УДК 622. 271

С.В.ЦИРЕЛЬ, *д-р техн. наук, главный научный сотрудник, tsirel58@mail.ru*
А.А.ПАВЛОВИЧ, *аспирант, dandy332@mail.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.V.TSIREL, *Dr. in eng. sc., chief research assistant, tsirel58@mail.ru*
A.A.PAVLOVICH, *post-graduate, dandy332@mail.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТЬЮ В КУЗБАССЕ И ВЕДЕНИЕМ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Проведен анализ графиков повторяемости сейсмических событий и их распределения в течение суток, по дням недели и по месяцам. Показано, что сейсмическая активность в Кузбассе имеет смешанный природно-техногенный характер: графики повторяемости имеют промежуточный характер, основная часть сейсмособытий происходит в часы ведения взрывных работ на открытых горных работах, но распределение по месяцам года отвечает общепланетарным закономерностям (наибольшее число событий происходят в марте, августе и декабре). Выдвинуто предположение, что весеннее возрастание сейсмической активности ведет к снижению устойчивости откосов бортов карьеров в период таяния снега и образованию оползней.

***Ключевые слова*:** сейсмические события, открытые горные работы, устойчивость откосов бортов карьеров.

INTERACTION BETWEEN SEISMIC ACTIVITY IN KUZBASS AND OPEN-PIT OPERATIONS

The analysis of graphs shows seismic events repeatability and seismic events distribution during the day, by days of the week and by months was made. It is shown, that seismic activity in Kuzbass region has a mixed natural and manmade character and figures of repeatability have interim character, the majority of seismic events occur in the time of blasting operations in open pit mining, but the distribution by month of the year corresponds to planetary pattern – the largest number of events takes place in March, August and December. It was suggested that the spring increase in seismic activity lead to reduced stability of mine slopes during the snowmelt of landslides formation.

***Key words*:** seismic events, open pit mining, stability slopes in open pit mine.

В России зоны повышенной сейсмической опасности (от 6 баллов и выше при периоде повторяемости 500 лет) занимают около 40 % от общей площади, в том числе 9 % территории относится к 8-9-балльным зонам. В таких зонах проживает более 20 млн человек. К основными сейсмоопасным районам относят Камчатку, Курильские острова, Алтае-Саянский регион, озеро Байкал и Северный Кавказ.

Наибольшее влияние землетрясения могут оказывать на районы с максимальной балльностью 5-7, так как при строительстве и ведении горных работ антисейсмические меры, как правило, не планируются и не осуществляются. Поэтому весьма возможны серьезные последствия действия сейсмических волн даже в результате сравнительно слабых сейсмических событий.

Одним из таких районов является Кузбасс. Согласно [4], Кемеровская область относится к регионам с умеренной сейсмической активностью, в северной части области средний период повторяемости землетрясений с интенсивностью сотрясений 7 баллов составляет 5000 лет, а в южной – 500-1000 лет. Наиболее мощные землетрясения (магнитуда $M \approx 6$) на территории Кузбасса (в районе Новокузнецка) произошли на рубеже XIX и XX вв., а в течение всего

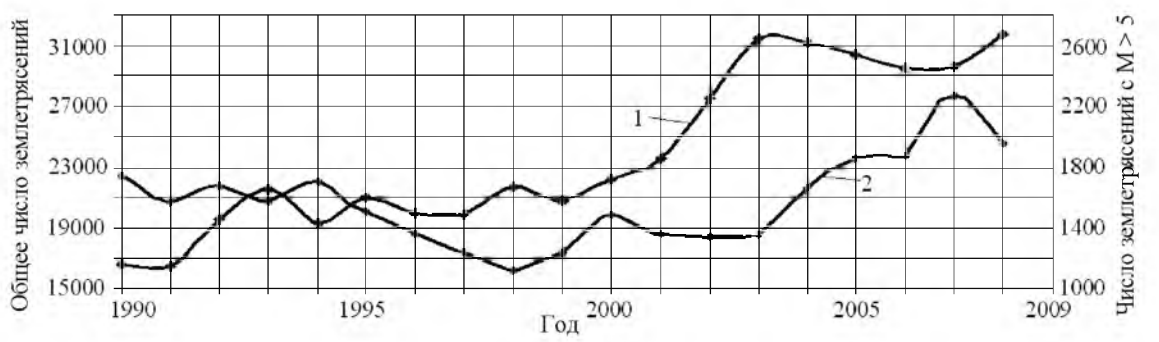


Рис.1. Изменение общего числа землетрясений (1) и сильных землетрясений с магнитудой более 5 (2) за последние 20 лет [7]

