

## УДК 622.831

А.Ф. Булат, академик НАН Украины, С.Ю. Макеев, канд. техн. наук, А.А. Каргаполов, вед. инж., С.Ю. Андреев, канд. техн. наук (ИГТМ НАН Украины), Е.Л. Звягильский, д-р техн. наук, И.А. Ефремов, канд. техн. наук, П.Г. Ставицкий, горный инженер (АП «Шахта им. А.Ф. Засядько»)

### **КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ МАССИВА МНОГОКАНАЛЬНОЙ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ШАХТЕ ИМ. А.Ф. ЗАСЯДЬКО**

Приведені результати виконаних на шахті ім. О.Ф. Засядька експериментальних досліджень по реєстрації і локації сейсмічних явищ, що виникають при відробітку східного крила ухильного поля вугільного пласта  $m_3$ . Побудовані графіки повторювання, по яких зроблені висновки стосовно змін напруженого стану масиву.

### **THE MONITORING OF ROCK ARRAY STATE BY MULTICHANNEL SEISMIC ACOUSTIC SYSTEM ON A MINE A.F. ZASJADKO**

The results of the experimental researches executed on a mine A.F. Zasjadko on registration and location of the seismic phenomena which arise up at working off the east wing of the slope field coal layer  $m_3$  are demonstrated. The charts of repetition are built on which drawn conclusion about the change of the tense state of array.

С возрастанием глубины разработки происходят изменения напряженного состояния массива горных пород и усугубление последствий динамических проявлений горного давления. Его высокие гравитационные и тектонические величины, а также дополнительные концентрации напряжений в результате технологических процессов и повышение нарушенности массива приводят к перераспределению запасенной в нем упругой энергии и создают критические условия для возникновения опасной ситуации.

Поэтому особую актуальность приобретает разработка и развитие современных способов непрерывного оперативного контроля и оценки напряженно-деформированного состояния массива для обеспечения эффективности проведения очистных и подготовительных выработок. Угледобыча на больших глубинах чрезвычайно осложнена отсутствием достаточных и не всегда доступных знаний о структуре и свойствах горных пород, которые находятся в условиях возрастающих сжимающих напряжений. Все это обостряет угрозу динамических проявлений горного давления. Для прогноза опасной ситуации необходимо применение современных методов мониторинга и диагностики механического и геодинамического состояния массива горных пород.

На шахте им. А.Ф. Засядько в течение двух лет проводятся работы по многоканальному контролю сейсмоакустической эмиссии при добыче угля. Здесь используется система визуализации и обработки информации о динамических явлениях в угольных шахтах с цифровой передачей

сейсмометрических сигналов [1]. В настоящий момент система работает в режиме отладки, выполняет регистрацию, обработку получаемых сигналов. Служба сейсмопрогноза шахты проводит расшифровку и интерпретацию геофизических данных.

С помощью этой системы осуществлялось наблюдение за отработкой 18 восточной лавы пласта  $m_3$ , а в настоящее время осуществляют контроль состояния массива при работе восточной уклонной лавы (ВУЛ). Работы по пласту  $m_3$  осуществляются в чрезвычайно сложных геологических условиях. 18 восточная лава отрабатывалась по простиранию пород и слева по ходу от нее находилось выработанное пространство 17 восточной лавы, а ВУЛ проходит по восстанию, причем слева и справа от нее – нетронутый массив, отмечается наличие мульд, прогибов.

При отработке 18 восточной лавы область концентрации сейсмоакустических (СА) явлений перемещалась вслед за подвиганием забоя (рис. 1). Формирование очагов при этом частично приурочено к шагу посадки основной кровли, который составляет 60-80 м, а частично к перераспределению напряжений впереди забоя при очистных работах. Здесь по мере отработки целика и уменьшения его геометрических размеров происходило смещение концентрации напряжений в массиве от периферии к центру целика.

