

УДК 622.83.001.89

Корнилков Сергей Викторович
доктор технических наук, профессор,
директор института,
Институт горного дела УрО РАН
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Панжин Андрей Алексеевич
кандидат технических наук,
ученый секретарь,
Институт горного дела УрО РАН
e-mail: panzhin@igduran.ru

**УРАЛЬСКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА
ГЕОМЕХАНИКОВ:
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ***

Аннотация:

Приведена информация о формировании и развитии в ИГД УрО РАН научной школы геомехаников, возглавляемой доктором технических наук, профессором А.Д. Сашуриным. За почти 60-летний период школа прошла путь научного познания процессов и явлений в массиве горных пород, сопровождающих разработку месторождений полезных ископаемых. Выделены основные фундаментальные проблемы геомеханики и геодинамики, показана востребованность результатов исследований на горных предприятиях. Приведены основные результаты фундаментальных и прикладных научных исследований, выполненных уральскими учеными-геомеханиками в период 2008–2018 гг. Показано, что открытие взаимосвязи природно-техногенных катастроф с современными геодинамическими движениями расширяет практическое применение результатов исследований с горного дела на другие области недропользования с выходом на прогноз и предотвращение природно-техногенных аварий и катастроф.

Ключевые слова: геомеханика, горные работы, напряженно-деформированное состояние, геодинамические движения, поля напряжений, спутниковая геодезия, природно-техногенные аварии, сферы недропользования, геологическая среда

DOI: 10.25635/2313-1586.2018.03.010

Kornilkov Seregey V.
Doctor of Engineering, Professor,
Director of the Institute of Mining UB RAS,
620075, Ekaterinburg,
Mamina-Sibiryaka, 58
e-mail: kornilkov@igduran.ru

Panzhin Andrey A.
Candidate of Technical Sciences,
Scientific Secretary,
Institute of Mining UB RAS,
e-mail: panzhin@igduran.ru

**THE URAL SCIENTIFIC SCHOOL
OF GEOMECHANICISTS:
BASIC AND APPLIED RESEARCHES**

Abstract:

Information about the formation and developing of the scientific school of geomechanics in the Institute of Mining of the Russian Academy of Sciences, headed by the doctor of engineering, professor, A. D. Sashurin, is given. For almost 60 years the school has passed the way of scientific knowledge of the processes and phenomena in the rock mass accompanying the development of mineral deposits. The basic fundamental problems of geomechanics and geodynamics are identified, the relevance of research results at mining enterprises is shown. Basic results of fundamental and applied scientific researches carried out by scientists of the Ural-geomechanical in the period 2008-2018. It is shown that the opening of the interrelatedness of the natural and man-made disasters with the contemporary geodynamic movements expands the practical application of the results of studies of mining engineering to other areas of the subsoil use with access to the forecasting and prevention of natural and technogenic accidents and catastrophes.

Key words: geomechanics, mining works, stress-strain state, geodynamic movements, stressed fields, satellite geodesy, natural and technogenic (man-made) accidents, spheres of subsoil use, geological environment

Введение

В трагической статистике аварий и катастроф последнего времени особое место занимает сфера освоения и эксплуатации георесурсов, в том числе минерально-сырьевой, энергетический и строительный комплексы. В этой сфере деятельности в России за последние три десятилетия произошло более двадцати пяти крупных аварий и катастроф,

* В работе над статьей принимали участие: д.т.н. А.Е. Балец, д.т.н. А.В. Зубков, к.т.н. В.В. Мельник, к.т.н. С.В. Усанов, к.т.н. Ю.Г. Феклистов, Ю.П. Коновалова, А.Л. Пустуев, Р.В. Криницын, А.Л. Замятин

которые объединяет общность реальных истоков и причин возникновения. Просчеты при изысканиях и проектировании, нарушения технологических регламентов строительства и эксплуатации, износ и другие стороны человеческого фактора в той или иной мере всегда имеют место, но их гиперболизация в практике расследования причин аварий не способствует раскрытию действительных глубинных причин катастрофических явлений. Между тем результаты фундаментальных исследований в науках о Земле свидетельствуют, что в массиве горных пород и на земной поверхности протекают процессы и явления, способные вызвать серьезные нарушения объектов недропользования различного назначения. Среди них ведущая роль принадлежит деформационным процессам, вызванным современными геодинамическими движениями земной коры, а также техногенной деятельностью по добыче полезных ископаемых и созданию новых объектов недропользования. Исследование закономерностей развития и проявления процессов деформирования массивов горных пород и использование их для обеспечения эффективности и безопасности недропользования составляют основную задачу геомеханики. Учитывая, что современное общество основную часть потребности в сырье удовлетворяет за счет добычи полезных ископаемых, стремительно наращивая масштабы и глубины добычи, роль геомеханики в развитии горного дела трудно переоценить.

