

Важнейшие результаты научно-исследовательской деятельности Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН в рамках Программы фундаментальных и поисковых научных исследований на 2021-2030 годы, полученные в 2021 году

(Обозначения:

Полужирный шрифт – материалы, планируемые для представления в доклад Президента РФ;

(*) – материалы, планируемые для представления в доклад председателя УрО РАН;

(**) - материалы, планируемые для представления в отчет УрО РАН).

«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»).

Подготовлены в соответствии с «Программой фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 годы», утвержденной распоряжением Правительства РФ 31.12.2020г. № 3684-р.

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

1. Измерение деформаций розетками из датчиков на волоконных брэгговских решётках, встроенных в полимерный композиционный материал. (**)

На основе численных и физических экспериментов выполнен комплексный анализ достоверности значений деформаций, полученных на основе физических величин, регистрируемых розетками из волоконно-оптических датчиков деформаций, встроенных в полимерный композиционный материал.

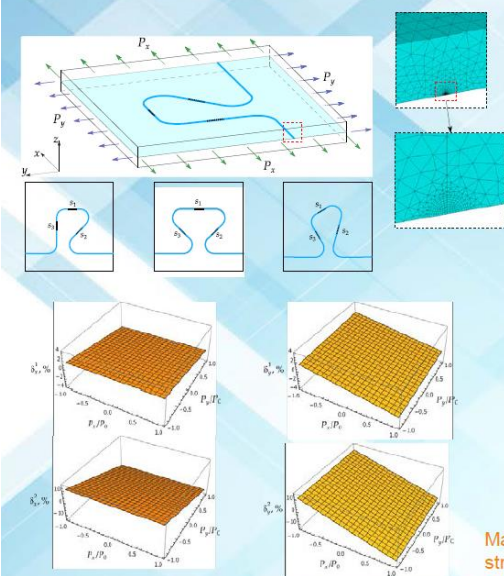
Аннотация

Представлены экспериментальные и теоретические результаты по измерению деформаций розетками на основе ВБР, встроенными в полимерный композиционный материал (ПКМ). Образцы в форме креста нагружались усилиями в его плоскости в разных направлениях. При вычислении деформаций на основе измеренных физических величин отраженного оптического спектра использовалось допущение об одноосном напряженном состоянии в оптическом волокне, встроенном в материал. Достоверность представляемых результатов измерения деформаций розетками на основе ВБР подтверждена удовлетворительным совпадением с результатами измерения деформаций оптической системой Vic-3D.

В отличие от теоретических результатов о наличии двух пиков на отраженном оптическом спектре в реализованных экспериментах получены отраженные оптические спектры с одним пиком. Для объяснения этого противоречия представлены результаты численного моделирования, которые качественно и количественно объясняют различие теоретических и полученных в эксперименте отраженных оптических спектров. При обсуждении полученных экспериментальных результатов методами численного моделирования, показано существенное влияние погрешности в информации об углах ориентации датчиков на результаты вычисления деформаций на основе соотношения для розеток. Отмечается, что при вычислении деформаций с использованием допущения об одноосном напряженном состоянии в оптическом волокне, встроенном в материал и наличии двух пиков на отраженном оптическом спектре имеет место проблема, связанная с

выбором одного из них для вычисления деформаций. Представлена цифровая модель экспериментального образца со встроенной розеткой и результаты численных расчетов погрешности вычисленных значений деформаций при использовании допущения об одноосном напряженном состоянии в оптическом волокне и информации о теоретическом отраженном спектре с двумя пиками. Полученные результаты демонстрируют, что информация об одном из пиков обеспечивает существенно меньшую погрешность вычисления значений деформаций. В связи с тем, что для выбора пика, обеспечивающего меньшую погрешность значений деформаций на данный момент нет методик, на основе результатов моделирования предлагается при наличии на отраженном спектре двух пиков использовать для вычисления деформаций их среднее арифметическое значение.

Измерение деформаций розетками из датчиков на волоконных брэгговских решётках, встроенных в полимерный композиционный материал



На основе численных и физических экспериментов выполнен комплексный анализ достоверности значений деформаций, полученных на основе физических величин, регистрируемых розетками из волоконно-оптических датчиков деформаций, встроенных в полимерный композиционный материал.

Получены экспериментальные и теоретические результаты по измерению деформаций розетками на основе ВБР, встроенными в полимерный композиционный материал. В отличие от результатов численного моделирования о наличии двух пиков на отраженном оптическом спектре в реализованных экспериментах получены отраженные оптические спектры с одним пиком. Для объяснения этого противоречия представлены результаты численного моделирования, которые качественно и количественно объясняют различие теоретических и полученных в эксперименте отраженных оптических спектров.

Предложена цифровая модель экспериментального образца со встроенной розеткой и получены результаты численных расчетов погрешности вычисленных значений деформаций при использовании допущения об одноосном напряженном состоянии в оптическом волокне и информации о теоретическом отраженном спектре с двумя пиками. На основе результатов моделирования предлагается при наличии на отраженном спектре двух пиков использовать для вычисления деформаций их среднее арифметическое значение.

Matveenko V.P., Kosheleva N.A., Serovaev G.S., Fedorov A.Y. Analysis of reliability of strain measurements made with the fiber Bragg grating sensor rosettes embedded in a polymer composite material // *Sensors*. 2021, 21(15), 5050.

Matveenko V.P., Kosheleva N.A., Serovaev G.S., Fedorov A.Y. Analysis of reliability of strain measurements made with the fiber Bragg grating sensor rosettes embedded in a polymer composite material // *Sensors*. — 2021. — Vol. 21, No. 15. — pp. 5050.

(Рук. д.т.н. Матвеевко В.П., т.(342) 237-84-61, e-mail: mvp@icmm.ru).

2. Проектирование на основе численных моделей прослоек между материалами с минимальным уровнем напряжений на контактных поверхностях. (**)

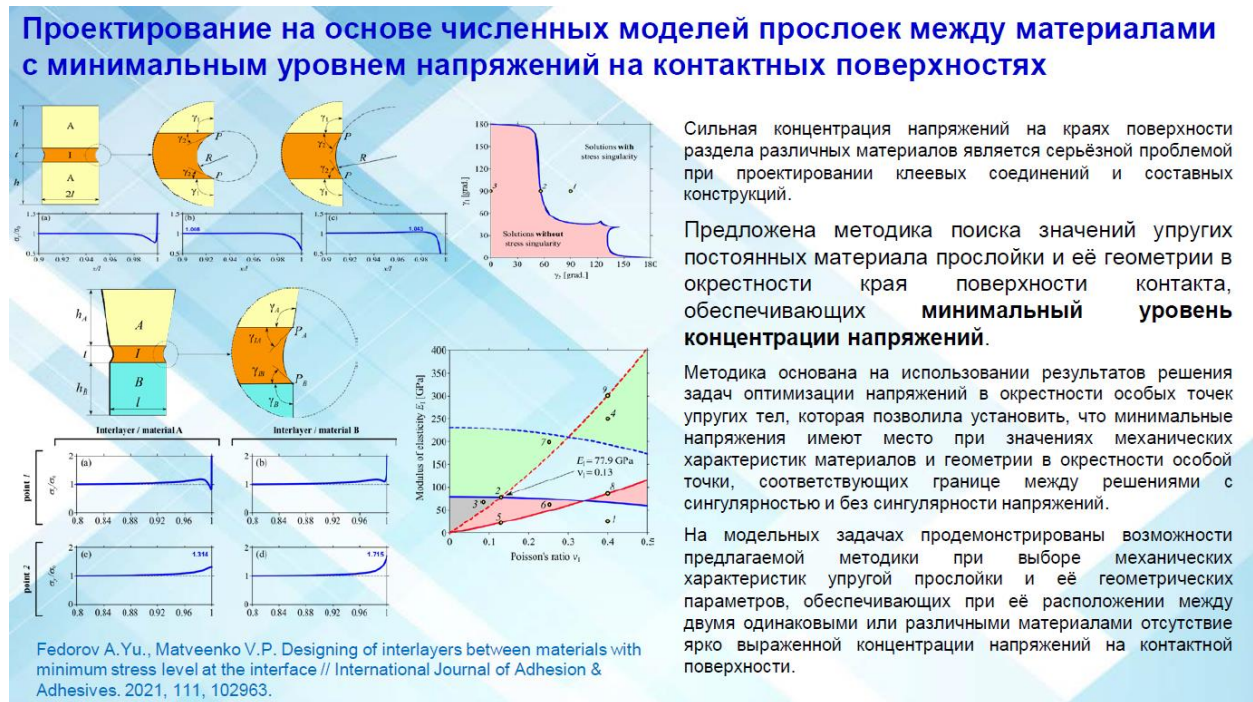
На основе результатов использования напряженно-деформированного состояния в окрестности особых точек упругих тел разработана методика выбора механических характеристик упругой прослойки и её геометрических параметров, которые обеспечивают при её расположении между двумя различными однородными или функционально-градиентными материалами отсутствие концентрации напряжений на контактных поверхностях.

Аннотация

Разработана методика выбора характеристик прослойки, соединяющей два одинаковых или различных материалов и обеспечивающей минимальные значения максимальных напряжений на поверхности контакта материалов. В качестве параметров, обеспечивающих снижение концентрации напряжений рассматриваются упругие константы материала прослойки и углы сопряжения контактирующих материалов. Методика основана на использовании результатов решения задачи оптимизации напряжённого состояния в окрестности особых точек упругих тел, которые показали, что оптимальные варианты находятся на границе решений с сингулярностью и без сингулярности напряжений. Для практического использования этого заключения приводятся

результаты, позволяющие построить области параметров, определяющие решения с сингулярностью и без сингулярности напряжений. Приведённые результаты дополняют известную информацию о характерных свойствах параметров, определяющих минимальный уровень напряжений в окрестности особых точек, в задачах, где имеют место особые точки достаточно близко расположенные друг к другу.

Полученные результаты демонстрируют возможность определения упругих характеристик и геометрии прослойки из однородного или функционально-градиентного материала, обеспечивающих минимальные значения максимальных напряжений на поверхностях контакта различных материалов.



Fedorov A.Yu., Matveenko V.P. Designing of interlayers between materials with minimum stress level at the interface // International Journal of Adhesion & Adhesives. — 2021. — Vol. 111. — pp. 102963. (Рук. д.т.н. Матвеевко В.П., т.(342) 237-84-61, e-mail: mvp@icmm.ru).

3. Исследована критическая динамика переходов к разрушению при много- и сверхмногоцикловых нагружениях (приложения в авиационном моторостроении). (**)
 Впервые показана связь характерных стадий развития разрушения с новым типом критических явлений в средах с дефектами (структурно-скейлинговые переходы), что позволило определить масштабнo-инвариантные структурные переменные, характеризующие «восприимчивость» материала к развитию поврежденности и предложить модели кинетики разрушения с учетом структурных переменных. Созданные экспериментальные комплексы позволили проведение широкодиапазонных лабораторных исследований, позволяющих идентификацию параметров моделей для оценки усталостного ресурса материалов авиационного моторостроения.

Аннотация

Проблема оценки надежности и ресурса применительно к постановкам авиационного моторостроения, включающая идентификацию стадий возникновения и распространения усталостных трещин, в том числе при случайных динамических нагружениях, инициировали постановку принципиально новых задач, включающих общую формулировку стадийности разрушения, включая многомасштабную кинетику локализации повреждений, зарождения и роста трещина в условиях много- и сверхмногоциклового усталости. Продолжительность этих стадий определяется состоянием структура материала и кинетикой уменьшения свободной энергии при

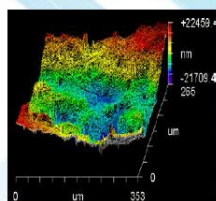
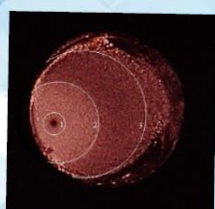
развитии дефектов, обнаруживающей закономерности, характерные для неравновесных критических систем.

В отличие от многоциклового усталости, когда долговечность определяется кинетикой развития трещин, разрушение при сверхмногоциклового усталости характеризуется преимущественным вкладом стадии инициирования повреждений, их локализацией, зарождением малых трещин, что предполагает экспериментальное исследование и моделирование многомасштабной кинетики дефектов и ее связь с закономерностями стадийности разрушения и усталостного ресурса.

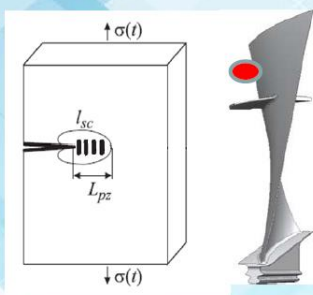
Впервые показана связь характерных стадий развития разрушения с новым типом критических явлений в средах с дефектами (структурно-скейлинговые переходы), что позволило определить масштабно-инвариантные структурные переменные, характеризующие «восприимчивость» материала к развитию поврежденности и предложить модели кинетики разрушения с учетом структурных переменных.

Созданные экспериментальные комплексы позволили проведение широкодиапазонных лабораторных исследований, позволяющих идентификацию параметров моделей для оценки усталостного ресурса материалов авиационного моторостроения.

Критическая динамика переходов к разрушению при много- и сверхмногоциклового нагружениях (приложения в авиационном моторостроении)



Исследование стадийности развития усталостного разрушения



$$\frac{dl}{dN} = l_{sc} \left(\frac{\Delta K_{eff}}{E \sqrt{l_{sc}}} \right)^\alpha$$

Развиты фундаментальные основы и прикладные подходы оценки стадийности развития разрушения при много- и сверхмногоциклового нагружениях материалов авиационного моторостроения.

По данным морфологии поверхностей разрушения установлены автомодельные структурные переменные, характеризующие коррелированное поведение дефектов в окрестности вершины усталостных трещин.

Развитый подход позволил предложить модели инициирования и распространения усталостных трещин, включая случаи усталостного разрушения при предварительных динамических нагружениях. Созданы экспериментальные комплексы, методы структурного анализа, позволяющие идентификацию параметров моделей в условиях широкодиапазонных лабораторных экспериментов, соответствующих условиям работы элементов конструкций газотурбинных двигателей.

O.Naimark, V.Oborin, M.Bannikov and D.Ledon. Critical Dynamics of Defects and Mechanisms of Damage-Failure Transitions in Fatigue //Materials. 2021, 14, 2554.

