

Важнейшие результаты научно-исследовательской деятельности Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН) в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы, полученные в 2020 году

«Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее - «ИМСС УрО РАН»).

Программа фундаментальных исследований государственных академий наук (далее – ПФНИ) 23: Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

1. Проведен анализ прижизненной динамики клеток методом лазерной микроскопии: дифференциация нормальных и раковых клеток.

Материалы, представляемые в доклад Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации; в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

Аннотация

Проведен анализ прижизненной динамики нормальных и раковых клеток методом лазерной микроскопии с использованием российской разработки – лазерный интерференционный микроскоп МИМ-340 (УОМЗ им. Э.С. Яламова, концерн «Швабе» ГК «Ростех») и созданных программных комплексов.

Анализ прижизненной динамики клеток методом лазерной микроскопии: дифференциация нормальных и раковых клеток



Cell DNA Nucleus Chromosome

ДНК трансформации в клетке



Transcription Translation

Formирование «открытых комплексов»



МИМ-340



Лазерная микроскопия прижизненной динамики клеток

Проведен анализ прижизненной динамики нормальных и раковых клеток методом лазерной микроскопии с использованием российской разработки (интерференционный микроскопии МИМ-340) и созданных программных комплексов.

Впервые установлена связь экспрессии генов с «критической» динамикой «открытых комплексов» в ансамбле ДНК, определяющей качественные изменения механобиологического поведения (способности к «пластическим» трансформациям) нормальных и раковых клеток. Исследованы морфологические признаки «критической» динамики при апоптотических изменениях клеток.

Практическое применение связано с перспективностью развиваемых методов при ранней диагностики в онкологии с использованием данных прижизненной динамики клеток.

Bizzarri, M., Naimark O., Nieto-Villa, J., Fedeli V., Giuliani A. Bizzarri M. et al. Complexity in Biological Organization: Deconstruction (and Subsequent Restating) of Key Concepts //Entropy. 2020. V. 22. №. 8. P. 885.

Впервые установлена связь экспрессии генов с «критической» динамикой «открытых комплексов» в ансамбле ДНК, определяющей качественные изменения механобиологического поведения (способности к «пластическим» трансформациям) нормальных и раковых клеток. Исследованы морфологические признаки «критической» динамики при апоптотических изменениях клеток.

Практическое применение связано с перспективностью развиваемых методов при ранней диагностики в онкологии с использованием данных прижизненной динамики клеток.

Фундаментальные исследования составили основу проекта ФЦП «Разработка программно-аппаратного комплекса для ранней диагностики злокачественных опухолей и анализа эффективности действия противоопухолевых препаратов методами лазерной интерференционной микроскопии и инфракрасной термографии».

Bizzarri, M., Naimark O., Nieto-Villa, J., Fedeli V., Giuliani A. Bizzarri M. et al. Complexity in Biological Organization: Deconstruction (and Subsequent Restating) of Key Concepts //Entropy. 2020. V. 22. №. 8. P. 885.

(Рук. д.ф.м.н. Наймарк О.Б., т.(342) 237-83-12, e-mail: naimark@icmm.ru).

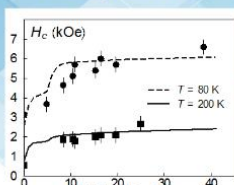
2. На примере феррита кобальта продемонстрирован определяющий вклад суперпарамагнетизма в магнитную анизотропию наночастиц.

Аннотация

Нанодисперсный феррит кобальта широко применяется в технологии постоянных магнитов, катализе, экологических и биомедицинских анализах и практиках.

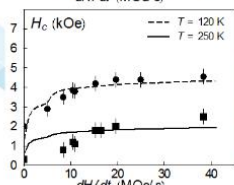
Качество любого из этих приложений критично зависит от того, насколько эффективно поле управляет магнитными моментами наночастиц. Физическим параметром, определяющим эту связь, является магнитная анизотропия, и поэтому её свойства привлекают большое внимание: выходят десятки работ / год. Однако данные измерений до сих пор плохо поддаются объяснению.

Определяющий вклад суперпарамагнетизма в магнитную анизотропию наночастиц. Пример феррита кобальта



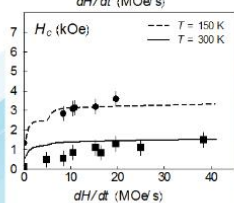
Нанодисперсный феррит кобальта широко применяется в технологии постоянных магнитов, катализе, экологических и биомедицинских анализах и практиках.

Качество любого из этих приложений критично зависит от того, насколько эффективно поле управляет магнитными моментами наночастиц.



Физический параметр, определяющий эту связь – магнитная анизотропия, и её свойства привлекают большое внимание: десятки работ в год. Однако данные измерений до сих пор плохо поддаются объяснению.

В нашей работе, где теоретическая часть выполнена в ИМСС УрО РАН, а экспериментальная – в ИФ СО РАН, показано, что **температурно-частотная зависимость анизотропии нано- CoFe_2O_4 – это проявление универсального эффекта, обусловленного суперпарамагнетизмом наночастиц.**



D.A. Balaev, I.S. Poperechny, A.A. Krasikov, S.V. Semenov, S.I. Popkov, Yu.V. Knyazev, V.L. Kirillov, S.S. Yakushkin, O.N. Martyanov, Yu.L. Raikher, Superparamagnetic effect in the dynamic remagnetization of CoFe_2O_4 nanoparticles in a pulse field // J. Phys. D: Applied Physics. (2020)

В нашей работе, где теоретическая часть выполнена в ИМСС УрО РАН, а экспериментальная – в ИФ СО РАН, показано, что температурно-частотная зависимость анизотропии нано- CoFe_2O_4 – это проявление универсального эффекта, обусловленного суперпарамагнетизмом наночастиц.

Работа развивает кинетический подход к магнитодинамике наночастиц ферритов. В ней по измерениям отклика нанодисперсии феррита кобальта в импульсных полях до 50 кЭ определена температурная зависимость эффективной константы анизотропии частиц CoFe_2O_4 размером ~ 6 нм. Этим результатам дано количественное объяснение. На примере феррита кобальта показано, что независимо от природы анизотропии (объемная или поверхностная) главной причиной снижения эффективной константы при росте температуры является тепловая ориентационная диффузия магнитных моментов частиц.

Работа выполнена в сотрудничестве с Лабораторией сильных магнитных полей Института физики СО РАН, Красноярск.

D.A. Balaev, I.S. Poperechny, A.A. Krasikov, S.V. Semenov, S.I. Popkov, Yu.V. Knyazev, V.L. Kirillov, S.S. Yakushkin, O.N. Martyanov, Yu.L. Raikher, Superparamagnetic effect in the dynamic remagnetization of CoFe₂O₄ nanoparticles in a pulse field // Journal of Physics D: Applied Physics. Submitted.

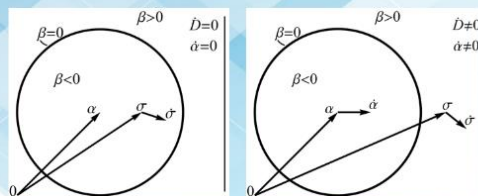
(Рук. д.ф.м.н. Райхер Ю.Л., т.(342) 237-83-23, e-mail: raikher@icmm.ru).

3. Построена эволюционная модель усталости, претендующая на применимость в случае произвольной истории многоосного нагружения.

Аннотация

Построена эволюционная модель усталости, претендующая на применимость в случае произвольной истории многоосного нагружения. За основу взята модель многоциклового усталости Ottosen N. et al. Int. J. Fatigue (2008), в которой было устранено противоречивое поведение на многоосном нагружении и увеличена точность моделирования диаграммы Хейга и кривых Вёлера.

Модификация и идентификация эволюционной модели усталости при произвольном многоосном нагружении



Концепт поверхности выносливости в пространстве напряжений: накопление поврежденности происходит только пока напряженное состояние находится вовне. Поверхность выносливости перемещается приспосабливаясь к нагружению.

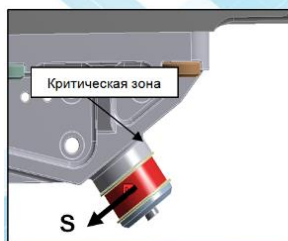
Модифицирована модель N. Ottosen et al. Int. J. Fatigue (2008). Исправлено поведение при многоосном нагружении, увеличена точность предсказания диаграммы Хейга и кривых Вёлера.

$$\beta = \sigma_e^{-1} \left(\sqrt{\frac{3}{2}} (\mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha}) : (\mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha}) + g(I_1(\boldsymbol{\sigma})) - \sigma_e \right) \quad H(\beta) = \begin{cases} 1, & \beta \geq 0 \\ 0, & \beta < 0 \end{cases}$$

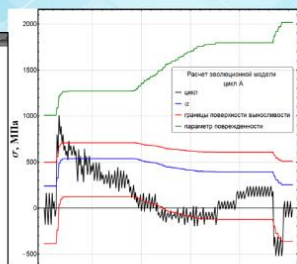
$$\dot{\boldsymbol{\alpha}} = \frac{\|\dot{\mathbf{s}}\|}{\sigma_e} h(\beta) f(\angle(\dot{\mathbf{s}}, \mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha})) H(\beta) \frac{\mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha}}{\|\mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha}\|} \quad h(\beta) = k_1 |\beta|^{L_1} + b_1$$

$$\dot{D} = \frac{\|\dot{\mathbf{s}}\|}{\sigma_e} p(\beta) f(\angle(\dot{\mathbf{s}}, \mathbf{s} - \boldsymbol{\alpha})) H(\beta) \quad p(\beta) = k_2 (\exp(L_2 \beta) + b_2)$$

$$f(\angle) = \cos(\angle / 2)^{L_3}$$



подвеска авиадвигателя



расчёт накопления поврежденности на полётном цикле

Разработан алгоритм идентификации модели по диаграмме Хейга, двум кривым Вёлера и данным экспериментов на двухчастотное одноосное и многоосное нагружение. В отличие от стандартного метода подсчёта циклов предложенная модель учитывает влияние циклов малой амплитуды, что представляется важным.

Использована для прогноза времени жизни детали подвески авиадвигателя, подверженной полётным нагрузкам.

Разработан алгоритм идентификации модели, для которой требуется диаграмма Хейга, две кривые Вёлера, эксперимент на нерегулярное нагружение, в котором между блоками циклов большой амплитуды располагается блок циклов малой, а также эксперимент на многоосное нагружение. Модель применена для оценки времени жизни детали подвески авиадвигателя при действии полётных нагрузок. Полученное время жизни детали оказалось ниже по сравнению со стандартным расчётом методом подсчёта циклов на основе гипотезы Пальмгрена-Майнера, что объясняется учетом влияния циклов малой амплитуды в рамках модели, незаметного для метода подсчёта циклов.

(Рук. д.ф.м.н. Келлер И.Э., т.(342) 237-84-59, e-mail: kie@icmm.ru).

4. Разработаны новые методы исследования полимеров методами атомно-силовой микроскопии, учитывающие взаимодействие зонда микроскопа с поверхностью полимера, позволяющие учесть особенности кинетики и послойный анализ свойств.

Аннотация

Методы атомно-силовой микроскопии (АСМ) позволяют исследовать структурные и физико-механические свойства поверхностей материалов на микро- и наноуровне. Зонд АСМ состоит из острого на упругой балке и, несмотря на то, что номинальную скорость

индентации задает экспериментатор, истинная скорость индентации не постоянна и зависит от участка поверхности, глубины вдавливания и свойств балки.

Анализ кинетики взаимодействия зонда с поверхностью полимера позволил изучить структуру поверхности в зависимости от глубины индентации, обосновать выбор точки механического контакта зонда с поверхностью, оценить влияние скорости индентации на упругие и диссипативные свойства материала. Представленные методы анализа результатов атомно-силовой микроскопии могут быть полезны при исследовании широкого класса полимеров.



(Рук. д.ф.м.н. Свистков А.Л., т.(342) 237-83-98, e-mail: svistkov@icmm.ru).

5. Предложена теория термодинамики упругого материала с релаксирующим потоком тепла, позволившая промоделировать условия формирования тепловой волны в процессе ионно-плазменной обработки полимерного материала.

Материалы, планируемые для представления в отчет УрО РАН

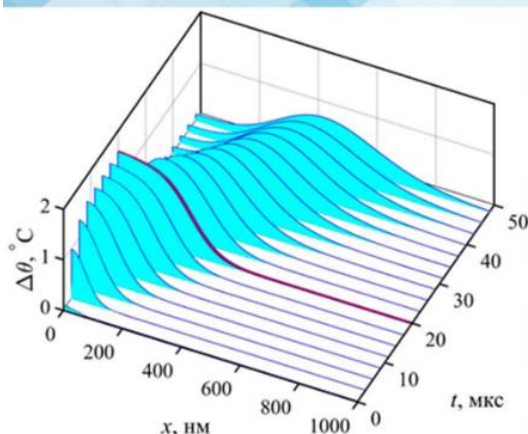
Аннотация

Получены определяющие уравнения термодинамики упругого материала с релаксирующим потоком тепла. Показано, что первый и второй законы термодинамики выполняются автоматически.

Вычислительное моделирование позволило исследовать тепловые явления на наноуровне среды на интервале в несколько микросекунд. Обнаружена возможность появления тепловой волны. Возникает она около границы образца, где происходит внедрение ионов в материал. После завершения ионно-плазменной обработки происходит движение волны вглубь материала и ее исчезновение.

Данное явление невозможно получить при вычислительном моделировании в рамках классической термодинамики, в которой имеется однозначная зависимость между градиентом температуры и потоком тепла. Уравнение теплопроводности в термодинамике с релаксирующим потоком тепла имеет волновой вид в отличие от уравнения диффузионного типа в классической термодинамике. Возникновение необычного распределения температуры в материале происходит в том случае, когда релаксация теплового потока происходит медленно на рассматриваемом интервале времени.

Моделирование условий формирования тепловой волны в процессе ионно-плазменной обработки полимерного материала



Профили распределения температуры в образце, вычисленные для разных моментов времени

Предложена теория термодинамики упругого материала с релаксирующим потоком тепла. Определяющие уравнения получены для конечных деформаций среды. Теория использована для анализа температурных явлений около поверхности полимерного материала при ионно-плазменной обработке образца.

Вычислительное моделирование позволило исследовать тепловые явления на наноуровне среды на интервале в несколько микросекунд. Обнаружена возможность появления тепловой волны. Возникает она около границы образца, где происходит внедрение ионов в материал. Далее происходит движение температурной волны вглубь материала и ее исчезновение.

Данное явление невозможно получить при вычислительном моделировании в рамках классической термодинамики, в которой имеется однозначная зависимость между градиентом температуры и потоком тепла.

Установлено, что тензор напряжений Коши зависит не только от температуры и деформации материала, но и от теплового потока. В задаче ионно-плазменной обработки тепловой поток может достигать высоких значений. Поле напряжений около поверхности образца может привести к формированию волнообразной поверхности карбонизированного слоя, который появляется при ионно-плазменной обработке материала. Учет этого явления важен для отработки режимов ионно-плазменной обработки полимеров.

(Рук. д.ф.м.н. Свистков А.Л., т.(342) 237-83-98, e-mail: svistkov@icmm.ru).

6. Экспериментально показан эффект повышения усталостной прочности и аномальной диссипации энергии в металлах после лазерного упрочнения.

Материалы, планируемые для представления в отчет УрО РАН

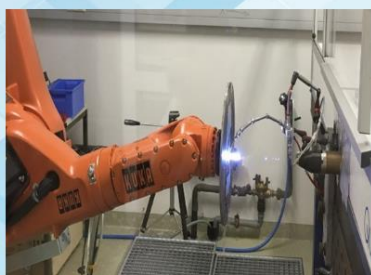
Аннотация

Реализован процесс лазерной ударной проковки образцов из армко-железа и титана ОТ-4. Показано, что оптимальный режим обработки позволяет создать остаточные сжимающие напряжения на глубину до 1 мм. При обработке армко-железа получены сжимающие напряжения, достигающие по порядку величины предела текучести. Проведены усталостные испытания по схеме Ризитано образцов, обработанных согласно ГОСТ 25.502-79. Показано влияние обработки на усталостную прочность материала как в области малоциклового, так и многоциклового усталости. В области малоциклового усталости повышение долговечности для титана ОТ-4 достигает 70%.

При испытании образцов по схеме Ризитано впервые показан механизм аномальной диссипации энергии при циклическом нагружении. Аномальная диссипация энергии и структурные исследования приповерхностного слоя свидетельствуют о необычных структурных механизмах деформирования, приводящих к созданию остаточных сжимающих напряжений в процессе лазерной ударной проковки.

Эффект повышения усталостной прочности и аномальной диссипации энергии в металлах после лазерного упрочнения

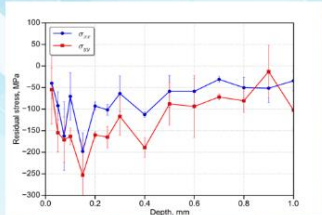
Процесс обработки поверхности металла лазерным лучом



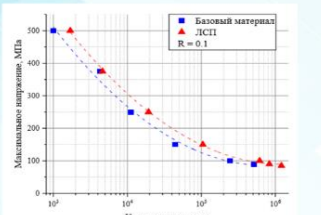
- Получены опытные образцы материала с упрочненной поверхностью
- Проведены испытания образцов в условиях многоциклового усталости
- Показано увеличения усталостного ресурса образцов с концентраторами напряжений после лазерного упрочнения
- Показана аномальная диссипация энергии в процессе циклического деформирования



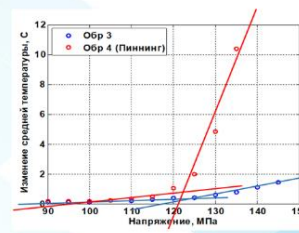
Образцы после испытаний



Распределение остаточных напряжений по глубине в зоне обработки



Зависимость числа циклов до разрушения в исходном состоянии и после лазерного упрочнения



Изменение температуры образца в обработанной зоне при различных амплитудах нагрузки

(Рук. д.ф.м.н. Плехов О.А., т.(342) 237-83-21, e-mail: roa@icmm.ru).

ПФНИ 22. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва

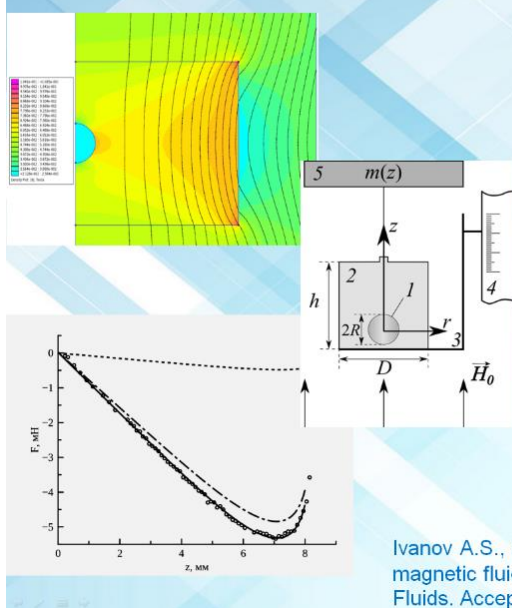
7. Описано плавление твердых немагнитных тел в магнитной жидкости.

Аннотация

Показаны основные преимущества энергетического подхода к решению задач о нахождении магнитных сил, действующих на твердые тела, погруженные в намагниченную феррожидкость (ФЖ). Описываются характерные недостатки стандартного подхода к вычислению магнитных сил с использованием уравнения Бернулли для ФЖ и уравнения для скачка магнитного давления на поверхности раздела сред. Обсуждается выбор термодинамического потенциала, корректно описывающего экспериментальные измерения. Способ определения магнитной энергии обосновывается постановкой задачи и верифицируется сопоставлением численных результатов, выполненных для ФЖ с нелинейным законом намагничивания, что ранее не проводилось ни экспериментально, ни численно ввиду повсеместного использования упрощающих предположений (приближение слабого и сильного магнитных полей, безындукционное приближение). Для обоснования и апробирования энергетического подхода к вычислению сил, действующих на твердые тела в ФЖ, было выполнено попарное сравнение магнитных сил, вычисленных в рамках энергетического подхода, с результатами лабораторного эксперимента [21] и данными, полученными стандартным способом.

Плавание твердых немагнитных тел в магнитной жидкости

Комплексное исследование в индукционном приближении



Исследованы силы, действующие на немагнитные тела, погруженные в намагниченную магнитную жидкость во внешнем однородном магнитном поле.

Обоснован выбор термодинамического потенциала и размер расчетной области для определения магнитогидродинамических сил в рамках энергетического подхода.