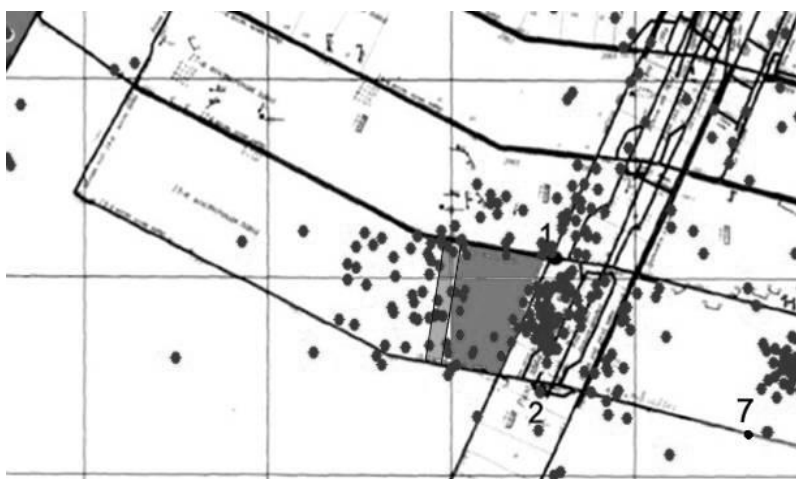


Рис. 1 – Картина распределения сейсмоакустических явлений при отработке пласта  $m_3$  18 восточной лавой

В отличие от 18 лавы, в первые месяцы отработки ВУЛ по мере продвижения забоя очаги сейсмической активности располагались, как правило, впереди забоя. После того как было пройдено приблизительно одна треть от общей длины лавы, вблизи забоя начала формироваться зона повышенной сейсмической активности. Обозначилась зона повышенной концентрации напряжений, приуроченной к кривизне локальных структур. В последующем очаги выстроились в виде линии, отходящей примерно от середины лавы и ориентированной в сторону конвейерного ходка под углом около  $45^0$  (рис. 2).

Затем преимущественное направление развития деформаций переориентировалось практически перпендикулярно линии забоя (рис. 3).

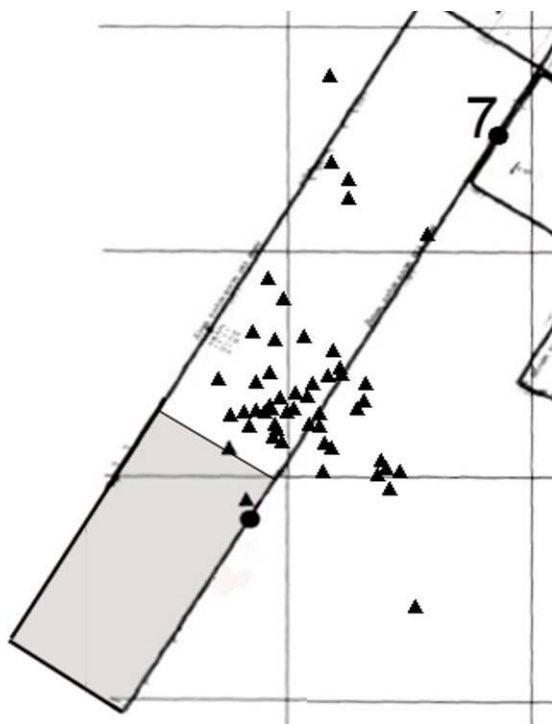


Рис. 2 – Картина распределения сейсмоакустических явлений при отработке пласта  $m_3$  восточной уклонной лавой (февраль 2010 г.)