Становление и развитие Уральской научной школы геомехаников

Интенсивное развитие горнодобывающей отрасли и высокая востребованность результатов научных исследований по геомеханике способствовали развитию исследований в этом направлении, на базе которых формировалась, развивалась и функционирует в настоящее время уральская школа геомехаников [1]. В 1959 г. в Горно-геологическом институте Уральского филиала АН СССР была создана лаборатория горного давления и устойчивости бортов карьеров, которую возглавил профессор, доктор технических наук М.Л. Рудаков. Расширение объемов добычи полезных ископаемых открытым и подземным способами, вовлечение в разработку месторождений со сложными условиями залегания на больших глубинах, повышение требований к безопасности и эффективности недропользования — все это выдвинуло геомеханическое обеспечение добычи на ведущую роль в горном деле и горных науках, а молодежный набор в 1960 – 1970-х годах проявил и сохранил свою привязанность к проблемам геомеханики и составляет сегодня кадровую основу научной школы.

Методы исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород, разработанные в 1970 – 1980-х годах, уже в начальный период нашли широкое применение в ряде институтов и организаций СССР. В частности, в 1972 – 1981 гг. сотрудники института по приглашению Гидропроекта проводили исследования по определению изменений напряжений в скальном основании самой высокой в мире арочной плотины Ингури ГЭС (Западная Грузия).

С переходом подземных горных работ на более глубокие горизонты острой стала проблема предупреждения горных ударов, к решению которой уральская школа геомехаников подключилась с 1975 г. на всех железорудных шахтах Урала и Сибири. Своевременный прогноз и меры предупреждения удароопасности, разрабатываемые на геомеханической основе, позволили свести материальный ущерб и аварийность на шахтах до минимума. Одной из важных для рудников проблем конца XX века было погашение пустот при выемке мощных рудных тел. Разработанный в ИГД МЧМ СССР метод естественного управляемого самообрушения налегающих пород позволил отказаться рудникам от принудительного погашения выработанных пространств, обеспечил безопасность горных работ и дал значительный экономический эффект.

Распространение методологии исследования горного давления на процессы сдвига горных пород при открытой и подземной разработках в сочетании с большими объемами инструментального измерения сдвижений на рудных месторождениях позволило выявить взаимосвязь параметров деформирования массива горных пород в мульде

сдвигения и в бортах карьеров с первоначальным напряженным состоянием. Выявленные закономерности составили основу принципиально новой концепции и теории процесса сдвигения, практическое использование которых обеспечило широкое внедрение прогрессивных решений по охране сооружений и оптимизации параметров бортов карьеров на рудниках Урала и Казахстана и рациональное использование недр за счет консервации части рудных запасов предохранительных целиков, размещению вскрыши в зонах обрушения.

Проверенные на практике теоретические положения нашли отражение в Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождениях руд черных металлов Урала и Казахстана, действующих в качестве нормативного документа до сих пор [2].

Новый подход к созданию геомеханической модели разрабатываемого участка массива горных пород потребовал новых средств измерений и методик оценки напряженного состояния. Вместо малых баз измерения напряжений, составляющих от нескольких сантиметров до первых десятков метров, был создан новый метод измерения напряжений на больших базах, достигающих 1,5 – 2,0 километра. Этим методом измерены напряжения на 6-ти месторождениях и ведутся работы по интерпретации экспериментальных данных по 25 – 30-ти месторождениям, что вносит серьезный вклад в познание НДС массива горных пород Уральского региона и в целом верхней части земной коры.

В результате исследований, выполненных под руководством В.Г. Зотеева, дано теоретическое обоснование механизма деформации скальных откосов глубоких и сверхглубоких карьеров; получено аналитическое решение трехмерной задачи об устойчивости откоса с двумя и тремя поверхностями ослабления; разработана методика расчета параметров зоны разгрузки в скальном массиве, окружающую карьерную выемку; установлены закономерности деформирования отвальных ярусов во времени; разработана методика выбора технологии и режимов отсыпки отвалов.

Результаты исследований уральской школы геомехаников внедрены на многих предприятиях нашей страны и ближнего зарубежья: ОАО «Коршуновский ГОК», ОАО «Качканарский ГОК «Ванадий», ОАО «Оренбургские минералы», ОАО «Ураласбест», ОАО «Оленегорский ГОК», ОАО «Ковдорский ГОК», АО «Соколовско-Сарбайское ГПО» и др.

Научные достижения школы геомехаников в первую очередь зависели от вклада отдельных ученых. К ним следует отнести Н.П. Влоха, А.Д. Сашурина, А.В. Зубкова, В.Г. Зотеева, В.Е. Боликова, Ю.П. Шуплецова, Я.И. Липина, О.В. Зотеева, В.П. Леликова, С.М. Ушкова, Ю.Г. Феклистова, В.И. Дорошенко и др., которые прошли все ступени ее становления с 1960-х годов.

