

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННОСТИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ

Аркадий Васильевич Леонтьев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории горной информатики, тел. (383) 205-30-30, доп. 173 e-mail: leon@misd.ru

Татьяна Валентиновна Лобанова

Сибирский государственный индустриальный университет, научно-исследовательский центр «Геомеханика», 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, доктор технических наук, научный руководитель центра, тел. (3843)78-43-32, e-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru

Григорий Леонович Линдин

Сибирский государственный индустриальный университет, научно-исследовательский центр «Геомеханика», 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Сергей Александрович Лобанов

Сибирский государственный индустриальный университет, научно-исследовательский центр «Геомеханика», 654007, Россия, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, научный сотрудник

Рассматриваются основы геомеханического обеспечения подземной отработки месторождений в геодинамически активном регионе. Основное внимание уделено параметрам процесса сдвижения и закономерностям деформирования охраняемых объектов промплощадок на подрабатываемых территориях.

Ключевые слова: сдвижения, тектонические коэффициенты, сейсмические события.

USING GEODYNAMIC MONITORING DATA TO ESTIMATE THE STRESS STATE OF MINE FIELDS

Arkady V. Leontiev

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, D. Sc., Leading Researcher, Mining Information Technique Laboratory, tel. (383)205-30-30, extension 173, e-mail: leon@misd.ru

Tat'yana V. Lobanova

Siberian State Industrial University, Geomechanics Research Center, 654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirov St., D. Sc., Research Supervisor of Geomechanics Research Center, tel. (3843)78-43-32, e-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru

Grigory L. Lindin

Siberian State Industrial University, Geomechanics Research Center, 654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirov St., Ph. D., Leading Researcher

Sergey A. Lobanov

Siberian State Industrial University, Geomechanics Research Center, 654007, Russia, Novokuznetsk, 42 Kirov St., Researcher

Geomechanical fundamentals of underground mining in a geodynamically active region are considered. The paper is focused on strata movement parameters and deformation regularities, specific for production sites under protection in territories disturbed by underground mining operations.

Key words: strata movement, tectonic factors, seismic events.

Определение действующих напряжений в массиве горных пород и оценки напряженности шахтных полей являются актуальными задачами, особенно на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам. Однако в настоящее время натурные определения напряжений производятся крайне редко, в том числе, и на месторождениях Горной Шории (Россия, юг Кемеровской области). В то же время, на Таштагольском месторождении, опасном по горным ударам, имеются данные мониторинга процессов сдвижения земной поверхности и горных пород, которые могут быть использованы для расчета напряжений и оценки их изменения во времени и в пространстве.

Расчет напряжений выполнен по результатам GPS-наблюдений на геодинамическом полигоне за сдвижением земной поверхности Таштагольского месторождения, проведенных в период 2005 – 2016 гг. Такие наблюдения выполнялись по два – три раза в год и были приурочены к массовым взрывам. Геодинамический полигон создан на базе наблюдательной станции за сдвижением земной поверхности месторождения [1]. Спутниковые наблюдения в этом полигоне и обработка результатов проводились по стандартным методикам. Измерения выполнялись независимо на каждом характерном пункте от двух базовых станций, расположенных за границами зоны влияния горных разработок.

При расчете напряжений через горизонтальные и вертикальные сдвиги реперов, расположенных по простиранию и вкрест простирания рудных тел месторождения, вычислены тектонические коэффициенты в этих направлениях w_1 и w_2 . Расчет выполнен по методике [2], использованной ранее для оценки напряжений в районе Шерегешевского месторождения. За исходные тектонические коэффициенты в момент образования выработанного пространства приняты коэффициенты тектонического поля напряжений, установленные исследованиями ВостНИГРИ [3]: $\sigma_1 = 3,0\sigma_3$; $\sigma_2 = 1,8\sigma_3$; $\sigma_3 = \gamma H$. Напряжения σ_1 и σ_2 являются горизонтальными. Азимут действия максимальных напряжений вне зоны влияния горных работ ориентирован по простиранию рудной зоны месторождения.

На рисунке представлены зависимости изменения во времени тектонических коэффициентов по простиранию и вкрест простирания месторождения, построенные по средним значениям в соответствующих направлениях.