Аналитические результаты качественно, а результаты численного моделирования – количественно совпадают с проведенными многочисленными экспериментами.

Актуальность работы связана с применением магнитной жидкости в различных устройствах, в которых используется эффект левитации тел в магнитной жидкости при наличии магнитного поля.

Ivanov A.S., Pshenichnikov A.F., Khokhryakova C.A. Floating of solid non-magnetic bodies in magnetic fluids: comprehensive analysis in the framework of inductive approach // Physics of Fluids. Accepted. DOI: 10.1063/5.0024195

Ivanov A.S., Pshenichnikov A.F., Khokhryakova C.A. Floating of solid non-magnetic bodies in magnetic fluids: comprehensive analysis in the framework of inductive approach // Physics of Fluids. Accepted. DOI: 10.1063/5.0024195 (IF 2.627, Q1).

(Рук. к.ф.-м.н. Иванов А.С., т. (342) 237-83-25, e-mail: lesnichiy@icmm.ru).

8. Исследованы поверхностные свойства ферроколлоида в магнитном поле.

Аннотация

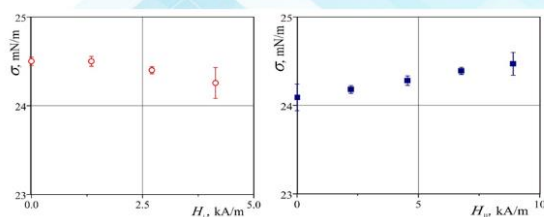
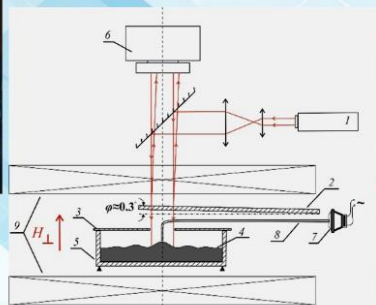
Прямые измерения поверхностного натяжения, вязкости и поверхностной упругости в условиях действия внешних силовых полей зачастую провести не удастся. Во многих задачах поверхностное натяжение магнитных жидкостей считается не зависящим от величины приложенного магнитного поля и определяется свойствами жидкости основы. Анизотропия магнитных свойств на поверхности раздела ввиду скачка намагниченности жидкости предполагает зависимость тензора поверхностных натяжений от магнитного поля.

Предлагается новый экспериментальный способ исследования поверхностного натяжения магнитной жидкости во внешнем однородном магнитном поле в зависимости от ориентации вектора напряженности относительно границы раздела жидкость-газ.

Исследование проводилось с помощью модифицированного метода капиллярных волн в ортогональном к поверхности жидкости магнитном поле и методом отрыва кольца в случае продольного поля. Показано, что поверхностное натяжение жидкости основы ферроколлоида (керосина) не зависит ни от частоты возбуждения капиллярных волн, ни от приложенного к нему внешнего магнитного поля и соответствует значению, определенному на коммерческом тензиометре стандартным методом отрыва кольца.

Обнаружено, что поверхностное натяжение феррожидкости падает с ростом напряженности ортогонального границе раздела магнитного поля и с ростом частоты акустических колебаний. Рост напряженности поля, продольно направленного границе раздела, приводит к росту поверхностного натяжения магнитной жидкости. Полученные в эксперименте результаты качественно согласуются с теоретическими предсказаниями Жукова А.В.: собственные значения тензора поверхностного натяжения монотонно возрастают с тангенциальной составляющей поля и монотонно убывают с увеличением его нормальной компоненты.

Экспериментальное исследование поверхностных свойств ферроколлоида в магнитном поле



Предложен новый экспериментальный способ исследования поверхностного натяжения магнитной жидкости во внешнем однородном магнитном поле, в зависимости от ориентации вектора напряженности относительно границы раздела жидкость-газ.

Исследование проводилось с помощью модифицированного метода капиллярных волн в ортогональном к поверхности жидкости магнитном поле и методом отрыва кольца в случае продольного поля.

Поверхностное натяжение феррожидкости падает с ростом напряженности ортогонального и увеличивается с ростом продольного границе раздела «феррожидкость-газ» магнитного поля.

Khokhryakova S.A., Shmyrova A.I., Mizeva I.A., Shmyrov A.V. The experimental study of ferrocolloid surface tension in a magnetic field // Bulletin of Perm University. Physics. 2020

Хохрякова К.А., Шмырова А.И., Мизёва И.А., Шмыров А.В. Экспериментальное исследование поверхностного натяжения ферроколлоида в магнитном поле // Вестник Пермского университета. Физика. 2020. № 3. С. 56-64.

(Рук. к.ф.-м.н. Хохрякова К.А., т. (342) 237-83-25, bca@icmm.ru).

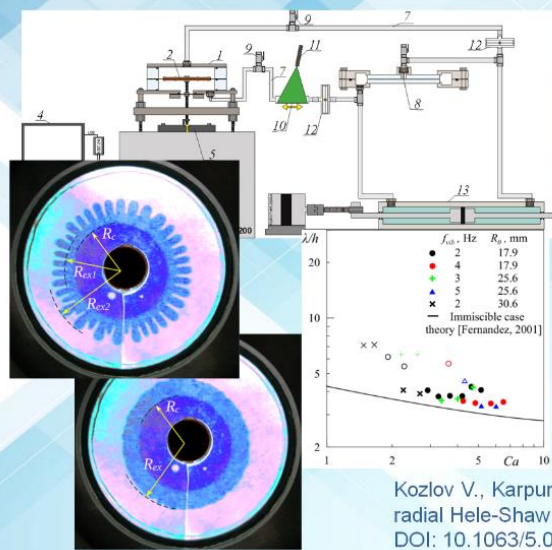
9. Исследована устойчивость границы раздела при пульсирующем вытеснении жидкостей с контрастом вязкостей.

Аннотация

Экспериментально исследована динамика границы раздела двух несмешивающихся жидкостей с высоким контрастом вязкостей при прокачке жидкостей через радиальную ячейку Хеле-Шоу. Рассмотрены два случая: монотонное радиальное вытеснение вязкой жидкости, когда развивается классическая неустойчивость Саффмана–Тейлора, и колебательное движение границы раздела, вызванное гармонической модуляцией расхода в отсутствие средней прокачки. При малых амплитудах модуляции расхода граница раздела совершает осесимметричные радиальные колебания, сохраняя кольцевую форму в течение всего периода, в то время как с увеличением амплитуды она теряет устойчивость пороговым образом. В фазе вытеснения жидкости, на доле периода колебаний на границе раздела развивается пальчиковая неустойчивость в виде азимутально-периодической структуры.

Изучение устойчивости границы раздела при пульсирующем вытеснении жидкостей с контрастом вязкостей

Вибрационное управление динамикой жидкостей в пористой среде



Рассмотрена новая постановка задачи о вытеснении вязкой жидкостью маловязкой жидкостью в ячейке Хеле-Шоу – модели пористой среды. Экспериментально изучен пульсирующий режим течения без средней прокачки в условиях, когда одна жидкость совершает колебания по «вязкому» закону, а другая – по «невязкому».

Обнаружено развитие неустойчивости Саффмана–Тэйлора на доле периода, сопровождающееся восстановлением формы межфазной границы на противоположном полупериоде. Найден порог развития неустойчивости, определяемый безразмерной амплитудой колебаний границы.

Полученные результаты могут быть полезны в задачах о вытеснении нефти из грунтовой породы.

Kozlov V., Karpunin I., Kozlov N. Finger-instability of oscillating liquid–liquid interface in radial Hele-Shaw cell // *Physics of Fluids*. 2020. Vol. 32. N. 10. P. 102102 (10 pp). – DOI: 10.1063/5.0018541. Q1, IF 3.514

Пальцы достигают наибольшей длины в фазе максимального вытеснения жидкости, в то время как в фазе сокращения (максимального смещения к центру ячейки) межфазная граница восстанавливает свою concentрическую форму. Порог возникновения пальчиковой неустойчивости определяется относительной амплитудой колебаний границы раздела и в условиях высокого контраста вязкостей (одна жидкость колеблется по «вязкому» закону, а другая – по «невязкому») совпадает при различных частотах колебаний и средних радиусах границы раздела. Обнаруженный тип неустойчивости является новым и изучается впервые. Сравнение длин волн пульсирующих пальцев с известным случаем непрерывного вытеснения вязкой жидкости в ячейке Хеле-Шоу показывает, что в основе наблюдаемого явления лежит механизм неустойчивости Саффмана–Тейлора.

Kozlov V., Karpunin I., Kozlov N. Finger-instability of oscillating liquid–liquid interface in radial Hele-Shaw cell // *Physics of Fluids*. 2020. Vol. 32. N. 10. P. 102102. (10 pp). – DOI: 10.1063/5.0018541.

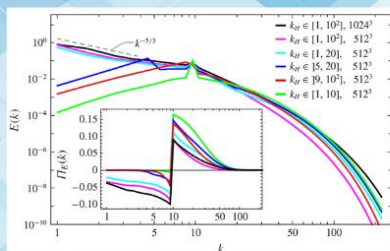
(Рук. к.ф.м.н. Мизёв А.И., т.(342) 237-83-14, e-mail: alex_mizev@icmm.ru).

10. Численно промоделирован эффект обратного каскада в спиральной 3D турбулентности.

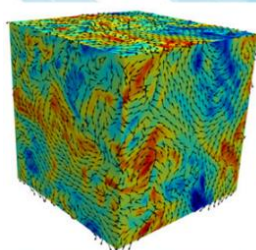
Аннотация

Вопрос об общей структуре турбулентных течений остается открытым и частично разрешается лишь в ряде случаев. Даже самая простая с теоретической точки зрения однородная изотропная турбулентность до сих пор полна загадок. Одна из них – гидродинамическая спиральность. Будучи псевдоскалярным гидродинамическим инвариантом ей предсказывается особая роль триггера, который запускает механизм генерации крупномасштабной структуры геофизических течений. Впервые с помощью прямого численного моделирования трехмерной турбулентности с разрешением 10243 узлов сетки получен эффект обратного каскада энергии от мелкомасштабного источника к наибольшему масштабу системы. Решающим фактором является высокий уровень спиральности, который поддерживается внешней случайной силой во всем диапазоне масштабов инерционного интервала. В результате обратного каскада масштаб вихревых структур увеличивается на порядок.

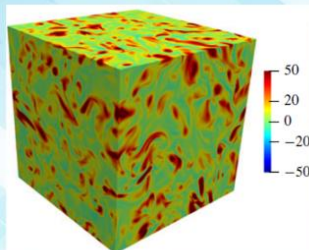
Эффект обратного каскада в спиральной 3D турбулентности



Спектр турбулентной энергии, полученный под действием внешних источников энергии в масштабе с волновым числом $k_E=10$ и спиральности в различных интервалах масштабов k_H .



Распределение поля скорости. Цветом показана составляющая, нормальная к соответствующей грани.



Распределение спиральности $h=\mathbf{u}\cdot\boldsymbol{\omega}$

Впервые с помощью прямого численного моделирования трехмерной турбулентности с разрешением 1024^3 узлов сетки получен эффект обратного каскада энергии от мелкомасштабного источника к наибольшему масштабу системы.

Показано, что решающим фактором является высокий уровень спиральности, который поддерживается внешней случайной силой во всем диапазоне масштабов инерционного интервала.

В результате обратного каскада масштаб вихревых структур увеличивается на порядок.

F. Plunian, A. Teimurazov, R. Stepanov, and M. K. Verma. *Inverse cascade of energy in helical turbulence*. *Journal of Fluid Mechanics*, 895:A13, 2020

F. Plunian, A. Teimurazov, R. Stepanov, and M. K. Verma. Inverse cascade of energy in helical turbulence // *Journal of Fluid Mechanics*, 2020. V.895. A13, (Q1, IF=3.137).

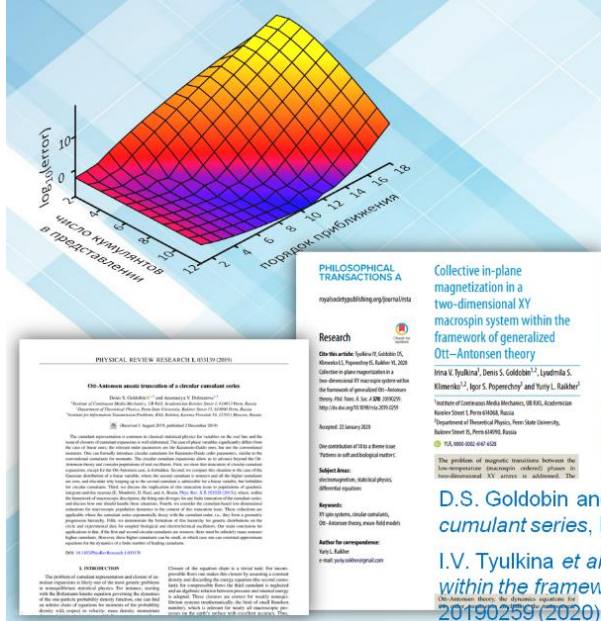
(Рук. д.ф.м.н. Степанов Р.А., т.(342) 237-83-94, e-mail: rodion@icmm.ru).

11. Распространен подход круговых кумулянтов на ансамбли ориентационных и колебательных элементов.

Аннотация

О важности кумулянтного представления и его обрываний в физике и механике сплошных сред можно судить по тому примеру, что закон сохранения массы (уравнение непрерывности), закон сохранения импульса (уравнение Навье-Стокса) и уравнение переноса тепла получаются из кинетического уравнения Больцмана как нулевой, первый и второй кумулянты по скорости движения молекул. Причем, здесь же встает и решается вопрос о возможности оборвать разложение на втором кумулянте (внутренней энергии) – обрывание является строгим для слабонераспределенных процессов. Математически возможность строгого обрывания тесно связана с центральной предельной теоремой, диктующей гауссово распределение скоростей, как частным следствием теоремы Марцинкевича. Перенос данного математического аппарата со случая переменной на бесконечной прямой на случай переменной на окружности (угловой переменной) оказывается нетривиальным. Для ряда задач описания коллективной динамики ориентационных или колебательных элементов прямой перенос, например, центральной предельной теоремы ведет к расходимости результатов при любых значениях параметров [D.S. Goldobin, A.V. Dolmatova, Ott-Antonsen ansatz truncation of a circular cumulant series, *Phys. Rev. Research* **1**, 033139 (2019)]. Для ансамблей ориентационных и колебательных элементов Д.С. Голдобиним, А.В. Долматовой, И.В. Тюлькиной и Л.С. Клименко показана возможность описания макроскопического упорядочения в терминах круговых кумулянтов.

Развитие подхода круговых кумулянтов для ансамблей ориентационных и колебательных элементов



Для ансамблей ориентационных (магнитные моменты и т.д.) и колебательных элементов показана возможность описания макроскопического упорядочения в терминах круговых кумулянтов. Получен и доказан аналог теоремы Марцинкевича (формулируется для случайной величины на бесконечной прямой) для переменных на окружности.

Данный теоретический подход позволяет, в частности, (1) строго получать замкнутые малоразмерные уравнения динамики средних полей для сетей нейронов, (2) описывать макроскопическую динамику ориентационных элементов вдали от состояния термодинамического равновесия.

D.S. Goldobin and A.V. Dolmatova, *Ott–Antonsen ansatz truncation of a circular cumulant series*, *Physical Review Research* 1, 033139 (2019)

I.V. Tyulkina et al., *Collective in-plane magnetization in a 2D XY macrospin system within the framework of generalized Ott–Antonsen theory*, *Phil. Trans. R. Soc. A* 378, 20190259 (2020)

Получен и доказан аналог теоремы Марцинкевича для переменных на окружности. Обнаружено важное и нетривиальное расхождение между случаями переменной на прямой и окружности. В частности, оказалось, что теория Отта-Антонсена для переменных на окружности является полным аналогом гауссовского приближения для переменных на прямой. Проработан вопрос о регулярном построении теории возмущений для идеализированной теории Отта-Антонсена. В рамках подхода построено описание релаксационной макроскопической динамики спиновых XY систем вдали от состояний термодинамического равновесия.

I.V. Tyulkina et al., *Collective in-plane magnetization in a 2D XY macrospin system within the framework of generalized Ott–Antonsen theory*, *Phil. Trans. R. Soc. A* 378, 20190259 (2020). impact factor WoS 2018: 3.093, (Q1).

(Рук. к.ф.м.н. Голдобин Д.С., т.(342) 237-83-14, e-mail: denis.goldobin@gmail.com).

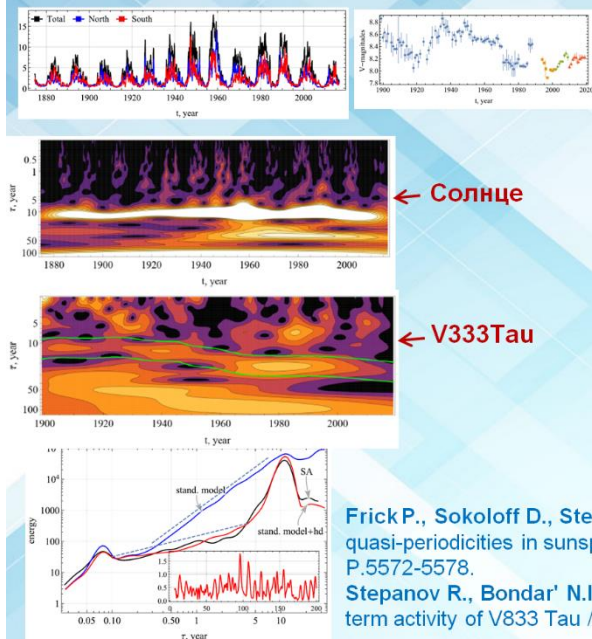
12. Исследованы среднесрочные периодичности в активности Солнца и звезды TauV333

Материалы, планируемые для представления в доклад председателя УрО РАН; планируемые для представления в отчет УрО РАН

Аннотация

Определены спектральные особенности среднесрочных вариаций активности Солнца и звезды V333Tau. Показано, что на временах, больших периода вращения и меньших основного цикла (11 лет), солнечная активность не имеет выделенной цикличности. Проведена интерпретация спектра солнечной активности на основе простой модели динамо и показаны условия воспроизведения наблюдаемого спектра. Для V333Tau доступные наблюдения (около 100 лет) позволяют утверждать, что наблюдаемые вариации активности сопоставимы с солнечными среднесрочными, а основной цикл (если он есть) может быть длиннее имеющегося времени наблюдений.

Среднесрочные периодичности в активности Солнца и V333 Tau



Определены спектральные особенности среднесрочных вариаций активности Солнца и звезды V333Tau. Показано, что на временах, больших периода вращения и меньших основного цикла (11 лет), солнечная активность не имеет выделенной цикличности. Проведена интерпретация спектра солнечной активности на основе простой модели динамо и показаны условия воспроизведения наблюдаемого спектра. Для V333Tau доступные наблюдения (около 100 лет) позволяют утверждать, что наблюдаемые вариации активности сопоставимы с солнечными среднесрочными, а основной цикл (если он есть) может быть длиннее имеющегося времени наблюдений.

Frick P., Sokoloff D., Stepanov R., Pipin V., Usoskin I. Spectral characteristic of mid-term quasi-periodicities in sunspots data // *Mon. Not. Royal. Astron. Soc.*, 2020. V.491. N.4. P.5572-5578.

Stepanov R., Bondar' N.I., Katsova M.M., Sokoloff D., Frick P. Wavelet analysis of the long-term activity of V833 Tau // *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 2020. V.495. P.3788-3794.

Frick P., Sokoloff D., Stepanov R., Pipin V., Usoskin I. Spectral characteristic of mid-term quasi-periodicities in sunspots data // *Mon. Not. Royal. Astron. Soc.*, 2020. V.491. N.4. P.5572-5578.
Stepanov R., Bondar' N.I., Katsova M.M., Sokoloff D., Frick P. Wavelet analysis of the long-term activity of V833 Tau // *Mon. Not. Royal Astron. Soc.*, 2020. V.495. P.3788-3794. (Q1, IF=5.23).

(Рук. д.ф.м.н. Фрик П.Г., т.(342) 237-83-22, e-mail: frick@icmm.ru).

13. Исследована эволюция ЭВТ у локализованного источника тока (Подавление электровихревого течения слабым магнитным полем).

Аннотация

Электровихревое течение (ЭВТ) возникает в ячейке с жидким металлом из-за неоднородности растекания электрического тока. Полоидальное ЭВТ может привести к опасной раскачке свободной границы жидкого металла в проектируемых жидкометаллических батареях. Добавление внешнего магнитного поля вызывает азимутальное течение жидкого металла, и вторичное полоидальное течение.