Годы перестройки и реформ негативно отразились на состоянии коллектива ИГД УрО РАН, в том числе на уральской школе геомехаников. Минчермет СССР перестал существовать, а горные предприятия, нуждающиеся в научном сопровождении по геомеханике, находились в критическом состоянии. В этих условиях во избежание деградации коллектив института по инициативе геомехаников стал добиваться возвращения в структуру Российской академии наук, и в 1994 г. институт вновь вошел в Уральское отделение РАН. В академическом статусе коллектив геомехаников ИГД УрО РАН обрел «второе дыхание», и в этот период завершилось становление научной школы.

Сочетание фундаментальных исследований с решением прикладных задач для горных предприятий, начавших выходить из кризиса, обусловило дальнейшее развитие научной школы геомехаников. В 1994 г. была проведена первая международная конференция «Геомеханика в горном деле», ставшая традиционной, вызвавшая большой интерес у ее участников. В ее тематике, наряду с традиционными проблемами НДС, была озвучена проблема техногенных землетрясений как логичного продолжения тектониче-

ских горных ударов при масштабном воздействии горных работ на верхнюю часть литосферы.

В последние годы в горном деле и других сферах недропользования в связи с расширением масштабов хозяйственной деятельности обострились проблемы прогноза и предотвращения природно-техногенных катастроф. Разрушение подземных и наземных промышленных и социальных объектов, огневые разрывы магистральных нефтегазопроводов, взрывы метана в шахтах, затопление соляных рудников и другие катастрофы с трагическими последствиями и материальным ущербом — все это требовало незамедлительного раскрытия природы, истоков и механизма их проявления для разработки и реализации мер предотвращения и минимизации тяжести последствий [3].

Предшествующий опыт исследований свидетельствовал, что обширный спектр катастроф в сфере недропользования связан с современными геодинамическими движениями, происходящими в массиве горных пород и на земной поверхности. Для их изучения необходимо было проведение масштабных комплексных фундаментальных исследований с применением современных технологий спутниковой геодезии и геофизических методов. При финансовой поддержке РФФИ в ИГД УрО РАН был создан Центр коллективного пользования с уникальным оборудованием, организация которого позволила поднять приборное и методическое обеспечение исследований на мировой уровень и организовать экспериментальные работы, не имеющие прецедента.

Освоение в практике исследований современных технологий экспериментально подтвердило выработанную ранее концепцию масштабного воздействия горных разработок на НДС верхней части литосферы, а также возможность проявления техногенных землетрясений в районах интенсивной добычи полезных ископаемых. Высокоточные измерения смещений земной поверхности с применением комплексов спутниковой GPS-геодезии выявили два вида современных геодинамических движений: трендовые, сохраняющие в продолжительный период относительно стабильные скорости и направления, и циклические, имеющие знакопеременную направленность и широкий спектр частот [4]. Их открытие позволило сделать основополагающий вывод относительно состояния и свойств массива горных пород верхней части литосферы. Оказалось, что геологическая среда, особенно в зонах тектонических нарушений, находится в непрерывном движении, являющемся естественной формой ее существования [5].

Выявлением непрерывности движения геологической среды завершилось построение целостного представления об истоках и закономерностях формирования естественного НДС массива горных пород. Его исходные квазистатистические компоненты формируются гравитационным полем напряжений и тектоническими процессами с современными трендовыми движениями; и, наконец, на них накладывается переменное НДС, формируемое современными циклическими геодинамическими движениями.

Это представление о природе формирования естественного НДС массива горных пород послужило ключом к познанию истоков широкого класса природно-техногенных катастроф на объектах недропользования и является предметом углубленных исследований уральской научной школы геомехаников в настоящий период [6].

Результаты исследований за период 2008 – 2018 гг.

Как было отмечено выше, в экспериментальных работах Уральской школы геомехаников по исследованию современных геодинамических движений, путем проведения непрерывных и дискретных наблюдений с использованием технологий спутниковой геодезии, было выявлено два вида геодинамических движений: трендовые, имеющие относительно постоянные скорости и направления движения; циклические, имеющие полигармоничный характер, включающий продолжительность циклов от первых секунд до нескольких часов и дней [7]. Экспериментальное определение параметров трендовых и циклических современных геодинамических движений к настоящему времени выполнено

более чем на 25-ти объектах недропользования, охватывающих территорию России и Казахстана от Центрального региона до Якутии, на их основе создана база данных о параметрах современных геодинамических движений [8]. Из нее следует, что оба вида современных геодинамических движений имеют место во всех регионах, независимо от того, к сейсмичной или асейсмичной категории они относятся [9].

Утвердившиеся данные о современных геодинамических движениях в сочетании с переходом на большие базы измерений позволили сделать очередной важный шаг в познании формирования напряженно-деформированного состояния массивов горных пород, а именно: было установлено, что оно является переменным во времени. Дальнейшее углубление и детализация структуры полей напряжений и деформаций показали, что массив горных пород, имеющий априори иерархически блочное строение, в условиях постоянной подвижности и переменного напряженно-деформированного состояния подвергается вторичному структурированию [10]. При этом на границах вторичных структурных блоков происходит концентрация современных геодинамических движений, и структура напряженно-деформированного состояния приобретает дискретный характер, определяемый вторичными структурными блоками [11].