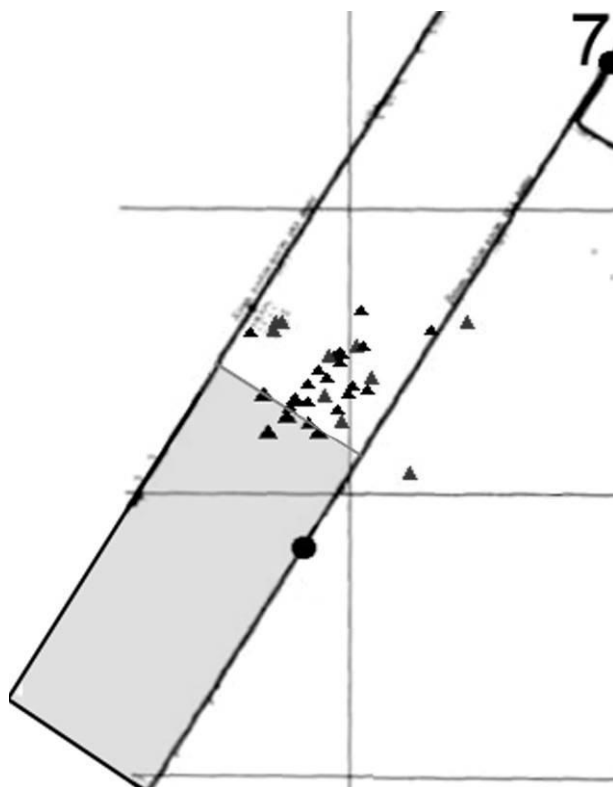


Рис. 3 – Картина распределения сейсмоакустических явлений при отработке пласта  $m_3$  восточной уклонной лавой (март 2010 г.)

Таким образом, на основании сейсмоакустических наблюдений можно полагать, что в средней части лавы и в части, примыкающей к конвейерному штреку, происходит множественное трещинообразование. Наличие повышенных напряжений в призабойной части пласта на середине лавы подтвердилось обследованием лавы прочностномером П-1. Обследование заключалось в следующем. От нижней ниши конвейерного штрека до верхней ниши вентиляционного штрека с шагом в 10 м по забою проводили замеры глубины проникновения ударного бойка в угольный пласт. По осредненным результатам построен график изменения этой величины по длине лавы (рис. 4). Зафиксированные аномальные снижения прочности согласуются с зонами повышенных напряжений, полученных сейсмоакустическим методом.



Рис. 4 – Сопоставление изменения глубины проникновения бойка в пласт с характером распределения очагов СА явлений

Для статистической обработки полученных сейсмоакустических данных был применен общеизвестный в практике сейсмологии закон повторяемости или закон Гуттенберга-Рихтера [3-5], который успешно применяется при анализе техногенной сейсмичности.

Закону повторяемости подчиняется распределение по энергии  $E$  числа сейсмоакустических импульсов  $N$ , излучаемых массивом. Связь явлений с частотой их повторений представляется количественно. Закон описывает процесс разрушения среды в целом статистически и записывается в следующей форме:

$$\lg N = A - \gamma \cdot \lg E$$

Параметры графика повторяемости – наклон к оси абсцисс ( $\gamma$ ) и уровень ( $A$ ) – относятся к важнейшим количественным характеристикам сейсмического режима. Они могут служить средне- и долгосрочными предвестниками,

отражающими способность активизированной области горного массива к накоплению упругой энергии. При этом для прогноза наиболее информативны следующие данные:

- наклон графика, который выражает соотношение между числом сильных и слабых сейсмических событий, или (уже в физической интерпретации) соотношение между числом больших и малых разрывов геологической среды;
- уровень графика (ордината), который характеризует сейсмическую активность – суммарную интенсивность сейсмических проявлений на рассматриваемом участке;
- резкое увеличение угла наклона (рост доли крупных событий), свидетельствующее о росте напряженности в очаге.

Эти признаки рассмотрены на примере изменений графиков повторяемости, построенных в логарифмическом масштабе распределения числа событий  $N$  по их энергии  $E$  для 18 восточной и уклонной лав (рис. 5, 6). При построении учтены 948 событий, взятых за период с 01 мая 2008 года по 31 января 2009 года для 18 восточной лавы и 632 события за период с 01 июня 2009 года по 31 мая 2010 года для ВУЛ. Данные по параметрам графиков повторяемости сведены в таблицу 1.

