

УДК 622.83:622.014.3

Сашурин Анатолий Дмитриевич
доктор технических наук, профессор,
научный руководитель направления,
главный научный сотрудник,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: sashour@igd.uran.ru

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ: ПРОБЛЕМЫ, ЗАДАЧИ, РЕШЕНИЯ*

Аннотация:

Рассмотрен термин «недропользование» как научное направление и как сфера или вид экономической деятельности современного общества. Отмечено, что к недропользованию как к виду экономической деятельности относится не только минерально-сырьевой комплекс, ведущий разведку, освоение и добычу полезных ископаемых из земных недр, но и другие сферы экономики, в которых недра Земли, то есть массив горных пород и его дневная поверхность, используются в качестве неотъемлемого конструктивного элемента создаваемых объектов. Подчеркнуто, что в недропользовании среди основных проблем важная роль принадлежит обеспечению безопасности и эффективности достижения поставленных целей, зависящих от процессов и явлений, происходящих в массиве горных пород и на его дневной поверхности. В соответствии с этим основная проблема геомеханики, изучающей процессы и явления в массиве горных пород, заключается в обеспечении недропользования знаниями о них и решениями по обеспечению безопасной деятельности в условиях их проявлений. В работе рассмотрены задачи по решению основной проблемы и результаты, полученные на современном этапе.

Ключевые слова: геомеханика, недропользование, объекты, проблемы, безопасность, задачи, решения, научные представления, состояние массива.

DOI: 10.25635/2313-1586.2019.03.071

Sashurin Anatoly D.
Doctor of Engineering, Professor,
Scientific Head of Direction,
Chief Scientific Officer,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075, Ekaterinburg,
58, Mamina-Sibiryaka Str.
e-mail: sashour@igd.uran.ru

GEOMECHANICAL SUPPORT OF SUBSOIL USE: PROBLEMS, TASKS, SOLUTIONS

Abstract:

The paper considers the term “subsoil use” as a scientific direction and as a sphere or type of economic activity of modern society. It notes that the term as a type of economic activity includes not only the mineral resource complex which occupies with exploration, development and extraction of minerals from the earth's interior, but also other areas of the economy in which the earth's subsoil, as array of rocks, and its daily surface, are an integral structural element of the created objects. It emphasizes that among the main problems of subsoil use, an important role belongs to ensuring the safety and efficiency of achieving the goals, depending on the processes and phenomena occurring in the rock mass and on its surface. In accordance with this, geomechanics, studying the processes and phenomena in the rock mass, face the main problem of providing subsoil use with the knowledge about them and solutions to ensure safe operation in the conditions of their manifestations. The paper deals with the tasks of solving the main problem and the results obtained at the present stage.

Keywords: geomechanics, subsoil use, objects, problems, safety, tasks, solutions, scientific ideas, rock condition

Введение, постановка проблемы

В широком понимании термин недропользование охватывает не только минерально-сырьевой комплекс по добыче полезных ископаемых, но и многие другие сферы деятельности, использующие земную поверхность и массив горных пород верхней части литосферы в качестве неотъемлемого конструктивного элемента. Трудно не назвать недропользованием современный строительный комплекс, в котором промышленные, социальные и жилые объекты стремительно набирают высоту при одновременном углублении подземной части. Метрополитены, подземные и наземные коммуникации, железные и автомобильные дороги – все это недропользователи, использующие в той или иной мере массив горных пород и его дневную поверхность.

* Работа выполнена в рамках Госзадания 075-00581-19-00. Тема № 0405-2019-0007

В соответствии с занимаемым местом безопасность и эффективность недропользования, охватывая многочисленные стороны деятельности человеческого общества, играют важную роль в формировании безопасного и комфортного состояния общества в целом. В свою очередь, безопасность и эффективность производства горных и других работ в недропользовании определяются соответствием технологий, конструкций и параметров создаваемых объектов процессам и явлениям, протекающим в массиве горных пород. На наземные сооружения влияние массива горных пород передается через основания, в подземных объектах массив горных пород выступает как вмещающая его конструктивная среда со всеми ее процессами и явлениями. В том и другом случаях фактором, определяющим устойчивость и безопасность объектов, являются деформации, происходящие в массиве горных пород.

Таким образом, основная проблема в области недропользования – обеспечение безопасности и эффективности использования природных ресурсов – связана непосредственно с состоянием массива горных пород, с происходящими в нем процессами, являющимися объектами исследования геомеханики, что придает геомеханическому обеспечению недропользования неотъемлемый, обязательный статус.