Обнаружен диапазон значений внешнего магнитного поля, при котором существенно снижается интенсивность ЭВТ — практически происходит его подавление. При этом подавляется и нежелательная деформация свободной верхней границы из-за действия центробежной силы. Добавление внешнего магнитного поля можно использовать для стабилизации процессов в жидкометаллической батарее и снижения риска появления нежелательной раскачки верхней границы.

Эволюция ЭВТ у локализованного источника тока

Подавление электровихревого течения слабым магнитным полем

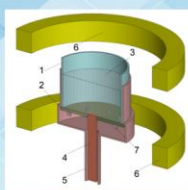
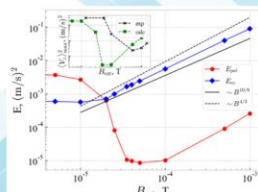
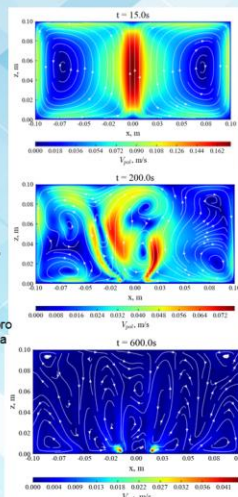


Схема ячейки:
1 – боковая стенка,
2 – плексигласовый торец,
3 – галлиевый сплав,
4 – медный электрод,
5 – боковой электрод,
6 – катушки Гельмгольца,
7 – датчики ультразвукового доплеровского анемометра



Зависимости полоидальной и азимутальной энергии от внешнего магнитного поля (расчет и эксперимент)



Эволюция поля скорости (вертикальное сечение)

Kolesnichenko I., Frick P., Eltishchev V., Mandrykin S., Stefani F. Evolution of a strong Electrosvortex flow in a cylindrical cell // *Physical Review Fluids*, 2020. (in press).

Электровихревое течение (ЭВТ) возникает в ячейке с жидким металлом из-за неоднородности растекания электрического тока. Полоидальное ЭВТ может привести к опасной раскочке свободной границы жидкого металла в проектируемых жидкометаллических батареях. Добавление внешнего магнитного поля вызывает азимутальное течение жидкого металла, и вторичное полоидальное течение.

Обнаружен диапазон значений внешнего магнитного поля, при котором существенно снижается интенсивность ЭВТ — практически происходит его подавление. При этом подавляется и нежелательная деформация свободной верхней границы из-за действия центробежной силы.

Добавление внешнего магнитного поля можно использовать для стабилизации процессов в жидкометаллической батарее и снижения риска появления нежелательной раскочки верхней границы.

Kolesnichenko I., Frick P., Eltishchev V., Mandrykin S., Stefani F. Evolution of a strong Electrosvortex flow in a cylindrical cell // *Physical Review Fluids*, 2020. (in press). (Q1, IF=2.612).

(Рук. к.ф.м.н. Колесниченко И.В., т. (342) 237-83-81, kiv@icmm.ru).

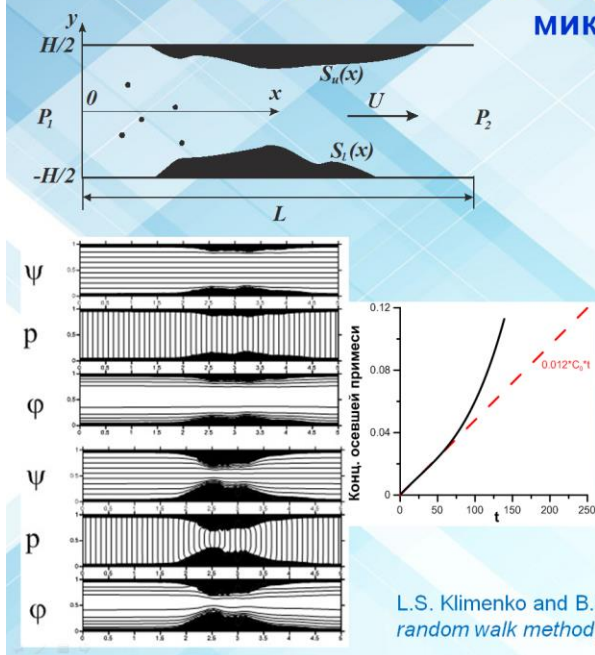
14. Моделирование процесса осаждения примеси и закупорки микроканалов позволило исследовать процессы закупорки микроканала при прокачке через него мелкодисперсной примеси.

Аннотация

Исследованы процессы, происходящие в микроканале, при прохождении через него потока мелкодисперсной смеси. Учтены различные условия прилипания и отрыва частиц от стенок, а также произведен учет проскальзывания частиц вдоль стенки. В результате, получена эволюция течения жидкости в микроканале при его закупорке. Как и ожидалось, в центре канала течение соответствует течению Пуазейля, в то время как около стенок имеются сильные отклонения от этого течения, связанные со сложной формой стенок в результате осаждения на них частиц. Проанализирована зависимость концентрации осевших частиц от времени, а также зависимость расхода через поперечное сечение микроканала от концентрации осевших частиц при различных начальных концентрациях. Получено, что при небольшой начальной концентрации (меньше 1%) и небольшом значении десорбции, засорения канала не происходит, концентрация осевших частиц колеблется с практически постоянной амплитудой (в районе 0,1%). При увеличении начальной концентрации и неизменном значении десорбции значительное время выполняется линейный закон сорбции, затем возникают колебания количества осевших частиц с растущей амплитудой, что в итоге приводит к засорению канала. Еще большее увеличение начальной концентрации примеси приводит к тому же результату, что и без учета десорбции — быстрой закупорке канала.

Таким образом, показано, что учет возможности отрыва (десорбции частиц) увеличивает время, при котором справедлив линейный закон сорбции, при этом коэффициент линейной сорбции уменьшается. Также определена граница применимости линейной аппроксимации формулы Козени-Кармана. Как и без учета десорбции, получено, что независимо от предельного значения вязких напряжений ее можно применять при концентрации осевшей примеси не превышающей 8 процентов.

Моделирование процесса осаждения примеси и закупорки микроканала



Исследованы процессы закупорки микроканала при прокатке через него мелкодисперсной примеси. Численно решена задача о дрейфе твердых частиц под действием постоянного перепада давления, с учетом взаимодействия частиц со стенкой по механизму Ван-дер-Ваальса. Учтена возможность отрыва частиц, обусловленного вязкими напряжениями. Получена эволюция течения жидкости в микроканале. Показано, что учет отрыва значительно увеличивает время закупорки.

Кроме фундаментального значения ожидается, что результаты могут найти свое применение в связи с многочисленными приложениями при проектировании различных фильтрационных систем, очистке технологических каналов, разработке современных материалов и химической технологии.

L.S. Klimenko and B.S. Maryshev, *Numerical simulation of microchannel blockage by the random walk method*, *Chemical Engineering Journal* **381**, 122644 (2020)

L.S. Klimenko, B.S. Maryshev, Numerical simulation of microchannel blockage by the random walk method, *Chemical Engineering Journal* **381**, 122644 (2020). impact factor WoS 2018: 8.355, квартиль Q1.

(Рук. к.ф.м.н. Голдобин Д.С., т.(342) 237-83-14, e-mail: denis.goldobin@gmail.com).

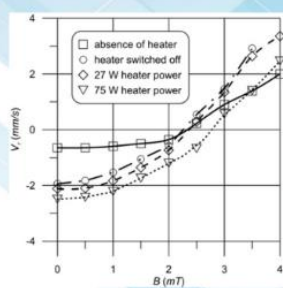
15. Численно исследовано влияние погруженного нагревателя на процесс выращивания кристаллов методом Бриджмена под действием бегущего магнитного поля.

Аннотация

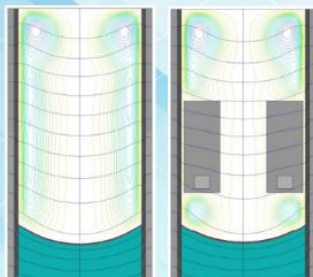
Проведено численное моделирование влияния погруженного в расплав нагревателя на процесс выращивания кристаллов методом Бриджмена при наличии внешнего бегущего магнитного поля. Известно, что бегущее магнитное поле может генерировать течение расплава от центра кристалла к стенке тигля, которое подавляет развитие морфологической неустойчивости, однако при этом увеличивается кривизна фронта кристаллизации. Преимуществом метода погружного нагревателя является возможность лучшего контроля за температурой расплава вблизи границы кристаллизации, а также постоянство геометрии зоны роста, в частности высота расплава над фазовой границей постоянна, что способствует уменьшению осевой неоднородности кристалла.

Численное моделирование выращивания монокристаллов

Влияние погруженного нагревателя на процесс выращивания кристаллов методом Бриджмена под действием бегущего магнитного поля



(а) зависимость радиальной скорости вблизи кристалла от индукции магнитного поля и мощности нагревателя
(б) изолинии функции тока и температуры в расплаве



Численно исследовано влияние погруженного в расплав нагревателя новой формы с широким внутренним каналом. Моделирование показало, что применение данного погруженного нагревателя позволяет интенсифицировать течения вблизи фронта кристаллизации, генерируемые магнитным полем и подавляющие развитие морфологической неустойчивости вблизи оси кристалла. При этом наблюдается лишь незначительное увеличение кривизны фронта кристаллизации. Определены оптимальные параметры мощности погруженного нагревателя и интенсивности бегущего магнитного поля.

T.P. Lyubimova, M.A. Gonik, A.O. Ivantsov, O. Khlybov, K. Zaidat, T. Duffar. Influence of submerged heating on vertical Bridgman crystal growth of silicon under travelling magnetic field // Journal of Crystal Growth, V. 531, 2020, 125340

Получены зависимости кривизны кристалла от мощности погруженного нагревателя и интенсивности магнитного поля. Исследована структура течений расплава в ампуле при различных параметрах нагрева. Показано, что погружной нагреватель может усилить течение расплава в радиальном направлении, создаваемое бегущим магнитным полем вблизи растущего кристалла, при этом кривизна границы кристаллизации остается практически неизменной. Определены оптимальные параметры мощности погруженного нагревателя и интенсивности бегущего магнитного поля.

T.P. Lyubimova, M.A. Gonik, A.O. Ivantsov, O. Khlybov, K. Zaidat, T. Duffar. Influence of submerged heating on vertical Bridgman crystal growth of silicon under travelling magnetic field // Journal of Crystal Growth, V. 531, 2020, 125340.

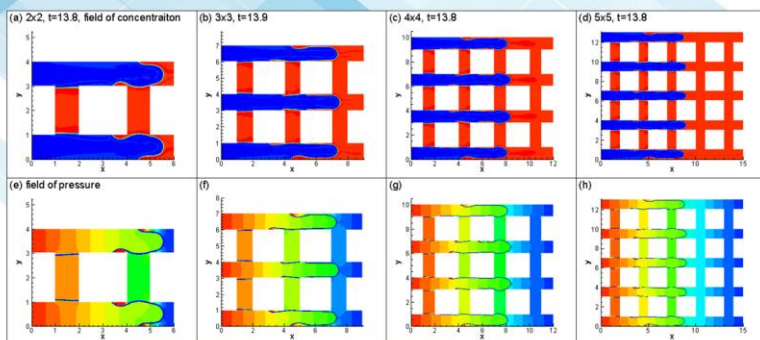
(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т. (342) 239-66-46, e-mail: lyubimova@psu.ru).

16. Промоделировано несмешиваемое вытеснение одной жидкости другой в сети капилляров.

Аннотация

В работе численно моделируется вытеснение одной жидкости другой в системе сети капилляров с использованием теории фазового поля. Исследуется структура течения внутри матрицы капилляров разного размера (различное число пор) с целью нахождения асимптотического поведения, подходящего для достаточно больших матриц, что может быть использовано для представления пористой среды. Интегральные характеристики течения, не зависящие от размера матрицы, можно использовать для расчета параметров макроскопического подхода (Дарси). Продемонстрировано, что качественно вытеснение происходит похожим образом для матриц с разным числом структурных элементов. В частности, показано, что капиллярное давление остается приблизительно постоянным до момента, пока кончик мениска не доходит до конца матрицы.

Моделирование несмешиваемого вытеснения одной жидкости другой в сети капилляров



Элемент матрицы капиллярных трубок. Примеры течений, а, b, c, d - поля концентрации, e, f, g, h - поля давления

Prokopen, S., Vorobev, A., Lyubimova, T., Phase-field modelling of a liquid/liquid immiscible displacement through a network of capillaries // Journal of Computational Physics, 421, 109747, 2020

Исследована структура течения внутри матриц капилляров разного размера (различное число пор), что является представлением пористой среды на микромасштабе. Установлены характерные этапы процесса вытеснения. Получены аналитические выражения для оценки параметров течения в пористой среде: проницаемости и капиллярного давления.

Результаты работы могут быть применены при описании различных природных и технологических процессов: добыча нефти, восстановление почв и водоносного горизонта и пр.

При увеличении размеров матрицы величина капиллярного давления (и другие характеристики) быстро сходятся к предельным значениям, предоставляя методику вычисления капиллярного давления в пористой среде. Матрица с размером 10×10 элементов достаточна для достаточно точного прогнозирования капиллярного давления в однородной пористой среде.

Результаты работы могут быть применены при описании различных природных и технологических процессов: добыча нефти, восстановление почв и водоносного горизонта и т.д.

Prokopen, S., Vorobev, A., Lyubimova, T., Phase-field modelling of a liquid/liquid immiscible displacement through a network of capillaries // Journal of Computational Physics, 421, 109747, 2020.

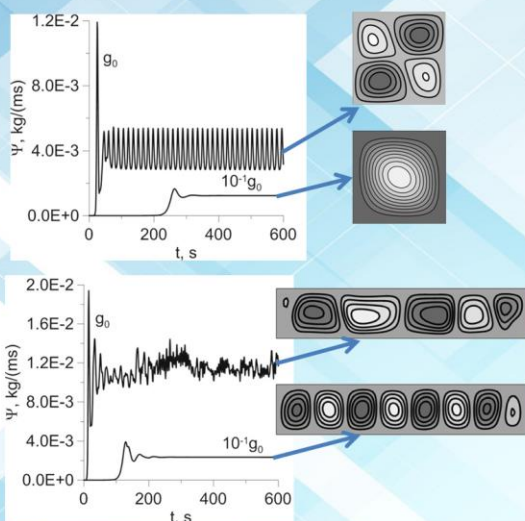
(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru).

17. Исследовано возникновение и нелинейные режимы конвекции бинарной смеси в прямоугольной полости при нагреве снизу.

Аннотация

Исследовано возникновение и развитие конвективных режимов в условии земной и пониженной силы тяжести для водного раствора поваренной соли в прямоугольных полостях при нагреве снизу. Найдено, что при земной силе тяжести в квадратной полости возникает колебательное течение с перезамыканием вихрей.

Возникновение и нелинейные режимы конвекции бинарной смеси в прямоугольной полости при нагреве снизу



Временная эволюция максимального значения функции тока в полости и структуры возникающих течений

Исследовано возникновение и развитие конвективных движений бинарной смеси с эффектом Соре в подогреваемых снизу прямоугольных полостях при различных уровнях тяжести. Найдено, что при земной силе тяжести в квадратной полости возникает колебательное течение с перезамыканием вихрей, а при пониженной силе тяжести формируется одновихревое стационарное течение.

В случае прямоугольной полости при земной силе тяжести реализуются нерегулярные колебания, а при пониженной силе тяжести наблюдается стационарное движение. Структура течения в этом случае является многовихревой, пространственный масштаб возникающего течения уменьшается при понижении уровня тяжести.

Lyubimova T., Rushinskaya K., Zubova N. Onset and nonlinear regimes of convection of a binary mixture in rectangular cavity heated from below // *Microgravity Science and Technology* (2020) 32:961–972

При меньшей силе тяжести в квадратной полости формируется одновихревое стационарное течение. В случае прямоугольной полости при земной силе тяжести в полости реализуются нерегулярные колебания, при меньшей силе тяжести наблюдается стационарное движение. Структура течения многовихревая. Пространственный масштаб возникающего течения уменьшается при уменьшении тяжести. Проведено исследование формирования течения в зависимости от структуры (одно-, двух- или четырехвихревой) начальных возмущений функции тока.

Lyubimova T., Rushinskaya K., Zubova N. Onset and nonlinear regimes of convection of a binary mixture in rectangular cavity heated from below // *Microgravity Science and Technology* (2020) 32:961–972.

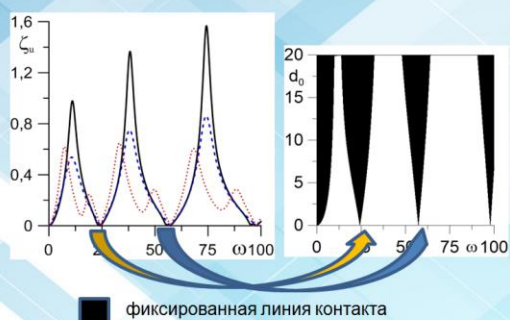
(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru).

18. Исследовано влияние гистерезиса краевого угла на осесимметричные колебания цилиндрической капли.

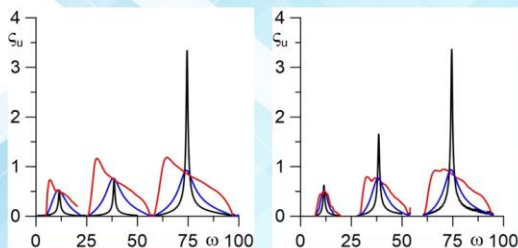
Аннотация

В данной работе исследуются вынужденные осесимметричные колебания цилиндрической капли жидкости. Капля зажата между двумя параллельными поверхностями и окружена жидкостью другой плотности.

Влияние гистерезиса краевого угла на осесимметричные колебания цилиндрической капли



■ фиксированная линия контакта



В отсутствие гистерезиса существуют частоты внешнего воздействия, при которых контактная линия не движется. При наличии гистерезиса контактная линия не движется уже в некотором интервале частот. При увеличении характерного значения краевого угла время, в течение которого контактная линия не движется, растет, а интервал частот, в котором она находится в движении, сужается.

Полученные результаты могут быть использованы для создания и уточнения теоретических моделей, объяснения результатов экспериментов, определения значений физических параметров (постоянная Хокинга и пр.), разработки методов управления включениями и пр.

Движение контактной линии учитывается с помощью эффективного граничного условия Хокинга: скорость движения контактной линии прямо пропорциональна углу отклонения и движение контактной линии возможно, если значение краевого угла превышает некоторое критическое значение. Построены диаграммы областей движения контактной линии в зависимости от частоты вибрации и критического краевого угла. Вычислена амплитуда максимального отклонения боковой поверхности в зависимости от частоты внешнего воздействия.

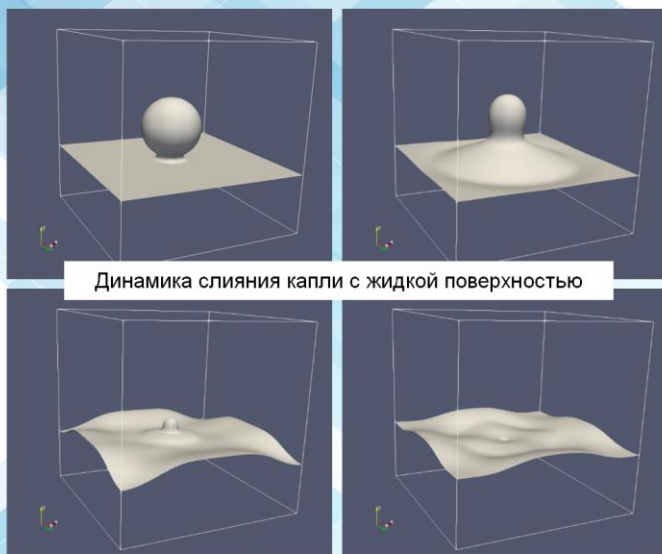
(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru).

19. Разработан пакет программ для численного моделирования течения в двухфазных жидких системах.

Аннотация

В рамках работ по реализации НИОКР «Виртуальный 3D-принтер», выполненной по заказу «Рус-АТ», разработан пакет для численного моделирования течения в двухфазных жидких системах методом функции уровня (Level Set) с учетом капиллярного и термокапиллярного эффектов.

Численное моделирование течения в двухфазных жидких системах



Разработан пакет программ для численного моделирования течения в двухфазных жидких системах методом функции уровня (Level Set) с учетом капиллярного и термокапиллярного эффектов.