Таким образом, основными факторами, определяющими формирование НДС массива, являются иерархически блочное строение; постоянная подвижность; вторичное структурирование; концентрация современных геодинамических движений на границах вторичных структурных блоков. Под их воздействием в реальном массиве горных пород формируется мозаичное, относительно однородное по своим усредненным интегральным параметрам НДС. При его относительной однородности в нем, казалось бы, трудно ожидать формирования аномальных зон с резко отличающимися параметрами [12], которые могли бы рассматриваться в качестве очаговых зон развития катастрофических событий. Дальнейшее углубление неоднородности в структуре НДС массива горных пород обусловлено фрактальным характером границ между соседними вторичными структурными блоками и отмеченной выше концентрацией по ним современных геодинамических движений. Взаимные перемещения соседних структурных блоков представляют собой вторичные движения. При фрактальности их границ выступы и впадины вступают во взаимодействие. Фрагмент границы соседних блоков и схема их взаимодействия показаны схематично на рис. 1.

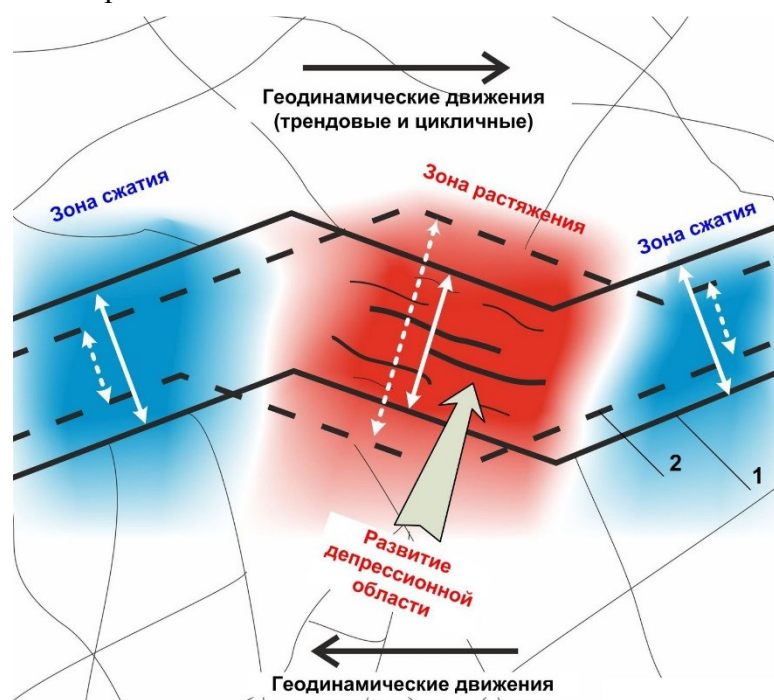


Рис. 1 – Схема образования зон концентрации под воздействием современных геодинамических движений в приграничных блоках

Фронтальные плоскости выступов соседних блоков под воздействием геодинамических движений напозают друг на друга, создавая зоны концентрации сжимающих напряжений. Одновременно тыльные их плоскости расходятся, образуя зоны разряжения сжимающих напряжений и деформаций, депрессионные зоны, в отличие от зон концентрации, вплоть до полной разгрузки сжимающих напряжений.

Именно эта цепочка событий находится в основе формирования структуры и параметров НДС массива горных пород, в котором возникают очаги катастрофических событий. Зоны концентрации сжимающих напряжений, возникающих на фронтальных плоскостях, представляют собой потенциальную опасность по возможности проявления наведенной сейсмичности в виде техногенных землетрясений [13]. Депрессионные зоны проявляют себя в виде образования мульд проседания разгруженного деструктурированного массива вплоть до образования зон обрушения.

В дальнейшем на основе исследования деформационных полей земной поверхности в районе различных объектов недропользования разработана комплексная технология прогнозирования участков, где деформационные процессы могут реализоваться с аварийным характером. Технология включает этап комплексных инструментальных исследований структурно-деформационных параметров горного массива в области влияния горных работ, этап геоинформационного моделирования геомеханических процессов и этап прогнозирования участков развития аварийных деформаций на основе закономерностей формирования деформационных полей (рис. 2). Поле деформаций земной поверхности в районе объекта недропользования характеризуется несколькими динамическими величинами, которые визуализируются в геоинформационной модели [14]: изолиниями изменения высотной отметки, векторами смещения, изолиниями первого инварианта главных деформаций [15]. Прогноз аварийных деформационных процессов позволил повысить промышленную безопасность горных предприятий, снизить ущерб от деформационных процессов путем планирования строительства зданий и сооружений на безопасных территориях.