Следует отметить хорошее соответствие изменения тектонических напряжений и энергии сейсмических событий, происходящих в районе месторождения и фиксируемых сейсмостанцией Таштагольского рудника. Рост энергии сейсмособытий наблюдается в периоды роста тектонических коэффициентов. При этом, если тектонический коэффициент вкрест простирания изменяется на уровне 0.5, то изменчивость тектонического коэффициента по простиранию в 2 раза больше и составляет около 1.0. Установлена стабилизация тектонического коэффициента вкрест простирания месторождения на уровне 1.7 в последние пять лет и коэффициента по простиранию на уровне 3.4 в последние два года, а также резкое возрастание последнего от 2.5 до 3.5 после проведения массовых взрывов. Это свидетельствует об активизации тектониче-

ских коэффициентов по простиранию и вкрест простирания месторождения, построенные по средним значениям в соответствующих направлениях.

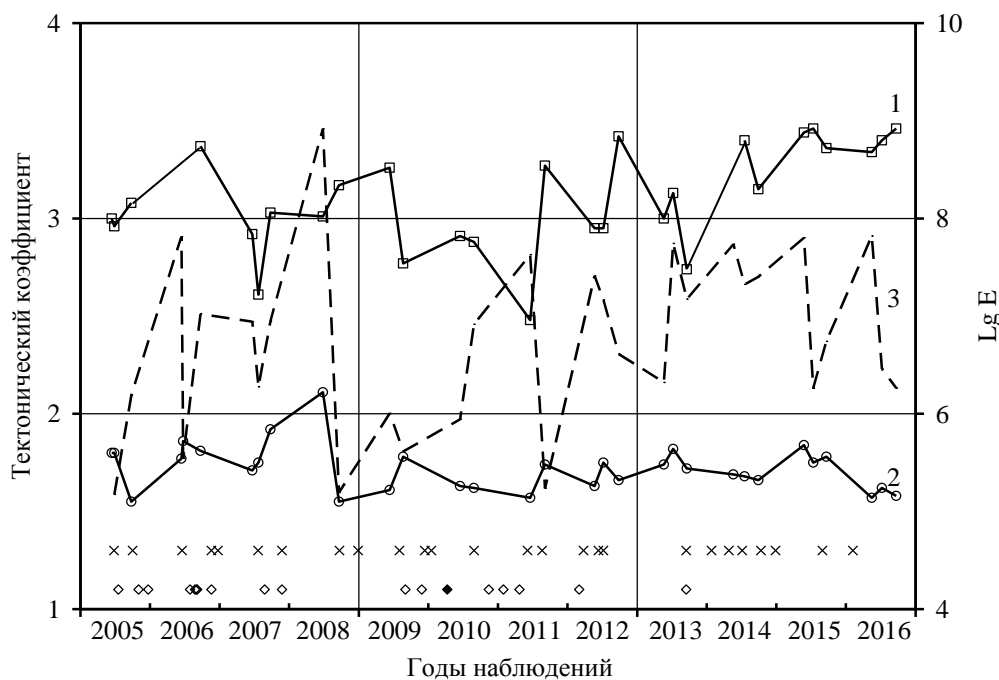


Рис. Изменение во времени напряженного состояния массива горных пород Таштагольского месторождения:

1, 2 – тектонический коэффициент соответственно по простиранию и вкрест простирания; 3 – энергия сейсмособытий; × – массовые взрывы; ◇ – МУ; ◆ – ГУ

Из 31 периода наблюдений 2005 – 2016 гг. можно отметить следующие характерные периоды изменения напряжений в районе месторождения:

- 14 периодов уменьшения (увеличения) напряжений по простиранию и увеличения (уменьшения) напряжений вкрест простирания месторождения, что отражает процессы перераспределения напряжений в шахтном поле;

- 10 периодов увеличения напряжений и по простиранию и вкрест простирания месторождения, что соответствует всестороннему сжатию массива и пригрузке района ведения горных работ Восточного участка;

- 7 периодов уменьшения напряжений и по простиранию и вкрест простирания месторождения, что соответствует разгрузке района ведения горных работ Восточного участка и пригрузке вмещающих боковых пород.