Naimark O., Oborin V., Bannikov M. and Ledon D. Critical Dynamics of Defects and Mechanisms of Damage-Failure Transitions in Fatigue //Materials. 2021, 14, 2554.

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

4. Продемонстрировано, что проскальзывание феррочастиц относительно матрицы в магнитоактивном эластомере совсем не малый эффект.

На основании реалистических оценок установлено, что принятый в моделировании магнитоактивных эластомеров (МАЭ) постулат о том, частицы наполнителя неотрывно «вклеены» в полимерную матрицу, вовсе не универсален. В системах типа ПДМС / микро-NdFeV частицы отрываются от матрицы уже в полях ~1-2 кЭ. Показано, как этот эффект должен проявляться на измеренных кривых намагничивания.

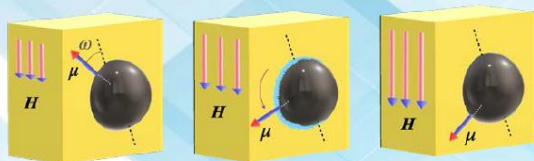
Аннотация

В мировой литературе по мезоскопическому моделированию отклика магнитоактивных эластомеров (МАЭ) на внешнее поле и нагрузку постулат о том, что частицы наполнителя неотрывно «вклеены» в полимерную матрицу фактически является постулатом.

Между тем, из реалистических оценок для систем типа ПДМС / микронные частицы металла следует, что удельная энергия адгезии определяется только дисперсионными силами и составляет не более 200–500 кПа.

Это означает, что в случае магнитожёсткого наполнителя (микророшки NdFeB) частица отрывается от матрицы уже в полях $\sim 1-2$ кЭ. Не разрушая свою полость, она легко проворачивается внутри неё, что значительно модифицирует магнитомеханику МАЭ. Мы

Проскальзывание феррочастиц относительно матрицы в магнитоактивном эластомере: совсем не малый эффект



Предположение о том, что любая частица наполнителя неотрывно «вклеена» в полимерную матрицу общепринято в мезоскопическом моделировании отклика магнитоактивных эластомеров (МАЭ) на внешнее поле и нагрузку. Но всегда ли это так?

Как следует из реалистических оценок, в системах типа ПДМС / микронные частицы металла удельная энергия адгезии составляет не более 200–500 кПа.

Таким образом, в случае магнитожёсткого наполнителя (микророшки NdFeB) поле отрывает частицы от матрицы уже в полях $\sim 1-2$ кЭ. Частицы не разрушают свои полости, но легко вращаются внутри них, см. рисунок. Это значительно модифицирует магнитомеханику МАЭ.

Показано, как этот эффект должен проявляться на измеренных кривых намагничивания.

Представлено (приглашённый доклад):

M. Vaganov, D. Borin, S. Odenbach, Yu. Raikher, Magnetoactive elastomers with high-coercive filler: ferromagnetic particles under restricted mechanical freedom and non-saturated magnetization // *International Baltic Conference on Magnetism*, БалтФУ, Калининград, 29.08 – 02.09.2021.

M. Vaganov, D. Borin, S. Odenbach, Yu. Raikher, Magnetic response of magnetoactive elastomers with allowance for slippage at the particle-matrix interfaces // *Advanced Theory and Simulations*. 2021. Vol. 4, Art. no. 2000327.

показали, как этот эффект должен проявляться на измеренных кривых намагничивания.

Работа представлена (приглашённый доклад): M. Vaganov, D. Borin, S. Odenbach, Yu. Raikher, Magnetoactive elastomers with high-coercive filler: ferromagnetic particles under restricted mechanical freedom and non-saturated magnetization // *International Baltic Conference on Magnetism*, БалтФУ, Калининград, 29.08 – 02.09.2021

M. Vaganov, D. Borin, S. Odenbach, Yu. Raikher, Magnetic response of magnetoactive elastomers with allowance for slippage at the particle-matrix interfaces // *Advanced Theory and Simulations*. 2021. Vol. 4, Art. no. 2000327. (Q1 по SJR)

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

5. Предложены модели магнитополимерных систем — микроферрогеля и магниточувствительной везикулы.

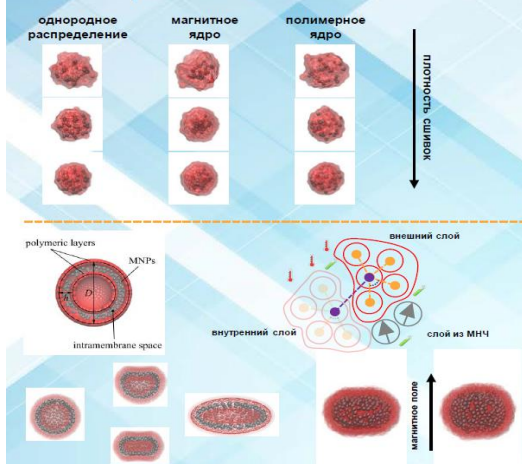
Аннотация

Предложены модели магнитополимерных систем — микроферрогеля и магниточувствительной везикулы — перспективных для биомедицинского использования субмикронных коллоидных агрегатов, содержащих магнитные наночастицы. Исследование их основного состояния и поведения в однородном магнитном поле осуществлено с использованием подхода крупнозернистой молекулярной динамики, Система представляется в виде эффективных взаимодействующих частиц, помещённых в термостатированные условия и испытывающие столкновения с частицами неявно рассматриваемого растворителя.

Полимерные структуры описаны по модели bead-spring, согласно которой частицы соединены связями по типу гармонического потенциала, а магнитные наночастицы представляются однодоменными, то есть обладающими магнитными моментами, неизменными по величине.

Моделирование магнитополимерных частиц

Модели крупнозернистой молекулярной динамики микроферрогеля и магнитной полимеросомы



Проанализировано влияние плотности сшивок и характера распределения наночастиц по микроферрогелю (для core-shell структур), представленному в виде сшитых полимерных и магнитных наночастиц, на образование агрегатов и равновесный эффективный объем в отсутствие внешнего магнитного поля при различных свойствах наночастиц.

Магниточувствительная полимеросома, описанная на основе шаблона из двух concentрических полимерных оболочек амфифильной мембраны с расположенными во внутримембранном пространстве слоями из магнитных наночастиц, исследована с точки зрения описания связанного магнитного, структурного и механического отклика.

Проведено моделирование намагничивания эллипсоидальных, дискообразных и многослойных везикул.

Для микроферрогеля, представленного в виде сшитых полимерных и магнитных частиц, проанализировано влияние плотности сшивок и характера распределения наночастиц по микрогелю (рассмотрены неоднородные core-shell структуры) на «внутренние» (перераспределение магнитных наночастиц, образование агрегатов) и «внешние» свойства (эффективный размер, объем) в отсутствие внешнего магнитного поля при различных свойствах наночастиц. С точки зрения связанного магнитного, структурного и механического отклика исследована магниточувствительная везикула (полимеросома), описанная на основе шаблона из двух concentрических сферических полимерных оболочек (амфифильная мембрана) с расположенными во внутримембранном пространстве слоями из магнитных наночастиц. Преобразованием настраиваемых шаблонов получены модели эллипсоидальных, дискообразных и многослойных везикул. Описано перераспределение наночастиц под действием приложенного однородного магнитного поля.

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

6. Предложен метод ионно-плазменной обработки внутренних поверхностей полимерных медицинских изделий.

Аннотация

Ионно-плазменная обработка полимерных материалов позволяет создавать на их поверхности биосовместимые углеродные покрытия. Однако современные методы ионно-плазменной обработки не обеспечивают формирования углеродного покрытия на внутренней поверхности полого полимерного изделия. Что ограничивает применение плазменных методов для таких медицинских имплантатов, как протезы сосудов.

С целью формирования углеродных покрытий на внутренней поверхности полых полимерных медицинских имплантатов и устройств была произведена модификация подводки газа и высоковольтного электрода экспериментальной установки ионно-плазменной обработки. Проведена серия экспериментов по созданию углеродных покрытий на внутренней поверхности полых изделий разного диаметра и длины (капилляров и мешков для сбора и хранения компонент крови). Обработанная плазмой внутренняя поверхность полых полимерных изделий исследована методами атомно-силовой микроскопии, ИК (инфракрасной) и КРС (комбинационного рассеяния света) спектроскопии. Выполнено исследование адсорбционной активности сформированных углеродных покрытий к белкам бычьего сывороточного альбумина и синтетического тропоэластина.

Углеродное покрытие на внутренней поверхности полых изделий



Плазменная обработка внутренней поверхности мешка для сбора и хранения компонент крови

Произведена модификация экспериментальной установки ионно-плазменной обработки. С её помощью созданы углеродные покрытия на внутренней поверхности полых полимерных изделий разного диаметра и длины, которые изучены методами АСМ микроскопии, ИК и КРС спектроскопии. Проведено исследование адсорбционной активности углеродного покрытия к белкам бычьего сывороточного альбумина и синтетического тропоэластина.

Установлено, что внутренняя поверхность полых изделий после ионно-плазменной обработки характеризуется:

- наличием углеродсодержащих групп, не присутствующих в полимерном материале до плазменной модификации;
- увеличенной жесткостью по сравнению с исходной поверхностью полимерного материала;
- повышенной адсорбционной активностью к белкам.

Метод ионно-плазменной обработки внутренних поверхностей полимерных медицинских изделий может быть применен для улучшения биосовместимости сосудистых протезов и мешков для сбора и хранения компонент крови.

Chudinov V.S., Shardakov I.N. Carbon coating on surface of PVC blood bags // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 1945, 012068.

Chudinov V.S. et al. Plasma treatment of vascular implant // J. Phys.: Conf. Ser. 2021. V. 1945, 012070.

Установлено, что внутренняя поверхность полых изделий после ионно-плазменной обработки характеризуется: наличием углеродсодержащих групп, не присутствующих в полимерном материале до плазменной модификации и увеличенной жесткостью по сравнению с исходной поверхностью полимерного материала. Результаты экспериментов с белками показали ковалентную пришивку тропоэластина и альбумина к углеродному покрытию. С необработанного плазмой полимерного материала белки смывались растворами детергентов. Углеродное покрытие, сформированное на внутренней поверхности полых изделий, имеет аналогичные характеристики углеродного слоя, сформированного при стандартной ионно-плазменной обработке плоских образцов полимеров с планарной геометрии высоковольтного электрода.

Метод ионно-плазменной обработки внутренних поверхностей полимерных медицинских изделий может быть применен для улучшения биосовместимости сосудистых протезов и мешков для сбора и хранения компонент крови.

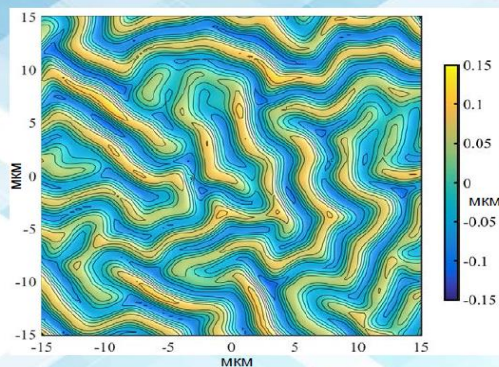
(Рук. д.ф.м.н. Шардаков И.Н., т.(342) 237-83-08, e-mail: shardakov@icmm.ru).

7. Дано объяснение механизма формирования волнообразной поверхности полиуретанового образца во время ионно-плазменной обработки.

Аннотация

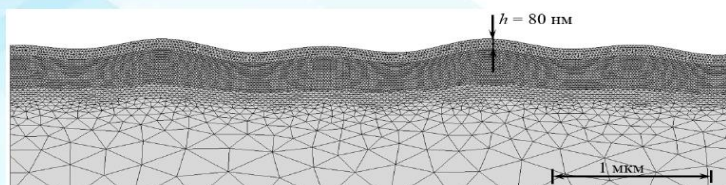
Предложена математическая модель, которая позволила связать флюенс (количество ионов, попавших на единицу поверхности образца) толщину и модуль углеродного слоя, возникающего во время ионно-плазменной обработки полиуретанового образца, с амплитудой и частотой волн, формирующихся на границе материала. Дано физическое объяснение причине появления волн. Это накопление зарядов около поверхности образца в результате проникновения в него ионов азота.

Объяснение механизма формирования волнообразной поверхности полиуретанового образца во время ионно-плазменной обработки



Поверхность полиуретанового материала после обработки ионами азота с энергией 20 кэВ с флюенсом 10^{16} ионов/см²

Вычислительное моделирование позволило подтвердить гипотезу о том, что накопление электрических зарядов около поверхности полиуретанового образца во время ионно-плазменной обработки вызывает расширение приповерхностного слоя материала вдоль границ образца и приводит к появлению волнообразного рельефа возникающего углеродного слоя



Геометрия волнообразной поверхности углеродного слоя, полученная в результате вычислительного моделирования

Полученный в математической модели прогноз искривления карбонизированного слоя на полимерном образце находится в согласии с наблюдаемыми экспериментами. Возрастание жесткости карбонизированного слоя при увеличении флюенса (в определенном диапазоне изменения флюенса) приводит к увеличению амплитуды волн и расстояния между вершинами волн. То же самое происходит при увеличении кинетической энергии ионов азота, с помощью которых происходит обработка образца.

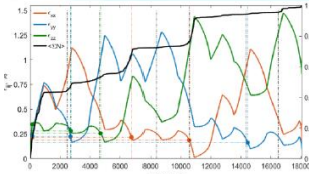
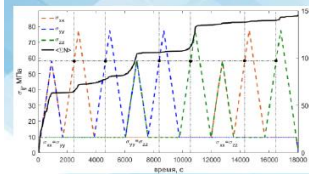
(Рук. д.ф.м.н. Свистков А.Л., т.(342) 237-83-98, e-mail: svistkov@icmm.ru).

8. Экспериментально определены условия проявления эффекта памяти при циклическом многоосном сжатии песчаника с последовательным изменением размеров, формы и ориентации эллипсоида приложенных напряжений

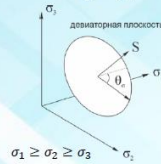
Аннотация

Совместно с сотрудниками лаборатории геомеханики ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН проведен цикл экспериментов по циклическому истинному трехосному деформированию полимиктового песчаника. Реализованы эксперименты по пропорциональному, непропорциональному двух- и трехосному циклическому сжатию песчаника, эксперименты по трехосному циклическому нагружению песчаника с постоянным уровнем среднего напряжения и изменяющимся уровнем девиаторных напряжений. В результате проведенных исследований показано, что эффект памяти (эффект Кайзера) наблюдается в том случае, когда повторное нагружение осуществляется без изменения ориентации и формы эллипсоида приложенных напряжений. В случае изменения формы эллипсоида напряжений проявление эффекта памяти зависит от величины и соотношения накопленных деформаций относительного растяжения в трех ортогональных направлениях. Установлено, что на проявление эффекта Кайзера не влияет уровень интенсивности касательных напряжений при неизменном уровне средних напряжений в образце.

