

## Программа лекций

### Второй Школы молодых ученых «Мониторинг природных и техногенных систем» 22-24 ноября 2021 г. Пермь



#### Гендлер Семен Григорьевич

Доктор технических наук, профессор Санкт-Петербургского горного университета (г. Санкт-Петербург). Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации. Академик РАЕН, академик МАНЭБ, член тоннельной ассоциации России, член международного бюро по Горной теплофизике.

#### **Мониторинг радиационной обстановки в подземных сооружениях, расположенных в радоноопасных районах России**

Приведены краткие сведения о физических свойствах радона. Описан механизм его влияния на здоровье людей. Изложены основы нормирования радиационной обстановки, в том числе в подземных объектах, характеризующихся наличием в воздушной среде радона и его дочерних продуктов. Дана характеристика территории России с точки зрения радоноопасности и выделены районы, где подземные объекты расположены в районах повышенной опасности с точки зрения выделения радона.

Представлены данные об особенностях формирования радиационной обстановки в урановых, металлических и полиметаллических рудниках, угольных шахтах, подземных сооружениях, не связанных с добычей полезных ископаемых. Выделены основные процессы, определяющие закономерности формирования радиационной обстановки в различных подземных объектах. Особое внимание уделено описанию факторов, влияющих на процессы переноса радона в горных породах и в рудничном воздухе, в протяжённых железнодорожных тоннелях Байкало-Амурской магистрали (Байкальский, Северо-Муйский тоннели), Санкт-Петербургском метрополитене, Яковлевском металлическом руднике.

Изложены подходы к выбору исходных данных для анализа радиационной обстановки с учётом высокой величины поступления радона в воздушную среду горных выработок, в частности методическому обеспечению определения величины удельных выделений радона. Описаны математические модели переноса радона в горных породах и рудничном воздухе дано сопоставление данных натурных наблюдений с результатами вычислений.

Изложены методы контроля радиационной обстановки в горных выработках с высокими дебитами радона.

На примере Байкальского и Северо-Муйского железнодорожных тоннелей дана оценка эффективности использования различных мероприятий по нормализации в протяжённых горных выработках этих тоннелей радоновой обстановки.

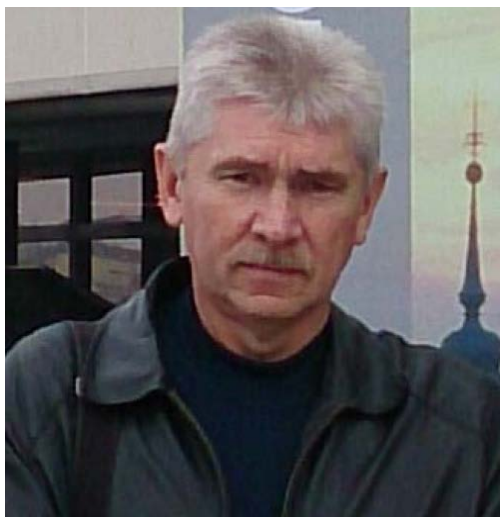


## **Гладковский Сергей Викторович**

Доктор технических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией деформирования и разрушения Института машиноведения УрО РАН (г. Екатеринбург). Область научных интересов: структурные аспекты процессов деформации и разрушения высокопрочных и метастабильных сталей и сплавов, слоистых композиционных и метеоритных материалов, экспериментальная механика разрушения и фрактографический анализ. Автор (соавтор) свыше 300 научных публикаций, включая 95 статей в реферируемых научных журналах, 5 изобретений, 2 учебных пособий и 1 коллективной монографии.