Выделяется 2 длительных периода пригрузки Восточного участка с 25.09.2005 по 23.09.2006 (3 периода наблюдений) и с 19.09.2008 по 12.06.2009 (2 периода наблюдений) и 1 длительный период разгрузки района ведения горных работ и пригрузки боковых пород с 16.06.2010 по 19.06.2011 (2 периода наблюдений). В соответствии с чем, в таблице эти периоды объединены и рассматривается всего 27 периодов: 14 периодов перераспределения напряжений и 13 периодов пригрузки или разгрузки месторождения.

Анализ изменения тектонических напряжений на Таштагольском месторождении в зависимости от проводимых массовых взрывов (МВ) и проявления сейсмособытий показал, что из 14 периодов перераспределения напряжений в шахтном поле эти процессы происходили после проведения массовых взрывов в 8 случаях на Восточном участке и в 4 случаях на Юго-Восточном участке. Это подтверждает вывод о том, что именно массовые взрывы приводят к перераспределению напряжений. Следует отметить, что в условиях такого напряженно-деформированного состояния массива на руднике произошло только 4 крупных сейсмособытия (3 микроудара (МУ) и 1 горный удар 10.04.2010) из 18, зафиксированных в период 2005 – 2016 гг. Наибольшее количество сейсмических событий это события 1 – 3 энергетического класса.

Таблица

Параметры геодинамических и технологических процессов
Таштагольского месторождения

Период наблюдений процесса	Всего событий, шт.	Количество событий, шт., по классам						Объем массива, тыс. м ³	Суммарная энергия, Дж	МВ, шт.	МУ, шт.
		1 – 3	4	5	6	7	8				
14.06.2005–28.06.2005	34	32	1	1	-	-	-	376 840	1.49×10 ⁵	1	-
28.06.2005–25.09.2005	158	152	5	-	1	-	-	2 143 744	1.55×10 ⁶	-	1
25.09.2005–23.09.2006	1371	1326	28	11	5	1	-	3 813 395	7.56×10 ⁷	2	6
23.09.2006–22.06.2007	1532	1486	39	5	2	-	-	2 468 229	8.76×10 ⁶	2	1
22.06.2007–24.07.2007	121	117	2	1	1	-	-	574 796	1.89×10 ⁶	1	-
24.07.2007–26.06.2008	704	677	19	4	3	-	1	3 976 836	8.35×10 ⁸	1	2
26.06.2008–19.09.2008	83	82	-	1	-	-	-	1 624 335	1.56×10 ⁵	-	-
19.09.2008–12.06.2009	608	588	17	3	-	-	-	5 315 740	1.01×10 ⁶	2	-
12.06.2009–21.08.2009	223	221	1	1	-	-	-	1 159 158	4.11×10 ⁵	1	-
21.08.2009–16.06.2010	859	836	23	-	-	-	-	4 222 053	8.77×10 ⁵	2	3
16.06.2010–19.06.2011	1768	1701	48	10	9	-	-	15 593 880	5.08×10 ⁷	2	3
19.06.2011–05.09.2011	199	196	2	1	-	-	-	4 480 640	1.72×10 ⁵	1	-
05.09.2011–22.05.2012	1191	1155	23	8	4	1	-	4 337 166	2.58×10 ⁷	1	1
25.05.2012–07.07.2012	502	480	12	7	3	-	-	2 085 328	1.46×10 ⁷	2	-
07.07.2012–25.09.2012	365	343	15	5	2	-	-	17 707 677	4.09×10 ⁶	-	-
25.09.2012–21.05.2013	691	671	12	8	-	-	-	4 452 592	2.09×10 ⁶	-	-
21.05.2013–09.07.2013	279	267	7	3	-	2	-	2 478 764	5.53×10 ⁷	-	-
09.07.2013–18.09.2013	591	564	17	6	4	-	-	4 411 880	1.49×10 ⁷	1	1
18.09.2013–20.05.2014	1227	1200	20	-	5	2	-	10 266 346	5.44×10 ⁷	2	-
20.05.2014–18.07.2014	499	482	13	3	-	1	-	4 604 998	2.11×10 ⁷	1	-
18.07.2014–29.09.2014	296	278	10	3	4	1	-	3 185 821	2.53×10 ⁷	-	-
29.09.2014–26.05.2015	1557	1497	32	18	9	1	-	9 200 868	6.33×10 ⁷	2	-
26.05.2015–14.07.2015	153	139	12	2	-	-	-	3 268 213	1.83×10 ⁶	-	-
14.07.2015–21.09.2015	322	303	12	6	1	-	-	8 246 601	5.51×10 ⁶	1	-
21.09.2015–16.05.2016	1481	1425	35	12	8	1	-	7 975 838	6.62×10 ⁷	1	-
16.05.2016–08.07.2016	644	622	17	5	-	-	-	3 186 907	2.86×10 ⁶	-	-
08.07.2016–21.09.2016	291	273	12	6	-	-	-	3 464 655	1.83×10 ⁶	-	-