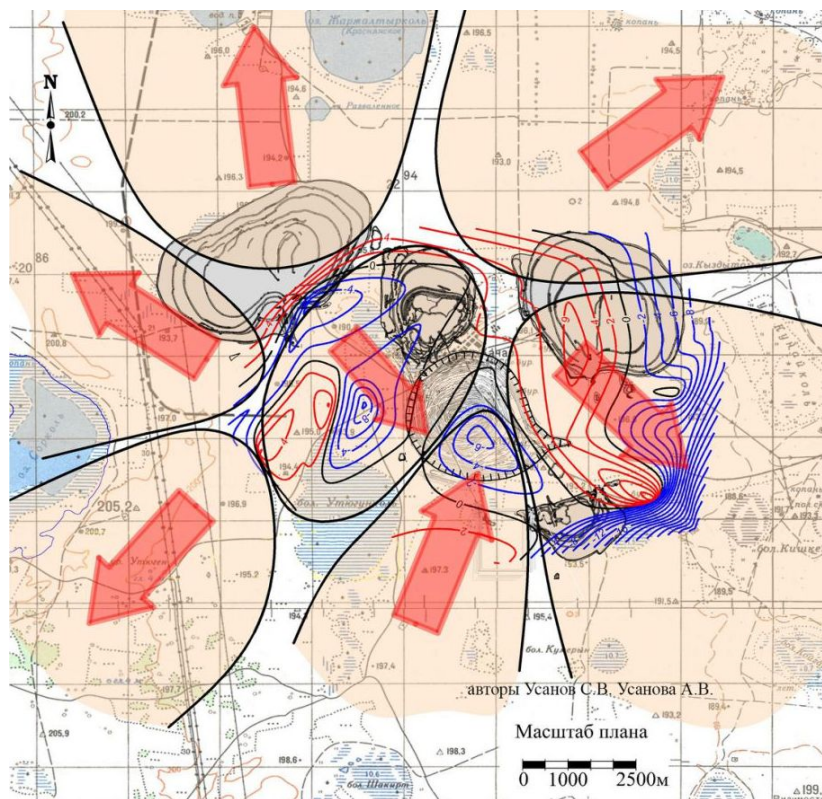


Рис. 2 – Деформационное поле Качарского месторождения

Были проанализированы результаты натуральных замеров геодинамических движений и деформирования блочных массивов горных пород на различных пространственных масштабных уровнях в различных горно-геологических условиях, выявлены закономерности формирования НДС системы «подземное сооружение – вмещающий породный массив» [16] с учетом иерархически блочной структуры вмещающего породного массива, на основе которых разработана и реализована методика поэтапного построения модели геомеханического состояния этой системы. Обосновано, что граничные условия системы задаются суперпозицией напряжений и деформаций, полученных в статической постановке упругой задачи на трех пространственно-временных масштабных уровнях [17], определяемых современными геодинамическими движениями трех иерархий структурных элементов горного массива: крупномасштабных литосферных блоков, определяющих НДС региона, структурных блоков рудного поля, определяющих НДС участков месторождения, структурных блоков приконтурного породного массива, определяющих НДС геотехнической системы «подземное сооружение – вмещающий породный массив». При проведении математического моделирования учитываются особенности перехода между его последовательными этапами, определяемыми масштабными уровнями, в плане соответствия типов граничных задач, детализации структурного строения рассматриваемого объема горного массива и разброса его физических свойств (рис. 3).