### **Мониторинг трещиностойкости технических и природных материалов при различных условиях механического нагружения**

В лекции даны основы теории и краткая история развития экспериментальной механики разрушения. Рассмотрены основные критерии механики разрушения для различных условий нагружения (статика, циклика, динамика) и возможности их использования для оценки сопротивления материалов хрупкому разрушению и прогнозирование надежности работы изделий и элементов конструкций по величине критической длины трещины. Представлены значения важнейшего показателя статической трещиностойкости (вязкости разрушения)  $K_{Ic}$  ряда машиностроительных сталей и сплавов, неметаллических, композиционных и природных материалов (лед, дерево, метеориты). Проанализированы известные подходы по прогнозированию статической трещиностойкости металлических материалов с использованием микромеханических моделей разрушения. Показаны возможности повышения трещиностойкости и конструкционной прочности широкого класса материалов и возможные причины их деградации за счет неблагоприятных структурных изменений в процессе эксплуатации изделий. Рассмотрены существующие представления о единой физической природе разрушения материалов различного класса с позиций синергетики и фрактальной геометрии строения изломов.



## **Костин Владимир Николаевич**

Доктор технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе Института физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург), заведующий лабораторией комплексных методов контроля, главный научный сотрудник

### **Методы и средства мониторинга трубопроводов**

К настоящему времени большая часть нефтегазовых сооружений РФ выработала плановый ресурс на 60-70 процентов. 25 процентов газопроводов работают больше 20 лет, 50 процентов - от 10 до 20 лет, а 5 процентов вообще превысили нормативный резерв - 33 года. По магистральным нефтепроводам показатели тоже неутешительны: свыше 30 лет - 26 процентов, от 20 до 30 лет - 30; от 10 до 20 лет - 34 процента, до 10 лет только 10 процентов. Основная причина отказов нефтегазовых сооружений — коррозионные повреждения. В России 40-50 процентов машин и сооружений работают в агрессивных средах, 30 процентов — в слабоагрессивных, и только около 10 процентов не требуют активной антикоррозийной защиты. На внутрипромысловых трубопроводах нефти, воды и газа 95 процентов отказов приходится на внутритрубную и наружную коррозию. Трубы различных производителей существенно отличаются по эксплуатационным характеристикам. В ряде случаев уложенные в ремонтируемые трубопроводы новые трубы разрушаются быстрее, чем уложенные ранее. Основными причинами аварий на магистральных газопроводах являются наружная коррозия и стресс-коррозия (44,8 % случаев). Другими причинами являются повреждения при эксплуатации; нарушение условий и режимов эксплуатации; строительные дефекты; дефекты изготовления труб и оборудования; стихийные бедствия. Таким образом, контроль состояния трубопроводов из научно-технического направления по необходимости перерастает в одну из производственных отраслей. Большая протяженность, старение, разнообразие условий эксплуатации трубопроводов и большая опасность их аварийных отказов обуславливают потребность в развитии и расширении сферы применения физических методов и средств контроля качества труб и диагностики трубопроводов. В докладе анализируются виды и источники дефектов труб, указываются факторы, повышающие ресурс эксплуатируемых труб, описываются существующие и перспективные физические методы и средства диагностики труб как при изготовлении, так и при эксплуатации.



## Кривцов Антон-Иржи Мирославович

Член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук,

директор - Высшей школы теоретической механики Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого (г. Санкт-Петербург). А. М. Кривцов — специалист в области механики дискретных сред и сред с микроструктурой, механики деформируемого твёрдого тела, компьютерного моделирования механических систем. Автор свыше 150 научных публикаций, суммарно процитированных более 1400 раз.

### Динамика массы и энергии

Анализируется волновой перенос энергии в неоднородной цепочке взаимодействующих частиц. Изучается эволюция произвольного возмущения конечной энергии. Аналогия между переносом массы и переносом энергии используется для разработки математических инструментов, позволяющих использовать уравнения классической динамики вещества для описания динамики энергии. Эффективная масса, импульс, момент инерции и другие величины, характерные для материальных тел, вводятся для тел энергетических. Вводятся понятия носителя и фантома, где носитель – это среда, способная передавать энергию, фантом – это виртуальное материальное тело, имеющее распределение массы, пропорциональное распределению энергии в носителе. Показано, что для неоднородной цепочки фантомы удовлетворяют второму закону динамики Ньютона. Для конкретных систем выводятся определяющие уравнения для суммарной силы, действующей на фантом, в результате чего получаются замкнутые уравнения динамики. Показано, что, подбирая определенным образом параметры цепочки, возможно получить для фантома уравнение динамики в гравитационном поле. Аналогичные методы используются для изучения дисперсии энергии в системе. Скорость переноса и скорость дисперсии вводятся для анализа эволюции фантома. Показано, что в зависимости от соотношения этих скоростей, фантом может вести себя либо как волна, либо как частица.