Пакетом обеспечивается возможность проведения 2D и 3D моделирования в последовательном и параллельном режимах с задействованием интерфейса MPI в программных средах Windows и Linux. Реализована интеграция с ParaView с визуализацией результатов *in situ*.

Пакет может быть использован для моделирования процессов консолидации ансамблей жидких капель в процессе изготовления конструкций из порошковых материалов методом послойной 3D печати.

Пакет обеспечивает возможность проведения 2D и 3D моделирования в последовательном и параллельном режимах с задействованием интерфейса MPI в программных средах Windows и Linux. Реализована интеграция с ParaView с визуализацией результатов *in situ*. Для решения гидродинамической задачи реализованы метод искусственной сжимаемости и проекционный метод в естественных переменных «скорость-давление». Разрешение двухфазной системы выполняется методом функции уровня с реинициализацией и коррекцией объема для удовлетворения закону сохранения массы. Дискретизация расчетной области выполняется комбинацией методов конечных разностей и конечных объемов на 2D и 3D регулярных полностью разнесенных стеках. В реализованных методах решения применяются полностью неявная схема решения нелинейных алгебраических уравнений методом Ньютона либо сегрегированная схема решения; в обоих случаях численное решение линейной задачи осуществляется внешними солверами SLAU PETSc либо MUMPS.

Пакет успешно применен для решения задачи Релея-Телора в 2D и 3D постановках, решения задачи о слиянии капли с жидкой поверхностью, а также численного моделирования процесса консолидации ансамбля жидких капель в процессе изготовления конструкций из порошковых материалов методом послойной 3D печати.

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru).

«Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее – «ГИ УрО РАН»).

ПФНИ 136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий.

С использованием DInSAR измерений восходящего и нисходящего треков канадского спутника RADARSAT-2, обработанных в программном комплексе MSBAS, даны оценки

восточной горизонтальной компоненты деформации земной поверхности, обусловленной подземными горными работами (рис.1). Сравнение полученных результатов с предельными величинами позволяют непосредственно в мониторинговом режиме отслеживать уровень техногенной опасности разрушения зданий и объектов инфраструктуры на подработанных территориях.

Материалы, представляемые в доклад Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации; в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

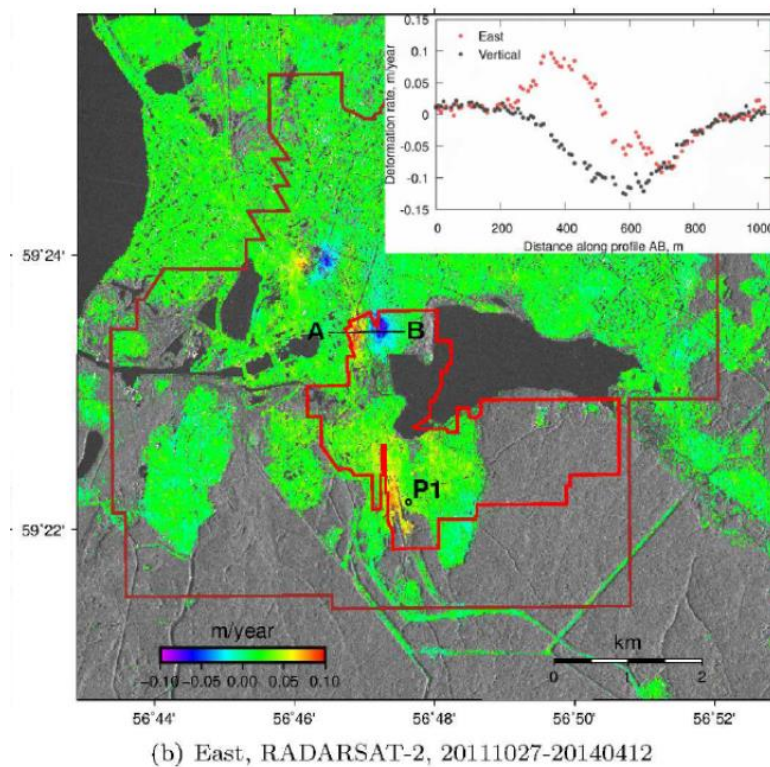


Рис.1. Восточная горизонтальная деформация земной поверхности, рассчитанная на основе восходящих и нисходящих данных SAR спутника RADARSAT-2.

Samsonov S., Baryakh A. Estimation of Deformation Intensity above a Flooded Potash Mine Near Berezniki (Perm Krai, Russia) with SAR Interferometry/ Remote Sens. 2020, 12(19), 3215; <https://doi.org/10.3390/rs12193215> (Scopus Q1, WoS Q2).

(Рук. д.т.н., академик РАН Барях А.А., e-mail: bar@mi-perm.ru)

ПФНИ 132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья.

Впервые дано теоретическое объяснение известного на практике опасного образования сплошной пелены капельной влаги в вентиляционных стволах глубоких рудников (water-blanketing эффект), которое возникает в определенном диапазоне скоростей воздуха и приводит к увеличению нагрузки на вентиляторные установки и их переходу в неустойчивый аварийный режим работы. Показано, что данный эффект возникает как за счет конденсации влаги из воздуха при адиабатическом расширении, так и за счет притоков грунтовых вод через трещины в крепи ствола. Найденные теоретические значения критических скоростей воздуха совпали с результатами экспериментальных исследований.

Учет этих факторов позволит предотвращать накопление капельной влаги в вентиляционных стволах на практике и существенно снизить риски крупных аварий в глубоких рудниках.

Материалы, представляемые в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

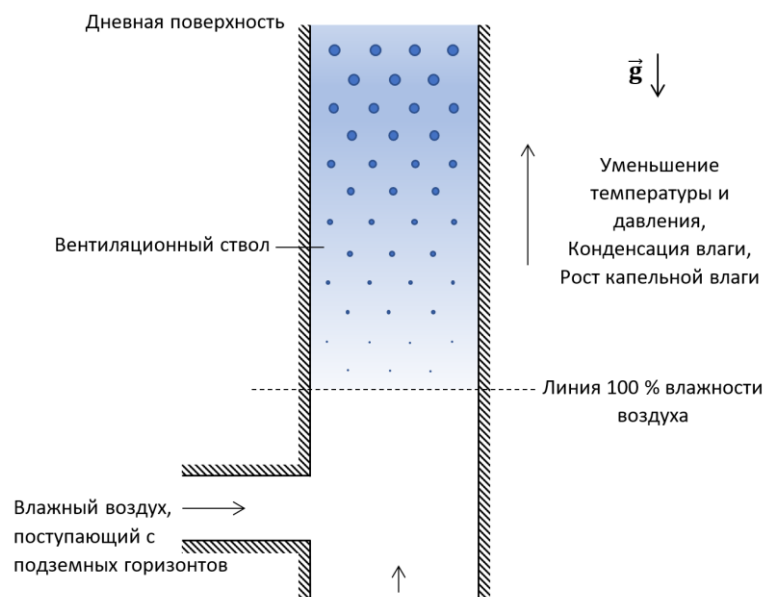


Рис. 1. Конденсация влаги из воздуха и накопление капельной влаги в вентиляционном стволе

Semin M., Zaitsev A. On a possible mechanism for the water build-up formation in mine ventilation shafts // Thermal Science and Engineering Progress. – 2020. – art. no. 100760. (Scopus Q1).

(Рук. д.т.н. Левин Л.Ю., e-mail: aerolog_lev@mail.ru)

ПФНИ 136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий.

На основании закономерностей распространения отраженных головных волн при скважинных сейсмических исследованиях резко дифференцированных слоистых сред, разработано программно-алгоритмическое обеспечение построения глубинных сейсмических разрезов межскважинного пространства. Данное обеспечение включает специальный граф цифровой обработки для выделения и суммирования головных волн, позволяющий получить сейсмограммы с высоким соотношением сигнал/шум, составляющими информационную базу построения глубинного сейсмического разреза на основе оригинальных миграционных преобразований. Полученные разрезы дополняют результаты томографических расчетов скоростной характеристики межскважинного пространства, выполненных по тому же набору данных (рис. 1), что позволяет детализировать физические свойства подрабатываемого породного массива.

Материалы, представляемые в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

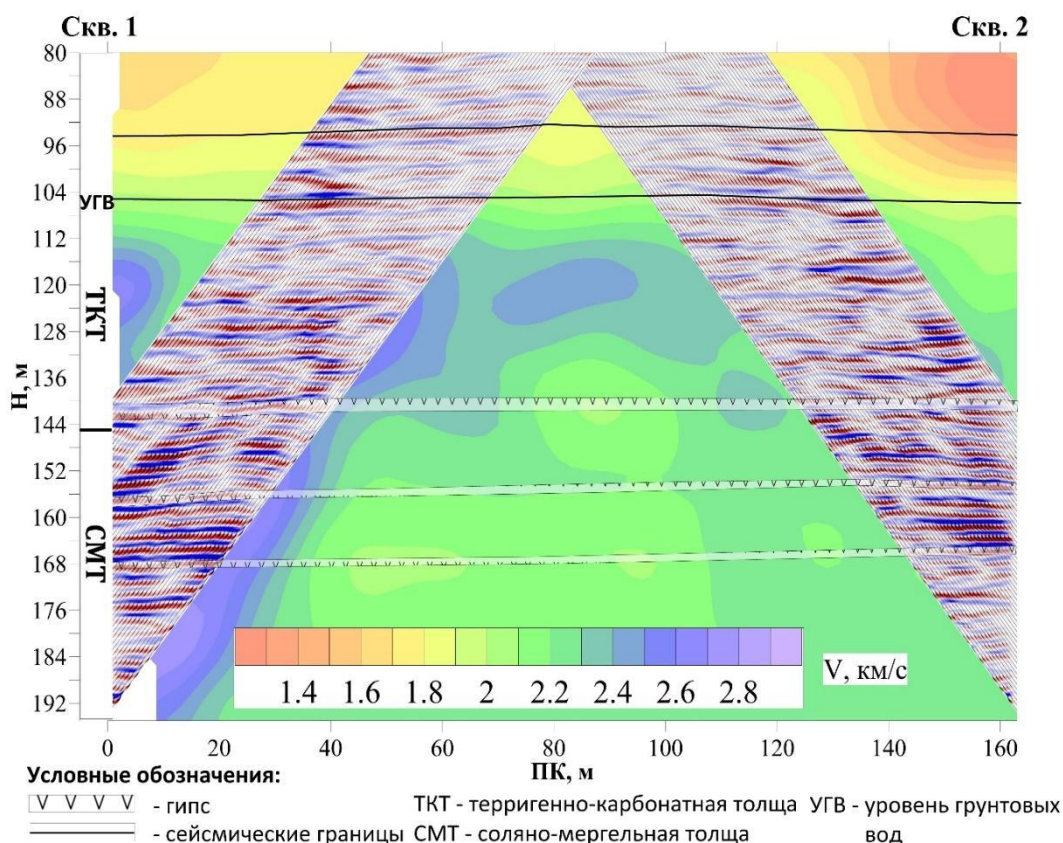


Рис. 1. Совмещение результатов межскважинной томографии на проходящих волнах и глубинных сейсмических разрезов по результатам обработки головных волн

Чугаев А.В., Санфиоров И.А., Тарантин М.В., Томилов К.Ю. Анализ вторичного поля головных волн при межскважинных сейсмических исследованиях // Геофизика. 2020. – №5.

(Рук. д.т.н., проф. Санфиоров И.А., e-mail: sanf@mi-perm.ru)

ПФНИ 125. Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических, метаморфических и минералообразующих систем.

На основании изучения зоогенных отложений пещер комплексного природного резервата выделены 3 временных периода (микулинское межледниковье (MIS 5e), брянский интерстадиал (MIS 3), суббореальный период голоцена (MIS 1)). Установлен видовой состав млекопитающих (зоогенные отложения пещеры Махневская ледяная), обитающих на исследуемой территории в период Микулинского межледниковья. В составе ископаемой фауны присутствует группа типичных межледниковых видов млекопитающих, в том числе: белобрюхая белозубка, малайский дикобраз, лесная соя, желтогорлая мышь, малый пещерный медведь, пещерный лев, носорог Мерка, благородный олень, степной бизон.

Материалы, представляемые в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

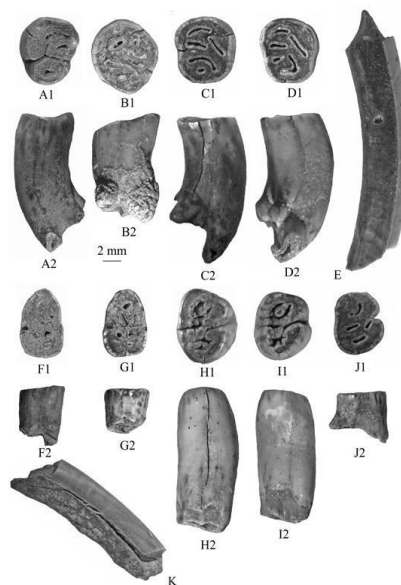
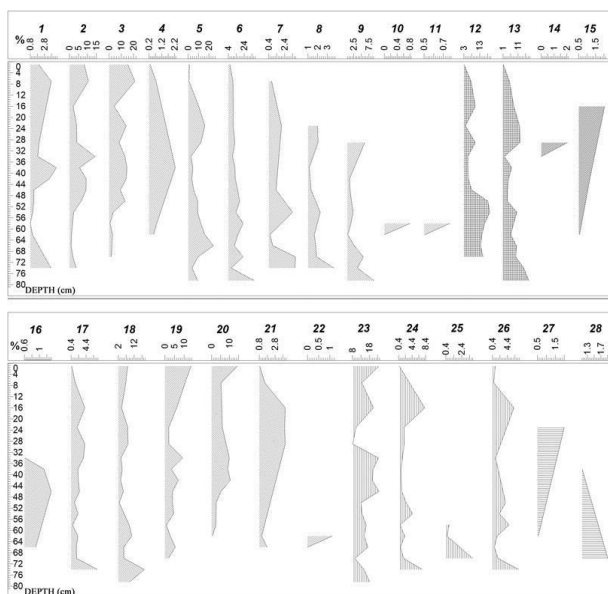


Рис. 1. Видовой состав и соотношение (%) ископаемых остатков насекомоядных млекопитающих, грызунов, летучих мышей и зайцеобразных. Махневская Ледяная пещера, сектор А. 1 – *Myodes glareolus*, 2 – *Craseomys rufocanus*, 3 – *Myopus schisticolor*, 4 – *Sicista betulina*, 5 – *Myodes rutilus*, 6 – *Microtus agrestis*, 7 – *Hystrix brachyura*, 8 – *Apodemus sylvaticus* + *A. uralensis*, 9 – *Apodemus flavicollis*, 10 – *Dryomys nitedula*, 11 – *Sciurus vulgaris*, 12 – *Alexandromys oeconomus*, 13 – *Arvicola amphibius*, 14 – *Lasiopodomys gregalis*, 15 – *Dicrostonyx sp.*, 16 – *Erinaceus sp.*, 17 – *Talpa sp.*, 18 – *Sorex araneus*, 19 – *Sorex isodon*, 20 – *Sorex caecutiens*, 21 – *Sorex minutus*, 22 – *Sorex minutissimus*, 23 – *Eptesicus nilssonii*, 24 – *Plecotus auritus*, 25 – *Myotis dasycneme*, 26 – *Myotis sp.*, 27 – *Lepus sp.*, 28 – *Ochotona sp.*

Рис.2. Зубы малайского дикобраза (А-К) из отложений Махневской ледяной пещеры.

Fadeeva, T., Kosintsev, P., Lapteva, E. ², Kisagulov, ², Kadebskaya, O., 2020. Makhnevskaya Ledyanaya Cave (Middle Urals, Russia): Biostratigraphical Reconstruction. Quaternary International, V. 546. Pp. 135-151.(Scopus Q1).

(Рук. д.г.н., Кадебская О.И., e-mail:icecave@bk.ru)

ПФНИ 137. Эволюция окружающей среды и климата под воздействием природных и антропогенных факторов, научные основы рационального природопользования и устойчивого развития; территориальная организация хозяйства и общества.

Показано, что суточные изменения стока через плотину ГЭС играют существенную роль в формировании гидродинамического режима участка этой плотины и способны приводить к такому опасному явлению, как попадание теплых сточных вод в водозаборный канал, предназначенный для охлаждения систем электростанции. Определено, что при постоянном сбросе воды это явление может происходить только при определенном сочетании направления, скорости и продолжительности ветра. Если ветер направлен против течения реки и продолжительность его воздействия больше суток, то в водном слое глубиной до 6 м возникают трехмерные вихри, приводящие к потоку в направлении, противоположном основному течению реки, и достаточные для попадания теплых сточных вод в водозаборный канал.

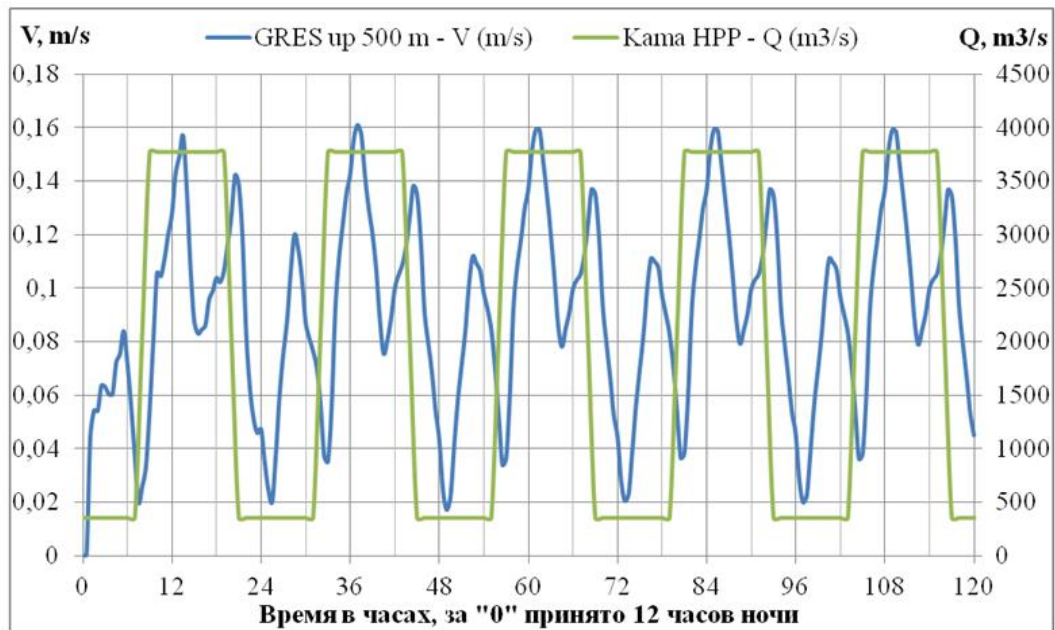


Рис. 1. Изменение модуля скорости в районе водозаборного канала Пермской ГРЭС (синяя линия), в сопряжении с гидрографом сброса воды с Камской ГЭС (зеленая линия). Lyubimova, T., Parshakova, Y., Lepikhin, A., Lyakhin, Y., & Tiunov, A. (2020). The Effect of Unsteady Water Discharge through Dams of Hydroelectric Power Plants on Hydrodynamic Regimes of the Upper Pools of Waterworks. Water, 12(5), 1336 (Scopus Q1).

(Рук. д.г.н., Лепихин А.П., e-mail: lepihin49@mail.ru)

ПФНИ 138. Научные основы разработки методов, технологий и средств исследования поверхности и недр Земли, атмосферы, включая ионосферу и магнитосферу Земли, гидросферы и криосферы; численное моделирование и геоинформатика (инфраструктура пространственных данных и ГИС-технологии).

Разработана компьютерная технология, позволяющая осуществлять приведение гравитационного поля в редукции Буге на горизонтальную плоскость с одновременным выделением его составляющих, обусловленных геологическими объектами с положительной и отрицательной эффективной плотностью (рис. 1). Используется аппроксимация аномалий силы тяжести полем эквивалентных источников, распределенных на двух уровнях глубин.