В историческом плане развитие научных представлений о свойствах массива горных пород как конструктивной среды, ее структурных особенностях, о формировании в ней исходного природного напряженно-деформированного состояния и его преобразовании в области влияния техногенной деятельности недропользования всегда выступало как актуальная проблема геомеханики. Одно из приоритетных мест в этих исследованиях занимало изучение деформационных процессов, протекающих в массиве горных пород. «Сдвигание пород в руднике является одним из основных затруднений при добыче полезного ископаемого. Оно же является одной из основных угроз безопасному ведению горных разработок: оно ломает крепление, уменьшает полезное сечение выработок, а иногда и совершенно заваливает их. Мы не ошибемся, если скажем, что вся история горного дела, вся история изыскания наилучших систем разработок есть история борьбы со сдвижением горных пород», – отмечал в начале прошлого века один из основоположников российской геомеханики И.М. Бахурин, подразумевая под сдвижением пород деформационные процессы в массиве горных пород при недропользовании [1].

Развитие научных представлений о состоянии массива горных пород

Первые попытки обосновать научные представления о состоянии массива горных пород и деформационных процессах, происходящих в нем в области влияния горных разработок, были предприняты западными учеными Туайе, Гоно, Шпарре и другими в период 1838 – 1858 годов при рассмотрении повреждения жилых домов в городе Льеже вследствие ведения добычи угля подземным способом под городом [1, 2]. В своих теоретических версиях, именованных теориями сдвига горных пород, они связывали деформационные процессы в массиве горных пород только с его собственным весом, не предполагая в нем никаких других напряжений и деформаций.

Последующая гипотеза швейцарского геолога-гляциолога А. Гейма предполагала, что вертикальные напряжения и деформации в массиве горных пород в естественных условиях, не подверженных влиянию техногенной деятельности, также определяются весом налегающих пород, но в дополнение к ним он вводит горизонтальные компоненты, боковой распор, обусловленный допускаемыми в его гипотезе некоторыми пластическими свойствами массива, за счет которых горизонтальные компоненты со временем выравниваются с вертикальными и массив оказывается в гидростатическом напряженно-деформированном состоянии [3]. В последующем в ней предлагалось дифференцировать боковой распор за счет сохранения упругих свойств массива [4].

Принципиальные расхождения гипотетических представлений с реальным состоянием массива горных пород порождались двумя положениями. Во-первых, массив горных пород рассматривался как сплошная, однородная и изотропная среда. Во-вторых,

сформировавшееся в нем напряженно-деформированное состояние в естественных условиях без воздействия техногенной деятельности не изменялось во времени.

Простота гипотезы обеспечила ей продолжительный период применения в горной практике. Несмотря на серьезные расхождения с экспериментальными исследованиями напряженно-деформированного состояния в природных условиях, широко проводившимися в середине прошлого века и выявившими горизонтальные тектонические составляющие, нередко превышающие гравитационные, гипотеза А. Гейма с некоторыми поправками по боковому распуру нередко применяется и в современных проектах недропользования.

Выявление иерархически блочного строения массива горных пород как его основополагающего свойства внесло новые представления о формировании напряженно-деформированного состояния, в частности, раскрыло дискретность и неоднородность полей напряжений и деформаций [5].

Внедрение в практику геомеханических исследований технологий спутниковой геодезии дало возможность установить второе основополагающее свойство массива горных пород – его постоянную подвижность, обусловленную современными геодинамическими движениями [6 – 8]. При этом было установлено, что сочетание этих двух основополагающих свойств массива горных пород порождает в нем явление вторичного структурирования первичной генетической блочности, вследствие которого поля напряжений и деформаций приобретают дискретную, мозаичную, изменяющуюся во времени структуру.

Таким образом, в результате более полуторавековых научных исследований в области геомеханики, горной практики и других наук о Земле сформировалось современное представление о состоянии массива горных пород, в соответствии с которым поля напряжений и деформаций, определяющие происходящие в нем процессы и явления, дискретны, имеют мозаичную структуру и переменны во времени.