Обсуждаются приложения энергетической динамики для описания процессов в других областях современной физики, таких как квантовая механика, электродинамика и общая теория относительности. Предлагается концепция, согласно которой материю можно рассматривать как фантом в некотором носителе, являющимся иной сущностью, нежели материя. Обсуждаются взаимосвязь подобного носителя с известными моделями физического пространства. На основе представленной концепции предлагается качественное объяснение некоторых открытых вопросов современной физики.



## **Маркелов Юрий Иванович**

Кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией эколого-климатических проблем Арктики Института промышленной экологии УрО РАН (г. Екатеринбург). Область научных интересов: мониторинг загрязнения атмосферном воздухе, моделирование распространения примеси в атмосфере, исследование современных процессов изменений климата.

### **Опыт наземного мониторинга парниковых газов в атмосфере арктических широт**

Проблема понимания механизмов изменения климата в связи с происходящими процессами в Арктике имеет фундаментальный научный интерес и важна при обсуждении политических и экономических мер, направленных на смягчение последствий изменения климата. Парниковые газы – оптически активные компоненты атмосферы, которые, наряду с аэрозолями, оказывают ключевое влияние на энергетический баланс планеты, обеспечивают её парниковый эффект. Изучение процессов поступления, переноса, трансформации и удаления оптически активных атмосферных компонентов является в настоящее время одним из основных направлений исследований возмущающих климатическую систему воздействий. Ключевой инструмент для получения объективной информации об антропогенных и природных источниках эмиссий/стоков – мониторинг, получение длительных рядов наблюдений in-situ.

В докладе будут представлены результаты мониторинга парниковых газов на острове Белый (ЯНАО) с использованием измерительно-вычислительного комплекса на базе газоанализатора Picarro и метода пассивной ветровой локации атмосферы.



## Наговицын Олег Владимирович



Доктор технических наук, зам. директора по научной работе Горного института – ФИЦ Кольского научного центра Российской академии наук (ГИ КНЦ РАН, г.Апатиты, Мурманская обл.). Область научных интересов: автоматизированное проектирование и планирование горных работ, горно-геологические информационные системы.

### **Цифровые инструменты решения задач горной технологии**

В основе современных методов инженерного обеспечения горных работ для решения геологических, маркшейдерских и технологических задач лежит использование трёхмерных цифровых моделей, включающих информацию о геометрических размерах объекта, пространственном положении, физико-механических, технологических и технико-экономических свойствах объектов горной технологии. Структура и состав цифровых моделей и баз данных, программные средства создания и управление ими, методы и инструменты решения прикладных задач, способы визуализации моделей и подготовки на их основе технологической документации формируют цифровую технологию работы с пространственной геотехнологической информацией.

Моделирование объектов горной технологии и технологических процессов позволяет создавать цифровые двойники горнодобывающих предприятий, с помощью которых решаются задачи проектирования и планирования горных работ, обеспечение их безопасности, управления горными работами на основе диспетчеризации горнотранспортного оборудования, контроля за перемещением персонала и состоянием воздушной среды. Это, наряду с широким использованием дистанционно управляемой и роботизированной техники создает условия для перехода к малолюдным технологиям добычи и обогащения полезных ископаемых.

## Назарова Лариса Алексеевна



Доктор физико-математических наук, заведующая отделом Института горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН (г. Новосибирск), специалист в области механики твердого тела и механики нефтяных пластов, автор 221 научной работы, 5 монографий и 5 объектов интеллектуальной собственности. Назарова Л.А. - член Российского Национального комитета по теоретической и прикладной механике, Международного общества по механике горных пород, Программных комитетов международных симпозиумов EUROCK.