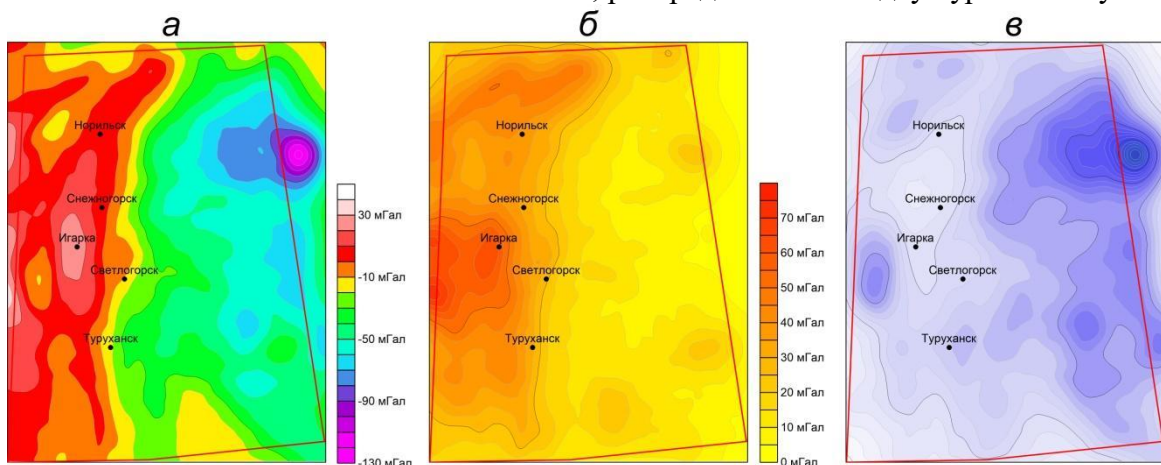


Рис. 1. Гравитационное поле на горизонтальной плоскости высоты 10 км:
а – суммарное; б – от источников с положительной эффективной плотностью Δg^+ ;
в – от источников с отрицательной эффективной плотностью Δg^-

Долгаль А.С. Практические аспекты применения истокообразной аппроксимации геопотенциальных полей // Инженерная и рудная геофизика 2020. Doi 10.3997/2214-4609.202051058.

Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н., Ворошилов В.А. Совершенствование методики аналитической аппроксимации данных магниторазведки // Геофизика. 2020. №5. С. 29–36.

(Рук. д.г.-м.н., Бычков С.Г., e-mail: bsg@mi-perm.ru)

ПФНИ 136. Катастрофические эндогенные и экзогенные процессы, включая экстремальные изменения космической погоды: проблемы прогноза и снижения уровня негативных последствий.

Разработана методика оценки сейсмической опасности массового обрушения пород на рудниках Жезказганского месторождения. Установлена зависимость, связывающая площадь обрушения горных выработок S в км^2 с магнитудой техногенного землетрясения M_S , являющегося следствием данного обрушения (рис. 1). Полученные результаты могут быть легко адаптированы для оценки сейсмической опасности на различных месторождениях пластового типа, разрабатываемых камерно-столбовой системой.

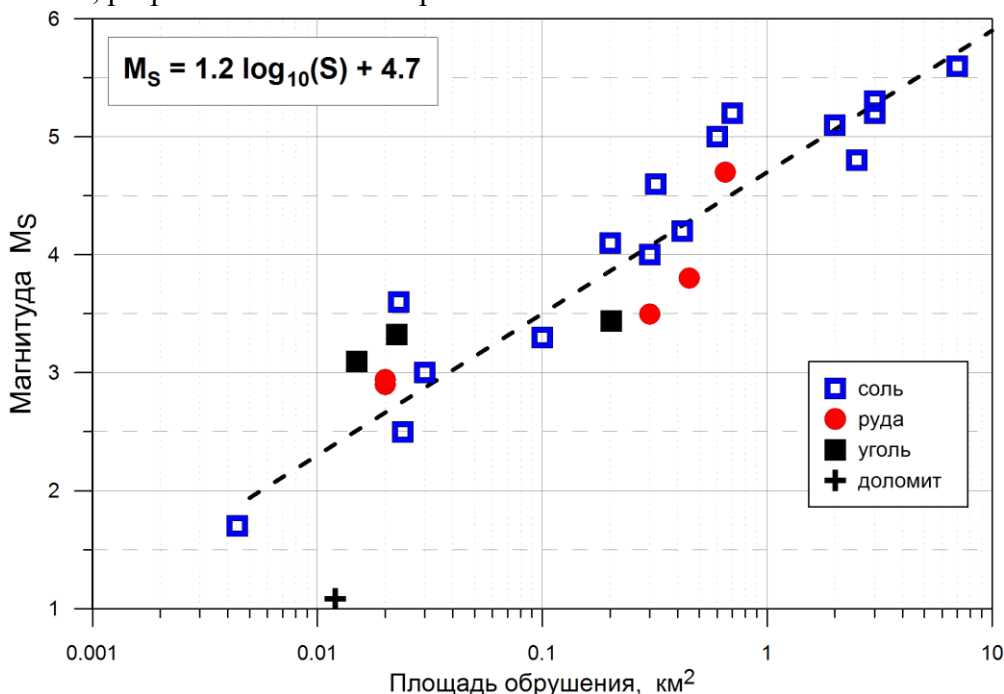


Рис.1. Зависимость магнитуды техногенного землетрясения от площади обрушения в горных выработках

A.S. Muryskin, D.Y. Shulakov and F.G. Verkholtantsev. Prediction of the Seismic Wave Amplitude for the Zhomart Mine Conditions. Conference Proceedings, Engineering and Mining Geophysics 2020, Sep 2020, Volume 2020, p.1 – 5.

(Рук. к.т.н., Шулаков Д.Ю., e-mail: shulakov@mi-perm.ru)

ПФНИ 125. Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических, метаморфических и минералообразующих систем.

Дополнена зональность распределения эпигенетических минералов Л.В. Мигунова в надсолевой толще Верхнекамского месторождения солей новыми фазами, которая имеет следующий вид: гидроксиды железа и марганца – кальцит – барит – сульфиды (пирит, сфалерит и др.) – минералы кремнезема (кристобалит, могоанит, кварц) – целестин – гипс – галит – ангидрит. Установлено, что выявленная последовательность определяется не столько сменой гидрохимических фаций вниз по разрезу, сколько взаимодействием подземных вод с

вмещающим породами, которые формировались на фоне смены эвапоритовых отложений морскими, а затем континентальными.

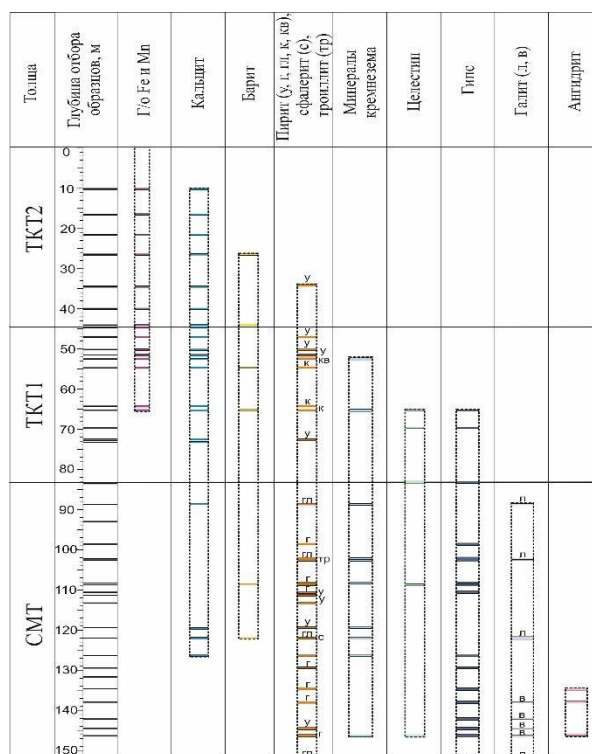


Рис. 1. Зональность распределения аутигенных минералов в надсолевом разрезе

Верхнекамского месторождения по скв. 1119. Буквами показана форма проявления отдельных минералов: пирита (у – по углистому детриту, г – по гипсу, гл – по галиту, к, кв – в прожилках кальцита (к) и кварца (кв)); галита (л – отпечатки «лодочек», в – высолы из породы), СМГ – соляно-мергельная толща, ТКТ(1,2) нижняя (1) и верхняя (2) часть терригенно-карбонатной толщи.

Чайковский И.И., Бубнова М.В., Чиркова Е.П. Минералогия уфимских отложений Соликамской впадины // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского: сб. науч. ст. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2020. – Вып. 23. с. 50-62 с.

(Рук. д.г.-м.н. Чайковский И.И., e-mail: ilya@mi-perm.ru)

ПФНИ 132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья.

Впервые по результатам шахтных экспериментальных исследований дана количественная оценка газоносности по свободным газам и газодинамическим характеристикам пород нового вскрытого калийного горизонта, вовлекаемого в отработку на Старобинском месторождении калийных солей (рис.1). Установлены закономерности изменения газоносности по геологическому разрезу, что позволило установить наиболее газоносные и опасные по газодинамическим явлениям слои пород калийного горизонта. Разработаны и внедрены рекомендации по рациональному расположению подготовительных выработок в породах горизонта и профилактической дегазации пород кровли горных выработок.

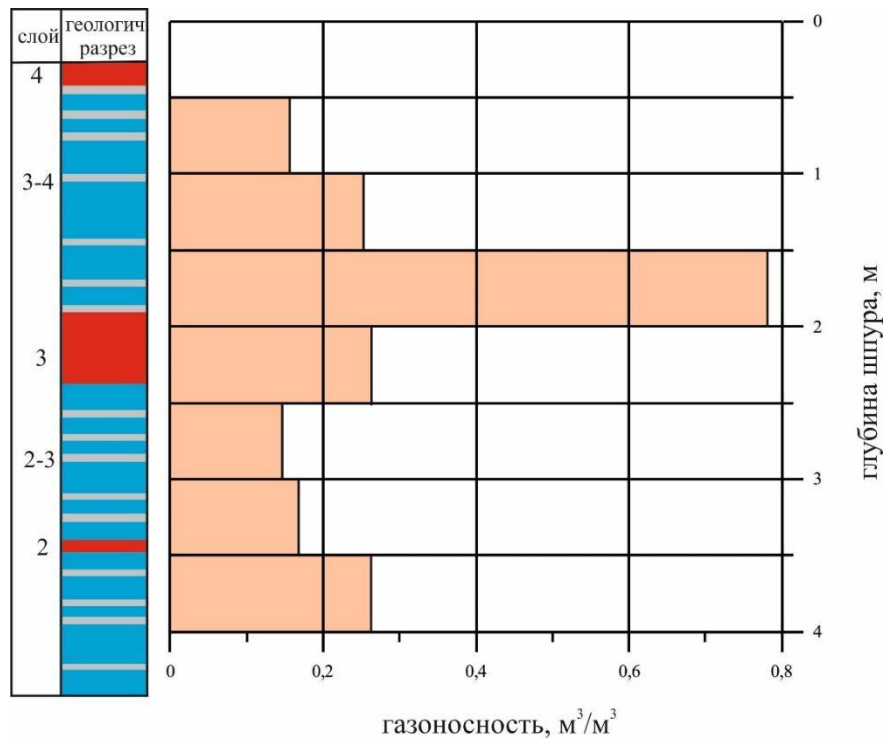


Рис. 1. Пример изменения газоносности пород по геологическому разрезу IV калийного горизонта

Литвиновская Н.А. Газоносность и газодинамические характеристики 18-20 глинисто-карбонатных пачек III калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей // Горное эхо. 2020. № 2.

(Рук. д.т.н., профессор Андрейко С.С., e-mail: ssa@mi-perm.ru)

ПФНИ 132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья

Разработан новый критерий прочности горных пород для условий истинного трехосного напряженного состояния, учитывающего влияние трех главных напряжений:

$$\frac{\sigma_1^2}{\sigma_1 + A} = B + C\sigma_2 + \sigma_3, \quad (1)$$

где $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения; A, B, C – эмпирические параметры критерия прочности.

Параметры критерия находятся по результатам определения пределов прочности на одноосное растяжение, одноосное сжатие и двухосное равнокомпонентное сжатие (рис.1).

Определены зависимости изменения предела прочности сильвинита от величины промежуточного и минимального главных напряжений (рис.2).

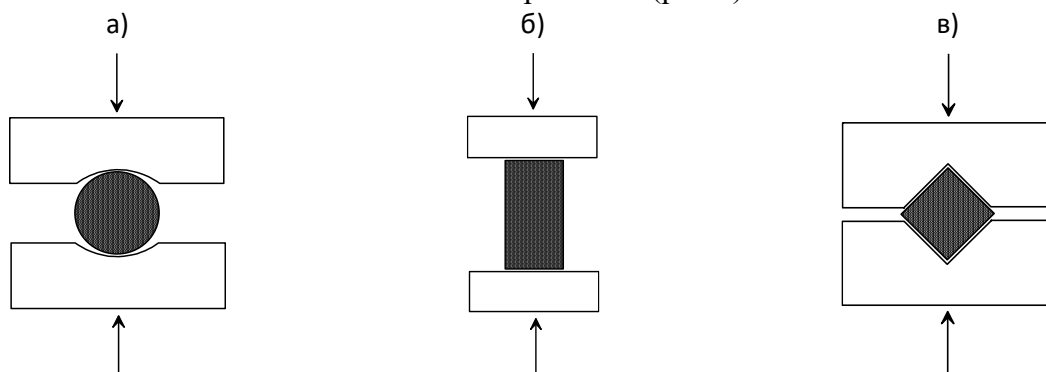


Рис. 1. Схемы испытаний при определении прочности горных пород: а – одноосное растяжение; б – одноосное сжатие; в – двухосное равнокомпонентное сжатие

Паньков И.Л. О результатах разработки критерия прочности для условий истинного трехосного напряженного состояния горных пород / Горное эхо, 2020, №1 (78), стр.46-50, DOI: 10.7242/echo.2020.1.10.

(Рук. к.т.н., доцент Паньков И.Л., e-mail: ivpan@mi-perm.ru)

ПФНИ 125. Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических, метаморфических и минералообразующих систем.

Установлено, что изотопный состав подземных вод, разгружающихся в виде источников в Соликамской впадине, реагирует на изменение состава осадков в осенний и зимний периоды с задержкой в один-три месяца (на рис. 1а выделено синим прямоугольником). Воды пресные, преимущественно $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ состава с минерализацией 213 – 431 мг/дм³, $\delta^{18}\text{O}$ (–14,2‰:–16,3‰), $\delta^2\text{H}$ (–107,3‰: –119,4‰). Для подземных вод характерно обеднение тяжелыми изотопами в весенний период и обогащение – в летний, что указывает на метеогенное влияние на их состав. Показано, что формирование и питание подземных вод, приуроченных к нижнепермским отложениям Соликамской впадины и прилегающей территории, происходит не только за счет атмосферных осадков, но и за счет перетекания сульфатных и карбонатных вод из нижележащих горизонтов по зонам повышенной трещиноватости, что проявляется в повышении минерализации вод источников разных гидрогеологических подразделений (рис.1б).

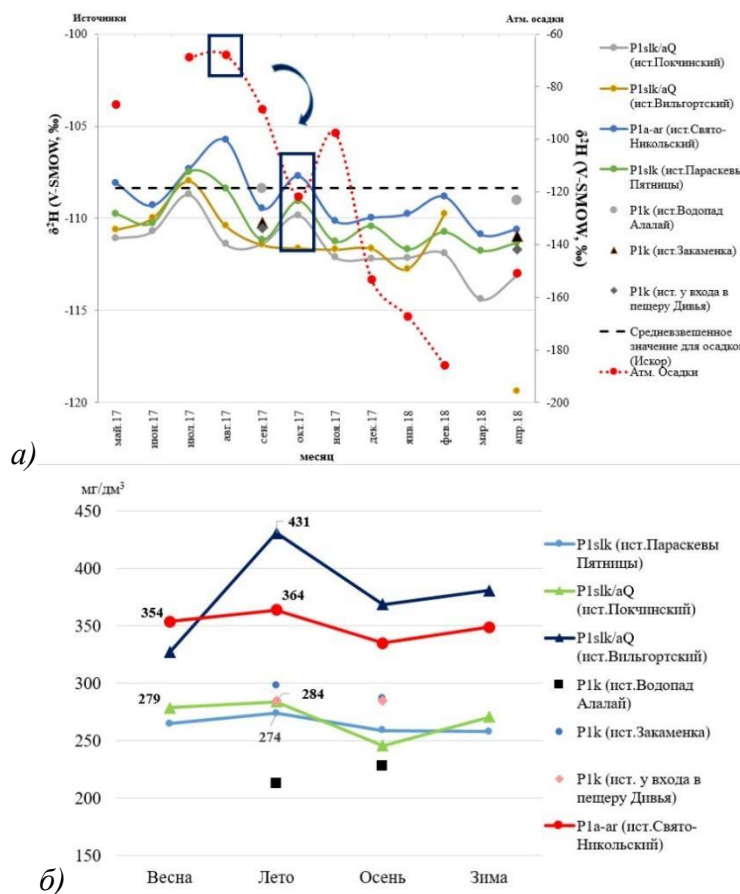


Рис. 1. Годовое (а) и сезонное (б) изменение изотопного подземных вод

Казанцева А. С. Характеристика подземных вод в нижнепермских отложениях Соликамской впадины // Вестник геонаук. – Сыктывкар, 2020. – №8. – С. 18-27. DOI: 10.19110/geov.2020.8.3.

(Рук. д.г.н., Кадебская О.И., e-mail: icecave@bk.ru)

«Институт технической химии Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее – «ИТХ УрО РАН»).

ПФНИ 048: Фундаментальные физико-химические исследования механизмов физиологических процессов и создание на их основе фармакологических веществ и лекарственных форм для лечения и профилактики социально значимых заболеваний

1. На основе коммерчески доступного тритерпеноида бетулина разработаны подходы к синтезу новых лупановых и $19\beta,28$ -эпокси- $18\alpha H$ -олеанановых тритерпеноидов с фрагментами пиразола или изоксазола в циклах А и Е. Схема получения 1,2-азолов включает альдольную конденсацию тритерпеновых альдегидов с ацетоном в качестве ключевой стадии.

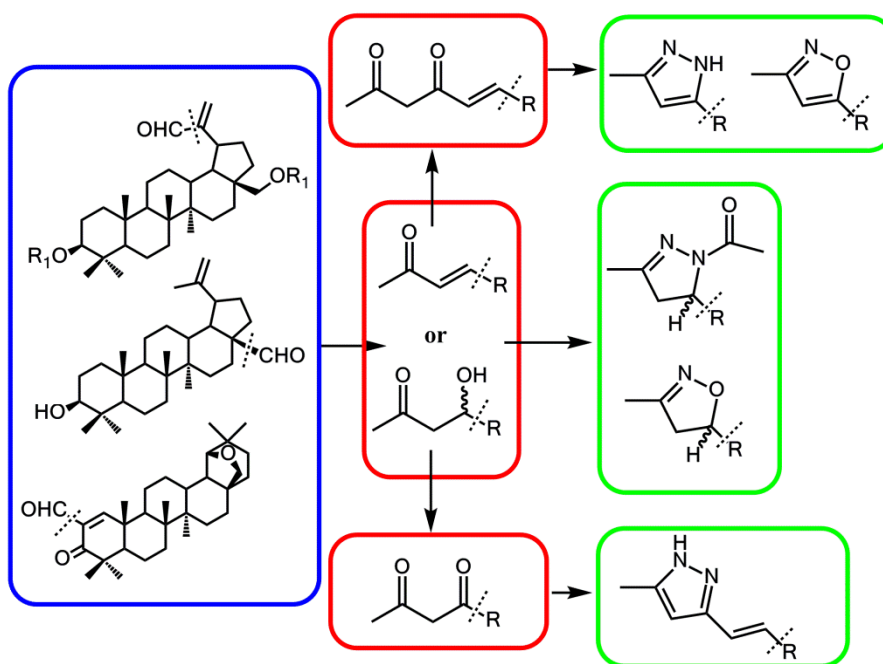
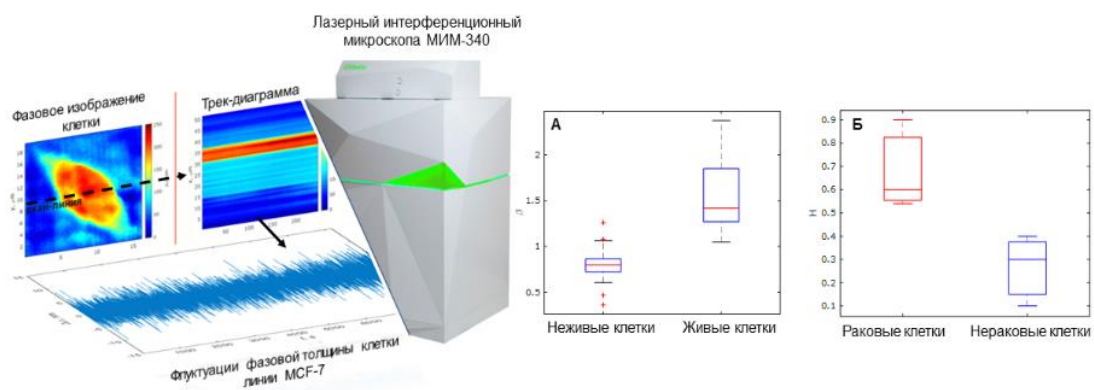


Рис.1. Chem. Heterocycl. Compd. 2020, 56, 1321-1328; Arkivoc. 2020, part viii.