Условия проявления эффекта памяти при циклическом многоосном сжатии песчаника

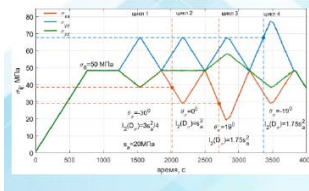


Траектории нагружения в пространстве Хейга-Вестергарда



Угол Лоде:

$$\tan \theta_L = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sqrt{3}(\sigma_1 - \sigma_3)}$$



Совместно с сотрудниками лаборатории геомеханики ИПМех им. А.Ю. Ишлинского РАН проведен цикл экспериментов по циклическому деформированию песчаника. В результате проведенных исследований показано, что **эффект памяти наблюдается** в том случае, когда повторное нагружение **осуществляется без изменения ориентации и формы эллипсоида** приложенных напряжений.

В случае изменения формы эллипсоида напряжений **проявление эффекта памяти зависит от величины и соотношения накопленных деформаций относительного растяжения** в трех ортогональных направлениях. Установлено, что на проявление эффекта **Кайзера не влияет уровень интенсивности касательных напряжений** при неизменном уровне средних напряжений в образце.

Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Зайцев А.В., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б., Шевцов Н.И. Эффект кайзера при многоосном непропорциональном сжатии песчаника // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2020. Т. 495. С. 63-67

Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Зайцев А.В., Карев В.И., Коваленко Ю.Ф., Устинов К.Б., Шевцов Н.И. Эффект кайзера при многоосном непропорциональном сжатии песчаника // Доклады Российской академии наук. Физика, технические науки. 2020. Т. 495. С. 63-67.

Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Зайцев А.В., Шевцов Н.И., Коваленко Ю.Ф., Карев В.И. Эффект кайзера при трехосном сжатии песчаника с последовательным вращением эллипсоида заданных напряжений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 3. С. 47-55.

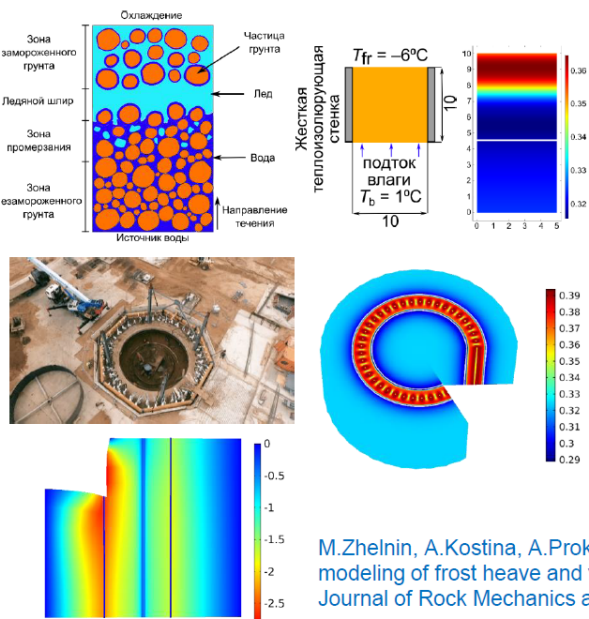
Пантелеев И.А., Коваленко Ю.Ф., Сидорин Ю.В., Зайцев А.В., Карев В.И., Устинов К.Б., Шевцов Н.И. Эволюция поврежденности при сложном неравнокомпонентном сжатии песчаника по данным акустической эмиссии // Физическая мезомеханика. 2019. Т. 22. № 4. С. 56-63 (Рук. д.ф.м.н. Плехов О.А., т.(342) 237-83-21, e-mail: poa@icmm.ru).

9. Построена термогидромеханическая модель для расчёта деформирования и разрушения замороженных влагонасыщенных сред. (**)

Аннотация

Реализован комплексный подход к численному моделированию механического проведения замороженных грунтов (пористых влагонасыщенных сред), основанный на оригинальной термогидромеханической модели промерзания влагонасыщенного грунта, учитывающей взаимосвязь между падением температуры, образованием порового льда, криогенной миграции влаги, морозным пучением грунта в замороженной зоне и его усадки вблизи фронта промерзания. Разработанный подход включает в себя идентификацию параметров модели на основе стандартизованных лабораторных испытаний на пучинистость и ползучесть, расчет формирования ледопородного ограждения в грунтовых слоях, определение деформаций шахтной выработки, пройденной внутри ледопородного ограждения.

Термогидромеханическая модель для расчёта деформирования влагонасыщенных сред при искусственном замораживании



Построена новая термогидроэластическая модель деформирования влагонасыщенных грунтов в процессе их заморозки и оттаивания. Особенность модели заключается в описании в грунте взаимосвязи между изменением температуры, криогенной миграцией влаги, морозным пучением и усадкой.

На основе модели реализован комплексный подход к численному моделированию механического поведения грунта в процессе искусственного замораживания. Разработанный подход включает в себя идентификацию параметров модели на основе стандартизованных лабораторных испытаний, расчет формирования ледопородного ограждения в грунтовых слоях, определение деформаций шахтной выработки.

M.Zhelnin, A.Kostina, A.Prokhorov, O.Plekhov, M.Semin, L.Levin. Coupled thermo-hydro-mechanical modeling of frost heave and water migration during artificial freezing of soils for mineshaft sinking // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering – 2021 (Q1 JCR, IF 4.338)

Проведенное численное моделирование проходки шахтного ствола для реальных условий калийного месторождения показало, что полученные результаты могут быть использованы для интерпретации данных температурного и гидронаблюдательного способов контроля ледопородного ограждения, изучения влияния криогенных процессов на распределение льда в замораживаемых грунтовых слоях и изменения их природного напряженно-деформированного состояния, оценки перемещений неподкрепленной стенки шахтной выработки, с учетом реологических свойств грунта в замороженном состоянии.

M. Zhelnin, A. Kostina, A. Prokhorov, O. Plekhov, M. Semin, L. Levin. Coupled thermo-hydro-mechanical modeling of frost heave and water migration during artificial freezing of soils for mineshaft sinking // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering – 2021 (Q1 JCR).

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

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

10. Выявлены общие закономерности и особенности турбулентной конвекции и теплообмена при неоднородных граничных условиях. (**)

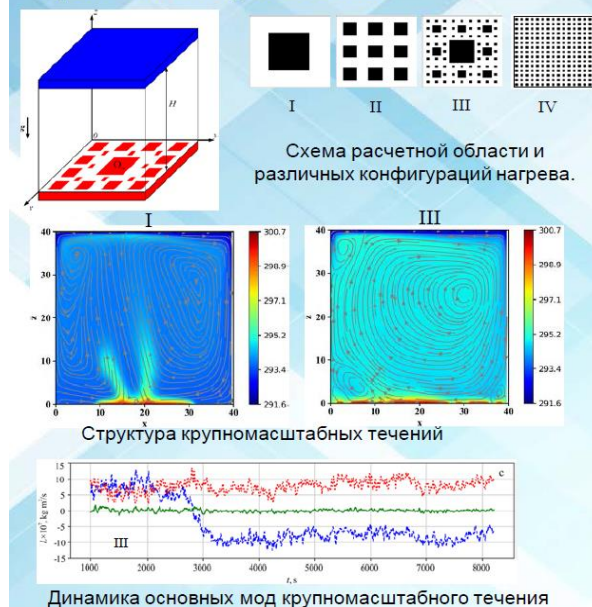
Аннотация

Турбулентная конвекция в замкнутых объемах представляет собой сложную систему, сочетающую мелкомасштабные пульсации и средние крупномасштабные течения. Граничные условия могут заметно влиять на развитие турбулентной конвекции, распределение и интенсивность конвективного теплообмена. Природные и технологические системы, как правило, характеризуются неоднородным распределением температуры или потоков тепла. В связи с этим, выявление общих закономерностей и особенностей турбулентной конвекции и теплопереноса для неоднородных граничных условий является важной и актуальной задачей.

В ходе проведенного исследования было показано, что структура и динамика крупномасштабного течения, интенсивность и распределение теплотока, существенно зависят от пространственного распределения нагрева, что открывает широкие перспективы по контролю и управлению турбулентными конвективными потоками и теплопереносом в различных технологических системах.

Vasiliev A., Sukhanovskii A. Turbulent convection in a cube with mixed thermal boundary conditions: low Rayleigh number regime // *Int. J. Heat Mass Transf.* V. 174. 2021. 121290. (WoS, Q1, IF 3.458).

Турбулентная конвекция и теплообмен при неоднородных граничных условиях



Турбулентная конвекция в замкнутых объемах представляет собой сложную систему, сочетающую мелкомасштабные пульсации и средние крупномасштабные течения.

Актуальность исследования обусловлена тем, что природные и технологические системы, характеризуются неоднородным распределением температуры или потоков тепла.

На основе математического моделирования показано, что структура и динамика крупномасштабного течения, интенсивность теплопотока, существенно зависят от пространственного распределения нагрева, что открывает широкие перспективы по контролю и управлению турбулентными конвективными потоками и теплопереносом в различных технологических системах.

Vasiliev A., Sukhanovskii A. Turbulent convection in a cube with mixed thermal boundary conditions: low Rayleigh number regime // *Int. J. Heat Mass Transf.* V. 174. 2021. 121290. (Q1, IF=3.458)

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

11. Впервые применена лазерная спекл-контрастная визуализация для оценки регуляции тонуса сосудов системы микроциркуляции крови человека. (*); (**)

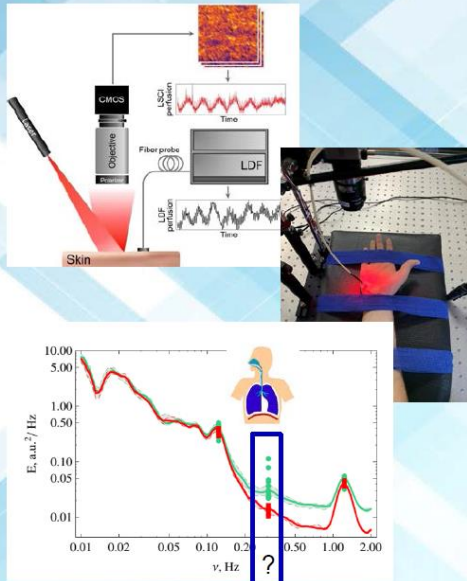
Аннотация

Метод лазерной спекл-контрастной визуализации впервые применен для исследования колебаний кожного кровотока. Периферический кровоток отражает состояние микроциркуляции в организме человека, а его осцилляции несут информацию о регуляции тонуса мелких сосудов. Нарушение регуляции сосудистого тонуса является предиктором различных заболеваний, а мониторинг состояния тонуса мелких сосудов служит инструментом для контроля лечения, в том числе, после COVID-19. Экспериментальное исследование с участием здоровых добровольцев показало, что данные лазерной спекл-контрастной визуализации коррелируют с данными доплеровской флоуметрии, традиционно применяемой для исследования микрокровоотока. При этом метод лазерной спекл-контрастной визуализации проще в исполнении, дешевле и несет информацию о пространственном распределении колебаний. Обнаружено, что колебания кровотока, обусловленные дыхательным циклом, имеют сложную пространственную структуру. Этот факт лег в основу предложенной методики функциональных проб для изучения пространственной синхронизации колебаний течения крови, связанных с дыханием [2].

1. Mizeva I.A., Potapova E.V., Dremin V.V., Kozlov I., Dunaev A. Spatial heterogeneity of cutaneous blood flow respiratory oscillations quantified via laser speckle contrast imaging // *PLOS ONE*. – 2021. – V.16. – №5. – p.e0252296 (WoS, Q1, IF 3.2),

2. Mizeva I.A., Dremin V.V., Potapova E.V., Zhrebtsov E., Kozlov I., Dunaev A. Wavelet analysis of the temporal dynamics of the laser speckle contrast in human skin // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. – 2020. – V. 67 – №7. – p. 1882–1889. (WoS, Q1, IF 4.538).

Лазерная спекл-контрастная визуализация для оценки регуляции тонуса сосудов системы микроциркуляции крови человека



Впервые метод лазерной спекл-контрастной визуализации применен для исследования колебаний кожного кровотока. Кожный кровоток отражает состояние микроциркуляции в организме человека, а его осцилляции несут информацию о регуляции тонуса мелких сосудов.

Нарушение регуляции сосудистого тонуса является предиктором различных заболеваний, кроме того мониторинг состояния тонуса мелких сосудов служит инструментом для контроля лечения в том числе после перенесенного COVID-19.

Mizeva I.A., Potapova E.V., Dremine V.V., Kozlov I., Dunaev A. Spatial heterogeneity of cutaneous blood flow respiratory oscillations quantified via laser speckle contrast imaging // PLOS ONE, 2021. – V.16. – №5. – p.e0252296 [Q1, IF 3.2]

Mizeva I.A., Dremine V.V., Potapova E.V., Zherebtsov E., Kozlov I., Dunaev A. Wavelet analysis of the temporal dynamics of the laser speckle contrast in human skin // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2020. – V. 67 – №7. – p. 1882–1889. [Q1, IF 4.5]

(Рук. к.ф.м.н. Мизёва И.А., т.(342) 237-83-94, e-mail: mizeva@icmm.ru).

12. Методы вейвлет-анализа, разработанные в «ИМСС УрО РАН» впервые применены для исследования магнетизма внешних галактик по данным стратосферной инфракрасной обсерватории: Магнитного поля в многофазной межзвездной среде галактики М5. (*); (**)

Аннотация

Поляризационные наблюдения галактик в дальнем инфракрасном диапазоне (FIR) с высоким разрешением расширяют возможности изучения внегалактических магнитных полей в холодных и плотных молекулярных дисках. Разработанные в «ИМСС УрО РАН» методы вейвлет-анализа впервые использованы для обнаружения структурных различий в магнитном поле спиральной галактики М51 на масштабах порядка килопарсека. Выявлен сложный сценарий, при котором наблюдения поляризации в радиодиапазоне и FIR не обязательно отслеживают одну и ту же структуру магнитного поля. Так, скорость звездообразования показывает четкую корреляцию с интенсивностью радиополяризации, которая не обнаруживается в FIR, что указывает на маломасштабный сценарий усиления магнитного поля, управляемого МГД динамо. Работа междисциплинарного коллектива показала, что поляризационные наблюдения в широком диапазоне волн являются ключом к расшифровке взаимосвязи между звездообразованием, магнитными полями и кинематикой газа в многофазном межзвездном пространстве.