### **Техногенная сейсмичность и эволюция полей напряжений при разработке месторождений полезных ископаемых: моделирование и эксперимент**

Л.А. Назарова, Л.А. Назаров

**I. Иерархический подход к построению геомеханических моделей природных объектов.** Предложен метод поэтапного решения краевых задач на основе иерархии объемных геомеханических моделей. Граничные условия на первом – глобальном уровне – формулируются на основе косвенной (сейсмотектонической, геодезической) информации о полях напряжений в литосфере. На втором (региональном) и третьем (локальном) уровнях для этой цели используются результаты расчетов с предыдущего иерархического уровня, уточняемые по данным измерений *in situ* параметров геомеханических полей. Реализация подхода выполнена для объектов: «Центральной Азия и ее обрамление», «Алтае-Саянская складчатая область» и «Таштагольское железорудное месторождение». Для последнего объекта построена детальная геомеханическая модель, с использованием которой описан процесс эволюции напряженно-деформированного состояния при его отработке в 1978-2018 гг.

**II. Эволюция поля напряжений в процессе отработки месторождения и техногенная сейсмичность.** На основе статистического анализа характеристик пространственно-временного распределения очагов индуцированных горными работами динамических событий установлена их корреляционная связь с параметрами напряженного состояния. Предложенный подход, который апробирован с использованием базы данных сейсмических событий Таштагольского месторождения в 1989-2018 гг., позволяет на основе планов горных работ и форвардных расчетов полей напряжений дать прогнозную количественную оценку уровня техногенной сейсмичности и локализации в пространстве очагов динамических явлений при отработке месторождений твердых полезных ископаемых.

**III. Реконструкция поля напряжений геомеханического пространства месторождения на основе решения обратных задач по томографическим данным.** Обоснован подход к интерпретации шахтной сейсмической информации, позволяющий реконструировать поля напряжений в породном массиве на каждом этапе отработки месторождения. Подход включает: эксперименты по трехосному сжатию образцов для определения эмпирической зависимости скорости распространения упругих волн от

напряжений; томографию пласта с использованием штатной системы наблюдений и импульсов от динамических событий (с превышающей фоновый уровень энергией) в качестве зондирующих сигналов; формулировку и решение обратной задачи определения граничных условий для геомеханической модели рассматриваемого объекта, входными данными для которой является восстановленное в результате томографии поле скоростей в освещенной части пласта.

Выполнены лабораторные испытания угольных образцов по схеме Кармана, аппроксимация результатов которых позволила построить аналитические зависимости скорости продольных волн от осевого напряжения и бокового давления.

Численные эксперименты, проведенные для типичной конфигурации подземного пространства при конвейерной отработке пластов шахт ОАО «Воркутауголь», показали, что при принятой на объекте конфигурации системы наблюдений для однозначной разрешимости обратной задачи необходима хорошая освещенность тех участков пласта, где имеет место повышенный пространственный градиент напряжений.





## Ярмошенко Илья Владимирович

Кандидат физико-математических наук, директор Института промышленной экологии УрО РАН ( г. Екатеринбург), заведующий лабораторией урбанизированной среды. Область научных интересов: экологическая безопасности урбанизированной среды, геоэкология, радиационная безопасность, радиоэкология, радиобиология, радиационная эпидемиология. Автор и соавтор более 180 научных работ, 6 монографий.

### Радон как фактор облучения человека

Радон – природный инертный радиоактивный газ, повсеместно распространенный в окружающей среде. В результате низкого воздухообмена содержание радона и его дочерних продуктов распада в помещениях зданий значительно выше, чем в атмосфере. В среднем объемная активность радона в жилых помещениях составляет  $50 \text{ Бк/м}^3$ , однако при определенных условиях эта величины может вырасти до нескольких сотен  $\text{Бк/м}^3$ . Высокий уровень объемной активности радона в воздухе может стать причиной развития рака легкого. Проблема защиты человека от облучения радоном в жилищах – междисциплинарная, изучается и решается в рамках целого спектра естественнонаучных дисциплин – радиобиологии, радиоэкологии, геоэкологии, газовой динамики, строительной физики и других наук. В лекции будут систематизированы данные об облучении человека радоном, полученные в последние годы как в ИПЭ УрО РАН, так и других научных организациях.