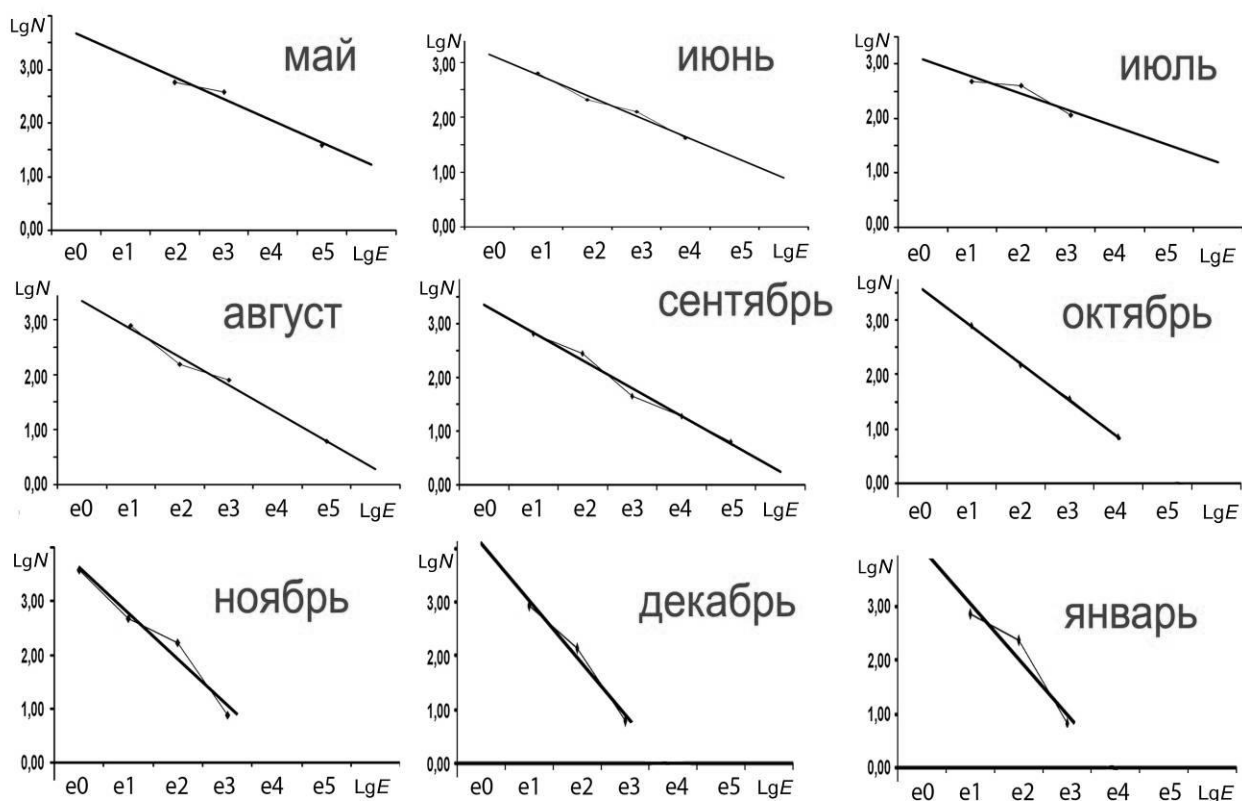


Рис. 5 – Графическое представление закона повторяемости сейсмоакустических явлений при отработке пласта  $m_3$  на шахте им. А.Ф. Засядко для 18 восточной лавы