Магнетизм внешних галактик по данным стратосферной инфракрасной обсерватории

I: Магнитное поле в многофазной межзвездной среде галактики M51



Галактика M51 в поляризованном инфракрасном излучении (154μm)

Поляризационные наблюдения галактик в дальнем инфракрасном диапазоне (FIR) с высоким разрешением расширяют возможности изучения внегалактических магнитных полей в холодных и плотных молекулярных дисках.

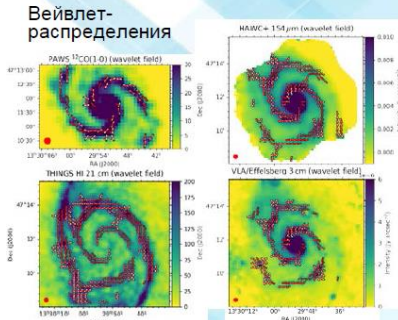
Разработанные в ИМСС методы вейвлет-анализа впервые использованы для обнаружения структурных различий в магнитном поле спиральной галактики M51 на масштабах порядка килопарсека.

Выявлен сложный сценарий, при котором наблюдения поляризации в радиодиапазоне и FIR не обязательно отслеживают одну и ту же структуру магнитного поля.

Так, скорость звездообразования показывает четкую корреляцию с интенсивностью радиополяризации, которая не обнаруживается в FIR, что указывает на маломасштабный сценарий усиления магнитного поля, управляемого МГД динамо.

Работа междисциплинарного коллектива показала, что поляризационные наблюдения в широком диапазоне волн являются ключом к расшифровке взаимосвязи между звездообразованием, магнитными полями и кинематикой газа в многофазном межзвездном пространстве.

Borlaff A., Lopez-Rodriguez E., Beck R., Stepanov R., et al. Extragalactic Magnetism with SOFIA (Legacy Program) -- I: The magnetic field in the multi-phase interstellar medium of M51 // Astrophysical Journal, 2021 (in press), arXiv:2105.09315v2



Borlaff A., Lopez-Rodriguez E., Beck R., Stepanov R., et al. Extragalactic Magnetism with SOFIA (Legacy Program) -- I: The magnetic field in the multi-phase interstellar medium of M51 // *Astrophysical Journal*, 2021 (in press), arXiv:2105.09315v2 (WoS, Q1, IF 5.745).

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

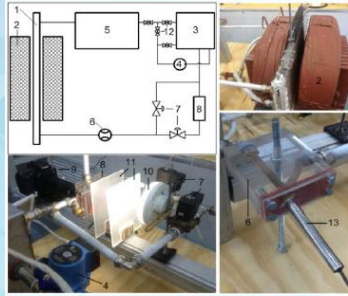
13. Экспериментальное моделирование электромагнитной очистки жидкой электропроводящей среды от примеси отличной проводимости. (**)

Аннотация

Проведено физическое моделирование процесса очистки жидкой электропроводящей среды от примеси отличной проводимости. Получены зависимости эффективности процесса очистки от величины приложенной силы, скорости транзитного потока через очистительный канал, положения удерживающих перегородок в канале, типа верхней поверхности канала. Результаты могут быть применены для получения сверхчистых металлов в металлургическом производстве, извлечения цветных металлов из отходов и очистки теплоносителя на атомных станциях на быстрых нейтронах.

Экспериментальное моделирование электромагнитной очистки

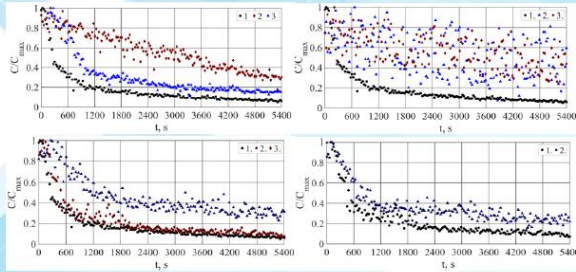
Схема экспериментальной установки: 1. канал очистителя, 2. электромагнит, 3. бак-хранилище, 4. насос, 5. переливной бак, 6. расходомер, 7. электроклапаны, 8. измерительная ячейка, 9. камера, 10. осветитель, 11. матовые стекла, 12. контрольный клапан, 13. датчик УДА



Проведено физическое моделирование процесса очистки жидкой электропроводящей среды от примеси отличной проводимости.

Получены зависимости эффективности процесса очистки от величины приложенной силы, скорости транзитного потока через очистительный канал, положения удерживающих перегородок в канале, типа верхней поверхности канала.

Результаты могут быть применены для получения сверхчистых металлов в металлургическом производстве, извлечения цветных металлов из отходов и очистки теплоносителя на атомных станциях на быстрых нейтронах.



Эффективность разделения фаз в зависимости от приложенной силы, скорости транзитного потока, положения перегородок и типа верхней крышки канала

G. Losev, A. Mamykin, I. Kolesnichenko Model of electromagnetic purification of liquid metal // Magnetohydrodynamics. 2021. Vol. 57. N. 1. Pp. 73-84

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

14. Комплексно (аналитически, численно и экспериментально) изучено плавание диа-, пара- и суперпарамагнитных тел в магнитных жидкостях.

Комплексно (аналитически, численно и экспериментально) изучена магнитная выталкивающая сила, действующая на твердые тела, погруженные в цилиндрические контейнеры с магнитной жидкостью, намагниченную вертикальным однородным магнитным полем. Немонотонность силы, действующей на немагнитное тело, является результатом конкуренции силы со стороны неоднородного размагничивающего поля неэллипсоидального контейнера с силой взаимодействия между телом и немагнитной стенкой контейнера.

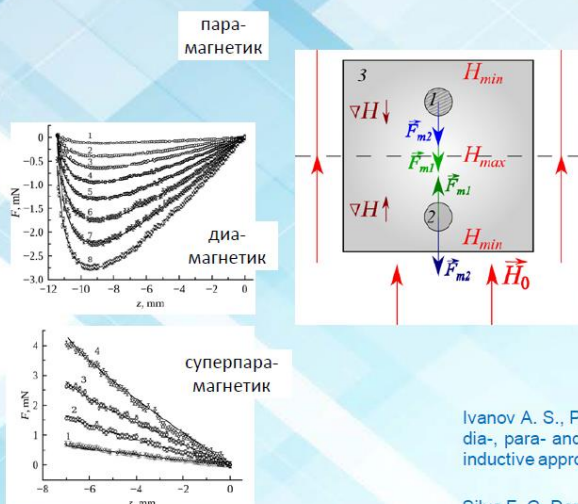
Аннотация

Изучена магнитная выталкивающая сила, действующая на твердые тела, погруженные в цилиндрические контейнеры с магнитной жидкостью, намагниченную вертикальным однородным магнитным полем.

В центре контейнера суперпарамагнитные тела имеют устойчивое положение равновесия, а немагнитные тела – неустойчивое положение. Немонотонность силы, действующей на немагнитное тело, является результатом конкуренции силы со стороны неоднородного размагничивающего поля неэллипсоидального контейнера с силой взаимодействия между телом и немагнитной стенкой контейнера.

Данное исследование может быть полезно для создания и разработки новых приложений, в которых используется управляемое полем разделение микрожидкостных потоков или разделение зернистых неорганических материалов в электромагнитных магнитожидкостных сепараторах.

Плавание диа-, пара- и суперпарамагнитных тел в магнитных жидкостях: теория, численное моделирование, эксперимент



1 – 7.69 kA/m, 2 – 12.6 kA/m, 3 – 15.1 kA/m, 4 – 17.6 kA/m, 5 – 20.0 kA/m, 6 – 22.5 kA/m, 7 – 25.0 kA/m, 8 – 27.5 kA/m

Изучена магнитная выталкивающая сила, действующая на твердые тела, погруженные в цилиндрические контейнеры с магнитной жидкостью, намагниченную вертикальным однородным магнитным полем.

В центре контейнера суперпарамагнитные тела имеют устойчивое положение равновесия, а немагнитные тела – неустойчивое положение. Немонотонность силы, действующей на немагнитное тело, является результатом конкуренции силы со стороны неоднородного размагничивающего поля незллипсоидального контейнера с силой взаимодействия между телом и немагнитной стенкой контейнера.

Данное исследование может быть полезно для создания и разработки новых приложений, в которых используется управляемое полем разделение микрожидкостных потоков или разделение зернистых неорганических материалов в электромагнитных магнитожидкостных сепараторах.

Ivanov A. S., Pshenichnikov A. F., Khokhryakova C. A., Somov S. A., Koskov M. A. Floating of dia-, para- and superparamagnetic bodies in magnetic fluids: wall effects in the framework of inductive approach // *Physics of Fluids*. 2021. In print.

Silva F. G., Depeyrot J., Raikher Yu. L., Stepanov V. I., Poperechny I. S., Aquino R., Ballon G., Geshev J., Dubois E., Perzynski R. Exchange-bias and magnetic anisotropy fields in core-shell ferrite nanoparticles // *Scientific Reports*. Nature. 2021. Vol. 11. Art. No. 5474 (1- pp).

Ivanov A. S., Pshenichnikov A. F., Khokhryakova C. A., Somov S. A., Koskov M. A. Floating of dia-, para- and superparamagnetic bodies in magnetic fluids: wall effects in the framework of inductive approach // *Physics of Fluids*. 2021. Vol. 33. DOI: 10.1063/5.0068487 (Q1 по SJR)
(Рук. к.ф.-м.н. Иванов А.С., т. .(342) 237-83-25, e-mail: lesnichiy@icmm.ru).

15. Экспериментально и теоретически исследована неустойчивость двухслойных систем химически реагирующих жидкостей.

Экспериментально и теоретически исследована гидродинамическая неустойчивость двухслойной системы реагирующих жидкостей при наличии фронтальной реакции второго порядка. Обнаружен и описан ряд новых неустойчивостей. На основе предложенного в работе набора безразмерных параметров разработан новый подход к описанию проблемы и классификации конвективных течений, позволяющий прогнозировать процессы реакции-диффузии-конвекции в подобных системах до проведения лабораторных исследований.

Аннотация

Экспериментально и теоретически исследована гидродинамическая неустойчивость, обусловленная неоднородностями плотности, возникающими при протекании фронтальной реакции второго порядка в двухслойной системе смешивающихся химически реагирующих жидкостей. Одновременное использование нескольких экспериментальных методик визуализации и измерения полевых величин задачи позволило впервые провести систематическое исследование проблемы в широком диапазоне свойств реакционной системы.

Для полного понимания механизмов формирования обнаруженных типов неустойчивости разработана математическая модель, основанная на системе уравнений реакции-диффузии-конвекции. Динамика системы исследована как с помощью анализа линейной устойчивости переходных процессов, так и численного моделирования задачи в полной нелинейной постановке. На основе анализа данных лабораторного и численного экспериментов введен новый безразмерный параметр K_p (число реакционной плавучести), величина которого характеризует плотность зоны реакции относительно плотности верхнего слоя.

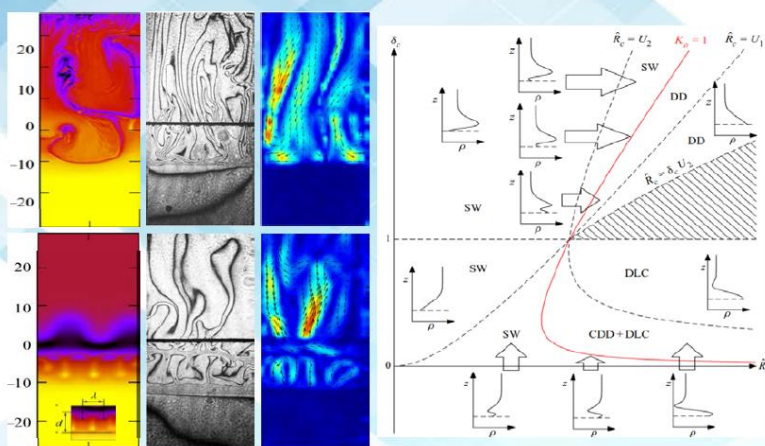
Показано, что:

-при $K_p > 1$, динамика профиля плотности определяется диффузионными процессами, а конвективное движение возникает за счет неустойчивости двойной диффузии. Помимо нерегулярных пальчиковых структур, наблюдавшихся ранее в многочисленных исследованиях, обнаружен новый тип неустойчивости, характеризующийся формированием регулярной конвективной структуры ячеистого типа.

-возникновение данного типа неустойчивости обусловлено влиянием концентрационной зависимости диффузии реагентов и продукта реакции. В случае $Kp \leq 1$ в области над фронтом реакции формируется неустойчивое распределение плотности, что приводит к развитию интенсивного конвективного движения в верхнем слое, что приводит к аномально быстрому распространению фронта реакции в форме волны плотности ударно-волнового типа.

По результатам исследований предложен новый подход к описанию проблемы и классификации конвективных течений, позволяющий прогнозировать процессы реакции-диффузии-конвекции в подобных системах до проведения лабораторных исследований.

Новый подход к описанию вопросов неустойчивости двухслойной системы химически реагирующих жидкостей



Экспериментально и теоретически исследована гидродинамическая неустойчивость двухслойной системы реагирующих жидкостей при наличии фронтальной реакции второго порядка. Обнаружен и описан ряд новых неустойчивостей.

На основе предложенного в работе набора безразмерных параметров разработан новый подход к описанию проблемы и классификации конвективных течений, позволяющий прогнозировать процессы реакции-диффузии-конвекции в подобных системах до проведения лабораторных исследований.