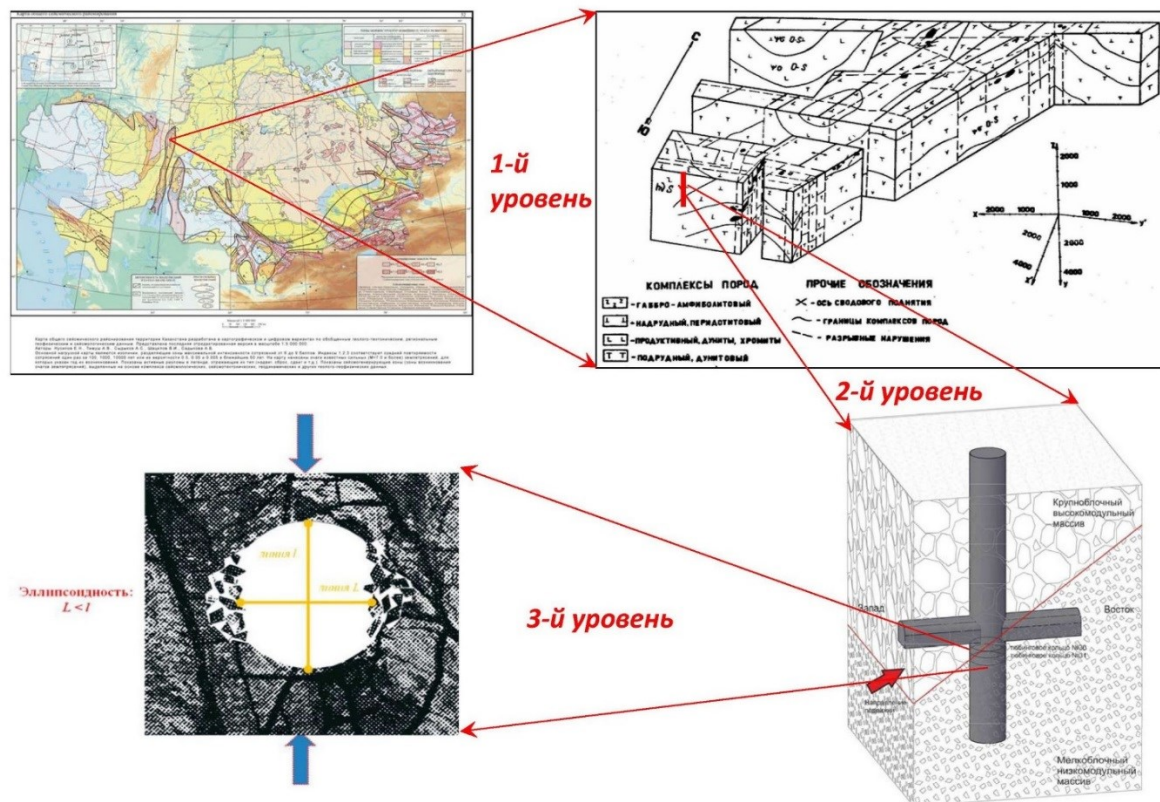


Рис. 3 – Масштабные уровни оценки НДС системы «подземное сооружение – вмещающий породный массив» на примере Донского ГОКа

Важнейшей задачей геомеханического мониторинга является своевременное выявление изменений в состоянии бортов и уступов карьера, в том числе и изменений его структурного строения для обеспечения безопасного ведения горных работ [18]. Выявление происходящих изменений невозможно без точной привязки получаемых структурных аномалий к исследуемой территории, что требует создания объемной цифровой модели карьерного пространства для обеспечения достоверности нанесения геоданных с последующим анализом происходящих изменений. Для ряда месторождений созданы объемные цифровые модели карьеров, позволяющие в реальном времени отслеживать

изменения состояния бортов, подвижность отдельных блоков, а при последующем насыщении ее получаемыми геофизическими данными контролировать изменение их структуры (рис. 4). Разработан алгоритм проведения геомеханического мониторинга, включающий современные геодезические методы – аэрофотосъемку с помощью квадрокоптера в совокупности с GPS технологиями пространственной и высотной привязки точек, используемых в 3D моделировании, - и геофизические методы исследования структуры прибортового массива, что позволяет выполнять диагностику строения и состояния массива горных пород в прибортовом массиве и основании инженерных сооружений [19].