Задачи исследований в области геомеханики

Практическая реализация сформировавшихся к настоящему времени фундаментальных представлений о состоянии реального массива горных пород и происходящих в нем процессах, определяющих безопасность и эффективность недропользования, выдвигает перед современной геомеханикой ряд практических задач:

- разработать эффективные экспериментальные методы определения параметров современных геодинамических движений и мониторинга их изменений во времени;
- выявить закономерности вторичного структурирования массива горных пород во взаимосвязи с распределением параметров деформаций по границам вторичных структур и внутривблочным зонам;
- раскрыть механизм взаимодействия деформационных процессов дискретного, мозаичного, изменяющегося во времени напряженно-деформированного состояния массива горных пород с объектами недропользования как основную причину формирования катастрофических ситуаций при недропользовании;
- разработать методы прогноза и способы предотвращения развития аварийных и катастрофических ситуаций природно-техногенного характера на объектах недропользования.

На современном этапе задача экспериментальной оценки уровня и параметров современных геодинамических движений и мониторинга их изменений во времени решается путем определения изменений координат геодезических пунктов. Методика основывается на допущении, что земная поверхность и установленные на ней геодезические пункты отражают смещения и деформационные процессы приповерхностного слоя массива горных пород. Это допущение вытекает из постоянства величины первого инварианта тектонической составляющей в напряженно-деформированном состоянии до глу-

бины 3200 м, до которой проводились экспериментальные измерения напряжений в массиве горных пород [9].

Исследования проводятся на геодинимических полигонах, геодезические пункты которых охватывают изучаемые территории. На каждом пункте выполняются измерения координат методом спутникового позиционирования (GNSS), обеспечивающие регулярный мониторинг изменений деформаций и напряжений, происходящих в земной коре. Пространственная координатная привязка пунктов полигона осуществляется двухсистемными (GPS-ГЛОНАСС) двухчастотными приемниками геодезического класса, паспортная и фактическая точность которых соответствует 3–5 мм+1 ppm в плане и 5–7 мм+1 ppm по высоте.

На первом этапе определяются текущие пространственные координаты пунктов полигона. Центрирование и ориентирование геодезических построений осуществляется с использованием постоянно действующих региональных GNSS станций и глобальной сети IGS с координатной привязкой к Международной Земной системе отсчета (ITRF) [10].

Трендовые движения пунктов полигона представляют собой изменения пространственных координат ΔX , ΔY , ΔZ , происходящие в промежутках между повторными циклами измерений [11]. Деформационные параметры на исследуемой территории получают из изменений расстояний между парами геодезических пунктов, которые с использованием математического аппарата механики сплошной среды преобразуются в векторное и тензорное представление деформационного поля с выделением главных компонентов тензора деформаций.

Применяемые в настоящее время методики исследования с использованием пунктов государственной геодезической сети позволяют со значительным усреднением решить первую из отмеченных выше задачу – оценить уровень современных геодинимических движений и параметры поля деформаций в целом для исследуемой территории с выделением крупных неоднородностей. Практические же задачи недропользования требуют более детальной информации о полях напряженно-деформированного состояния, что предусмотрено второй задачей. Здесь требуется информация о границах вторичных структур, о распределении по ним параметров деформаций.

Задача выявления закономерностей вторичного структурирования массива горных пород и распределения параметров деформаций по границам вторичных структур и внутриблочным зонам играет важную роль в решении основной проблемы обеспечения безопасности недропользования, на которую непосредственно направлены завершающие третья и четвертая задачи. По граничным зонам вторичных структур за счет межблочных подвижек формируются зоны концентрации деформаций и напряжений, которые в 2 – 5 раз могут превосходить внутриблочные значения [12].

Из закономерностей распределения параметров деформаций по границам вторичных структур вытекают пути прогноза и предотвращения аварийных и катастрофических ситуаций при недропользовании. При проектировании новых объектов необходимо размещать их с учетом границ вторичного структурирования, где в приграничных наиболее вероятны аварии и катастрофы. В случае необходимости создания объекта в зонах с повышенными деформациями обеспечение безопасности объекта должно осуществляться применением конструктивных решений, обеспечивающих устойчивость объекта при прогнозируемом уровне деформаций.

Решение задачи выявления закономерности вторичного структурирования массива горных пород во взаимосвязи с распределением параметров деформаций по границам вторичных структур и внутриблочным зонам может осуществляться двумя путями. Традиционный путь состоит в уплотнении сети геодезических пунктов, при котором одновременно будет обеспечена вариация размеров интервалов, позволяющая выделить вторичные структуры различных уровней. Однако этот путь для получения практически приемлемых результатов сопряжен с существенным повышением трудоемкости всего

комплекса исследований, особенно его полевой экспериментальной части. Кроме того, использование геодезических пунктов для экспериментального определения параметров современных геодинамических движений не избавляет экспериментальные данные при любой практически возможной плотности размещения от дискретности, создающей трудности в выявлении вторичных структур.