Mizev A. I., Mosheva E. A., Bratsun D. A. Extended classification of the buoyancy-driven flows induced by a neutralization reaction in miscible fluids. Part 1. Experimental study // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2021. – V. 916. A22 (WoS, Q1, IF 3.627)

Bratsun D. A., Mizev A. I., Mosheva E. A. Extended classification of the buoyancy-driven flows induced by a neutralization reaction in miscible fluids. Part 2. Theoretical study // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2021. – V. 916. A23 (WoS, Q1, IF 3.627)

Mizev A. I., Mosheva E. A., Bratsun D. A. Extended classification of the buoyancy-driven flows induced by a neutralization reaction in miscible fluids. Part 1. Experimental study // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2021. – V. 916. A22 (WoS, Q1, IF 3.627),

Bratsun D. A., Mizev A. I., Mosheva E. A. Extended classification of the buoyancy-driven flows induced by a neutralization reaction in miscible fluids. Part 2. Theoretical study // *Journal of Fluid Mechanics*. – 2021. – V. 916. A23 (WoS, Q1, IF 3.627).

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

16. Введение формализма псевдокумулянтов для задач с возмущенным распределением Лоренца. (*).

Для задач статистической физики, решенных только для частного случая распределения Лоренца, предложен математический формализм, позволяющий строить описание для неидеальных ситуаций. В рамках формализма построено описание коллективных осцилляций в популяциях нейронов.

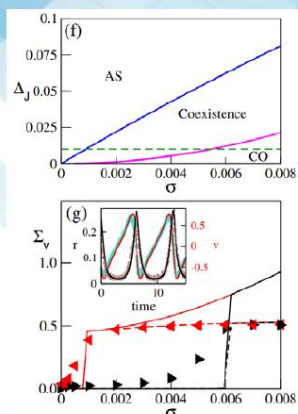
Аннотация

В ряде классических задач статистической физики аналитические решения получены только для частного случая распределения Лоренца (например, в квантовой механике: уширение спектральных линий лазерного излучения, модель Ллойда для локализации Андерсона; в нелинейной динамике и нейро-науках: макроскопическое описание при лоренцевом распределении параметров, теория Отта–Антонсена). При этом построение теории возмущений для близких, но не идеальных ситуаций оказывается весьма проблематичным в силу специфики распределения Лоренца. Для некоторых задач эта проблема остается нерешенной. Введение формализма псевдокумулянтов предоставляет строгий регулярный подход к построению таких теорий возмущений и дает маломодовые редуцированные модели макроскопической динамики параметров порядка [D.S. Goldobin, M. di Volo, A. Torcini, *Reduction Methodology for Fluctuation*

Driven Population Dynamics, Physical Review Letters 127, 038301 (2021)]. Подход реализован для описания влияния шума на коллективную динамику популяций квадратичных нейронов–пороговых интеграторов. По-видимому, формализм также может быть удобен для работы с ансамблями с искаженным лоренцевым распределением параметров элементов и, например, построения теории возмущений для модели Ллойда — единственной точно решаемой модели локализации Андерсона в трехмерном пространстве.

Формализм псевдокумулянтов в задачах статистической физики

Математический аппарат для задач с неидеальным распределением Лоренца



Ряд классических задач статистической физики решен только для случая распределения Лоренца.

Построение теории возмущений для близких, но не идеальных ситуаций оказывается проблематичным.

Введение формализма псевдокумулянтов предоставляет строгий регулярный подход к теоретическому изучению неидеальных ситуаций.

Подход реализован для описания влияния шума на коллективную динамику сетей нейронов. По-видимому, формализм может быть также использован для решения ряда задач квантовой механики и статистической физики.

D.S. Goldobin, M. di Volo, A. Torcini, *Reduction Methodology for Fluctuation Driven Population Dynamics*, Phys. Rev. Lett. 127, 038301 (2021). [impact factor WoS 2020: 9.161, квартиль Q1]

D.S. Goldobin, M. di Volo, A. Torcini, *Reduction Methodology for Fluctuation Driven Population Dynamics*, Phys. Rev. Lett. 127, 038301 (2021). (WoS, Q1, IF=9.161).

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

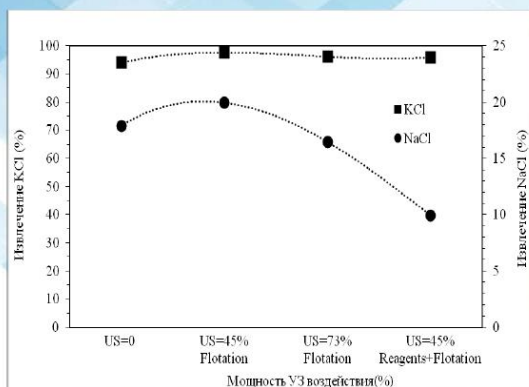
17. Впервые показана возможность флотационного разделения сильвита и галита из тонких классов крупности при помощи ультразвуковой обработки. (**)

Аннотация

Исследовано влияние ультразвуковой обработки минеральной суспензии на флотацию солей KCl и NaCl. Найдено, что результаты флотации зависят от крупности руды, мощности ультразвука и продолжительности его воздействия, а также физико-химических изменений, вызванных обработкой ультразвуком.

Эксперименты показали, что обработка ультразвуком приводит к значительному увеличению селективности флотации крупной (1 + 0,5 мм) и средней (0,5 + 0,25 мм) фракций с соответствующим снижением извлечения сильвита из-за уменьшения поверхностной гидрофобизация и усиленному отрыву частиц от пузырьков при высокой интенсивности обработки. Однако извлечение сильвита из фракции средней крупности остается неизменным и высоким (90–92%) при мощности обработки ультразвуком до 45%, в то время как извлечение галита снижается. Обработка ультразвуком не влияет на флотацию сильвита из мелкозернистой фракции (0,25-0,1 мм), в то время как извлечение галита значительно снижается.

Влияние ультразвуковой обработки на флотацию калийных руд



Влияние мощности и режима ультразвуковой обработки минеральной суспензии на извлечение при флотации солей KCl-NaCl крупности 0,1–0,25 мм

Впервые показана возможность флотационного разделения сильвита и галита из тонких классов крупности, которые в существующих схемах переработки направляются в отвалы, с помощью ультразвуковой обработки.

Методами инфракрасной спектроскопии диффузного отражения доказано, что основным механизмом повышения селективности разделения сильвита и галита и, как следствие, повышения качества калийного продукта является избирательная десорбция собирателя с поверхности галита под воздействием ультразвука.

Полученные результаты могут использоваться для повышения селективности разделения при переработке калийных руд методом флотации.

L.O.Filippov, I.V.Filippova, O.Barres, T.P.Lyubimova, O.O.Fattalov. Intensification of the flotation separation of potash ore using ultrasound treatment. *Minerals Engineering* 171 (2021) 107092 (Q1)

Таким образом, впервые показана возможность флотационного разделения сильвита и галита из тонких классов крупности, которые в существующих схемах переработки направляются в отвалы, при ультразвуковой обработке.

Методами инфракрасной спектроскопии диффузного отражения доказано, что основным механизмом повышения селективности разделения и, как следствие, повышения качества калийного продукта является избирательная десорбция собирателя с поверхности галита под воздействием ультразвука.

Полученные результаты могут использоваться при оптимизации параметров обработки ультразвуком, когда требуется повышение селективности между сильвитом и галитом.

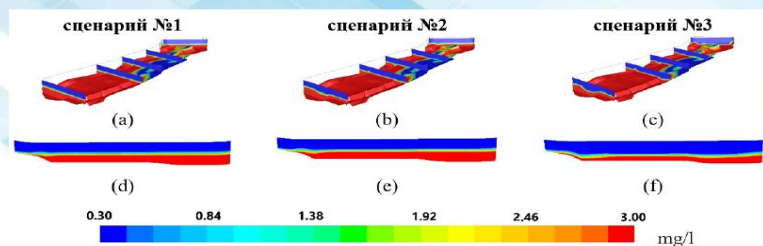
L.O.Filippov, I.V.Filippova, O.Barres, T.P.Lyubimova, O.O.Fattalov. Intensification of the flotation separation of potash ore using ultrasound treatment. *Minerals Engineering* 171 (2021) 107092 (WoS, Q1) (Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lyubimova@psu.ru)

18. Выявлены особенности гидродинамики небольших поверхностных водных объектов в зонах активного техногенеза (на примере Верхне-Зырянского водохранилища).

Аннотация

Современные крупные промышленные комплексы, как правило, являются значительными водопользователями. В связи с этим возникает задача обеспечения их надежного, устойчивого водоснабжения. Для решения данной задачи часто создаются относительно небольшие специальные водохранилища для технического водоснабжения. При их создании априорно предполагается, что формируемые в них водные массы будут относительно однородны по акватории и глубине и для предотвращения возможного накопления в них загрязняющих веществ может успешно использоваться их промывка. Опыт эксплуатации таких водохранилищ в зоне разработки Верхнекамского месторождения калийных и магниевых солей (ВКМКС), Урал, Россия, показал, что в этих водоемах вследствие интенсивного диффузного загрязнения формируется значительная вертикальная неоднородность, принципиально изменяющая гидродинамику этих водных объектов.

Особенности гидродинамики небольших поверхностных водных объектов в зонах активного техногенеза (на примере Верхне-Зырянского водохранилища)



Распределения минерализации вблизи водозабора БКПРУ-4 на дне и в вертикальных сечениях на расстоянии 100 м, 1000 м, 1500 м, 2000 м, 3000 м от водопропускного устройства для расхода воды через водохранилище 0,3 м³/сек (a, d), 2,04 м³/сек (b, e), 8,51 м³/сек (c, f).

Lyubimova, T., Lepikhin, A., Parshakova, Y., Bogomolov A., Lyakhin, Y., Tiunov, A. Peculiarities of hydrodynamics of small surface water bodies in zones of active technogenesis (On the example of the Verkhne-Zyryansk reservoir, Russia). *Water*, 2021, 13(12), 1638 (Q1)

Показано, что при наличии устойчивой плотностной стратификации промывка водных объектов даже при пропуске весеннего половодья возможна только при достаточно низко расположенных водопропускных отверстиях.

При их недостаточной заглублённости свежая весенняя неминерализованная вода, «скользя» по границе раздела водных масс, практически не замещает более минерализованную воду из придонных слоев.

Необходим переход на селективные технологии забора воды, изменения конструкции оголовков водозаборов.

Водные объекты, расположенные в зонах активного техногенеза, характеризуются значительным диффузным загрязнением, формируемым в виде фильтрационных разгрузок загрязнённых подземных вод в придонную область. При низких скоростях течений в этих условиях формируется устойчивая вертикальная плотностная стратификация, оказывающая существенное влияние на характер забора воды требуемого качества. На основе комплекса исследований, включающих натурные наблюдения и вычислительные эксперименты, показано, что вертикальная неоднородность водных масс играет ключевую роль в обеспечении устойчивости технического водоснабжения. Показано, что промывка данных водных объектов даже при пропуске весеннего половодья возможна только при достаточно низко расположенных водопропускных отверстиях. В то же время при их недостаточной заглублённости свежая весенняя неминерализованная вода, «скользя» по границе раздела водных масс, практически не замещает более минерализованную воду из придонных слоев. В условиях устойчивой плотностной стратификации для увеличения устойчивости функционирования систем водоснабжения из данных объектов, необходим переход на селективные технологии забора воды, изменения конструкции оголовков водозаборов.

Lyubimova, T., Lepikhin, A., Parshakova, Y., Bogomolov A., Lyakhin, Y., Tiunov, A. Peculiarities of hydrodynamics of small surface water bodies in zones of active technogenesis (On the example of the verkhne-zyryansk reservoir, russia). *Water*, 2021, 13(12), 1638 (WoS, Q1)

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

19. Исследована конвекция трехкомпонентной смеси на границе устойчивости на примере смеси толуол-метанол-циклогексана с суммарным отношением разделения близким к нулю.

Аннотация

Исследована конвекция трехкомпонентной смеси толуол-метанол-циклогексан с массовыми долями компонентов 0.62/0.31/0.07. Работа выполнена в рамках анализа и интерпретации эксперимента DCMIX-2 на Международной космической станции. Рассматривалась замкнутая область с отношением сторон 3:1 при нагреве сверху в 6 °С. Ранее двумя различными исследовательскими группами получены два варианта коэффициентов Сорэ, близких по значению. В обоих случаях оказалось, что суммарное отношение разделения Ψ близко к нулю, однако в первом случае оно положительно $\Psi = 0.0154$, а во втором – отрицательно $\Psi = -0.0006$.

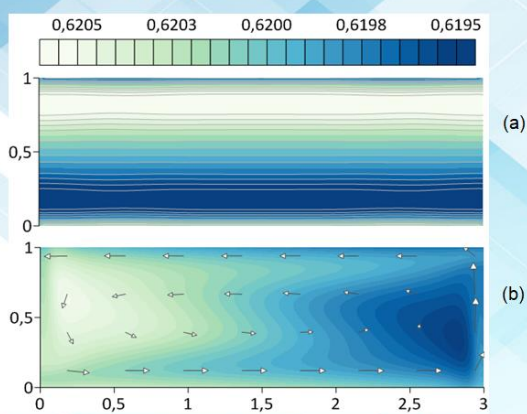
В первом случае ($\Psi = 0.0154$) найдено, что в итоге система приходит к состоянию механического равновесия с линейными распределениями температуры и концентрации компонентов. При этом, однако, для концентрации C_1 (толуол) наблюдается нетривиальное поведение, обусловленное конкуренцией процессов диффузии, перекрестной диффузии и термодиффузии: на начальном этапе толуол движется к верхней горячей стенке (до $t \sim 20$), затем «разворачивается» и движется

вниз, после чего достигается состояние равновесия. Данное прежде всего возможно благодаря сильному влиянию перекрестной диффузии.

Во втором случае ($\Psi = -0.0006$) обнаружено, что поведение системы зависит от амплитуды начальных возмущений, которая задавалась в виде значения завихренности в точке области. При некотором небольшом значении амплитуды возмущений в системе реализуется качественно близкий сценарий, что и для случая $\Psi = 0.0154$. Однако, когда амплитуда возмущений превышает критическое значение, в системе развивается неустойчивость, в результате чего формируется одновихревое конвективное течение.

Конвекция трехкомпонентной смеси на границе устойчивости

Смесь Тoluол-метанол-циклогексан с суммарным отношением разделения, близким к нулю



Поля концентрации: а) $\Psi = 0.0154$, устойчивость, б) $\Psi = -0.0006$, неустойчивость (стрелками показано поле скорости).

Исследована конвекция смеси толуол-метанол-циклогексан при близких к нулю значениях суммарного отношения разделения $\Psi = 0.0154$ (а) и $\Psi = -0.0006$ (б), полученных двумя независимыми группами при обработке результатов космического эксперимента DCMIX-2.