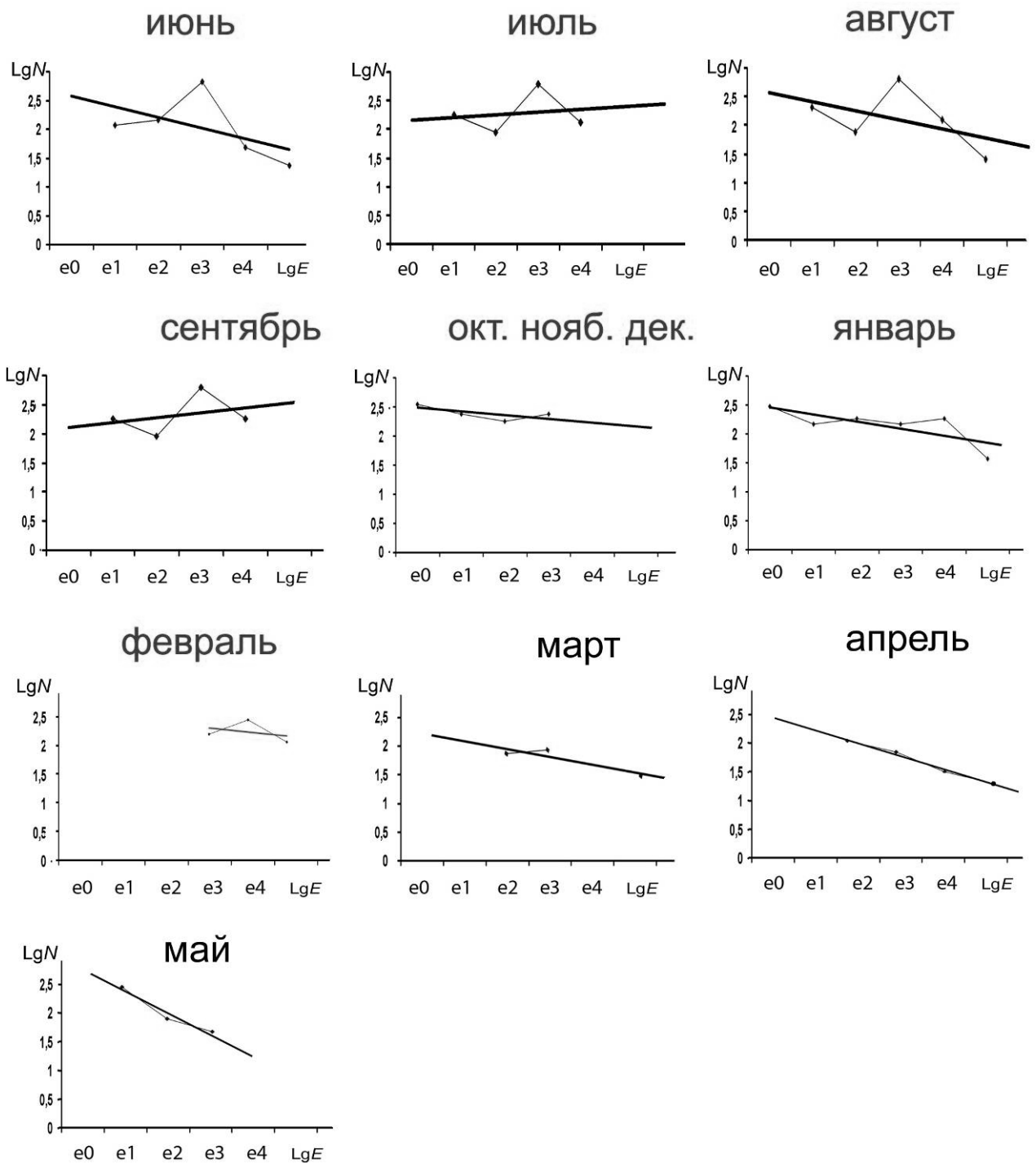


Рис. 6 – Графическое представление закона повторяемости сейсмоакустических явлений при отработке пласта  $m_3$  на шахте им. А.Ф. Засядько для ВУЛ

Из таблицы видно, что по мере продвижения лав увеличивается количество сейсмоакустических явлений  $N$ , приуроченных к каждой из лав, возрастает их уровень  $A$ . Отмечается низкая сейсмоакустическая активность для ВУЛ в период с октября по декабрь 2009 года, а затем ее повышение. На наш взгляд

рост активности обусловлен тем, что лава вошла в область антиклинальной структуры.

Таблица 1 – Параметры графика повторяемости для 18 восточной лавы и ВУЛ

Месяц года	18 восточная лава			Восточная уклонная лава		
	$N$	$A$	$\gamma$	$N$	$A$	$\gamma$
май 2009	26	3,11	0,22			
июнь	20	3,09	0,33	39	2,09	0,27
июль	32	3,39	0,31	42	2,02	-0,21
август	112	3,77	0,46	39	1,93	0,32
сентябрь	116	3,78	0,47	34	2,12	-0,047
октябрь	98	4,25	0,68	7	2,11	0,15
ноябрь	255	4,63	0,89	3		
декабрь	190	5,16	1,07	1		
январь 2010	99	5,13	1,04	21	2,51	0,27
февраль				82	2,32	0,34
март				161	2,94	0,31
апрель				98	2,63	0,26
май				105	3,01	0,24
Итого	948			632		

Анализ графиков повторяемости по 18 восточной лаве позволяет сделать следующие выводы. Угол наклона графиков  $\gamma$  по мере отработки лавы увеличивается, что говорит об уменьшении числа событий с высокими энергиями. Это свидетельствует о снижении уровня напряженно-деформированного состояния массива в зоне проведения исследований в указанный промежуток времени, а значит – незначительной вероятности возникновения катастрофических геодинамических явлений.