(Рук. к.х.н. Толмачева И.А., tolmair@gmail.com).

2. Разработаны и верифицированы методики количественной оценки функционального состояния клеток эукариот, позволяющие дифференцировать живые/мертвые или нормальные/опухолевые клетки человека методом математического анализа флуктуаций оптической толщины клеток, регистрируемых с помощью отечественного лазерного интерференционного микроскопа МИМ-340. Экспериментально показано, что морфометрический анализ данных лазерной интерференционной микроскопии обеспечивает идентификацию апоптотически измененных опухолевых клеток и может быть эффективно использован в скрининге новых противоопухолевых агентов.



Измерения флуктуаций фазовой толщины жизнеспособной прикрепленной клетки линии MCF-7 методом лазерной интерференционной микроскопии

Математический анализ данных лазерной интерференционной микроскопии:
 А – оценка жизнеспособности клеток на основании наклона спектра мощности β ,
 Б – дифференциация живых клеток на раковые и нераковые по показателю Херста H

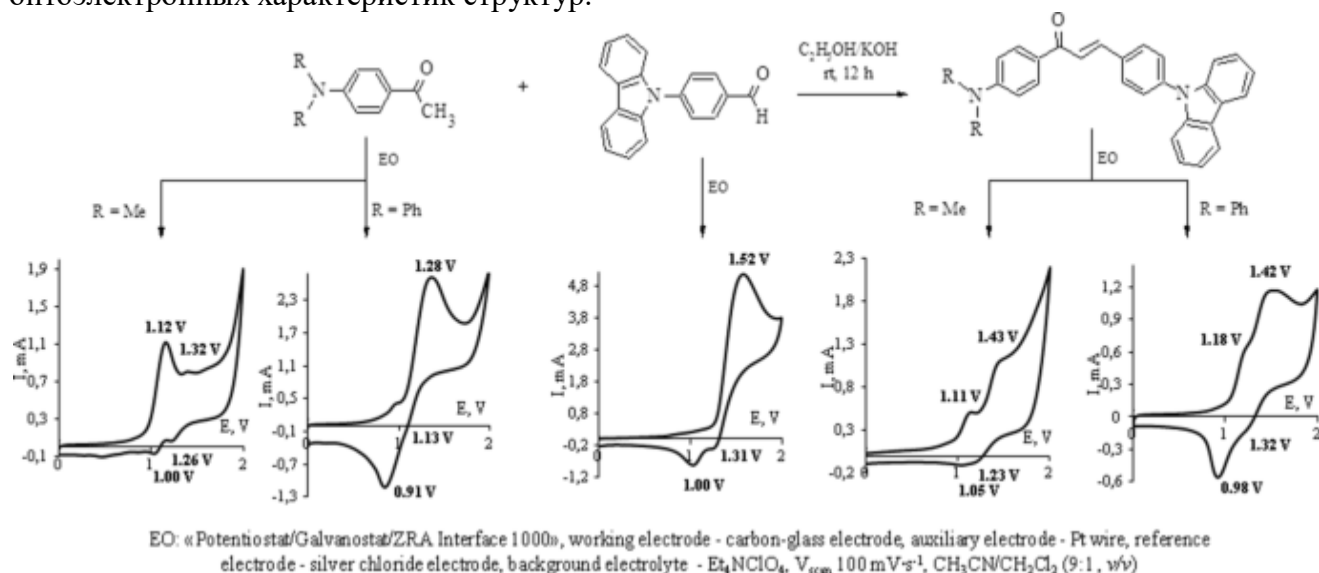
Впервые предложена методика ранней диагностики рака молочной железы с использованием разработанного программно-аппаратного комплекса (ПАК), согласно которой в схеме скрининга блок термографической диагностики (ТГД ПАК) может быть использован для неинвазивной функциональной дифференциации патологического процесса, а блок лазерной интерференционной микроскопии (ЛИМ ПАК) – для дифференциации патологически измененных клеток биоптата и объективной оценки результатов цитодиагностики. Проведена верификация ТГД и ЛИМ методик с использованием клинических данных маммографии и гистологического анализа новообразований, соответственно.

Работа выполнена совместно с «ИМСС УрО РАН». Свидетельство на Программу для ЭВМ №№2020619888; 2020664645. Заявка на патент ЕАПО № 202000269.

(Рук. к.х.н., доцент Гришко В.В., grishvic@gmail.com).

ПФНИ 044: Фундаментальные основы химии.

Разработан метод синтеза новых производных карбазола, содержащих фрагмент *N, N*-диметиламинохалкона, окисление которых приводит к образованию олигомеров с хорошими электрохимическими характеристиками (низкое значение энергии ВЗМО в сочетании с высокой энергией НСМО и узкой шириной запрещенной зоны). Полученные результаты способствуют выявлению наиболее стабильных и эффективных с точки зрения оптоэлектронных характеристик структур.



Slobodinyuk D.G., Shklyayeva E.V., Abashev G.G. Electrochemical oxidation of asymmetric chalcones containing two terminal electroactive moieties // Journal of Applied Electrochemistry. 2020. Vol. 50. P.757–766. <https://doi.org/10.1007/s10800-020-01434-z>.

(Рук. д.х.н. Абашев Г.Г., g.g.abashev@mail.ru)

ПФНИ 045: Научные основы создания новых материалов с заданными свойствами и функциями, в том числе высокочистых и наноматериалов

1. В результате изучения процессов термоокислительной олигомеризации технических углеводородных смесей впервые было выявлено нелинейное изменение основных характеристик окисленных продуктов – температуры размягчения, выхода летучих веществ, фракционного состава, выхода реакционной воды. Это сопровождается увеличением содержания 3-,4-кольчатых полициклических ароматических углеводородов в сравнении с исходной смесью. Установлен механизм влияния 3-,4-кольчатых полициклических ароматических углеводородов на микроструктуру карбонизата окисленных продуктов. Механизм заключается в формировании немезогенных компонентов α_2 -фракции при термоокислении, образующих непланарные радикалы при термической деструкции в процессе карбонизации, которые не способны образовывать мезофазу, либо образуют мелкодисперсную мезофазу. При фиксированной концентрации мезогенных компонентов в конечном итоге формируется изотропная микроструктура карбонизата. Существенное изменение микроструктуры карбонизата, полученного из окисленных смесей, происходит только после определенной пороговой концентрации 3-,4-кольчатых полициклических ароматических углеводородов в исходной смеси – 50 % и 80 %, при прочих равных условиях термоокисления.

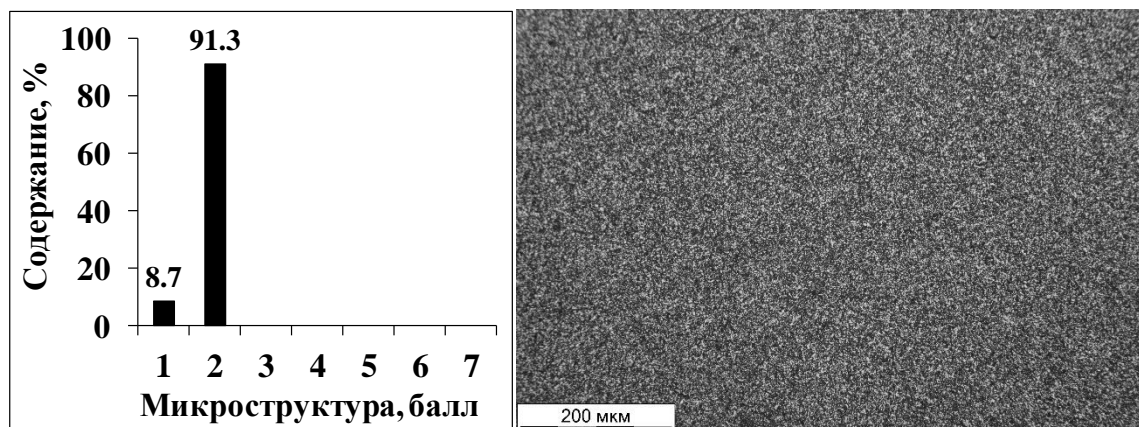


Рис. 1. Гистограмма распределения структурных элементов и микрофотография изотропного кокса

(Рук. к.т.н. Кисельков Д.М., dkiselkov@yandex.ru).

2. Впервые получены и описаны уретан-содержащие полимеры с повышенной абразивной стойкостью в широкой области варьирования твердости, в том числе и для низкомолекулярных эластомеров. Доказано, что, в отличие от известных теорий, абразивная стойкость полимера не связана пропорционально с содержанием в полимерной матрице жестких блоков, а представляет собой сложную функцию, определяемую в первую очередь фазовым состоянием полимера и типом используемого при синтезе диизоцианата. Наличие зависимости абразивного износа с минимумом (рисунок 2) объясняется ухудшением прочностных свойств сегментированных эластомеров при приближении концентрации

жестких сегментов в полимерной цепи к пороговому значению, когда указанные сегменты начинают формировать жесткие проходные цепи, обуславливая потерю материалом высокоэластичных свойств.

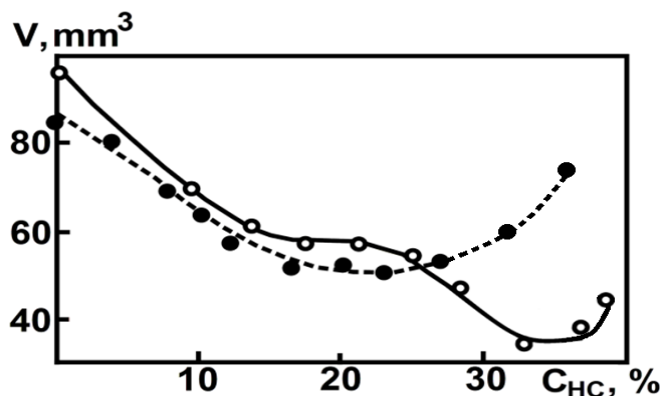


Рис. 2. Зависимость объемного износа образцов полиуретанмочевинных эластомеров по ГОСТ 23509-79/ISO 4649-85 от содержания жестких сегментов для серий, синтезированных эластомеров на основе толуиленидиизоцианата, метилен-о-бис-хлоранилина и олигоэфиров: простого — полиокситетраметилендиола с молекулярной массой 1000 (○) и сложного олигоэтилен-бутиленгликольадипината ПБА с молекулярной массой 2000 (●).

(Рук. чл.-корр. РАН Стрельников В.Н., svn@itch.perm.ru).

3. Установлено нетипичное реологическое поведение олигомерных наполненных систем с нанодисперсными компонентами. Показано, что введение в полимерную матрицу на основе олигодиеуретанэпоксида наноразмерного (20 нм) наполнителя, в сравнении с микроразмерным (200 мкм), приводит к изменениям кривых течения композиции, заключающемся в появлении точки пересечения кривых при увеличении и при уменьшении скорости сдвига (точка «С» на кривых 1, 3 на рисунке 3). Точка пересечения образует на гистерезисной кривой две области, расположенные ниже и выше точки «С». Появление этих областей связано со структурными образованиями частиц наполнителя, характеризуется преимущественно неразрушенной или разрушенной структурой частиц и зависит от температуры среды и режимов течения композиции, включая градиент скорости сдвига (D/t).

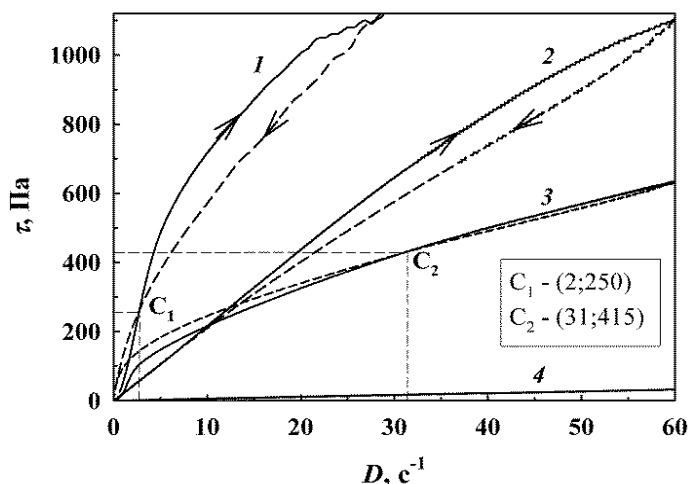


Рис. 3. Кривые течения композиции с микро- (2, 4, 30 % масс.) и наноразмерным (1, 3, 10 % масс.) наполнителями. Температура (°C): 1, 2 – 20, 3, 4 – 50. $D/t=0,03 \text{ c}^{-1}/\text{c}$.

(Рук. д.т.н., проф. Вальцифер В.А., valtsiferv@mail.ru)

«Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук» - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее – «ИЭГМ УрО РАН»).

ПФНИ 52. Биологическое разнообразие.

Расширено представление о разнообразии экстремотолерантных *Rhodococcus*-биодеструкторов сложных органических соединений, в том числе пентациклических тритерпеноидов (олеаноловой и урсоловой кислот), производных фенилуксусной (диклофенака натрия) и пропионовой (ибупрофена) кислот, сырой нефти и нефтепродуктов в объектах окружающей среды, а также влиянии родококков на процессы самоочищения водных и сухопутных экосистем. Особое внимание обращено на спектр возможностей и особенностей поведения эффективных *Rhodococcus*-инактиваторов сравнительно простых (соли тяжелых металлов) ксенобиотиков. Получены новые фундаментальные данные относительно универсальных черт и особенностей *Rhodococcus* (в основном в условиях индукции ферментного оксигеназного комплекса), новые факты о взаимодействии родококков с чужеродными соединениями и механизмах запускаемых ими защитных реакций на присутствие экотоксикантов. Полученные сведения дают понимание, более значительное и фундаментальное, чем полагали ранее, роли *Rhodococcus* в функционировании биосферы, в очищении или снижении токсичных компонентов в условиях экологической дестабилизации природной среды. Создают предпосылки и дополнительные возможности для разработки и реализации более совершенных экобиотехнологий очистки окружающей среды, обезвреживания или эффективного использования отходов, возникающих в ходе промышленного производства.

Материалы, представляемые в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

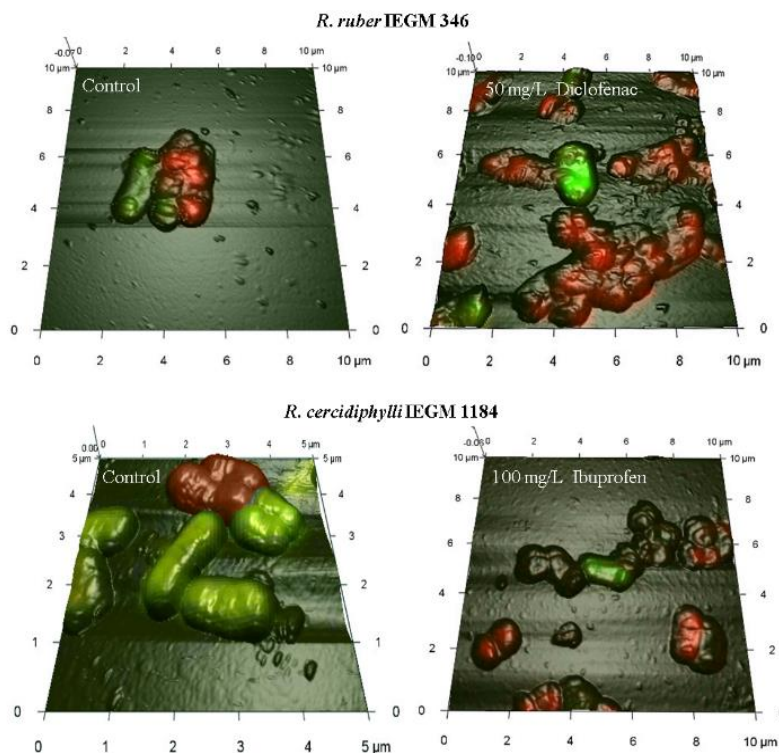


Рис. Совмещенные 3D АСМ-КЛСМ-изображения клеток *R. ruber* IEGM 346 и *R. cercidiphylli* IEGM 1184. Родококки выращивали в течение 10 сут. Красным свечением отмечены поврежденные клетки.

Под влиянием экотоксикантов наблюдается переход родококков от одиночного к многоклеточному существованию, сопровождающийся выраженной морфологической аномалией клеток (изменение их формы и размеров, параметров шероховатости клеточной

поверхности), смещением дзета-потенциала в область более отрицательных значений и снижением проницаемости клеточных мембран. Это, по-видимому, является адаптационным механизмом *Rhodococcus*, позволяющим бактериальной популяции адаптироваться в условиях, при которых одиночные клетки не способны к разложению ксенобиотика. Такой механизм защиты может быть предтечей запуска процесса образования биопленки.

Публикации

1. Тюмина Е.А., Бажутин Г.А., Картагена Гомез А.Д.П., Ившина И.Б. Нестероидные противовоспалительные средства как разновидность эмерджентных загрязнителей // Микробиология. 2020. Т. 89. № 2. С. 152–168. DOI: 10.31857/S0026365620020135. РИНЦ. Impact Factor 1.786.

Переводная версия. Tyumina E.A., Bazhutin G.A., Cartagena Gómez A.D.P., Ivshina I.B. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs as emerging contaminants. Microbiology. 2020, V. 89. No. 2. P. 148–163. DOI: 10.1134/S0026261720020125. ISSN 0026-2617. Web of Sciences, Scopus. Impact Factor 1.027. Q4.

2. Luchnikova N.A, Grishko V.V., Ivshina I.B. Biotransformation of oleanane and ursane triterpenic acids. Review // Molecules. 2020. 25(23). 5526. DOI: [10.3390/molecules25235526](https://doi.org/10.3390/molecules25235526). Web of Sciences, Scopus. Impact factor 3.27. Q2.

3. Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V. Extremolerant *Rhodococcus* as an important source for environmental biotechnology // In: Actinomycetes in Extreme Environments – An Unexhausted Source for Microbial Biotechnology. Editor: I. Kurtböke, Springer. Web of Sciences, Scopus. *В печати.*

Патенты

Феоктистова Е.В., Осипенко М.А., Няшин Ю.И., Куюкина М.С., Ившина И.Б.

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2020610504 Программный комплекс “Расчет динамики межфазного натяжения при образовании кластеров актинобактерий на границе углеводород – вода”. Правообладатели: ПНИПУ, ПГНИУ, ПФИЦ УрО РАН. Зарег. в Госреестре программ для ЭВМ 15.01.2020.

(Рук. академик РАН Ившина И.Б., т.(342) 280-81-14, e-mail: ivshina@iegm.ru)

ПФНИ 62. Биотехнология.

1. В условиях лабораторного биореактора и открытого полигона оптимизирован процесс обезвреживания нефтесодержащих отходов с помощью иммобилизованных актинобактерий рода *Rhodococcus*. Разработан комплекс мер по ремедиации нефтезагрязненных почвогрунтов с учетом возможных экологических рисков от применения отходов животноводства, вызванных присутствием в них эмерджентных загрязнителей – антибиотиков и других фармполлютантов, а также распространением антибиотикорезистентных микроорганизмов и соответствующих генов устойчивости. Для снижения данных рисков рекомендован анализ фенотипических профилей и генетических детерминант антибиотикорезистентности штаммов актинобактерий – потенциальных агентов биоремедиации. Проведенный биоинформатический анализ выявил в геномах *Rhodococcus* наличие 33 генов, кодирующих эффлюксные системы (17), инактивацию антибиотиков (7) и защиту/модификацию мишени (9), которые участвуют в формировании “антибиотикорезистоста” нефтезагрязненной почвы при селективном давлении со стороны экополлютантов – нефтяных углеводородов и солей тяжелых металлов.