В этом плане представляется перспективным применение современных космических технологий дистанционного зондирования поверхности Земли, в частности метода спутниковой радарной интерферометрии [13, 14]. Применение методов дистанционного зондирования Земли началось с шестидесятых годов прошлого века, а широкое применение его началось в девяностые годы с запуском спутников Европейского космического агентства ERS-1 с радиолокатором на борту. Метод позволяет вести наблюдения за деформационными процессами поверхности обширных территорий до нескольких сотен квадратных километров, обеспечивая площадную непрерывную информацию о деформации земной поверхности. Одновременно, при использовании архивного ресурса предыдущих снимков исследуемой территории, метод позволяет организовать ретроспективный мониторинг, проследив развитие деформационных процессов за предшествующий период, вплоть до десятка лет.

Заключение

Проблема геомеханического обеспечения безопасности и эффективности недропользования относилась к разряду актуальных проблем горного дела на всем периоде его развития. В современном обществе со стремительным развитием городов с их промышленной, социальной и коммуникационной инфраструктурой недропользование проникло во многие виды экономической деятельности общества, обостряя актуальность основной проблемы геомеханики – обеспечения безопасного и эффективного недропользования.

За более чем полуторавековой период истории геомеханики проведенные исследования позволили сформулировать современные фундаментальные представления о состоянии массива горных пород, в котором ключевая роль принадлежит формированию напряженно-деформированного состояния. Реализация фундаментальных представлений в практическую деятельность недропользования требует решения ряда задач, успех которых могут обеспечить современные инновационные космические технологии.

Литература

1. Бахурин И.М. Сдвигание горных пород под влиянием горных разработок / И.М. Бахурин. – М.-Л.: Гостопиздат, 1946. - 229 с.
2. Леонтовский П.М. Литература об обрушении и оседании пород в рудниках и о влиянии их на дневную поверхность / П.М. Леонтовский. - Екатеринбург, 1912. – 320 с.
3. Heim A. Mechanismus der Gebirgsbildung. - Bale, 1978.
4. Динник А.Н. Применение теории упругости к решению задач, относящихся к проблеме управления кровлей / А.Н. Динник // Материалы к совещанию по проблеме управления кровлей. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. - С. 11 - 24.
5. Садовский М.А. Естественная кусковатость горной породы / М.А. Садовский // ДАН СССР. - 1979. - Т. 247. - № 4. – С. 829 – 831.
6. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании / Ю.О. Кузьмин. – М.: Агентство экологических новостей, 1999. – 220 с.
7. Особенности формирования напряженно-деформированного состояния породного массива при комбинированной разработке месторождений / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин, Ю.П. Коновалова, Н.А. Панжина // Горный журнал. - 2018. - № 5. - С. 43 - 49.
8. Сашурин А.Д. Роль геомеханики в обеспечении безопасного и эффективного недропользования / А.Д. Сашурин, А.А. Панжин // Прогноз и предупреждение горных

ударов и землетрясений, мониторинг деформационных процессов в породном массиве: материалы Второго Междунар. симпозиума, посвященного 75-летию НАН КР / под ред. Тажибаева Т. К. (10-12.09.2018). - Бишкек: НАН КР, 2018. - С. 92 - 101. (РИНЦ) (Современные проблемы геомеханики: научно-техн. журнал. - 2018. - № 33(3).)

9. Сашурин А.Д. Сдвигение горных пород на рудниках черной металлургии / А.Д. Сашурин. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 1999. - 268 с.

10. Панжин А.А. Исследование геодинамических движений CORS для обоснования методики контроля процесса сдвижения на месторождениях Уральского региона // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. - 2015. - № 1(49). - С. 22 – 26.

11. FengshanMa, HaijunZhao, YaminZhang, JieGuo, AihuaWei et al. GPS monitoring and analysis of ground movement and deformation induced by transition from open-pit to underground mining // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. - 2012. - Vol. 4. Iss. 1. - P. 82 – 87.

12. Сашурин А.Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород // Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. - С. 3 - 12.

13. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

14. Richards M. A Beginner's Guide to Interferometric SAR Concepts and Signal Processing / M. Richards // IEEE Aerospace and Electronic. September 2007. – Vol. 22, No. 9