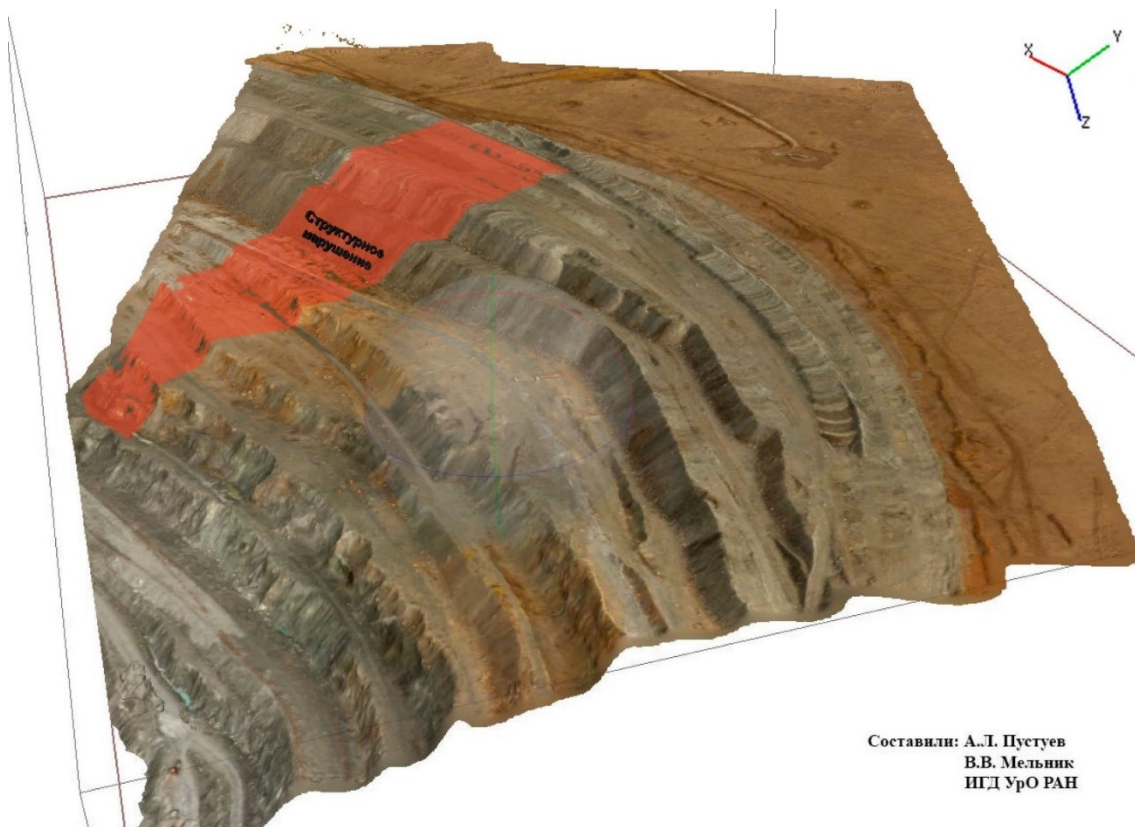


Рис. 4 – 3D моделирование структурного строения борта карьера

Устойчивость и долговечность эксплуатации сооружений в сфере недропользования, а также эффективность и безопасность горных работ должны базироваться на знании НДС вмещающих горных пород и их физико-механических свойств. При длительных сроках эксплуатации сооружений, таких как горно-капитальные выработки, бетонные плотины, мосты и т.д., также необходимо знать изменение нагрузок в массиве пород во времени [20]. Один из надежных методов контроля изменения напряженного состояния объектов во времени заключается в измерении характеристик интерференционной картины во включениях – в фотоупругих датчиках, установленных в шпурах в массиве пород или в отверстиях несущих элементов объектов. Деформации стенок создают напряжения в датчике, в котором возникает изменяющаяся во времени интерференционная картина полос. Картина обусловлена тем, что луч света, вышедший из поляризатора полярископа и отраженный в зеркале датчика, разлагается на две составляющие плоскости, колебания света в которых совпадают с направлением действия главных нормальных напряжений в характерных точках. Далее свет проходит через анализатор, где он снова приводится к одной плоскости, вследствие разной скорости прохождения в датчике одна составляющая луча опережает другую и приведение в анализаторе к одной плоскости происходит со сдвигом фаз, что называется разностью хода, и это обуславливает явление интерференции. В ИГД УрО РАН разработан и изготовлен в малой серии

полярископ шахтный компактный ПШК-С (рис. 5), с помощью которого выполнялись измерения напряженного состояния в массиве горных пород в шахтах и на объектах капитального подземного строительства [21].



Рис. 5 – Полярископ шахтный компактный ПШК-С

На основе многолетних экспериментальных определений изменений НДС массива разработана гипотеза [22], в соответствии с которой напряженное состояние массива горных пород включает следующие составляющие: гравитационную, условно постоянную тектоническую и переменную во времени. В подземных конструкциях первые две составляющие приводят к их сжатию, а третья – к увеличению сжатия или к его уменьшению с цикличностью 11 лет. При росте глубины горных работ первая составляющая вызывает его расширение, вторая вызывает сжатие, а третья – к увеличению сжатия или уменьшению сжатия вплоть до растяжения. На этой основе выполнено научное обоснование геомеханического обеспечения устойчивости конструктивных элементов систем разработки подземной и открытой геотехнологий мощных крутопадающих месторождений на глубинах более 500 м при высоком уровне напряжений.

В последнее время уральская школа геомехаников считает одной из важнейших задач распространение результатов научных исследований, полученных в области геомеханики, в практическую сферу недропользования, ее исследователи регулярно обращают внимание Ростехнадзора и других надзорных органов на устаревший уровень представлений о геомеханических процессах и явлениях в нормативных документах, регламентирующих обеспечение безопасности объектов недропользования, в том числе в действующих нормативных документах на проведение изысканий для строительства, в практике оценки безопасности эксплуатируемых объектов недропользования, в практике проведения экспертизы промышленной безопасности проектов, технических решений, эксплуатируемых опасных объектов и в надзорной деятельности. Сегодня достигнутый уровень фундаментальных и прикладных исследований в области геомеханики позволяет уверенно решать конкретные задачи повышения эффективности и безопасности горного производства, проблемы выявления причин возникновения природно-техногенных аварий и катастроф в сфере недропользования, разрабатывать прогнозные оценки их проявления и технологии снижения риска и тяжести последствий.

Заключение

Многолетняя деятельность школы геомехаников, возглавляемой доктором технических наук, профессором А.Д. Сашуриным, посвящена обеспечению безопасности и эффективности недропользования, фундаментальные и прикладные исследования охватывают широкий круг проблем взаимодействия природных и техногенных систем горных предприятий и других сфер недропользования, обеспечивающих разработку методов энергоэффективного освоения глубокозалегающих месторождений с учетом геодинамических особенностей, структурного строения и напряженно-деформированного состояния обрабатываемого массива.

Уральскую школу геомехаников отличает фундаментальность проводимых исследований и их востребованность в прикладной сфере для решения практических задач горных предприятий с обширной географией — от Кольского полуострова до Якутии. Интересные научные проблемы, непосредственно затрагивающие жизнь людей, современные технологии исследований, соответствующие мировому уровню, востребованность научных результатов на предприятиях — все это в комплексе способствовало приходу в коллектив школы и стабильности молодежного состава.