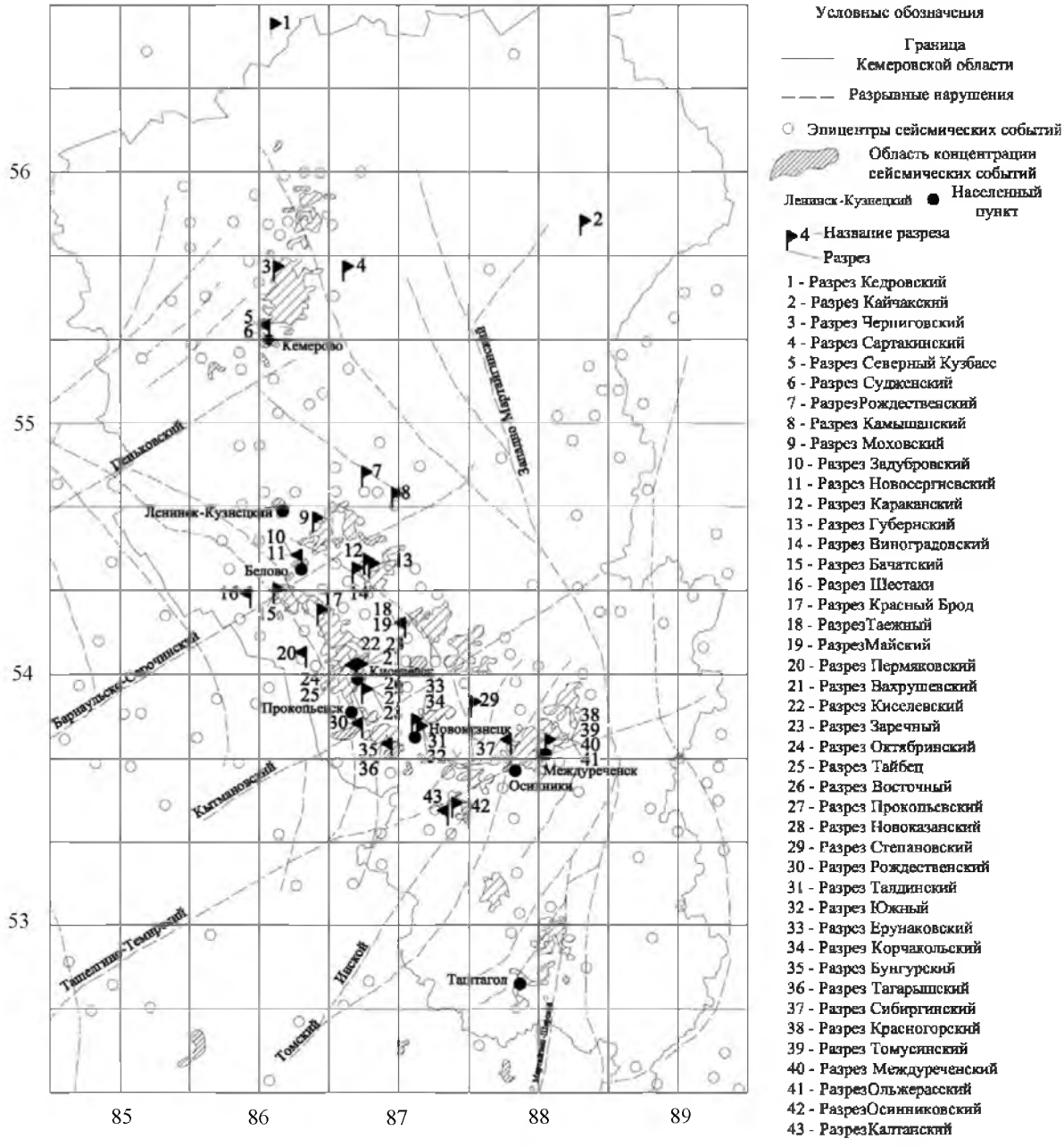


Рис.2. Эпицентры сейсмических событий [3] и местонахождения разрезов Кемеровской области

инструментального периода (с начала 60-х годов XIX в.) землетрясений с магнитудой более 4,5 не отмечалось. Тем не менее, происходящие в последние годы изменения сейсмической обстановки в мире [7], в том числе и в Кузбассе [3], говорят скорее не о снижении, а о росте сейсмической опасности (рис.1).