Характер изменения графиков повторяемости по ВУЛ говорит о том, что картина сейсмоакустической активности во многом отличается от 18 восточной лавы. В частности, отмечаются колебания уровня активности  $A$  по месяцам, причем сохраняется тенденция его роста. Что касается углов наклона графиков повторяемости  $\gamma$  по мере отработки лавы, то они также колеблются до февраля 2010 года, а затем происходит их стабильное снижение. Причем в период с июля по февраль два раза (в июле и в сентябре) отмечается наличие отрицательного угла наклона графика.

Таким образом, сравнительный анализ трансформации графиков повторяемости позволяет сделать следующие выводы. Если на 18 восточной лаве закон повторяемости представляется в классическом виде – прямой линией с отрицательным наклоном, то для восточной уклонной лавы характерно наличие как положительного, так и отрицательного углов наклона графика. Положительный угол наклона графиков свидетельствует о преобладании событий с высокими относительными энергиями. Построение графиков повторяемости локально для каждой из лав, по-видимому, не совсем в полной мере отражает общую картину событий, происходящих во всем

шахтном поле. В последующем планируется построение таких графиков с учетом всех событий, происходящих как в каждой из разрабатываемых лав, так и на ближайших участках.

Из вышеперечисленного можно сделать заключение, что в зонах работы 18 восточной и восточной уклонной лав проводимые на шахте мероприятия по безопасности работ эффективно обеспечивают разгрузку массива от высокого градиента напряжений, предохраняют от сверхкрупных событий, но не могут воспрепятствовать росту общей сейсмологической активности. Это подтверждается также и тем, что за время наблюдений с помощью сейсмоакустической системы не было зарегистрировано ни одного экстремального динамического явления. Однако подобное положение не является устойчивым, для его поддержания необходимо продолжать активное ведение профилактических мероприятий. Графики повторяемости необходимо рассматривать в динамике и комплексно для всего разрабатываемого участка, тогда можно судить об изменении напряженного состояния массива и делать соответствующие выводы относительно правильности проводимых региональных мероприятий по безопасному ведению работ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сейсмоакустическая система контроля напряженно-деформированного состояния массива / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, А.А. Каргаполов [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск – Вып. № 82. – 2009. – С. 3-8.
2. Экспериментальные исследования состояния массива многоканальной сейсмоакустической системой / А.Ф. Булат, С.Ю. Макеев, А.А. Каргаполов [и др.] // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск – Вып. № 85. – 2010 – С. 76-83.
3. Касахара К. Механика землетрясений / К. Касахара. – М.: Мир, 1985. – 264 с.
4. Виноградов С.Д. Экспериментальное изучение сейсмического режима / С.Д. Виноградов, В.С. Пономарев // Природа, 1999. – № 3. – С. 54-63.
5. Цирель С.В. Форма и наклон графиков повторяемости динамических событий как характеристики уровня опасности и соотношения естественной и техногенной составляющих геодинамического процесса / С.В. Цирель, Л.И. Беляева // Горн. инф.-анал. бюл. – 2009. – № 11. – С. 235-240.

**УДК 622.279**

Докт. техн. наук, проф. А.А. Кожевников,  
канд. техн. наук Н.Т. Филимоненко (НГУ),  
канд. геол. наук Н.В. Жикаляк (ДРГП)

#### **ВЫБОР СПОСОБА ПРОМЫВКИ ДЛЯ ВСКРЫТИЯ НИЗКОПОРИСТЫХ ПЕСЧАНИКОВ ПРИ БУРЕНИИ НА ГАЗ-МЕТАН**

Вперше проведена порівняльна ефективність прямого промивання свердловини з виходом промивальної рідини на денну поверхню і місцевого зворотнього промивання при розтині низькопористих пісковиків, як відношення розмірів зон кольматації при даних способах промивання. Аналітично доведено, що зона кольматації при місцевому зворотньому промиванні буде менша, що позитивно позначиться на збереженні колекторних властивостей низькопористих пісковиків при бурінні свердловин на газ-метан.