## **Захаров Валерий Николаевич**

Член-корреспондент РАН, доктор технических наук, профессор, директор Института проблем комплексного освоения недр РАН, вице-президент Всемирного горного конгресса. Область научных интересов: геодинамические, газодинамические и гидродинамические процессы в техногенно изменяемых массивах горных пород, геоконтроль, прогноз и управление технологическими процессами в физико-технических и физико-химических геотехнологиях. Автор (соавтор) более 200 научных публикаций.

### **Природоподобные и конвергентные технологии комплексного освоения и сохранения недр Земли**

Горнодобывающему и перерабатывающему комплексу на Земле принадлежит одно из ведущих мест как в разрушении и загрязнении всех геосфер нашей планеты, так и в накоплении на земной поверхности твёрдых отходов, количество которых составляет не менее 65-70% от общего объёма извлекаемого из литосферы вещества. При этом в недрах Земли образуется огромное количество полостей и пустот в виде отработанных шахт и карьеров, а также техногенно нарушенных массивов горных пород, что неизбежно приводит к изменению сбалансированного за предшествующие эпохи напряжённого состояния массивов, режима подземных и поверхностных вод, деформации и деградации дневной поверхности.

И, тем не менее, получение полезных ископаемых является сегодня и в обозримом будущем безальтернативной необходимостью для существования антропосферы. Поэтому, от того, как в ближней и дальней перспективе будут развиваться технологии комплексного освоения недр Земли зависит сохранение или необратимое разрушение подвижного равновесия в природной среде, сложившегося за геологическое время.

В процессе реализации ряда фундаментальных проектов, выполненных задолго до появления современного понятия «природоподобные технологии», создано и развито новое научное направление, базирующееся на идее структурной и функциональной конвергенции антагонистических компонентов природно-технических систем разработки месторождений.

Для основных геологических типов месторождений рассматриваются возможности и предлагаются практические решения по созданию и применению конвергентных горных технологий, обеспечивающих безопасность и эффективность разработки месторождений полезных ископаемых.



## Марсавина Ливиу

Профессор кафедры прочности материалов и механики разрушения Университета Политехника Тимишоара, Румыния, член-корреспондент Румынской академии. Его основные научные интересы лежат в области механики материалов, механики разрушения и структурной целостности и долговечности применительно к различным материалам и конструкциям. Профессор Марсавина опубликовал более 100 статей в рецензируемых международных журналах и около 70 статей в материалах международных конференций.

Профессор Марсавина является вице-президентом Европейского общества структурной целостности (ESIS) и сопредседателем Технического комитета 13:Образование ESIS. С 2020 года проф. Марсавина является почетным членом Итальянской группы поддержки исследований по разрушению (IGF) и стипендиатом ESIS. В 2021 году проф. Марсавина получил медаль Паоло Лаццарина от IGF. Он участвует в нескольких научных редакционных мероприятиях, являясь членом редакционного совета журналов Proceedings of Romanian Academy, Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures (Wiley), Frattura ed Integrita Strutturale (Italian Group of Fracture), International Journal of Structural Integrity (Emerald), Materials Design & Processing Communication (Wiley).

### **Структурная целостность компонентов, полученных методом селективного лазерного спекания (SLS)**

Аддитивное производство (AM) является частью Индустрии 4.0. В настоящее время AM интегрировано во многие отрасли промышленности благодаря безграничным геометрическим возможностям изделий и относительному сокращению времени производства. Селективное лазерное спекание (SLS), как одна из технологий AM, использует лазерный луч для селективного скрепления частиц порошка. Очень важно знать взаимосвязь между технологическими параметрами и механическими, разрушающими и геометрическими свойствами. Для полной характеристики свойств образцов, полученных методом SLS, были проведены обширные механические испытания и испытания на излом. Кроме того, большую озабоченность вызывает вопрос, в какой степени полученные свойства относятся к материалу или к технологии, используемой для изготовления.