Начиная с 70-80-х годов XX в. наблюдается постепенная сейсмическая активизация недр Кузбасса. Как было установлено [6], развитие сейсмической активности носит техногенный характер и более всего коррелирует не с текущим объемом добычи, а с общим объемом извлеченной горной массы.

В Кемеровской области разработка месторождений полезных ископаемых продолжается уже более 100 лет с концентрацией добычи на ограниченной территории. На площади Кузбасса, составляющей всего 27 тыс.км^2, разработку подземным и открытым способами осуществляют более 300 предприятий, из недр извлечено около 10 млрд т полезных ископаемых, а глубина разработки достигла 1000 м от поверхности [8].

Кроме высокой нагрузки от перераспределения напряжений, вызванных разработкой месторождений, дополнительной нагрузкой будет затопление нерентабельных шахт. Планируется ликвидировать 43 шахты, что может привести к резкому увеличению сейсмической активности [3].

Необходимо также отметить, что в 2003 г. произошло сильнейшее землетрясение Алтае-Саянского региона. Самый мощный толчок имел магнитуду 7,3-7,5, за ним последовало еще два толчка с магнитудой 6,7-7,1 и длинная серия афтершоков с магнитудами, доходящими до 5,5. Интенсивность колебаний в эпицентре (50,14° с.ш., 87,58° в.д.) составляла 9-9,5 баллов, согласно карте ОСР-97-А [4]. Период повторяемости таких сотрясений равен приблизительно 500 годам. Среди всех крупных исторических землетрясений региона эпицентр данного землетрясения был ближе всего расположен к границам Кемеровской области, интенсивность колебаний в Таштаголе и Прокопьевске составляла 4-5 баллов. Как отмечалось в статье Д.В.Яковлева, Т.И.Лазаревич [8], Горно-алтайское землетрясение оставило сильный отпечаток на геодинамической обстановке в регионе, в частности происходит все более интенсивное распространение фронта сейсмической активности на север.

Как отмечалось выше, на активизацию техногенной сейсмичности огромное влияние оказывают горные работы, особо следует отметить разработку месторождений открытым способом. При этом добыча ведется чаще всего с применением буровзрывных работ, происходит сильное изменение гидрогеологических условий, кроме огромного количества вынимаемой горной массы происходит пригрузка массива отвалами вскрыши. Все это по отдельности, а тем более в совокупности, перераспределяет напряжения в массиве и может явиться причиной техногенных землетрясений.

Рассмотрим карту Кемеровской области с нанесенными на нее эпицентрами сейсмических событий [8] и местонахождением разрезов (рис.2). Как видно на карте, большинство разрабатываемых открытым способом месторождений находятся в зоне сейсмических событий.

Произведем анализ распределения сейсмических событий в течение суток по дням недели (рис.3). При этом исключим из рассмотрения промышленные врывы. Анализ будет основан на каталогах сейсмических событий, составленных геофизической службой.

Несмотря на то, что из каталога были исключены промышленные взрывы, из рис.3 видно, что основная часть сейсмических событий происходит именно в часы ведения на разрезах взрывных работ, т.е. уступы угольных разрезов испытывают двойную вибрационную нагрузку – сначала от взрывных работ, а потом от спровоцированных ими сейсмических событий.

Для оценки месячной сейсмоактивности рассчитаем суммарное количество землетрясений и суммарное количество выделяемой энергии по месяцам (рис.4). На рис.4 достаточно четко выражена повышенная сейсмичность в марте, августе и декабре. Похожие годовые зависимости упоминают многие авторы [1, 2, 5, 7]. Особенно стоит отметить работы Н.Н.Горькавого [1, 2], где подробно раскрывается временна́я зависимость числа слабых землетрясений внутри одного года.

