

А.Ф. Амвросов**МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИИ**

Рассмотрены особенности мониторинга состояния недр в практике разработки месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: мониторинг, геологические процессы, недропользование.

Мониторинг месторождений полезных ископаемых является подсистемой государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) и представляет собой объектный уровень мониторинга, который осуществляется только на основании лицензии на пользование недрами. В условиях лицензии, по согласованию с органами региональных управлений Ростехнадзора и Росприроднадзора устанавливаются основные требования к мониторингу, выполнение которых является обязательным для владельцев лицензии.

В качестве объектов мониторинга рассматриваются закрепленные лицензионными соглашениями участки недр, а также территории, находящиеся в сфере воздействия горного производства, влияющего на развитие опасных геологических процессов (ОГП).

Мониторинг состояния недр разбит на ряд подсистем, имеющих свою нормативно-методическую базу, и включает:

- мониторинг подземных вод;
- мониторинг опасных экзогенных и эндогенных геологических процессов;
- мониторинг месторождений ископаемых по типам сырья;
- мониторинг участков недр, не связанных с добычей полезных ископаемых.

Горнопромышленный комплекс в настоящее время является одним из

основных источников формирования экологических проблем, поскольку ежегодно в мире добываются и перерабатываются миллиарды тонн минерального сырья и пустых пород. Темпы развития и масштабы горной промышленности в современных условиях неразрывно связаны с возрастающими рисками развития ОГП естественной и техногенной природы.

Недооценка этих опасностей ведет к огромному материальному ущербу, несопоставимому с затратами на защитные мероприятия и, что самое главное, к возможным человеческим жертвам. В то же время необоснованное завышение уровня опасности ведет, в свою очередь, к неоправданным расходам, иногда превышающим уровень самой опасности [1, 2, 8]. Вот почему точность оценок геодинамической обстановки так важна для минимизации ущерба, поскольку предотвратить катастрофические события не всегда удается. Также не всегда удается определить и генетическую принадлежность развивающихся процессов и явлений, подтверждением чего может служить множество обрушений, оползней, горных ударов, землетрясений в асейсмичных зонах, вызванных естественными или техногенными процессами. Пример – землетрясение 21.10.2010 г. в Мурманской области, г. Кировск, в районе Кукисвумчерского рудника. Землетрясение силой 7 баллов по шкале

Рихтера приурочено к зоне Саамского разлома. Природа этого ОГП может быть оценена как естественная, так и техногенная. Во всяком случае, триггером для него могли быть взрывные работы на руднике, напряжения, созданные подработкой массивов горных пород, нарушения технологии ведения работ и даже воздействия резкого перепада атмосферного давления, что характерно для данного региона.

В подобных условиях анализ и оценка механизмов ОГП являются одной из ключевых проблем защиты территорий, населения, промышленных и гражданских объектов.

В настоящее время сложились два подхода для количественного описания ОГП, в основе которых лежит комплексирование методов и решений в рамках подсистем ГМСН: «Экзогенные» и «Эндогенные» геологические процессы, функционально связанные с Российской автоматизированной информационно-управляющей системой по чрезвычайным ситуациям.

Задача описания процессов развития ОГП основывается на использовании методов численного моделирования и картографирования, позволяющих учесть множество показателей (рельеф местности, климатическую, орографическую неоднородность, литолого-фациальную изменчивость и другие геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические характеристики) [2].

Выявление закономерностей развития ОГП в естественных условиях и при недропользовании является одним из элементов оценки риска чрезвычайных ситуаций. Их содержательную часть определяют декларативные и нормативные документы – СНиП, РД, СП, требования и инструкции, и др., регламентирующие производство работ и выполнение технических проектов.

Применительно к эндогенным процессам, мониторинговые мероприятия регионального или локального (объектного) характера, начиная с 1985 г., базируются на технологиях гидрогеодеформационного мониторинга (ГГД мониторинг). Стратегической целью ведения этого мониторинга было качественное и количественное выражение полей напряжения и их эволюция, на основе которых строились прогнозные оценки землетрясений.

Природа, механизм формирования и эволюция гидрогеологических, геофизических, гидрогеохимических и других полей обусловлены синергетикой внешних и внутренних сил. Учет этих сил лежит в основе гидрогеодеформационных технологий ГГД мониторинга.

Геодинамические процессы по своей природе являются одним из объективных отражений эволюционных изменений геологической оболочки Земли, или же изменений, вызванных техногенной нагрузкой. Эти изменения отражаются вариациями полей напряжений-деформаций, в пределах локальных площадей или обширных массивов горных пород, охватывающих целые регионы.