Анализируя историю уральской школы геомехаников, можно сделать вывод, что современный этап ее развития, начавшийся с возвращения отраслевого института в систему Российской академии наук, протекает с подъемом и накоплением научного потенциала, вселяющим надежду на дальнейшее плодотворное развитие научной школы в раскрытии новых явлений и решении проблем в сфере взаимодействия человека с Землей.

Литература

1. Современная геодинамика и проблемы геомеханики в горном деле / А. Д. Сашурин, В. Е. Боликов, А. Е. Балек, Н. А. Панжина // Горный журнал. - 2005. - № 12. - С. 102-107.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на месторождениях руд черных металлов Урала и Казахстана: Утв. 2.08.1990 г. - Свердловск: ИГД МЧМ СССР, 1990. - 64 с.
3. Сашурин А. Д. Геодинамические истоки крупнейших природно-техногенных катастроф / А. Д. Сашурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2011. - № 11. - С. 225-236.
4. Панжин А. А. Исследование гармоник квазипериодических современных деформаций породного массива на больших пространственно-временных базах / А.А. Панжин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - № 9. - С. 313-321.
5. Ручкин В. И. Мониторинговое наблюдение за геодинамической активностью массива горных пород / В. И. Ручкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2010. - № 9. - С. 354-360.
6. Сашурин А. Д. Формирование напряженно-деформированного состояния иерархически блочного массива горных пород / А. Д. Сашурин // Проблемы недропользования. - 2015. - № 1. - С. 38-44. - DOI: 10.18454/2313-1586.2015.4.890.
7. Панжин А. А. Современные методы геодинамического мониторинга при недропользовании // А. А. Панжин, А. Б. Макаров // Черная металлургия. - 2014. - № 4 (1372). - С. 16-22.
8. База экспериментальных данных о параметрах современных геодинамических движений / А.Д. Сашурин, В.В. Мельник, А.А. Панжин и др. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных от 26.02.2014 г. № 2014620345.
9. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика опасных разломов / Ю. О. Кузьмин // Физика Земли. - 2016. - № 5. - С. 87-101.
10. Деструкция земной коры и процессы самоорганизации в области сильного техногенного воздействия / В.Н. Опарин и др. - Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. - 632 с.

11. Ручкин В. И. Изменение напряженно-деформированного состояния геологической среды под воздействием комплекса естественных и техногенных геодинамических факторов на горнодобывающих предприятиях / В. И. Ручкин, Ю. П. Коновалова // Проблемы недропользования. - 2015. - № 1. - С. 32-37. - DOI: 10.18454/2313-1586.2015.4.889.
12. Ловчиков А. В. О распределении тектонических напряжений в приповерхностных слоях земной коры по вертикали / А. В. Ловчиков, Ф. Ф. Горбацевич // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2015. - Спец. выпуск № 56. - С. 157-163.
13. Ручкин В. И. Влияние техногенной нагрузки на динамику напряженно-деформированного состояния массива горных пород / В. И. Ручкин, О. Д. Желтышева // Проблемы недропользования. - 2015. - № 1. - С. 26-31. - DOI: 10.18454/2313-1586.2015.4.888.
14. Усанов С. В. Технология мониторинга нелинейных деформаций зданий и сооружений / С. В. Усанов, В. И. Ручкин, О. Д. Желтышева // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2014. - № 6. - С. 53-69.
15. Мазуров Б. Т. Структурное моделирование полученных по геодезическим данным сдвижений путем визуализации / Б. Т. Мазуров, А. А. Панжин, А. А. Силаева // Геодезия и картография. - 2016. - № 3. - С. 35-40.
16. Балек А.Е. Проблема оценки природного НДС горного массива при освоении недр / А. Е. Балек, А. Д. Сашурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2016. - № СВ 21. - С 9-23.
17. Балек А. Е. Совершенствование методики натурных замеров напряженно-деформированного состояния больших участков горного массива / А. Е. Балек, А. Д. Сашурин // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2014. - № 11. - С. 105-120.
18. Сашурин А. Д. Обеспечение устойчивости бортов карьеров в целях защиты потенциально опасных участков транспортных берм / А. Д. Сашурин, А. А. Панжин, В. В. Мельник // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2016. - Т.14. - № 3. - С. 5-12.
19. Желтышева О. Д. Современные технологии мониторинга устойчивости бортов карьеров / О. Д. Желтышева, Е. Ю. Ефремов // Маркшейдерия и недропользование. - 2014. - № 5 (73). - С. 63-66.
20. Зубков А. В. Исследование изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А. В. Зубков, И. В. Бирючев, Р. В. Криницын // Горный журнал. - 2012. - № 1. - С. 44-47.
21. Патент на изобретение № 2587101 Российская Федерация. Полярископ шахтный компактный / А. В. Зубков, Ю. Г.Феклистов. - Заявлено 22.05.2014; опубл. 10.06.2016, Бюл. № 16.
22. Зубков А.В. Закон формирования природного напряженного состояния земной коры / А. В. Зубков // Литосфера. - 2016. - № 5. - С. 146-151.