключения ошибок первого рода (возникновение выбросов при неопасном прогнозе) введена переходная зона  $13 \leq \text{«В}^{\text{у}}\text{»} < 15$ . При ведении горных работ в этой зоне рекомендуется проводить локальный прогноз выбросоопасности, вскрывая угольный пласт, и оценивать его текущую выбросоопасность с учетом границ переходной зоны.

Таким образом, технология прогноза выбросоопасности угольных пластов и песчаников, разработанная на основе обширной геолого-геофизической информации из всех геологоразведочных скважин позволяет с помощью современных персональных компьютеров и сопровождающих мощных программных средств (геоинформационных систем) подойти вплотную к созданию объемного изображения исследуемого углепородного массива [3]. Электронная версия атласа всех графических рабочих материалов, иллюстрирующих углепородный массив на участке разведки «Успенский-Южный» во всех ракурсах, позволит в процессе ведения горных работ на поле будущей шахты получать и оперативно корректировать имеющуюся прогнозную выбросоопасную ситуацию по угольным пластам с учетом данных локального и текущего прогнозов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончаренко В.А. Оценка выбросоопасности угольных пластов на основе классификации их каротажных параметров / В.А. Гончаренко // Науковий вісник НГА України. – Дніпропетровськ, 2000. – №4. – С. 8 – 9.
2. Тектоника и горно-геологические условия разработки угольных месторождений Донбасса / В.Е. Забигаило, В.В. Лукинов, Л.И. Пимоненко, Н.В. Сахневич. – К. : Наук. думка, 1994. – 152 с.
3. Гончаренко В.А. Возможности компьютерной технологии прогнозирования зон скопления метана в Донбассе / В.А. Гончаренко, Л.И. Пимоненко // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепрпетровск, 2005. – Вып. № 54. – С. 153 – 160.

<sup>1</sup> Последнее может быть связано с тем, что с увеличением глубины залегания исследуемых угольных пластов  $k_7^6$ ,  $k_5$  и  $i_3^1$  степень углефикации и газоносность увеличиваются