В ГГД технологиях в качестве деформометров фиксации полей сжатия-растяжения используются гидрогеологические скважины, объединенные в специализированные региональные сети и вскрывающие напорные водоносные горизонты. При этом измерения вариаций уровней подземных вод, вызванные деформацией горных пород, обеспечивают чувствительности, позволяющие регистрировать объемные деформации в диапазоне $d = 10^{-7} \div 10^{-9}$. Это подтверждено данными, полученными на различных наблюдательных сетях: специализированными сейсмическими наблюдениями в нашей стране и

за рубежом [3, 4]. Установлено, что аккумуляция и высвобождение упругой энергии в процессе геодинамической эволюции литосферы сопровождается формированием и распадом множества короткоживущих структур деформации, время существования которых определяется сутками-месяцами, а площади составляют десятки, порой тысячи квадратных километров. Такие структуры имеют глобальное распространение и формируют ткань особой разновидности геофизического поля Земли – гидрогеодеформационного (ГГД) поля [1].

Гидродинамический режим напорных водоносных горизонтов подземной гидросферы является высокоинформативной характеристикой геологической среды, с использованием которой можно отслеживать эволюцию поля сжатие – растяжение, оценивать характер развития физических полей различной генетической природы и соответствующим образом принимать превентивные меры к снижению риска развития ОГП.

Подготовка обрушений горных выработок, провалов, сдвижений, горных ударов и т.д. сопровождается изменением напряженного состояния горных пород в подработанном пространстве и развитием упругих деформаций [5, 6]. Эти деформации являются причиной проявления всего многообразия геофизических, гидрогеодинамических, геохимических и др. эффектов. Напряжения в геологической среде приводят к повышению или снижению порово-пластового давления и, следовательно, к повышению или снижению уровней подземных вод, выделению растворенных газов в воде и изменению химического состава вод. Кратковременные изменения гидрогеодинамического режима связаны, в основном, с напряжениями, вызванными горно-геологическими процессами или сейс-

мическими событиями естественной или техногенной природы, приливными явлениями и резким изменением атмосферных процессов.

Сохранение равновесного состояния горных выработок является основным принципом в технологиях разработки месторождений открытым или подземным способами. Все это требует постановки комплексного мониторинга в оценке напряженно-деформированного состояния геологической среды в пределах контура горного отвода и в региональном плане. Такой мониторинг позволит отслеживать эволюцию распределения напряженно-деформированного состояния в горном массиве и отдельных его блоках.

Изучение регионального и локального поля сжатие-растяжение, волновых процессов различной генетической природы позволит выявить их связь с технологическими процессами и избежать их повторений для исключения триггерной сейсмичности. Триггерная и индуцированная (наведенная) сейсмичность представляют собой разновидности наведенной сейсмичности. Наведенная сейсмичность возникает, главным образом, в условиях подземных рудников, разработки месторождений глубокими карьерами с производством массовых взрывов, заполнением водохранилищ, разработкой углеводородного сырья и т.д. [7]. Триггером техногенной сейсмичности могут служить и естественные поля сжатия-растяжения, вызванные резкими перепадами атмосферного давления, волновые процессы лунно-солнечного приливного характера наложенные на силы Кориолиса и т.д.

С увеличением площади и глубины разработки месторождений полезных ископаемых даже слабые воздействия могут привести к возникновению наведенной сейсмичности. К числу таких землетрясений можно отнести земле-

трясения в Катав-Ивановском районе и других районах Урала. События подобного рода в нашей стране и за рубежом исчисляются сотнями. Энергия таких землетрясений сравнима с естественными тектоническими, с той лишь разницей, что их гипоцентры приурочены к контурам подработанного пространства, или удалены от него на незначительное расстояние [7, 9].

Наблюдаемый нами характер эволюции ГГД поля на Коркинском разрезе в целом соответствует теоретическим численным моделям развития деформационного процесса в упругой среде, а проводимый региональный мониторинг подтверждает существование весомых сигналов, выраженных в виде изменений поля напряжений в массивах горных породах и связанных с ними вариаций напоров (давлений) подземных вод.

Модель расчета напряженно-деформированного состояния геологической среды включает в себя схему расположения наблюдательных скважин региональной опорной сети мониторинга состояния недр, используемую для построений и анализа гидрогеодеформационного поля в регионе и схему локальной сети.

Найденные закономерности между сейсмичностью и аномальными изменениями устойчивости бортов карьера позволят в дальнейшем (при организации локального ГГД мониторинга) оценивать во времени развитие полей напряжений и их возможное воздействие на геологическую среду в контурах горного отвода.

Современные ГГД технологии позволяют регистрировать с высоким уровнем разрешения характер развития поля сжатие-растяжение.

Для расчета времени, координат и магнитуд возможного сейсмического события естественной или техногенной природы существуют множество решений обратных задач, т.е. расчет

вероятности события в заданной точке с помощью построения аттракторов динамических рядов измерений (Пригожий И., 1985, Сибгатулин – 2006, Рыжов, Куликов – 2009, 2010), При этом важно подчеркнуть, что все оценки характера деформаций должны осуществляться не в единичной точке, а с охватом крупных геоблоков, т.к. явление формирования напряжений-деформаций охватывает обширные территории, что требует учета соответствующего регионального развития плана сложных перестроений геологической среды.