Найдено, что:

- в случае (а) реализуется механическое равновесие, однако на начальных временах поведение системы может сильно осложняться взаимодействием диффузии, перекрестной диффузии и термодиффузии.
- в случае (б) даже при малом значении суммарного отношения разделения, близком к нулю, общий концентрационный вклад в градиент плотности может привести к возникновению конвективного течения. При этом устойчивость системы сильно зависит от начальных возмущений.

Результаты использовались при анализе и интерпретации данных эксперимента DCMIX-2.

Prokopen S., Lyubimova T., Mialdun A. and Shevtsova V. A ternary mixture at the border of Soret separation stability. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2021, Vol. 23, pp. 8466-8477 (Q1).

Благодаря проведенному численному моделированию, анализу полученных численных результатов и сопоставлению их с данными экспериментов, можно сделать вывод о том, что термодиффузионные коэффициенты измерены на Международной космической станции с хорошей точностью, что, таким образом, позволяет быть уверенным в методике измерения коэффициентов даже в тех случаях, когда обработка экспериментальных данных встречается со значительными трудностями (плохо обусловленные матрицы).

Численные расчеты позволили интерпретировать важные наземные эксперименты, в которых незначительное изменение состава смеси приводит к качественно иному поведению жидкости.

Prokopen S., Lyubimova T., Mialdun A. and Shevtsova V. A ternary mixture at the border of Soret separation stability. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2021. Vol. 23, pp. 8466-8477.

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

20. Исследована устойчивость фронтов вытеснения в пористой среде на примере численного исследования влияния вибраций на динамику капли жидкости.

Аннотация

Как известно, в пористой среде при вытеснении одной жидкости с помощью закачки дугой жидкости, фронт вытеснения неустойчив, если вытесняющая жидкость – менее вязкая. Решение задачи устойчивости в рамках модели Дарси обнаруживает абсолютную неустойчивость по отношению к мелкомасштабным возмущениям. Воздействия на поток, способные подавлять коротковолновые возмущения, могут оказать существенное влияние на устойчивость фронта вытеснения. Одним из способов такого воздействия могут служить вибрации.

Проведено моделирование динамики капли вязкой жидкости в пористой среде, насыщенной другой жидкостью, при вибрационном воздействии. Капля является удачным объектом для

изучения, так как в этом случае можно наблюдать влияние вибраций на области границы раздела жидкости, наклоненные под разными углами по отношению к оси колебаний.

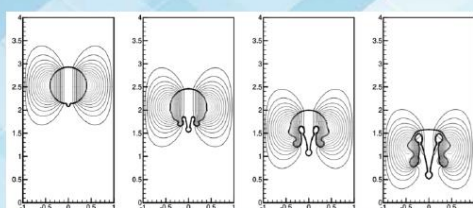
Численное моделирование проводилось на адаптивной неоднородной сетке, что позволило повысить точность и сократить время вычислений. Расчетная сетка в процессе численного моделирования автоматически изменяется таким образом, чтобы минимизировать сеточную диффузию вблизи границы раздела сред. Кроме этого на каждом шаге по времени проводится коррекция положения границы раздела и толщины переходного слоя, размеры которого поддерживаются постоянными.

В отсутствие вибрационного воздействия независимо от соотношения вязкостей жидкостей неустойчивость развивается на переднем фронте движущейся капли. Вибрации подавляют мелкомасштабные возмущения на поверхности движущейся капли. При вибрациях достаточной интенсивности и малых размерах капли неустойчивость на поверхности раздела сред не наблюдается. В рамках линейной теории устойчивости получен критерий стабильности капли.

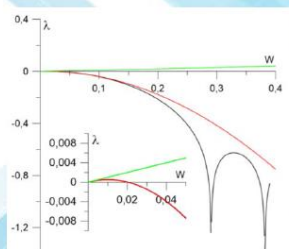
Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых методик управления многофазными течениями в пористых средах.

Устойчивость фронтов вытеснения в пористой среде

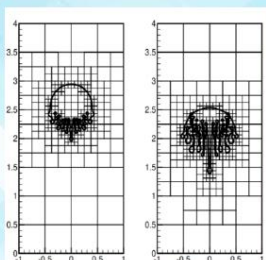
Численное исследование влияния вибраций на динамику капли жидкости



Развитие неустойчивости на поверхности движущейся капли со временем



Скорость роста возмущений фронта вытеснения



Адаптивная сетка

Проведено численное моделирование динамики капли вязкой жидкости в пористой среде, насыщенной другой жидкостью, при вибрационном воздействии.

Показано, что вибрации подавляют мелкомасштабные возмущения на поверхности движущейся капли. При вибрациях достаточно большой интенсивности и малом размере капли неустойчивость на поверхности раздела сред не возникает. В рамках линейной теории устойчивости получен критерий стабильности капли.

Результаты могут быть использованы при разработке новых методов управления многофазными течениями в пористых средах.

T. Lyubimova, A. Ivantsov, D. Lyubimov. Control of fingering instability by vibrations // *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. V. 16, 2021, 40 (Q1)

T. Lyubimova, A. Ivantsov, D. Lyubimov. Control of fingering instability by vibrations. *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. V. 16, 2021, 40.

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

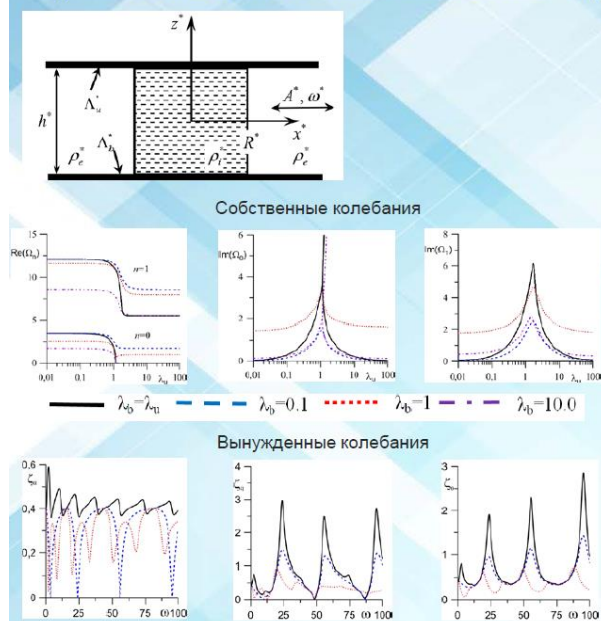
21. Исследованы трансляционные колебания капли жидкости, зажатой между двух разных параллельных поверхностей.

Аннотация

Исследованы малоамплитудные колебания капли жидкости, окруженной другой жидкостью в цилиндрическом сосуде. Капля имеет равновесную форму кругового цилиндра, который ограничен в осевом направлении крышкой и дном сосуда. Боковая стенка сосуда находится на большом расстоянии от капли, поэтому не оказывает влияния на ее поведение. На систему действует внешняя вибрационная сила направленная перпендикулярно оси симметрии цилиндра. Скорость движения контактной линии пропорциональна отклонению краевого угла от его равновесного значения. Данное условия приводит к затуханию колебаний, которое объясняется взаимодействием линии контакта с твердой поверхностью, несмотря на использование модели невязкой жидкости. Коэффициент пропорциональности, параметр Хокинга, индивидуален для каждой поверхности пластины.

Показано, что основная частота трансляционной моды может не обнуляться в отличие от случая с одинаковыми пластинами. Точка ветвления кривой коэффициента затухания соответствует точке зануления основной частоты. Видно, что диссипация увеличивается с ростом частоты. При внешнем воздействии возбуждаются как чётные, так и нечетные моды. Однако основная часть энергии сосредоточена в чётных модах, резонансные пики которых более заметны.

Трансляционные колебания капли жидкости, зажатой между двумя параллельными плоскостями с разными свойствами



Исследованы собственные и вынужденные колебания капли жидкости, зажатой между двумя параллельными плоскостями с разными свойствами. Показано, что, в отличие от случая одинаковых пластин, основная частота трансляционной моды колебаний может не обращаться в нуль. В этом случае точка ветвления кривой коэффициента затухания отсутствует. Диссипация увеличивается с ростом частоты.

При внешнем воздействии возбуждаются как чётные, так и нечетные моды. Основная часть энергии сосредоточена в чётных модах, резонансные пики которых более заметны.

Полученные результаты могут использоваться при исследовании свойств поверхностей подложек и контроля их качества.

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

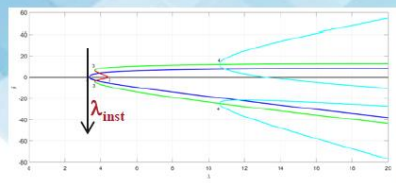
22. Исследована устойчивость и бифуркации двоякопериодического обобщения течения Колмогорова.

Аннотация

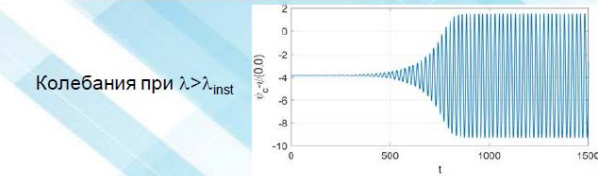
Рассмотрено семейство двумерных течений вязкой несжимаемой жидкости в плоской прямоугольной области с периодическими условиями на границах (течения на поверхности двумерного тора), вызванных силой, периодической по пространственным координатам и постоянной во времени, в комбинации с наличием прокачки в двух направлениях. Принят вариант силы, при котором реализуется двухвихревое стационарное течение, соответствующее точному решению уравнений Навье-Стокса с необычными свойствами лагранжевой динамики пассивной примеси: фрактальным спектром скорости, аномальными характеристиками транспорта и т.п.

Результаты численного моделирования спектральным и конечно-разностным методами устойчивости этого точного решения показали, что для стандартного варианта геометрии, когда возмущения рассматриваются в квадратной ячейке, соответствующей пространственным периодам вынуждающей силы, основное состояние устойчиво даже при больших значениях амплитуд вынуждающей силы, неустойчивость возможна только для вытянутых прямоугольных ячеек периодичности, в сторонах которых укладывается несколько периодов силы. В случае неустойчивости рост возмущений как правило колебательный, но имеются и области монотонных возмущений.

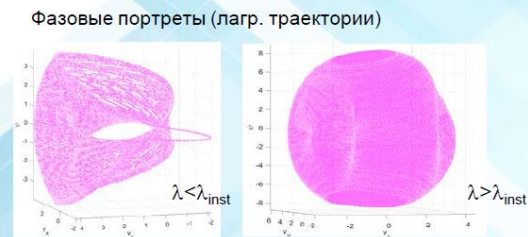
Исследование устойчивости и бифуркаций двоякопериодического обобщения течения Колмогорова



Бифуркационная диаграмма



Колебания при $\lambda > \lambda_{inst}$



Фазовые портреты (лагр. траектории)

Исследована устойчивость точного решения уравнений Навье-Стокса (Zaks, Pivovsky, Kurts, 1996) – двоякопериодического течения, являющегося двумерным обобщением течения Колмогорова с функцией тока

$$\Psi_0(x, y) = \text{Re}_x y - \text{Re}_y x + \lambda \frac{\sin(x + \phi_x)}{\sqrt{\text{Re}_x^2 + 1}} - \lambda \frac{\sin(y + \phi_y)}{\sqrt{\text{Re}_y^2 + 1}},$$

и проанализированы изменения в лагранжевой динамике жидких частиц при развитии вторичных течений.

Показана неустойчивость течения в прямоугольных ячейках с периодами, кратными периоду внешней силы, построены бифуркационные диаграммы при изменении геометрических и физических параметров.

Обнаружено, что неустойчивость в основном носит колебательный характер и приводит к существенным изменениям лагранжевой динамики частиц жидкости, в частности к появлению «лагранжевого хаоса» со сплошным спектром скорости.

На основе конечномерных моделей в рамках иерархии фурье-галёркинских разложений с различным числом мод и сеточным методом исследованы нелинейные режимы течения, построены бифуркационные диаграммы при изменении безразмерных параметров: прокачки и амплитуды воздействия в двух направлениях, а также пространственных периодов силы. Колебательная неустойчивость основного решения приводит к замене стационарного поля скорости на периодически зависящее от времени. Случай стационарного решения аналогичен интегрируемой гамильтоновой динамике с одной степенью свободы, где функция тока играет роль функции Гамильтона, а фрактальный спектр мощности и алгебраически убывающая автокорреляция лагранжевых наблюдаемых являются наиболее сложным вариантом динамики. При появлении зависимости от времени общим случаем становится так называемый «лагранжев хаос», характерный наличием абсолютно непрерывной составляющей в спектре мощности и экспоненциальным затуханием автокорреляции.

Оценено влияние нелинейных стационарных и зависящих от времени режимов на спектральные и транспортные свойства лагранжевой динамики примеси: для стационарных решений изучены условия сохранения аномальных свойств спектра, а при малых амплитудах временной зависимости прослежена промежуточная асимптотика от фрактального спектра к непрерывному. (Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., т.(342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru)

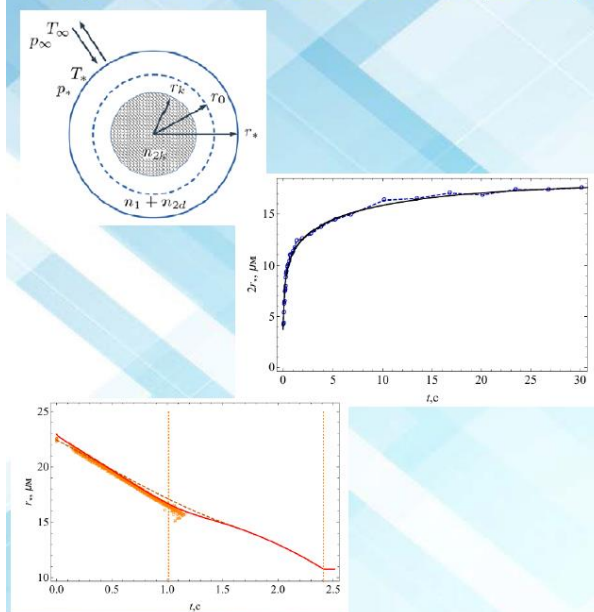
23. Разработана модель для исследования динамики пылевых аэрозолей с учетом гигроскопического изменения размера аэрозольных частиц.