## Сусмел Лука

Профессор кафедры структурной целостности Шеффилдского университета (Великобритания). С 1998 года Лука сосредоточил свое внимание в основном на проблемах, связанных со статической, динамической и усталостной оценкой инженерных материалов и компонентов. Работа, сделанная в указанных областях исследований, привела к появлению более 250 научных статей, а также книги, посвященной оценке многоосной усталости (Susmel, L., *Multiaxial Notch Fatigue: from nominal to local stress-strain quantities*. Woodhead & CRC, Кембридж, Великобритания, ISBN: 1 84569 582 8, март 2009). Его научные работы вызвали значительный интерес со стороны международного научного сообщества, о чем свидетельствует h-индекс 33 с примерно 4,1 тыс. цитирований в целом по Scopus (h-индекс 38 с более чем 5,2 цитированиями по Google Scholar). Он является членом редакционных советов двух ведущих международных журналов в области усталости и разрушения, а именно "International Journal of Fatigue" и "Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures". Лука является главным редактором журнала "Theoretical and Applied Fracture Mechanics" (издательство Elsevier), который является ведущим журналом в области механики разрушения (импакт-фактор=4.017).

### **Статическая оценка аддитивно изготовленного полилактида (PLA) с надрезами**

Теория критических расстояний (ТКД) - это название, которое было дано группе методик проектирования, все из которых используют параметр масштаба длины материала для последующей обработки локальных линейно-упругих полей напряжений вблизи мест зарождения трещин. Целью данного доклада является исследование того, насколько простая линейно-упругая ВЗР успешна в прогнозировании статической прочности деталей с надрезом, изготовленных из 3D-печати полилактида (PLA), при этом PLA является термопластичным алифатическим полиэстером, который производится из возобновляемых биоразлагаемых ресурсов.

Впоследствии был сформулирован передовой подход, основанный на концепции эквивалентного гомогенизированного материала и теории критических расстояний, для статической оценки простых/зазубренных объектов из полилактида (PLA) при аддитивном производстве этого полимера с различными уровнями наполнения. Основная идея заключается в том, что внутренняя сетчатая структура, возникающая в результате процесса 3D-печати, может быть смоделирована, если рассматривать материал как линейно-упругий, континуальный, однородный и изотропный, при этом влияние внутренних пустот учитывается с точки зрения изменения механических/прочностных свойств. Эта идея первоначально используется для оценки негативного влияния производственных пустот на статическую прочность простого (т.е. незазубренного) материала. Это делается путем решения этой проблемы в рамках метода Китагавы-Такахаша с помощью теории критических расстояний. Впоследствии этот подход распространяется на статическую оценку компонентов с надрезом из 3D-печати PLA, т.е. он используется для одновременного учета влияния как производственных пустот, так и микроскопических геометрических особенностей.

Точность и надежность методологии проектирования, рассмотренной в настоящем докладе, систематически проверяется на большом количестве экспериментальных данных, полученных при испытании образцов 3D-печати PLA. Высокий уровень полученной точности убедительно подтверждает мнение о том, что статическая оценка 3D-печатных материалов со сложной геометрией и изготовленных с различными уровнями заполнения может быть получена путем простой постобработки обычных линейно-упругих конечно-элементных (КЭ) твердотельных моделей, т.е. без необходимости явного моделирования пагубного влияния производственных пустот.



## Программа мастер-классов

### Третьей Школы молодых ученых «Мониторинг природных и техногенных систем» 22-24 ноября 2021 г. Пермь



#### **Мубассарова Виргиния Анатольевна**

Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник «Института механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Пермского Федерального Исследовательского Центра Уральского отделения Российской академии наук.

#### **Возможности технологии компьютерной рентгеновской микротомографии в науке и технике**

Мастер-класс посвящен применению компьютерной рентгеновской микротомографии для решения проблем фундаментальной и прикладной науки и техники. Компьютерная рентгеновская микротомография позволяет получить трехмерную внутреннюю микроструктуру объектов в высоком разрешении.