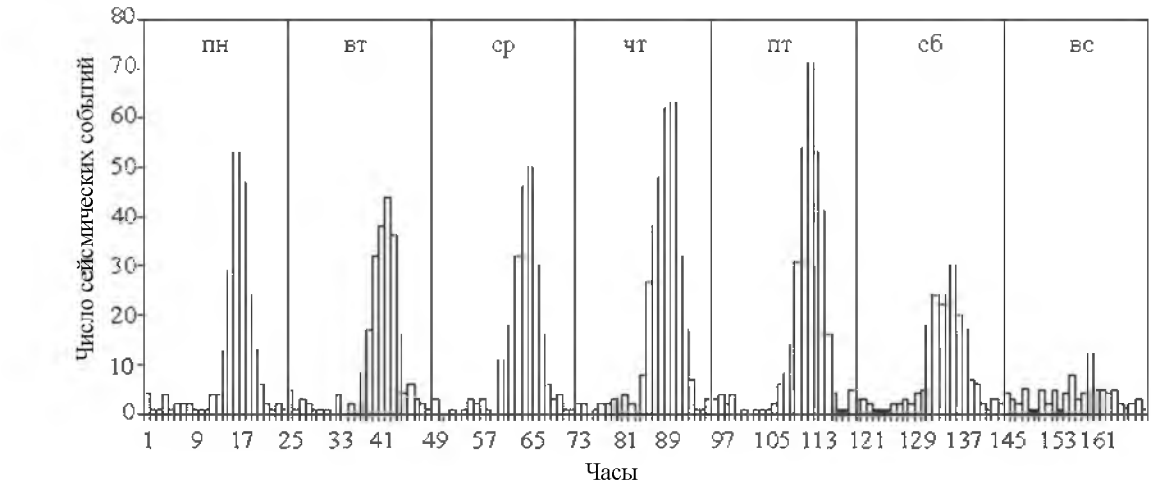


Рис.3. Распределение сейсмических событий в течение недели для Кузбасса по данным 1998-2000 гг.

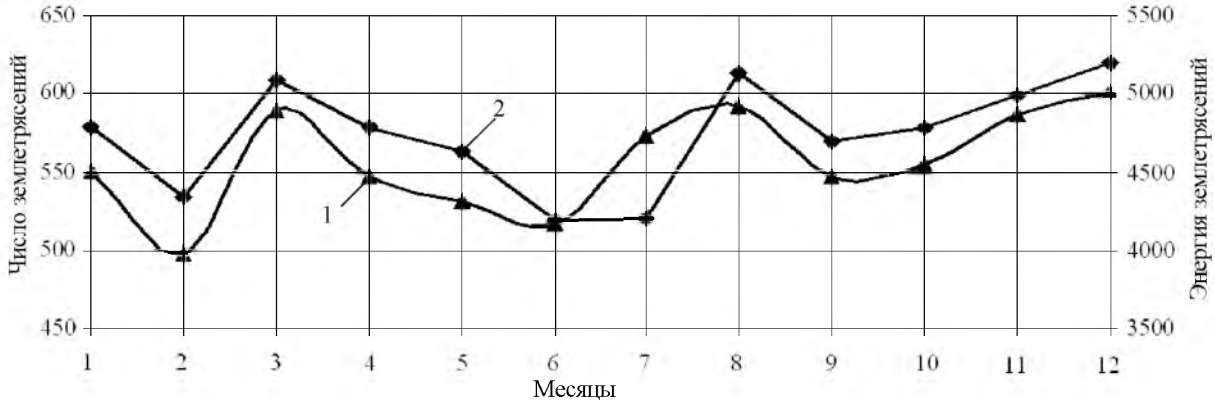


Рис.4. Изменение суммарного числа землетрясений (1) и их энергии (2) во времени по данным 1962-1995 и 1998-2000 гг.

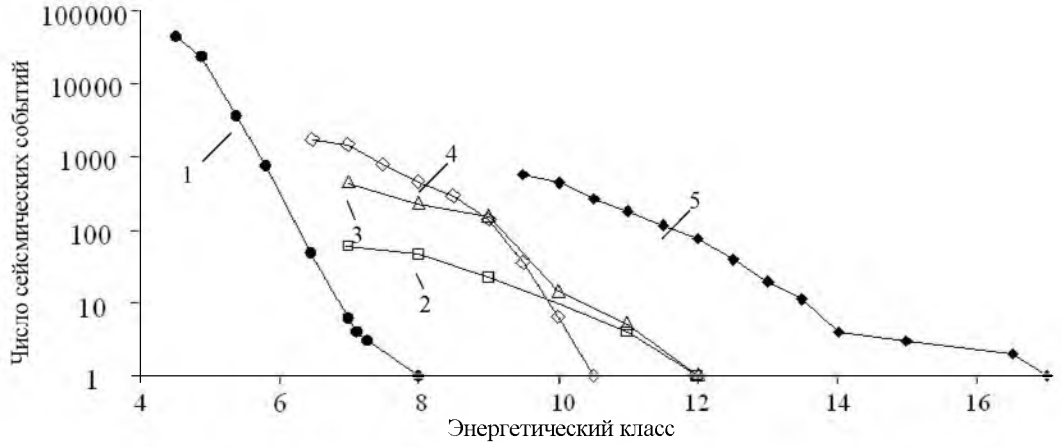


Рис.5. Сопоставление кумулятивных графиков повторяемости естественной и техногенной сейсмичности