Механизм резистентности/семейство генов	Гены (частота встречаемости)
Эффлюкс/RND суперсемейство (Resistance-Nodulation-Division)	<i>acrA</i> (1), <i>acrB</i> (1), <i>tetR/acrR</i> (27), <i>marR</i> (30)
Эффлюкс/MFS суперсемейство (Major)	<i>cmrA</i> (1), <i>emrB/gacA</i> (11), <i>emrD</i> (1), <i>mdtG</i> (2), <i>mdtH</i> (15), <i>mdtL</i> (4), <i>pmrA</i> (2),

Facilitator Superfamily)	<i>tetA</i> (2), <i>tetC</i> (2), <i>tetD</i> (2)
Эффлюкс/ABC суперсемейство АТФ-связывающих кассет (АТФ-binding Cassette)	<i>lmrA</i> (1)
Эффлюкс/пермеазы	<i>rarD</i> (26)
Инактивация/ β -лактамазы	<i>ampC</i> (4)
Инактивация /трансферазы	<i>aph</i> (13), <i>fosB</i> (1), <i>fosB2</i> (1), <i>catA1</i> (5), <i>vatD</i> (2)
Модификация мишени/6 разных семейств	<i>bacA</i> (1), <i>carB</i> (17), <i>folP</i> (16), <i>folA</i> (16), <i>pbp5</i> (1), <i>penA</i> (3), <i>vanA</i> (1), <i>vanYB</i> (1)
Защита мишени/ABC-F подсемейство АТФ-связывающих кассет – рибосомные защитные белки	<i>msrA</i> (23)
Замена мишени/ семейство сульфаниламид-устойчивых дигироптеорат синтаз	<i>sulI</i> (18)

Табл. 1. Детерминанты антибиотикорезистентности в геномах *Rhodococcus* – активных нефтедеструкторов

Публикации

1. Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V., Ivshina I.B. Advanced bioreactor treatments of hydrocarbon-containing wastewater // *Applied Sciences*. 2020. 10(3), 831. DOI: [10.3390/app10030831](https://doi.org/10.3390/app10030831). Impact Factor 2.52. Web of Sciences, Scopus. Q2.

2. Cunningham C.J., Kuyukina M.S., Ivshina I.B., Konev A.I., Peshkur T.A., Knapp C.W. Potential risks of antibiotic resistant bacteria and genes in bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soils // *Environmental Science: Processes & Impacts*. 2020. V. 22. P. 1110–1124. DOI: 10.1039/C9EM00606K. Impact Factor 2.688. Web of Sciences, Scopus. Q2.

3. Куюкина М.С., Варушкина А.М., Ившина И.Б. Влияние электропорации на чувствительность к антибиотикам и адгезию к *n*-гексадекану клеток *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 231 // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2020. Т. 56. № 6. С. 612–618. DOI: 10.31857/S0555109920060082. РИНЦ. Impact Factor 1.689.

Переводная версия. Kuyukina M.S., Varushkina A.M., Ivshina I.B. Effects of electroporation on antibiotic susceptibility and adhesive activity to *n*-hexadecane in *Rhodococcus ruber* IEGM 231. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2020. V. 56. No. 6. P. 729–735. DOI: 10.1134/S0003683820060083. Web of Sciences, Scopus. Impact Factor 1.022. Q4.

4. Ахунзянова И.Р., Елькин А.А., Куюкина М.С., Ившина И.Б. Биоремедиация нефтезагрязненного шлама с использованием *Rhodococcus*-биокатализатора // Сборник статей XII Всероссийского конгресса молодых ученых-биологов с международным участием. Пермь, 28–30 сентября 2020. С. 35–42.

(Рук. академик РАН Ившина И.Б., т.(342) 280-81-14, e-mail: ivshina@iegm.ru)

2. Выделены новые бактериальные штаммы, суспендированная биомасса и биопленки которых способны к деградации высоких концентраций пиридина. Из активного или коммунально-бытовых биологических очистных сооружений (БОС) г. Перми и локальных очистных сооружений предприятия ООО “ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез” (ПНОС) выделены и идентифицированы *Achromobacter pulmonis* (ПНОС) и *Burkholderia dolosa* (БОС), способные к деградации 0,8–15,8 г/л гидрохлорида пиридина. Изучена деградация пиридина в процессе роста обоих штаммов на среде с гидрохлоридом пиридина без дополнительных источников азота и углерода. Показано, что штаммы могут накапливать биомассу на среде с пиридином, используя его в качестве единственного источника углерода

и азота, при этом оптимальной концентрацией пиридина для роста выделенных штаммов является 4,0 г/л. Биопленки *A. pulmonis* ПНОС и *B. dolosa* БОС, выращенные на базальтовых и углеродных волокнах, эффективно утилизируют пиридин в процессе роста, причем наибольшая скорость утилизации пиридина, равная 1,8 г/(л сут), отмечена у биопленок *A. pulmonis* ПНОС на базальтовых волокнах. Биомасса этих штаммов может быть использована для биоаугментации активного ила в очистных сооружениях нефтеперерабатывающих и коксохимических предприятий либо в виде биопленок в составе биофильтра, что обеспечит более эффективную очистку стоков от этого соединения.

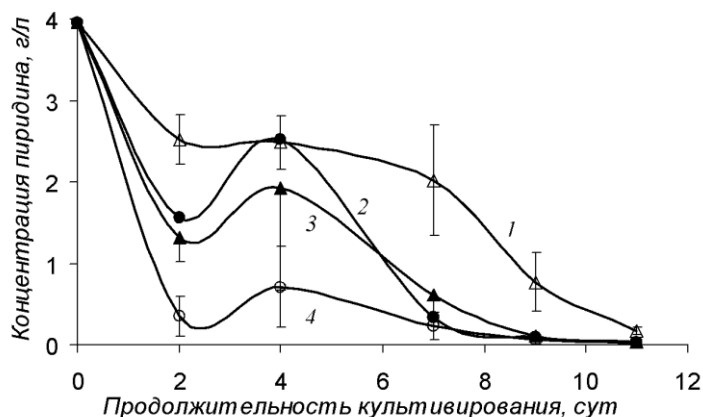


Рис.1. Утилизация пиридина биопленками *B. dolosa* БОС (1, 2) и *A. pulmonis* ПНОС (3, 4), выращенными на базальтовых волокнах (1, 4) и активированном Карбопоне (2, 3).

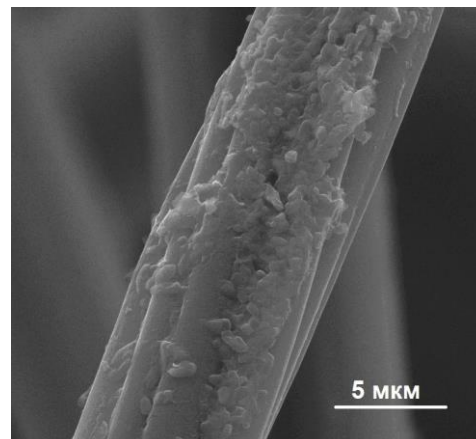


Рис.2. Биопленка *B. dolosa* БОС на активированном карбопоне

Максимова Ю.Г., Сергеева А.А., Овечкина Г.В., Максимов А.Ю. Дegrадация пиридина суспензиями и биопленками штаммов *Achromobacter pulmonis* ПНОС и *Burkholderia dolosa* БОС, выделенных из активного ила очистных сооружений // Биотехнология. 2020. Т. 36, № 2. С. 86–98.

(Рук. чл.-корр. РАН Демаков В.А., т. (342) 280-74-42, e-mail: demakov@iegm.ru).

ПФНИ 55. Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов

1. Установлено, что воздействие фторхинолоновых антибиотиков на *E. coli* индуцирует защитные функции клеток, реализуемые при участии полиаминов. При этом внутриклеточная концентрация путресцина и спермидина достигает максимальных значений в течение первых двух часов, что приводит к резкому падению проницаемости пориновых каналов клеточной оболочки. Последующее снижение содержания указанных полиаминов сопровождается замедлением скорости падения пориновой проницаемости на фоне возрастания уровня кадаверина в клетках. Снижение проницаемости клеточной стенки *E. coli* для антибиотиков обусловлено, по меньшей мере, тремя различными механизмами действия полиаминов: прямым отрицательным действием на транспортную активность пориновых каналов, ограничением синтеза пориновых белков на уровне транскрипции, опосредованным через стимуляцию синтеза RpoS, и положительной модуляции экспрессии *micF*, отрицательно регулирующей экспрессию гена *ompF*, ответственного за синтез пориновых каналов.

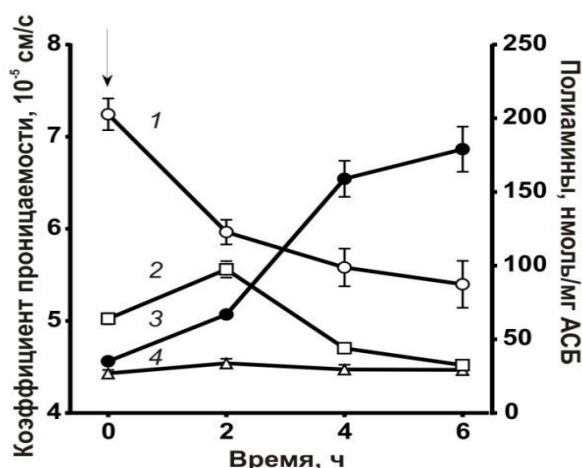


Рис. 1. Изменение проницаемости клеточной стенки (1), содержания путресцина (2), кадаверина (3) и спермидина (4), вызванное воздействием 0.036 мкг/мл пefлоксацина: Стрелкой обозначен момент внесения антибиотика.

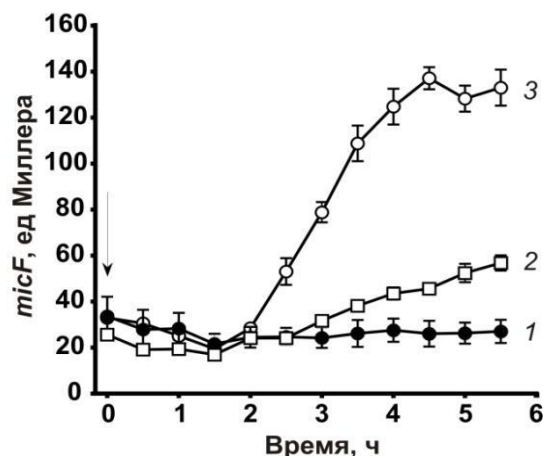


Рис 2. Изменение экспрессии гена *micF* в клетках *E. coli* N9212 в ответ на воздействие антибиотиков: 1 – контроль в отсутствие антибиотика, 2 – 0.012 мкг/мл левофлоксацина, 3 – 0.042 мкг/мл пefлоксацина. Стрелкой обозначен момент внесения антибиотико

(Рук. д.м.н. Ткаченко А.Г., т. (342) 212-21-59, e-mail: agtkachenko@iegm.ru).

2. Установлено, что биогенные полиамины оказывают влияние на свойства поверхности клеток *Mycobacterium smegmatis*. Присутствие в среде культивирования спермидина и спермина значительно изменяет способность к скольжению и заряд клеточной поверхности, однако не влияет на степень ее гидрофобности/гидрофильности. В присутствии полиаминов усиливается агрегация клеток и способность к формированию биопленок. В то же время, полиамины снижают чувствительность к антибиотикам как планктонных форм микобактерий, так и биопленок, что может быть обусловлено действием этих соединений на поверхностные структуры клеток. Впервые показано, что спермин усиливает действие рифампицина, что может представлять интерес с точки зрения терапии заболеваний, вызванных микобактериями.

(а)

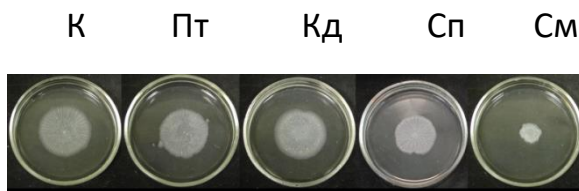
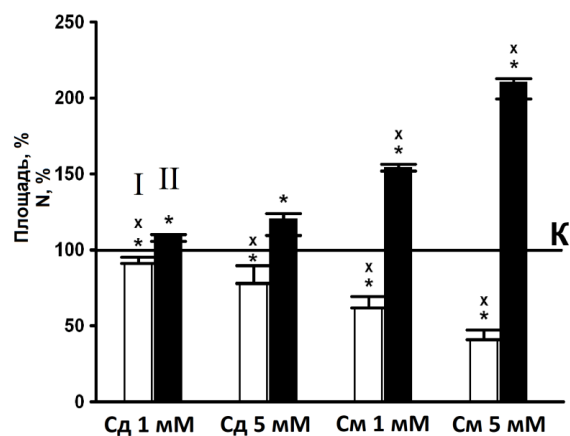


Рис 1. Влияние полиаминов на площадь и плотность скользящих колоний *M. smegmatis*: а – скользящие колонии при добавлении в среду 5 мМ полиаминов, б – изменение размера и плотности скользящих колоний в присутствии Сд и См. N – число клеток на мм² колонии; К – контроль; Пт – путресцин; Кд – кадаверин; Сд – спермидин; См – спермин. I – площадь колоний; II – число клеток на мм² колонии. I и II рассчитаны в % относительно контроля. На графиках приведены значения медианы и 1, 3 квартилей. * Статистически значимое отличие от контроля (с использованием критерия Манна–Уитни, $p \leq 0.05$)*Статистически значимое отличие между разными концентрациями одного полиамина (с использованием критерия Манна–Уитни, $p \leq 0.05$).

(б)



3. Бактерии *E. coli*, растущие в аэробных условиях, генерируют непрерывные потоки супероксида и глутатиона (GSH) из цитоплазмы в периплазму и в среду, что может иметь большое значение для поддержания редокс-баланса клеток. Мы показали, что в условиях постепенного снижения концентрации растворенного кислорода в среде координированный контроль этих потоков и их взаимодействие с внутриклеточными антиоксидантными системами осуществляется с участием глобальной регуляторной системы ArcB/ArcA. В микроаэробных условиях ArcB индуцирует экспорт GSH через транспортную систему CydDC и одновременно подавляет экспрессию гена *sodA*, кодирующего цитоплазматическую супероксиддисмутазу MnSOD.

Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N. Study of the relationship between extracellular superoxide and glutathione production in batch cultures of *Escherichia coli*. Research in Microbiology 2020. DOI: 10.1016/j.resmic.2020.07.004 (Q1 Scopus; IF WoS 3.315)

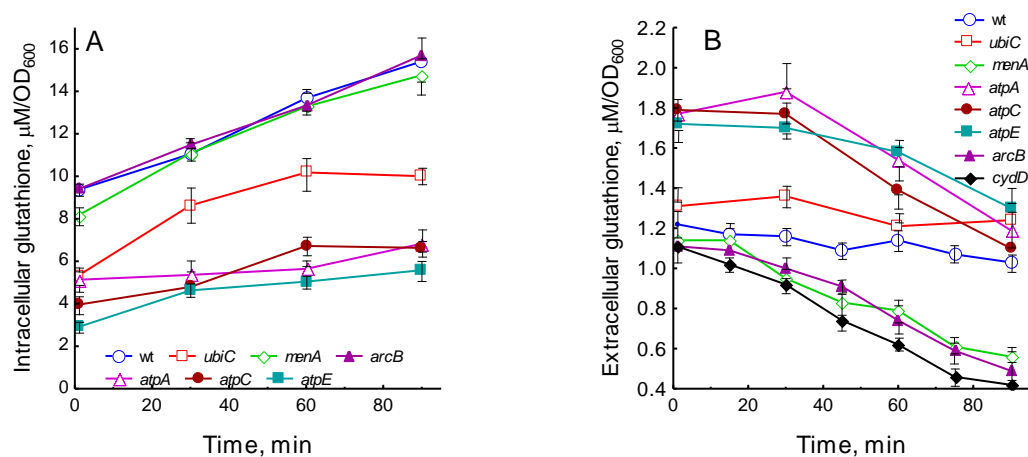


Рис. Изменение уровней внутриклеточного (А) и внеклеточного (В) глутатиона при росте *E. coli* в периодической культуре.

Выход GSH из клеток максимален у мутантов по АТФ-синтетазе (*atpA*, *atpC*, *atpE*), у которых ArcB находится в восстановленном состоянии и стимулирует экспортер CydDC. Мутанты *menA*, *arcB* и *cydD* с нарушенной регуляцией экспортера CydDC утрачивают способность к экспорту GSH при переходе культуры к микроаэробным условиям по мере повышения плотности биомассы.

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства - филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее – Пермский НИИСХ).

ПФНИ 151. Теория и принципы разработки и формирования технологий возделывания экономически значимых сельскохозяйственных культур в целях конструирования высокопродуктивных агрофитоценозов и агроэкосистем.

Приемы возделывания левзеи сафлоровидной на корм в Предуралье.

Аннотация:

Самостоятельное региональное устойчивое продовольственное обеспечение возможно, при условии стабилизации и совершенствовании кормовой базы, эта задача решается путем вовлечения в производство высокопродуктивных видов и сортов кормовых растений, а также за счет интродукции, наиболее полно использующих природно-климатические условия региона. Сотрудниками лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ разработаны приемы возделывания на корм новой для условий Предуралья культуры - левзеи сафлоровидной. Установлена оптимальная норма высева и способ посева. Отмечено высокое качество получаемого корма. Культура пластична, даёт высокую урожайность зелёной массы.



Рис. 1. Левзея сафлоровидная

Матолинец Д.А., Волошин В.А., Майсак Г.П. Приёмы возделывания левзеи сафлоровидной на корм в Предуралье. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО» 2020. – 24 с.

(Рук. д.с.-х.н. Волошин В.А., e-mail: korm.pro2015@yandex.ru)

ПФНИ 143. Теория, критерии и индикаторы естественной и антропогенной трансформации почв в различных природно-климатических зонах России в целях сохранения и рационального использования почвенного плодородия и производства качественной растениеводческой продукции в условиях техногенеза и изменения климата.

ПФНИ 142. Фундаментальные основы создания систем земледелия и агротехнологий нового поколения, с целью сохранения и воспроизводства почвенного плодородия, эффективного использования природно-ресурсного потенциала агроландшафтов и производства заданного количества и качества сельскохозяйственной продукции.

Обобщены результаты исследований в длительных стационарных опытах. Определена динамика показателей плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур за сорок лет (пять ротаций классического полевого севооборота). Систематическое изучение различных элементов технологий возделывания сельскохозяйственных культур в длительных стационарных опытах позволило разработать механизм рационального использования земельных ресурсов и обеспечить сохранение почвы, ее основных свойств, как особого природного тела, имеющего исключительно важное значение в поддержании жизни на Земле.

Zav'yalova N.E., Vasbieva M.T., Fomin D.S. Microbial Biomass, Respiratory Activity and Nitrogen Fixation in Soddy-Podzolic Soils of the Pre-Urals Area under Various Agricultural Uses // Eurasian Soil Science. 2020. V.53. P. 383–388. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42414362>, <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1064229320030126>).



(Рук. к.с.-х.н. Корляков К.Н., e-mail: korlyakovkn@rambler.ru)

Отдел истории, археологии и этнографии ПФИЦ УрО РАН

ПФНИ 190. Изучение эволюции человека, обществ и цивилизаций, человек в истории и история повседневности, традиции и инновации в общественном развитии, анализ взаимоотношений власти и общества.

В процессе многолетних исследований Рождественского городища, получены новые данные об особенностях жилищ – от технологии возведения самих построек до специфики обустройства интерьера. Все жилища построены в каркасно-столбовой технике с закладкой поперечных бревен или плах как в пазы стояков, так и между ними. В основании двускатной кровли находились опорные столбы, установленные в 1-3 ряда вдоль условной оси жилищ. Жилища представляли собой прочные долговременные постройки, просторные и вполне комфортно обустроенные, что не соотносится с прежними представлениями о средневековом жилище, как об «утепленном шалаше». Городище имело радиальную планировку, при которой улицы веером расходились от наиболее высокой части городища в сторону обрыва к р.Обва, при этом плотность застройки была очень высока. Такая планировка типична для многих средневековых городов.

Крыласова Н.Б., Белавин А.М. жилища и планировка рождественского городища: к вопросу об особенностях средневекового домостроительства у финно-угорского населения пермского предуралья // Труды КАЭЭ. Вып. XVI. С.3-14 DOI: 10.24411/2658-7637-2020-11601.

(Рук. д.и.н. Белавин А.М., e-mail: belavin@pspu.ru;
д.и.н. Крыласова Н.Б., e-mail: n.krylasova@mail.ru).

В мастерской медника на Рождественском городище собрана выразительная серия медных заклепок на всех стадиях изготовления, позволяющая детально реконструировать весь процесс их производства. Клепка имела вспомогательное значение, использовалась при креплении к посуде деталей (ручек, ушек) или при ремонте. Тот факт, что мастер специализировался на ремонте медной посуды, не вызывает сомнений. Здесь фиксируются все стадии производства, начиная от литья медных заготовок,ковки пластин (наличие не до конца прокованных литых медных листов), раскроя деталей (обрезки пластин, в том числе с нарезкой зубцов для сборки «в расцеп») и других признаков, что позволяет это предполагать. По предварительным оценкам, мастерская медника функционировала в к. XI – XII вв.