Компактный микротомограф Skyscan 1272 (Брукер, Бельгия), размещенный на базе ИМСС УрО РАН – филиала ПФИЦ УрО РАН, оснащен микрофокусным источником рентгеновского излучения и детектором – 16-мегапиксельной широкоформатной ПЗС матрицей, и позволяет исследовать структуру объектов с субмикронным разрешением. В комплекте с микротомографом Skyscan 1272 используется 16-позиционный ченджер для автоматического сканирования объектов и ряд платформ для механических испытаний на сжатие и растяжение, а также платформы нагрева и охлаждения для исследований температурных эффектов на внутреннюю микроструктуру объектов.

Микротомография имеет широчайшую сферу применения для визуализации микроструктуры объектов, материалов и сред для целей медицины, биологии, археологии, почвоведения, минералогии, горной и нефтедобывающей промышленности, а также прикладных задач материаловедения, включая композиционные и инновационные материалы. Отдельное внимание будет уделено вопросам настройки параметров сканирования, последующей реконструкции, а также 2D и 3D анализу.

Мастер-класс ориентирован на ознакомление студентов и аспирантов ВУЗов, специалистов предприятий с одним из передовых и активно совершенствующихся методов неразрушающего контроля внутренней структуры объектов с субмикронным разрешением.





## **Евсеев Антон Владимирович**

Кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории Физических процессов освоения георесурсов «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Пермского Федерального Исследовательского Центра Уральского отделения Российской академии наук. Область научных интересов: оценка напряженного состояния породных массивов, инструментальные методы контроля устойчивости горных выработок. Автор и соавтор более 100 научных работ. Член Международного сообщества по механике горных пород (ISRM).

### **Instrumental methods for monitoring the stress-strain state of mine workings**

Одним из критериев обеспечения безопасности при отработке месторождений полезных ископаемых подземным способом является соответствие фактических деформаций несущих элементов системы разработки проектным величинам. Это требование особенно актуально при разработке месторождений водорастворимых руд, где неравномерные оседания подработанной толщи могут привести к образованию водопроводящих трещин и прорыву пресных вод в горные выработки. Регулярный мониторинг и оценка напряженно-деформированного состояния породного массива позволяет снизить риск возникновения аварийных ситуаций на горном предприятии за счёт своевременной корректировки параметров ведения работ и применения необходимых горнотехнических мер охраны.

В лекции будут представлены различные способы контроля деформационных процессов вокруг горных выработок и методики оценки напряжений в несущих элементах системы разработки. На примере рудников Верхнекамского месторождения калийных солей рассмотрен опыт организации регулярного инструментального мониторинга состояния междукамерных целиков, оставляемых для поддержания подрабатываемой толщи.



## **Шулаков Денис Юрьевич**

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией природной и техногенной сейсмичности «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Пермского Федерального Исследовательского Центра Уральского отделения Российской академии наук.

### **Сейсмологический мониторинг Верхнекамского месторождения солей**

На сегодняшний день сейсмологический мониторинг является одним из наиболее эффективных инструментов, позволяющих контролировать процессы, связанные с геодинамической активностью недр – как природной, так и техногенной. Сеть сейсмических станций на территории Верхнекамского месторождения развивается с 1995 г. и на сегодняшний день представляет собой сложную иерархически организованную систему, позволяющую регистрировать широчайший спектр сейсмических событий – от тектонических землетрясений, происходящих на расстоянии в тысячи км, до чрезвычайно слабых сигналов, связанных с разрушением горных пород в окрестностях горных выработок. Это позволяет использовать данные для решения множества задач, связанных с безопасностью горных работ: плановый мониторинг на территории действующих рудников, детальные наблюдения на потенциально опасных участках, контроль аварийных зон в режиме реального времени и т.д. Для решения данных задач разработан малопотребляющий цифровой регистратор, служащий ключевым элементом мониторинговых систем как на земной поверхности, так и в горных выработках. Созданы программные комплексы, позволяющие эффективно детектировать целевые сейсмические сигналы на фоне интенсивных техногенных помех, а также определять основные параметры их источников (координаты очага и выделившуюся в нем сейсмическую энергию).