Одновременно указывается, что наиболее вероятной основной причиной данной закономерности являются изменения скорости вращения Земли.

Влияние горных работ на сейсмичность Кузбасса также прослеживается при анализе графиков повторяемости естественной и техногенной сейсмичности (рис.5). Были рассмотрены графики повторяемости «дотехногенного» периода сейсмической активности в Кузбассе (1962-1980 гг., кривая 2), «раннетехногенного» (1981-1995 гг., кривая 3) и «пере-

ходного» (1998-2000 гг., кривая 4) периода. Для более полного сравнения графиков повторяемости к анализу были привлечены, с одной стороны, данные о техногенной сейсмичности, наблюдаемой в 2000-2005 гг. в Норильске (кривая 1), с другой стороны, данные о естественной сейсмичности Алтае-Саянского сейсмического района за эти же годы (кривая 5).

Дробность техногенной сейсмичности существенно (в 3-4 раза) отличается от дробности естественной сейсмичности. Данные по Кузбассу показывают, что сейсмическое воздействие приобретает смешанный природно-техногенный характер. Кривая 4 рис.5 уже ближе подходит к норильским данным (кривая 1).

Другое отличие кузбасских данных и от алтайского, и от норильского каталогов заключается в отсутствии «хвоста» в области больших сильных землетрясений. В алтайском каталоге этот хвост образован серией толчков Чуйского (Горно-Алтайского) землетрясения 2003 г., а в норильском – несколькими сильными событиями, произошедшими в 2004-2005 гг. Многократные взрывные воздействия способствуют сбросу накопившейся энергии и мешают «спокойной» подготовке крупных событий. Таким образом, с одной стороны, дестабилизация массива за счет ведения горных работ способствует росту числа землетрясений и приближает их эпицентры к местам проживания людей, с другой стороны, не дает накопиться в этих же очагах большому количеству энергии.

Таким образом, как во всем мире, так и на Кузбассе установлено общее увеличение сейсмических событий.

Наиболее сейсмоактивными пятнами в Кемеровской области являются районы горных работ, при этом большинство месторождений, разрабатываемых открытым способом, находятся именно в них.

Проведение промышленных взрывов инициирует появление сейсмических событий, т.е. является для них своего рода спусковым механизмом, но при этом способствует сбросу накопившейся энергии и мешает «спокойной» подготовке крупных событий.

Наибольшее количество событий происходит в марте, августе и декабре.

Сейсмичность Кузбасса приобретает смешанный, природно-техногенный, характер, при этом количество слабых событий продолжает увеличиваться.

Главным образом, несмотря на невысокий класс энергии землетрясений, опасность для бортов карьеров представляют длительность сейсмического воздействия и его сложный характер. При этом при проведении взрывов борта испытывают двойную нагрузку.

При воздействии нагрузок как от взрывных работ, так и от сейсмических толчков в прибортовом массиве происходит раскрытие трещин и могут происходить или подготавливаться подвижки блоков. С учетом того, что Кузбасс в целом имеет довольно сложные гидрогеологические условия, вода постепенно просачивается во вновь образовавшиеся трещины, при этом происходит снижение сопротивления сдвигу горного массива. Это является одной из возможных причин формирования оползней на карьерах и разрезах. Однако оползень может формироваться месяцами, поэтому сложно установить конкретное влияние слабых сейсмических воздействий на геомеханическое состояние массива. В литературе описано мало примеров оползней, достоверно связанных с землетрясениями при разработке месторождений открытым способом.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вольвач А.Е.* Годовой период в сейсмичности Земли за 1964-2007 гг. / А.Е.Вольвач, Н.Н.Горькавый, А.И.Дмитроца, Л.С.Левицкий // Известия Крымской астрофизической обсерватории. Пос. Научный: НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория». 2009. Т.105. № 1. С.216-225.