Анализ регионального поля напряжений за 2010 г. и локального показывает, что выделение сигналов изменений напряженно-деформированного состояния водовмещающих пород из зарегистрированных вариаций уровня воды представляет сложную задачу. Объективными причинами этого являются не полные ряды наблюдений за формированием гидродинамического режима конкретных скважин и особенностей проявления статически изолированного отклика уровня воды на напряжения естественной и техногенной природы. В пределах Среднего Урала 13.02.2010 г. произошло землетрясение на фоне расширения поля сжатия. На картах поля напряжений локальной сети, в пределах западного борта разреза прослеживалась та же картина эволюции сжимающих напряжений, которые достигли максимальных значений к маю–июню месяцу. Дальнейшее развитие полей напряжений привело к релаксации и переходу к фоновым значениям с образованием мозаичной структуры.

В пределах Коркинского разреза мы имеем довольно частую смену монотонных и мозаично-блоковых полей. Монотонные поля могут представлять собой определенную опасность, т.к. характеризуют рост однознаковых напряжений.

1. Вартанян Г.С. Гидрогеодеформационное поле в исследовании механизмов геодинамики // Отечественная геология. – 1995. – № 4. – С. 29–37.
2. Вартанян Г.С., Круподедов В.С. Геоэкологические катастрофы в горных регионах: состояние и пути решения проблемы // Разведка и охрана недр. – 2002. – № 10. – С. 63–66.
3. Вартанян Г.С., Куликов Г.В., Гарифулин В.Л., Рыжов Л.Л. и др. Мониторинг гидрогеодеформационного поля: история создания и перспективного развития // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 9. – С. 28–33.
4. Васильчук М.П., Трубецкой К.П. и др. Недр и основные положения экологической безопасности их освоения // Горный журнал. – 1995. – № 7. – С. 17–21.
5. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 473 с.
6. Гальперин А.М., Зайцев В.С. Основные научные направления горнопромышленной геологии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1999. – № 5.
7. Николаев Л.В. Проблемы наведенной сейсмичности. – М.: Наука, 1994. – С. 5–15.
8. Осипов В.И. Управление природными рисками // Вестник РАН. – 2002. – № 9. – 678–686.
9. Шабаров А.Н., Пустовойтова Т.К. и др. Оценка устойчивости бортов Коркинского разреза и состояние примыкающих к нему территорий на современном этапе развития горных работ. Часть 1-я. Разработка рекомендаций по обеспечению устойчивости бортов Коркинского разреза и сохранности примыкающих к нему территорий. Отчет НИР, Санкт-Петербург, 2001. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Амвросов Анастас Филиппович – старший научный сотрудник ВСЕГИНГЕО, e-mail: vsegingeo@vsegingeo.ru.

UDC 550.502.7

MONITORING OF HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN SUBSOIL USE

Amvrosov A.F., Senior Researcher,
Russian Research Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, e-mail: vsegingeo@vsegingeo.ru

The article focuses on subsoil monitoring in mineral mining. The monitoring objects are mining leases and areas within the influence zone of mining activity inducing hazardous geological processes. The presented model of assessment of stress-strain state in a geological medium includes the regional layout of observation wells belonging in the regional basic network of subsoil monitoring used for plotting and analysis of regional hydro-geodeformation field, and the local network layout. The found relations between seismicity and anomalous changes in pitwall stability will allow in prospect (in networking of local hydro-geodeformation monitoring) to assess temporal development of stress fields and their probable influence on geological medium within the limits of a mining lease.

Key words: monitoring, geological processes, subsoil use.

REFERENCES

1. Vartanjan G.S. *Otechestvennaja geologija*. 1995, no 4, pp. 29–37.
2. Vartanjan G.S., Krupoderov V.S. *Razvedka i ohrana neдр*. 2002, no 10, pp. 63–66.
3. Vartanjan G.S., Kulikov G.V., Garifulin V.L., Ryzhov L.L. *Razvedka i ohrana neдр*. 2009, no 9, pp. 28–33.
4. Vasil'chuk M.P., Trubeckoj K.P. *Gornyj zhurnal*. 1995, no 7, pp. 17–21.
5. Gal'perin A.M. *Geomehanika otkrytyh gornyh rabot* (Opencast mining geomechanics), Moscow, Izd-vo MGGU, 2003, 473 p.
6. Gal'perin A.M., Zajcev B.C. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*. 1999, no 5.
7. Nikolaev L.V. *Problemy navedennoj sejsmichnosti* (Induced seismicity problems), Moscow, Nauka, 1994, pp. 5–15.
8. Osipov V.I. *Vestnik RAN*. 2002, no 9. 678–686.
9. Shabarov A.N., Pustovojtova T.K. *Ocenka ustojchivosti bortov Korkinskogo razreza i sostojanie primykajushhih k nemu territorij na sovremennom jetape razvitija gornyh rabot. Chast' 1-ja. Razrabotka rekomendacij po obespecheniju ustojchivosti bortov Korkinskogo razreza i sohrannosti primykajushhih k nemu territorij. Otchet NIR* (Assessment of Korkinsky Open Pit stability and the condition of the adjacent areas at the modern stage of mining. Part I: Development of guidelines on Korkinsky Open Pit stability control and the adjacent area preservation. Research and development report), Saint-Petersburg, 2001.