Крыласова Н.Б., Подосенова Ю.А. Медницкое дело в средневековом городке (по материалам раскопок 2018 года на рождественском городище) // Вестник Пермского университета. История. 2020. № 1 (48). С. 62-7 doi 10.17072/2219-3111-2020-1-62-70.

(Рук. д.и.н. Крыласова Н.Б., e-mail: n.krylasova@mail.ru; к.и.н. Подосёнова Ю.А.).

ПФНИ 186. Комплексное исследование этногенеза, этнокультурного облика народов, современных этнических процессов, историко-культурного взаимодействия в России и мире

Описаны комплексы традиционных костюмов русских и удмуртов Пермского края на основе архивных, опубликованных в печати, музейных и полученных в результате полевых исследований этнографических источников проанализированы особенности традиционного костюма. Рассмотрены особенности каждого из элементов, отдельные производственные, праздничные и обрядовые комплекты одежды, специфика развития костюма на протяжении второй половины XIX – начала XX века, локальное своеобразие мужской одежды отдельных районов. Монография включает рисунки кроя, фотографии и иллюстрации, отражающие особенности регионального комплекса мужской одежды.

Черных А.В. Традиционный костюм народов Пермского края. Удмурты. СПб.: Изд-во «Маматов, 2020. – 468 с. Тираж - 500 с. ISBN 978-5-91076-210-1.

Черных А.В. Традиционный костюм народов Пермского края. Русские. Мужская одежда. СПб.: Изд-во «Маматов, 2020. – 540 с. Тираж - 500 с. ISBN 978-5-91076-212-5.

(Рук. д.и.н, член-корр. РАН А.В. Черных, e-mail: e-mail: atschernych@yandex.ru).

Отдел по исследованию политических институтов и процессов ПФИЦ УрО РАН

ПФНИ 091: Институциональный анализ политической трансформации России, методологические проблемы. Разработка социальных технологий управления обществом в постиндустриальный период.

Материалы, представляемые в доклад Президенту Российской Федерации и в Правительство Российской Федерации; в доклад председателя УрО РАН; в отчет УрО РАН

Объяснение кросс-региональной и кросс-муниципальной вариативности в поддержке парламентских оппозиционных политических партий (КПРФ, ЛДПР и СР) на выборах депутатов Государственной Думы РФ в 2016 г. строилось на сочетании двух теоретических моделей: электоральной мобилизации и экономического голосования. Применение регрессионного анализа позволило выявить базовые различия в электоральной поддержке партий парламентской системной оппозиции. Социально-экономическое неблагополучие населения (уровень бедности) в административно-территориальной единице оказывает позитивное влияние на электоральную поддержку только КПРФ. Более высокая доля русских в составе населения административно-территориальной единицы усиливает электоральную поддержку только ЛДПР. В свою очередь электоральная поддержка СР преимущественно зависит от персональных качеств местных лидеров.

Panov P., Ross C. Factors of Voting for Systemic Opposition Parties in Russia: Regional and Local Dimensions // Regional and Federal Studies. 2021 (в печати) (Scopus; Q1).

(Рук. д. полит н. Панов П.В., e-mail: panov.petr@gmail.com).

1.2. Краткие сведения о важнейших исследованиях и разработках в 2020 году, готовых к практическому применению

ПФНИ 023. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред

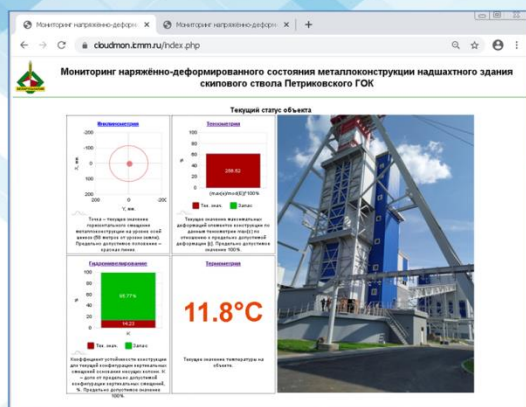
1. Разработана и создана автоматизированная система мониторинга деформационных процессов в элементах конструкции скипового ствола Петриковского горно-обогатительного комбината (ОАО «Беларуськалий», Республика Беларусь)

Разработана и создана автоматизированная система мониторинга деформационных процессов (АСМДП) в элементах высотной металлоконструкции скипового ствола. Эта система в онлайн-режиме осуществляет регистрацию, контроль, математическую обработку и прогноз деформационной (прочностной) безопасности сооружения от действия статических и динамических эксплуатационных нагрузок.

Аннотация

Разработана и создана автоматизированная система мониторинга деформационных процессов (АСМДП) в элементах высотной металлоконструкции скипового ствола, испытывающей действие различных статических и динамических эксплуатационных нагрузок. Разработка концепции структуры и состава основных элементов системы осуществлена на основе математического моделирования возможных сценариев деформационного поведения конструкции в критических ситуациях.

Автоматизированная система мониторинга деформационных процессов в элементах конструкции скипового ствола Петриковского ГОК (ОАО «Беларуськалий», Республика Беларусь)



Титульная страница сайта системы мониторинга

Создана автоматизированная система мониторинга деформационных процессов в элементах высотной металлоконструкции скипового ствола, испытывающей действие статических и динамических эксплуатационных нагрузок.

Разработка концепции структуры и состава элементов системы осуществлена на основе математического моделирования сценариев деформационного поведения конструкции в критических ситуациях.

В инструментальной, аппаратной и информационной компонентах системы использованы авторские разработки, позволившие в онлайн-режиме осуществлять регистрацию и анализ предвестников перехода к неупругим деформационным процессам в элементах конструкции.

Разработан алгоритм, позволяющий по накопленным данным мониторинга осуществлять прогноз периода безопасной эксплуатации конструкции.

В инструментальной, аппаратной и информационной компонентах системы использованы авторские разработки, позволившие в онлайн-режиме осуществлять регистрацию и анализ предвестников перехода деформационных процессов в элементах конструкции от упругих к неупругим. Разработан алгоритм, позволяющий по накопленным данным мониторинга осуществлять прогноз периода безопасной эксплуатации конструкции.

(Рук. д.ф.м.н. Шардаков И.Н., т.(342) 237-83-18, e-mail: shardakov@icmm.ru).

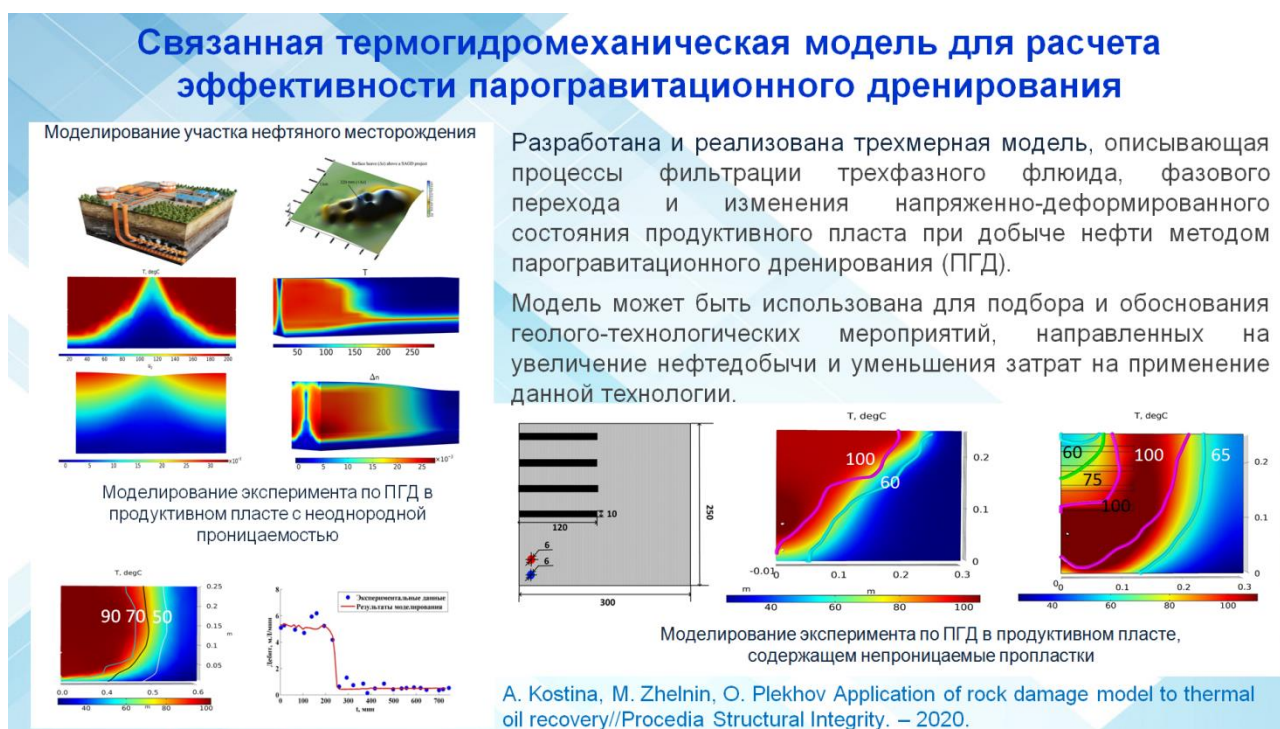
Институт-разработчик: «ИМСС УРО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН.

2. Разработана модель расчета процесса парогравитационного дренирования (ПГД) нефтяного пласта.

Аннотация

Разработана трехмерная связанная термогидромеханическая модель, описывающая процесс добычи высоковязкой нефти методом парогравитационного дренирования. Ключевой особенностью модели является учет взаимовлияния нестационарных процессов тепло- и массопереноса с эволюцией фильтрационно-емкостных свойств продуктивного пласта, вызванных изменением его напряженно-деформированного состояния.

Верификация модели проводилась на основе лабораторных экспериментов по распространению паровой камеры как в однородных, так и в неоднородных продуктивных пластах. Разработанная модель позволяет анализировать влияние на дебит нефти как технологических особенностей реализации данного метода, приводящих к неоднородному распределению паровой камеры вдоль горизонтального ствола скважины, так и гидро-геологических особенностей нефтяного пласта-коллектора, что делает возможным ее применение в качестве инструмента для подбора оптимальных условий достижения максимальной нефтеотдачи на конкретном месторождении.



(Рук. д.ф.м.н. Плехов О.А., т.(342) 237-83-21, e-mail: poa@icmm.ru).

Институт-разработчик: «ИМСС УРО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН.

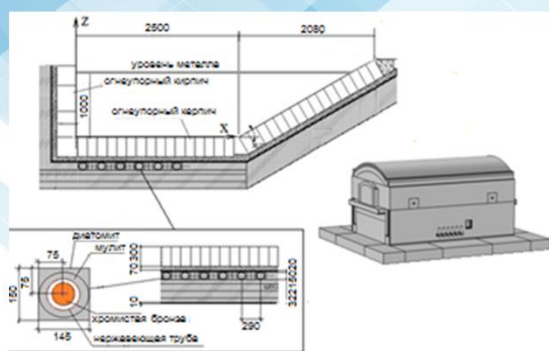
22. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва

3. Разработана концепция алюминиевой печи с МГД-перемешиванием.

Аннотация

На основе предложенной авторами концепции алюминиевой печи с МГД-перемешиванием, произведены расчеты тепловых и электродинамических параметров стержневого индуктора бегущего магнитного поля, работающего на трехфазном токе промышленной частоты, с разработанным авторами устройством охлаждения стержней индуктора путем создания термогравитационной конвекции воздуха. проведен расчет поля скоростей, температуры и распределения внесенной примеси при различных режимах МГД-перемешивания в ванне промышленной печи на 30т алюминия. На основании проведенных расчетов можно спроектировать и построить промышленную печь с повышенной производительностью и качеством получаемого металла.

Концепция алюминиевой печи с МГД-перемешиванием



Поперечный разрез ванны печи на 30т жидкого алюминия или его сплава. Внешний вид печи и расположение токоведущих стержней под подиной ванны.

Эскиз выполнен на основе материалов технических условий промышленной алюминиевой печи.

На основе предложенной авторами концепции алюминиевой печи с МГД-перемешиванием, произведены расчеты тепловых и электродинамических параметров стержневого индуктора бегущего магнитного поля работающего на трехфазном токе промышленной частоты с разработанным авторами устройством охлаждения стержней индуктора путем создания термогравитационной конвекции воздуха.

Проведен расчет поля скоростей, температуры и распределения внесенной примеси при различных режимах МГД-перемешивания в ванне промышленной печи на 30т алюминия.

На основании проведенных расчетов возможно спроектировать и построить промышленную печь с повышенной производительностью и качеством получаемого металла.

S. Khripchenko, M. Zhelnin, A. Kostina, A. Prokhorov, O. Plekhov Stirring of aluminum in the bath of industrial aluminum furnace with a rod inductor generating a traveling magnetic field *Magnetohydrodynamics* 2020 Vol 56, №4

S. Khripchenko, M. Zhelnin, A. Kostina, A. Prokhorov, O. Plekhov Stirring of aluminum in the bath of industrial aluminum furnace with a rod inductor generating a traveling magnetic field // *Magnetohydrodynamics*, 2020 Vol 56, №4 (Q2)

(Рук. д.т.н. Хрипченко С.Ю., т. (342) 237-83-06, khripch@icmm.ru).

Институт-разработчик: «ИМСС УРО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН.

ПФНИ 132. Комплексное освоение и сохранение недр Земли, инновационные процессы разработки месторождений полезных ископаемых и глубокой переработки минерального сырья.

1. Разработаны исходные данные по кондиционированию воздуха в горных выработках глубокого калийного рудника, характеризующихся неблагоприятным микроклиматом и большими тепловыделениями от окружающего породного массива и работающей техники. Обоснована новая система нормирования микроклиматических условий и оценки условий труда в нагревающем микроклимате горных выработок, которая учитывает не только температуру воздуха, но также и охлаждающий эффект от влажности и скорости движения воздуха. В результате это позволило обосновать и обеспечить безопасные условия труда горнорабочих в горных выработках рудника.

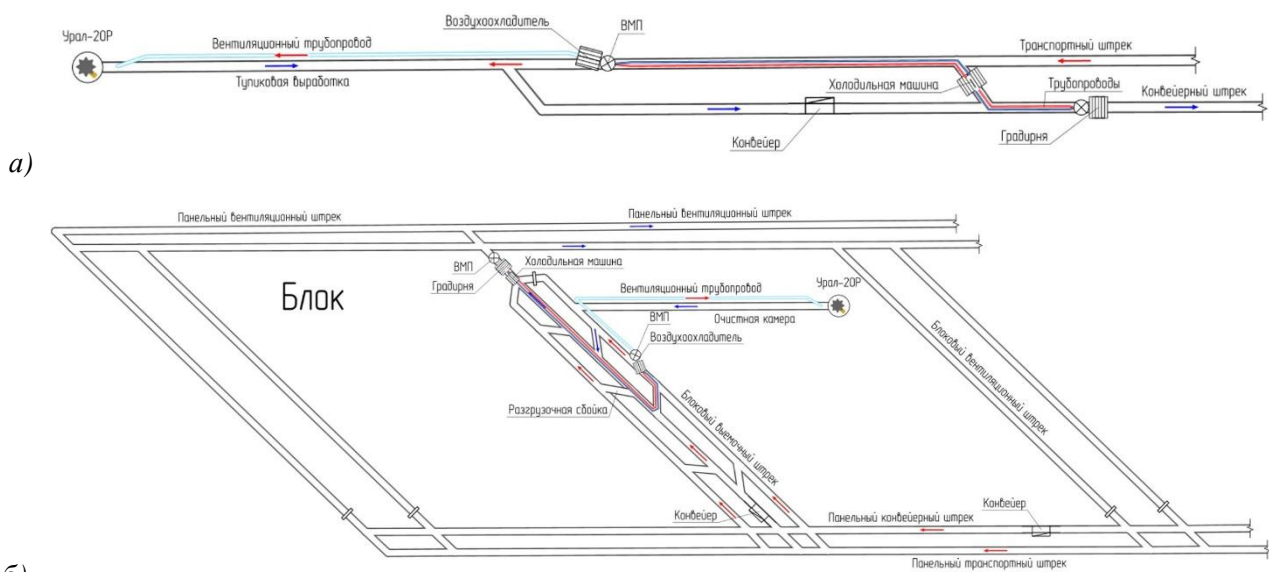


Рис. Технологическая схема расстановки агрегатов системы кондиционирования воздуха в подготовительных (а) и блоковых (б) выработках

Институт-разработчик: «ГИ УРО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН.

Область возможного использования: рабочие зоны шахт и рудников с неблагоприятным микроклиматом.

Степень готовности разработки: разработана документация – исходные данные для проектирования системы кондиционирования.

Возможный технический и (или) экономический эффект от внедрения: внедрение системы кондиционирования воздуха в горных выработках в комплексе с новой системой нормирования микроклиматических условий позволит обеспечить безопасное и безаварийное (по фактору высоких температур) ведение горных работ при минимально возможных энергозатратах на проветривание и кондиционирование воздуха на руднике.

2. Разработаны исходные данные для проекта повторной отработки запасов природно-техногенного сильвинитового пласта КрII для условий Верхнекамского месторождения калийных солей. Проведены натурные испытания крупномасштабных образцов, установлены механические свойства пород пласта КрII. Для оценки степени нагружения неоднородных междукамерных целиков, оставляемых при повторной отработке запасов, использованы методы математического моделирования. Рассчитано и обосновано несколько вариантов технологических схем повторной отработки природно-техногенного пласта КрII, обеспечивающих приемлемые технико-экономические показатели и безопасные условия ведения горных работ.

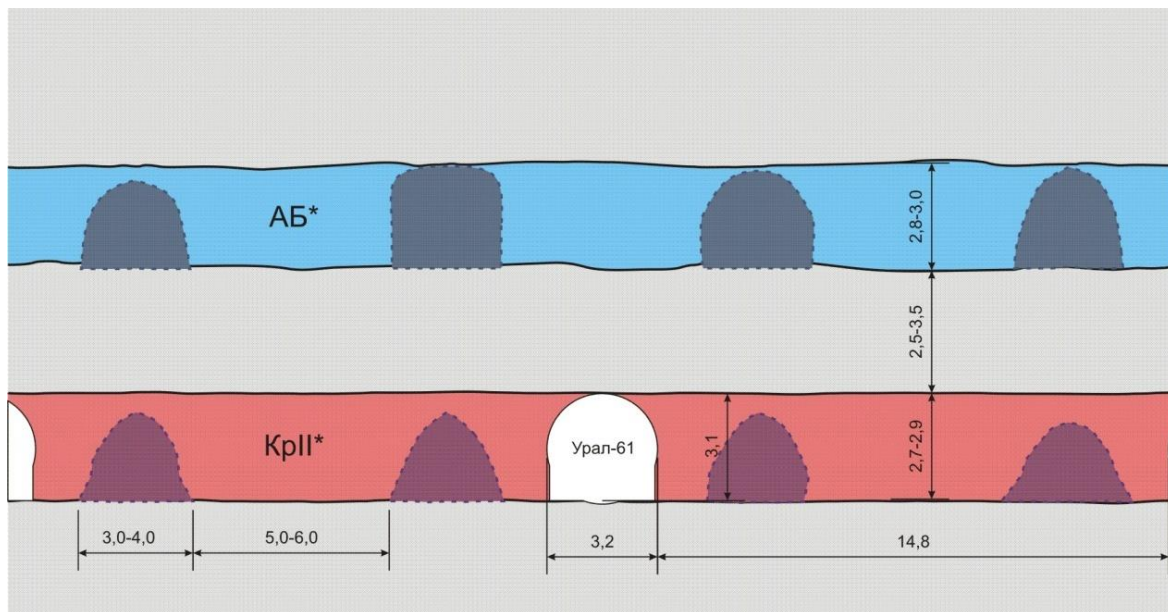


Рис. Схема отработки техногенного пласта

Институт-разработчик: «ГИ УРО РАН» - филиал ПФИЦ УрО РАН.

Область возможного использования: калийные рудники.

Степень готовности разработки: разработана документация – исходные данные для проекта

Возможный технический и (или) экономический эффект от внедрения: Повторная отработка существенно повысит извлечение промышленных запасов из недр и увеличит срок службы калийных предприятий без значительных капитальных затрат на разведку и подготовку новых участков.