Наиболее опасным для горных разработок является состояние всестороннего сжатия массива, когда район ведения горных работ одновременно пригружен напряжениями, действующими как по простиранию, так и вкрест простирания месторождения. В эти периоды зафиксирована максимальная суммарная энергия проявившихся сейсмособытий и максимальная средняя энергия одного события, которые сопровождались проявлением 8 МУ из 18. Периоды всестороннего сжатия массива в районе ведения горных разработок отличаются ограниченным объемом проявления сейсмособытий, в отличие от периодов разгрузки района горных работ и пригрузки боковых пород или периодов перераспределения напряжений в пределах всего района месторождения, когда объем массива, в котором проявились сейсмособытия, возрастает в несколько раз. В тех случаях, если этого не происходит и сейсмособытия проявляются в ограниченном объеме в зоне влияния очистных работ, то они проявляются в форме микроударов, несмотря на уменьшение напряжений как по простиранию, так и вкрест простирания месторождения.

Распределение сейсмических событий в районе месторождения по характерным периодам соответственно всестороннего увеличения напряжений с 24.07.2007 по 26.06.2008 и всестороннего их уменьшения с 16.06.2010 по 19.06.2011 отчетливо показывает площади проявления этих событий. Если в 2007 – 2008 гг. толчки 3 класса и выше проявлялись в основном в районах ведения очистных работ, то в 2010 – 2011 гг. существенно увеличивается количество таких толчков за пределами влияния горных разработок. Толчки 3 – 6 класса проявлялись уже на расстоянии 1.5 – 2.0 км от очистных работ, особенно, в районах тектонических нарушений в висячем боку рудной зоны.

Проявление сейсмособытий в тектонических блоках, граничащих с отрабатываемыми участками, в условиях роста тектонических напряжений в них, в последующем приводит к перераспределению напряжений на другие участки массива или всестороннему сжатию района ведения горных работ. Эти процессы неоднократно наблюдались в период 2005 – 2016 гг. на геодинамическом полигоне на земной поверхности и периодически фиксируются по наблюдениям в горных выработках шахты.

Следует отметить, что наблюдаемые тектонические напряжения по простиранию Таштагольского месторождения, согласно экспериментальным исследованиям [4] (GPS-наблюдения, определение механизмов очагов землетрясений и геолого-геоморфологические исследования), являются следствием глобальных тектонических процессов, связанных с Индо-Евразийской коллизией, когда Индо-Австралийская плита надвигается в стык Евразийской тектонической плиты в направлении Ю – С со скоростью примерно 50 мм/год. По этой причине в точках Евразийской тектонической плиты возникают тектонические напряжения и сдвигения, приводящие к формированию и проявлению мощных землетрясений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Леонтьев А. В., Лобанова Т. В. Деформационный мониторинг движений породного массива на железорудных месторождениях Горной Шории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология» : сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 4. – С. 133–138.

2. Лобанова Т. В., Линдин Г. Л., Лобанов С.А. Оценка региональной напряженности Шерегешевского месторождения по величинам сдвижения земной поверхности // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2014. – № 1. В 2 т., Т. 1. – С. 201–209.

3. Шрепп Б. В. Управление геомеханическими процессами при разработке мощных удароопасных железорудных месторождений изменением геометрии и формы выработанного пространства : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 1996. – 48 с.

4. Леонтьев А. В., Лобацкая Р. М., Кучай О. А. Прогнозная оценка напряженно-деформированного состояния Нижнеканского породного массива // Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в областях сильного техногенного воздействия / В.Н. Опарин и др.; отв. ред. Н.Н. Мельников; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела и др. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2012. – С. 331 – 366.

© А. В. Леонтьев, Т. В. Лобанова, Г. Л. Линдин, С. А. Лобанов, 2017