Аннотация

Закономерности гигроскопического роста/уменьшения размера водорастворимых аэрозольных частиц оказывают существенное влияние на динамику процессов коагуляции и осаждения в аэрозольных системах. К настоящему времени имеется большое количество экспериментальных и теоретических исследований направленных на изучение гигроскопического изменения размера частиц различной химической природы. Наряду с комплексными многослойными моделями роста аэрозольных частиц широкое распространение получили модели, основанные на модификации уравнения Максвелла для конденсации и испарения капель, которые позволяют учесть температурные эффекты, влияние кривизны поверхности частицы и присутствие в ней растворимых веществ.

Динамика пылевых аэрозолей

Гигроскопическое изменение размера аэрозольных частиц



Предложена математическая модель эволюции размера водорастворимых аэрозольных частиц, которая помимо температурных эффектов, влияния кривизны поверхности частицы и присутствия в ней растворимых веществ, учитывает изменение размера нерастворенного ядра частицы. Это позволяет проводить моделирование всех этапов гигроскопического изменения размера частиц, начиная от превращения кристаллического ядра в каплю до ее последующего роста, и обратно, от испарения капли до формирования кристалла.

На основе предложенной модели проведено моделирование различных сценариев изменения состояния частицы в зависимости от ее начальной степени растворенности и относительной влажности окружающей среды. Показано, что предсказания модели качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными.

Разработанная модель может быть применена при решении фундаментальных и прикладных задач динамики водорастворимых аэрозольных систем.

Предложена математическая модель эволюции размера водорастворимых аэрозольных частиц, которая наряду с перечисленными эффектами учитывает изменение размера нерастворенного ядра частицы, благодаря учету зависимости активности воды от концентрации растворенной части частицы и введению дополнительного уравнения для эволюции нерастворенного ядра. Это позволяет избежать искусственного разделения этапов растворения частицы с нерастворенным ядром и без него и, как следствие, проводить моделирование всех этапов гигроскопического изменения размера частиц, начиная от превращения кристаллического ядра в каплю до ее последующего роста, а также обратно, от испарения капли до формирования кристалла.

На основе предложенной модели проведено моделирование различных сценариев изменения состояния частицы в зависимости от ее начальной степени растворенности и относительной влажности окружающей среды. Показано, что предсказания модели качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными об эволюции размера частиц хлорида натрия в режимах увлажнения и высушивания, а также с результатами измерений размеров частиц в равновесном состоянии при увеличении и уменьшении относительной влажности воздуха. Разработанная модель может быть применена при решении различных фундаментальных и прикладных задач динамики водорастворимых аэрозольных систем.

Проведена оценка изменение плотности частицы, находящейся в начальный момент в сухом состоянии. Было установлено, что при гигроскопическом росте частицы в воздухе с высокой относительной влажностью 99% изменение плотности превышает 10%, что необходимо учитывать при замене в модификации уравнения Максвелла дифференцирование по массе на дифференцирование по радиусу (диаметру) частицы.

Разработанная модель может быть применена для создания комплексной математической модели коагуляции и оседания частиц пылевых аэрозолей с учетом гигроскопического роста/уменьшения размера аэрозольных частиц.

(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»).

1.5.7.3. Развитие методов мониторинга развития опасных техногенных процессов; обеспечение безопасного ведения горных работ.

24. Разработана новая методология построения и параметризации тепловых моделей пород, используемых для мониторинга состояния ледопородных ограждений шахтных стволов. Исследованы особенности определения эффективных параметров тепловых моделей по данным экспериментальных измерений температуры пород и уровня грунтовых вод в контрольных скважинах. Предложены уникальные практические методы и средства, направленные на избежание неоднозначности в определении параметров тепловых моделей. Определены оптимальные технологические параметры систем мониторинга ледопородных ограждений по критерию точности и скорости настройки параметров тепловых моделей. Проведенные исследования позволили повысить безопасность и энергоэффективность проходки шахтных стволов способом искусственного замораживания пород (см. рис.1).

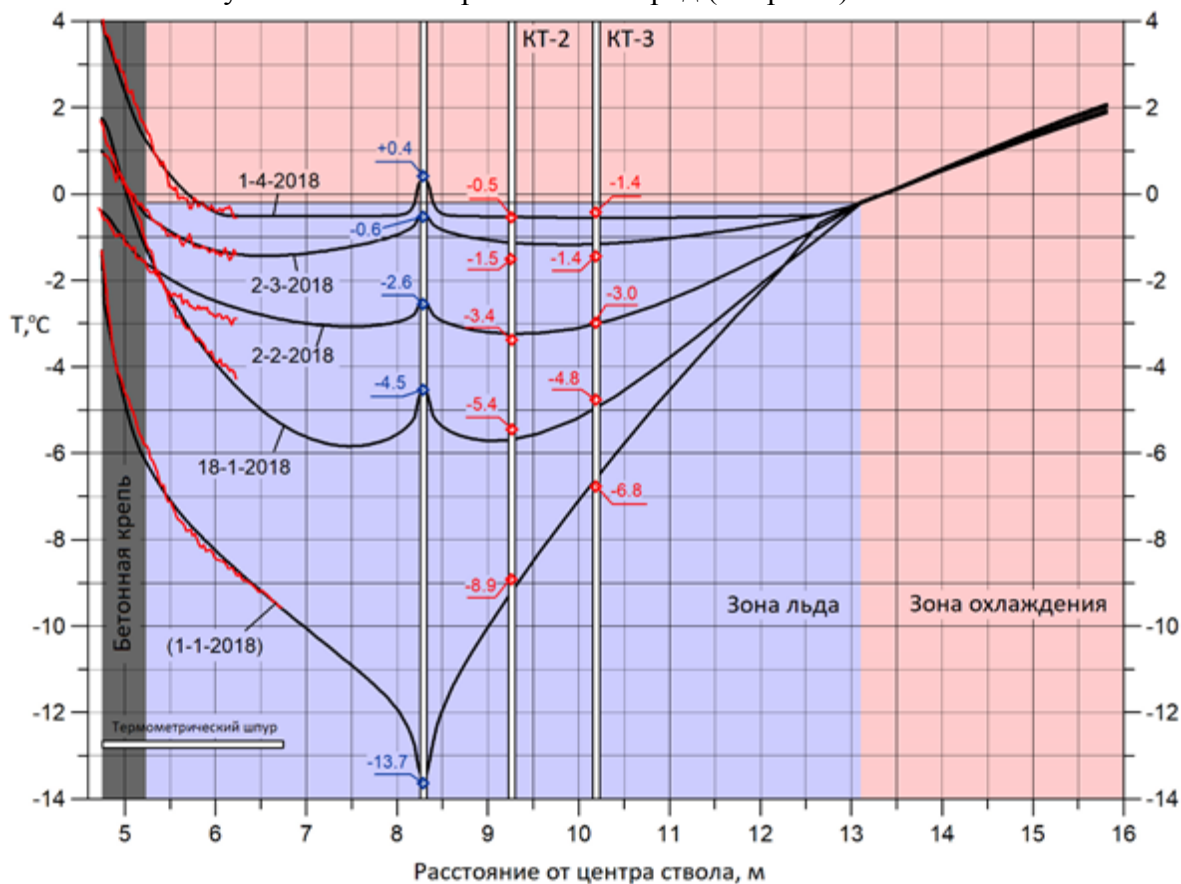


Рис. 1. Профили температуры в объеме замороженных пород в различные моменты времени после отключения замораживающей станции; красный цвет - экспериментальные данные, черные кривые - данные расчета на тепловой модели

Levin, L., Golovaty, I., Zaitsev, A., Pugin, A., Semin, M. Thermal monitoring of frozen wall thawing after artificial ground freezing: Case study of Petrikov Potash Mine //

Tunnelling and Underground Space Technology. - 2021. - Т. 107. - статья № 103685 (Q1 WoS).

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

25. На основе синтеза многовариантного крупномасштабного математического моделирования (рис. 2) и результатов мониторинга оседаний земной поверхности (рис. 3) разработана методика оперативной оценки опасности прорыва вод в горные выработки. Методика базируется на регламентации предельных наклонов мульды сдвижения. Построенные критериальные соотношения рекомендованы для включения в Федеральный нормативный документ СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».

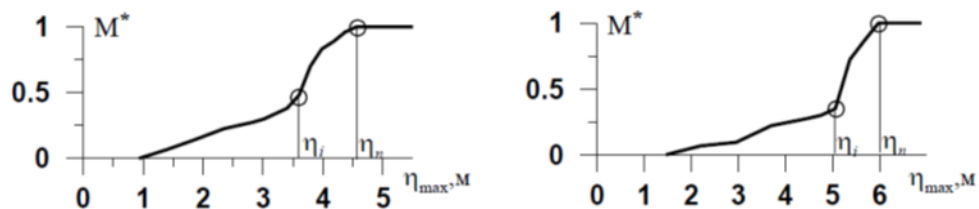


Рис. 2. Изменение относительной мощности разрушенных пластов каменной соли M^* с увеличением оседаний земной поверхности при различной длине краевой части мульды сдвижения

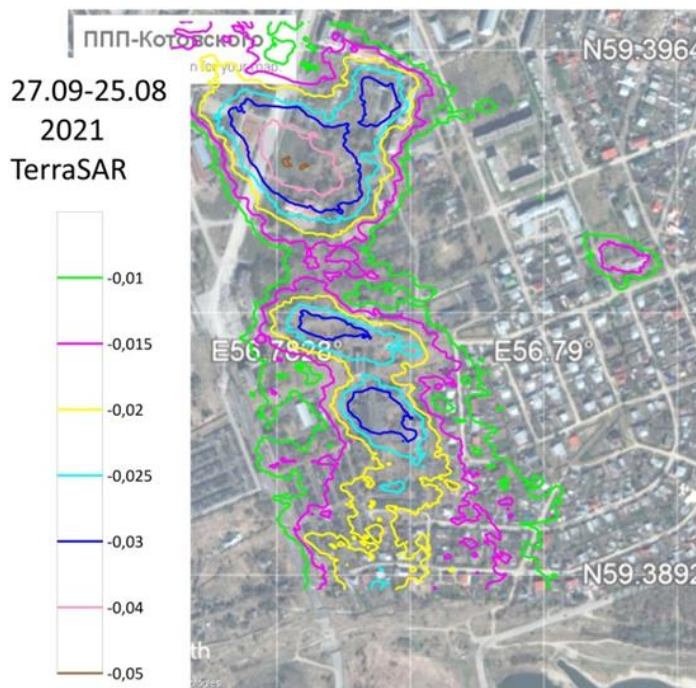


Рис. 3. Приращение оседания земной поверхности за 33 дня по результатам DInSAR-анализа снимков спутника TerraSAR-X

Барях А.А., Тенисон Л.О. Обоснование инженерных критериев безопасной подработки водозащитной толщи на Верхнекамском месторождении солей// Горный журнал. - 2021. - Т. 2021. - № 4.- С. 57-63.

Бабаянц И.П., Барях А.А., Волкова М.С., Михайлов В.О., Тимошкина Е.П., Хайретдинов С.А. Мониторинг оседаний на территории г. Березники (Пермский край) методами спутниковой радарной интерферометрии: I. Дифференциальная интерферометрия// Геофизические исследования. - 2021. - №4.

ПФИЦ УрО РАН – Горный институт УрО РАН, Пермь; Институт физики земли РАН, г. Москва (Рук. д.т.н., академик РАН Барях А.А., e-mail: bar@mi-perm.ru)

26. Впервые установлены закономерности распределения газодинамических характеристик пород по геологическому разрезу IV калийного горизонта Старобинского месторождения калийных солей, дана оценка возможности развития газодинамических явлений из пород кровли и почвы горных выработок, разработаны параметры дифференцированного (избирательного) профилактического дегазационного бурения шпуров для подготовительных горных выработок, включающие перечень подготовительных выработок, в которых необходимо применять профилактическое дегазационное бурение, дегазируемые породы (кровля или почва выработок), диаметр, глубину и расстояние между дегазационными шпурами (рис. 12). Внедрение параметров профилактического бурения дегазационных шпуров в подготовительных выработках, проходимых в породах IV калийного горизонта, опасного по газодинамическим явлениям, позволяет повысить безопасность и эффективность ведения горных работ в калийных рудниках.

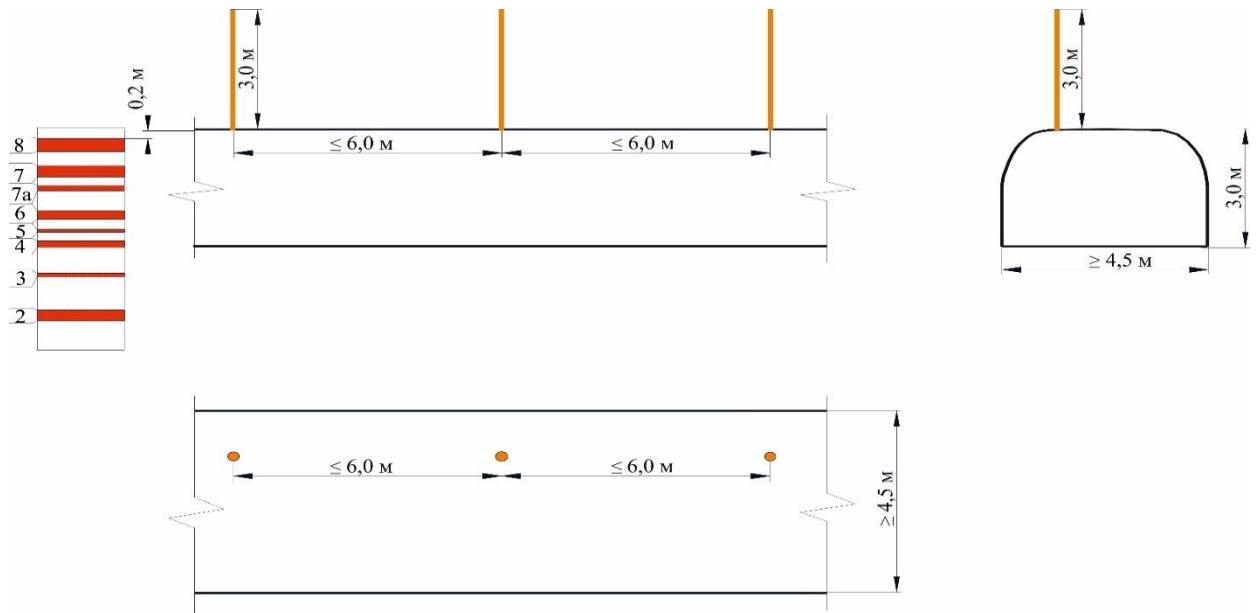


Рис. 12. Схема избирательного профилактического бурения дегазационных шпуров в кровлю выработки при проходке по породам IV калийного горизонта

Андрейко С.С. Газодинамическая опасность пород IV калийного горизонта на шахтном поле рудника 2 РУ и пород калийного горизонта IV-п на шахтном поле Петриковского ГОКа / Горное эхо: научно-техническое издание. – Пермь: 2021. – № 4 (85). – с.87–95.