2. *Горькавый Н.Н.* Годовой период в сейсмичности Земли.I. Зависимость от магнитуды и глубины / Н.Н.Горькавый, А.И.Дмитроца, Л.С.Левицкий, З.Л.Ставицкий, Т.А.Тайдакова, С.К.Татевян, Ю.А.Трапезников, А.Н.Фридман // Физика Земли. М.: Наука, 2000. № 5. С.28-36.

3. *Лазаревич Т.И.* Горный мониторинг сейсмической и геодинамической безопасности Кузбасса / Т.И.Лазаревич, А.Н.Поляков. // Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сб. науч.трудов // ВНИМИ. СПб., 2009. С.40-49.

4. *Уломов В.И.* Проблемы сейсмического районирования на территории России / В.И.Уломов, Л.С.Шуменина; ВНИИНТПИ. Госстрой России. М., 1999. 56 с.

5. *Хайдаров М.* О связи сезонных изменений сейсмичности и отклонений приборов крутильного типа на северном Тянь-Шане / М.Хайдаров, В.Ильина, А.Нурмагамбетов,

К.Хайдаров, П.Локша // Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. Алматы: Эверо, 2003. С.340-347.

6. *Цирель С.В.* Особенности развития техногенной сейсмической активности и ее влияние на устойчивость бортов карьеров / С.В.Цирель, А.А.Павлович // Экология и жизнь: Сб. статей XVIII Международной научно-практической конференции. Пенза: Приволжский дом знаний, 2000. С.142-144.

7. *Черноглазова Т.* Временные закономерности глобальной сейсмичности Земли [Электронный ресурс] // Chaos and Correlation International Journal, 18 марта 2010. 13 с. Режим доступа: http://www.chaosandcorrelation.org/Chaos/TCH_3_2010.pdf.

8. *Яковлев Д.В.* Техногенная сейсмичность Кузбасса / Д.В.Яковлев, Т.И.Лазаревич // Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сб. науч. трудов / ВНИМИ. СПб, 1999. С.384-392.

REFERENCES

1. *Volvach A.I.*, *Gorkavyi N.N.*, *Dmitrotsa A.I.* Annual Cycle in the Earth Seismicity for 1964-2007 // Proceedings of the Crimea Astrophysical Observatory. Settlement Scientific: scientific research institute «Crimea Astrophysical Observatory». 2009. V. 105. № 1. P.216-225.

2. *Gorkavyi N.N.*, *Dmitrotsa A.I.*, *Levitsy L.S.*, *Stavitsky Z.L.*, *Taidakova T.A.*, *Tatevyan S.K.*, *Trpaznikov U.A.*, *Fridman A.N.* The annual period in seismicity of the earth // Earth's physics. Moscow: Science, 2000. № 5. P.28-36.

3. *Lazarevich T.I.*, *Polyakov A.N.* Mining Monitoring of Sesmic and Geodynamic Safety in Kuzbas / Geomechanics and mine surveying: The Collected papers / VNIMI. Saint Petersburg, 2009. P.40-49.

4. *Ulomov V.I.*, *Shumenina L.S.* Problems seismic zoning in Rossia / VNIINTPI Russian state committee for construction. Moscow, 1999. 56 p.

5. *Haidarov M.*, *Ilina V*, *Nurmagambetov A.*, *Khaidarov R.*, *Loksha P.* On Dependence between Season Changes of Seismicity and tortion-type instruments deviations in the Tien Shan // Collected papers: «Issues on Disastrous Earthquakes Results Prevention». 2002. Alma-Ata: Avero, 2003. P.340-347.

6. *Tsirel S.V.*, *Pavlovich A.A.* Special Features of Technogeneous Seismic Activity and its influence on wall stability in pits. Ecology and Life: the collection of articles of XVIII International scientifically-practical conference. Penza: The Privolzhsky house of knowledge, 2000. P.142-144.

7. *Tchernoglazova T.* Time Reference of Earth's Global [the Electronic resource] // Chaos and Correlation International Journal, March, 18, 2010. 13 p. http://www.chaosandcorrelation.org/ Chaos/TCH_3_2010.pdf.

8. *Yakovlev D.V.*, *Lazarevich T.I.* Technogeneous Seismicity of Kuzbas. Geomechanics and mine surveying. The Collected papers / VNIMI. Saint Petersburg, 1999. P.384-392.