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

1.5.11.1. Гидрология и экология вод суши

27. Методами математического моделирования и натурными исследованиями установлено, что существенная внутрисуточная неравномерность работы гидроэлектростанций вызывает значительные колебания скоростей течений воды в верхнем бьефе даже на расстоянии 15 км от гидроузлов (рис. 4). Эти колебания могут оказывать существенное влияние на эффективность работы водозаборов питьевой воды.



Рис. 4. Совмещенный хронологический график изменения расходов сброса воды на гидроэлектростанции и модулей скоростей течений воды в районе оголовков основного питьевого водозабора

Lyubimova T., Lepikhin A., Parshakova Y., Bogomolov A., Lyakhin Y. The influence of intra-day non-uniformity of operation of large hydroelectric powerplants on the performance stability of water intakes located in their upper pools // *Water (Switzerland)*. – 2021. – Т. 13. – статья № 3577. (Q1 Scopus). (Рук. д.г.н., Лепихин А.П., e-mail: lepihin49@mail.ru)

28. Результаты экспериментальных исследований показали, что добавление в шихту железно-рудных отходов эмульсий из тяжелых нефтяных остатков приводит к формированию органо-минеральной смеси, обладающей гидрофобными свойствами. Это определяет низкую растворимость соединений сформированной смеси в воде и позволяет использовать ее для изоляции пылящих поверхностей.

Bachurin B. A., Koshkarov V. E., Nevolin D. G. Environmental impact assessment of preventive emulsion based on heavy oil residue on organic pollution of water // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal*. 2021. № 4. С. 57–63. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-57-63 (Рук. к.г.-м.н., Бачурин Б.А., e-mail: bba@mi-perm.ru)

1.5.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых

29. В горных выработках соляных рудников на основании полноволнового моделирования спрогнозированы диаграммы направленности импульсных источников колебаний в трех векторах упругой деформации, соответствующих колебаниям упругих волн продольного (P) и поперечного (SV-вертикальной и SH-горизонтальной поляризации) типа. Обоснована наибольшая информативность продольных (рис. 5а) и поперечных вертикальной поляризации (рис. 5б) волн. Выявлен механизм формирования «фантомных» отражений в полях поперечных волн горизонтальной поляризации (рис. 5в).

На основании полученных результатов актуализированы направления многокомпонентной регистрации и обработки сейсмических данных для изучения строения и свойств породного массива, минимизирующие неоднозначность интерпретационных заключений.

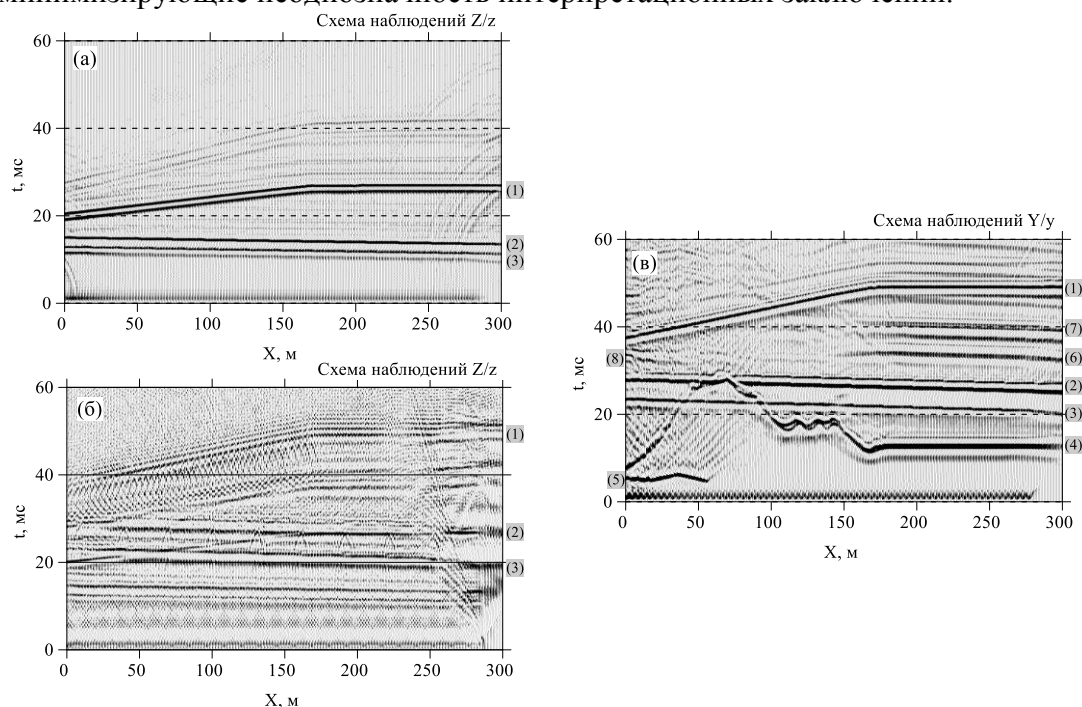


Рис. 5. Теоретические временные разрезы для верхнего полупространства с учётом отражающих границ, залегающих ниже линии наблюдений: а) при возбуждении в кровлю выработки (Z/z) P-волны, б) при возбуждении в кровлю выработки (Z/z) SV-волны; в) при возбуждении в стенку выработки (Y/y) SH-волны. Отражения от: 1 - кровли соляной толщи, 2 - кровли карналлитового пласта, 3 –подшвы карналлитового пласта, 4 –маркирующей глины, 5 -

«выработки», 6 – подошвы карналлита - «фантомное» 7 – кровли карналлита- «фантомное», 8 – «выработки»- «фантомное»

Санфи́ров И.А., Яросла́вцев А.Г., Бабкин А.И. Изучение особенностей формирования поля отраженных волн при наблюдениях в горных выработках соляных рудников на основе полноволнового моделирования // Геофизика. 2021. - №5. – С. 4-11.

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

30. По сочетанию отрицательных локальных аномалий силы тяжести с отрицательными динамическими аномалиями, выявленными по мониторинговым гравиметрическим наблюдениям, выделяются проблемные для эксплуатации Верхнекамского месторождения участки (рис. 8). Фиксирование циклов разуплотнения горных пород и последующих оседаний осуществлено по результатам долгосрочных периодических наблюдений изменения гравитационного поля.

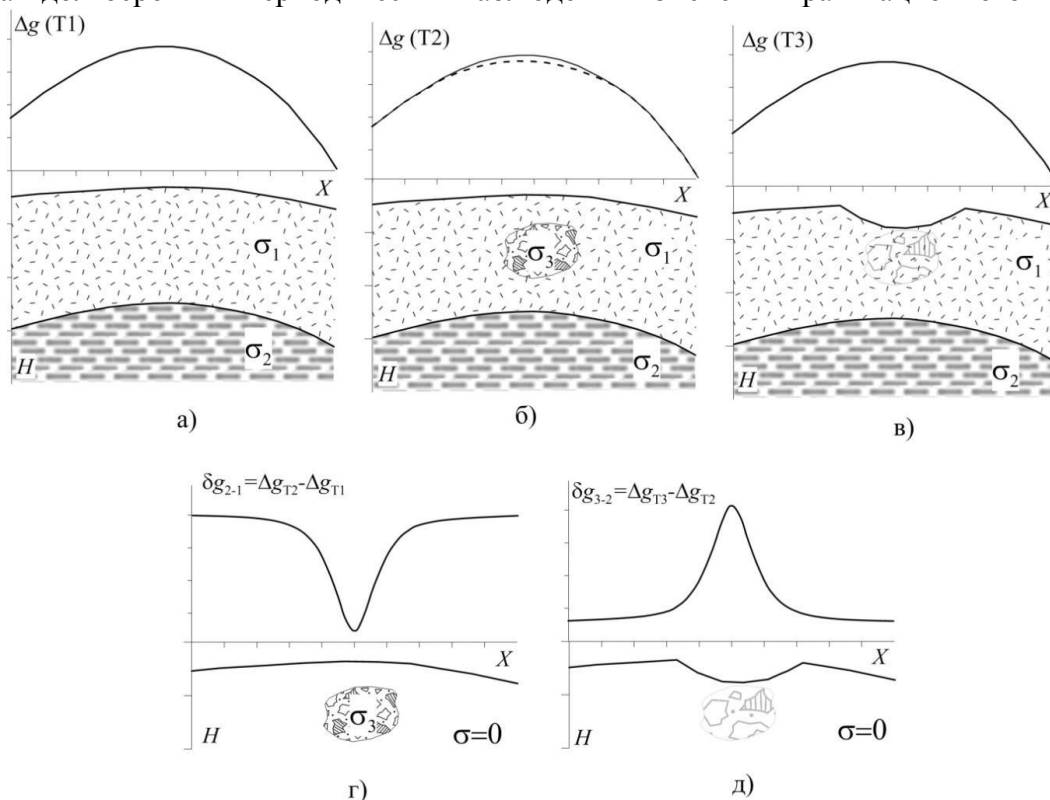


Рис. 8. Динамическая модель гравиметрического мониторинга

Bychkov S., Dolgal A., Simanov A. Interpretation of Gravity Monitoring Data on Geotechnical Impact on the Geological Environment // Pure and Applied Geophysics. 2021. 178. P.107–121. <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02640-8>.

Бычков С.Г., Симанов А.А., Хохлова В.В. Контроль процесса оседания земной поверхности по мониторинговым гравиметрическим наблюдениям // Инженерная и рудная геофизика 2021. Геленджик: EAGE. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202152028>.

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

31. Разработан и реализован алгоритм решения обратной задачи электроразведки методом дифференциальной эволюции. Данный подход позволяет реализовать концепцию многомерной оптимизации на основе стохастических методов, с использованием, малоизвестных в геофизической практике, идей генетических алгоритмов. Одним из достоинств метода является простота реализации, обусловленная единственным требованием к минимизируемому функционалу – это возможность его прямого вычисления. Другим, но не менее важным, достоинством метода является возможность избегать «застревания» в локальных минимумах при поиске решения в широком диапазоне возможных вариантов, в случае, когда функционал имеет сложный многоэкстремальный «овражный» характер.

1.5.10.2. Геоморфология

32. Установлены временные периоды оттаивания многолетнемерзлых пород в пределах Соликамской впадины. Были получены 29 уран-ториевых датировок, которые позволили установить начало потеплений плейстоцена в пределах Соликамской впадины (окончание Бёлинг-Алерёдского интерстадиала 13,2 тыс. лет назад, интерстадиалы 7 (ок. 34 тыс. лет), 21 (83-84 тыс. лет), 23 (ок. 104 тыс. лет) и 24 (106-107 тыс. лет)), и межледниковый MIS 5e (128 тыс. лет), MIS7 (243 тыс. лет назад), MIS9 (ок. 303 тыс. лет) и MIS13 (ок. 482 тыс. лет)

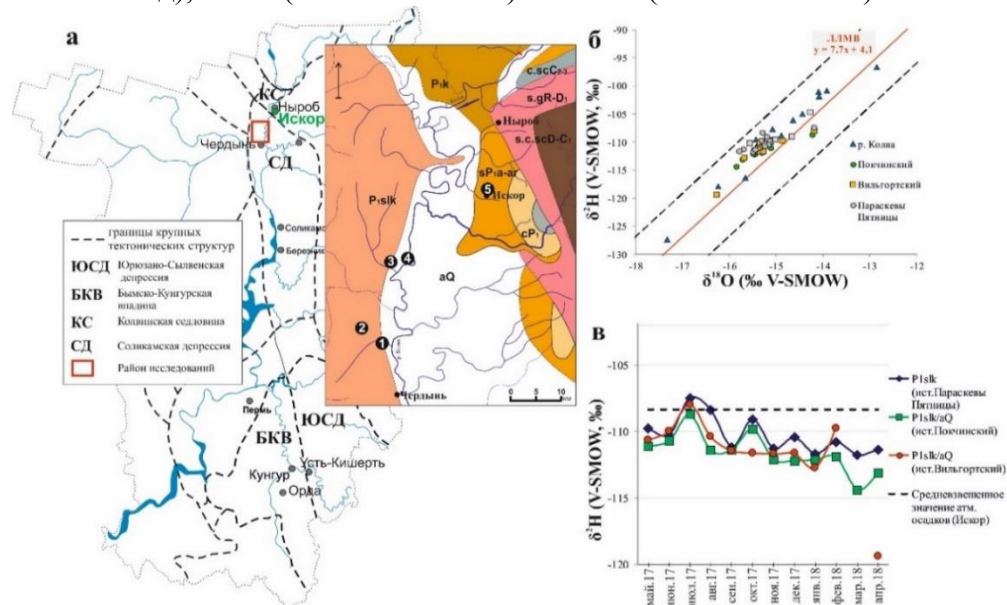


Рис. 6. Геолого-тектоническое строение района исследований (а) и изотопный состав водопроявлений (б, в)

Кадебская О.И. Периоды оттаивания многолетнемерзлых пород в границах Соликамской впадины // Горное эхо. 2021. № 3. С. 3-9.

Казанцева А.С. Изотопный состав подземных вод Соликамской впадины // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию горно-геологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета. Том 1 / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – С. 251-253.

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

1.5.1.6. Изучение и прогнозирование катастрофических явлений (землетрясения, извержения вулканов, цунами); оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности

33. Разработана и практически реализована технология мониторинга технического состояния зданий, расположенных над горными выработками, и базирующаяся на совместном использовании двух взаимно дополняющих методов - гидростатического нивелирования и мониторинга изменения резонансных (собственных) частот исследуемых объектов. Разработано программное обеспечение, позволяющее в автоматическом режиме собирать данные мониторинга, контролировать целевые параметры и получать информацию о результатах мониторинговых наблюдений через web-интерфейс. Разработанная технология представляется достаточно информативной и позволяет контролировать состояние здания в непрерывном режиме (рис. 7).

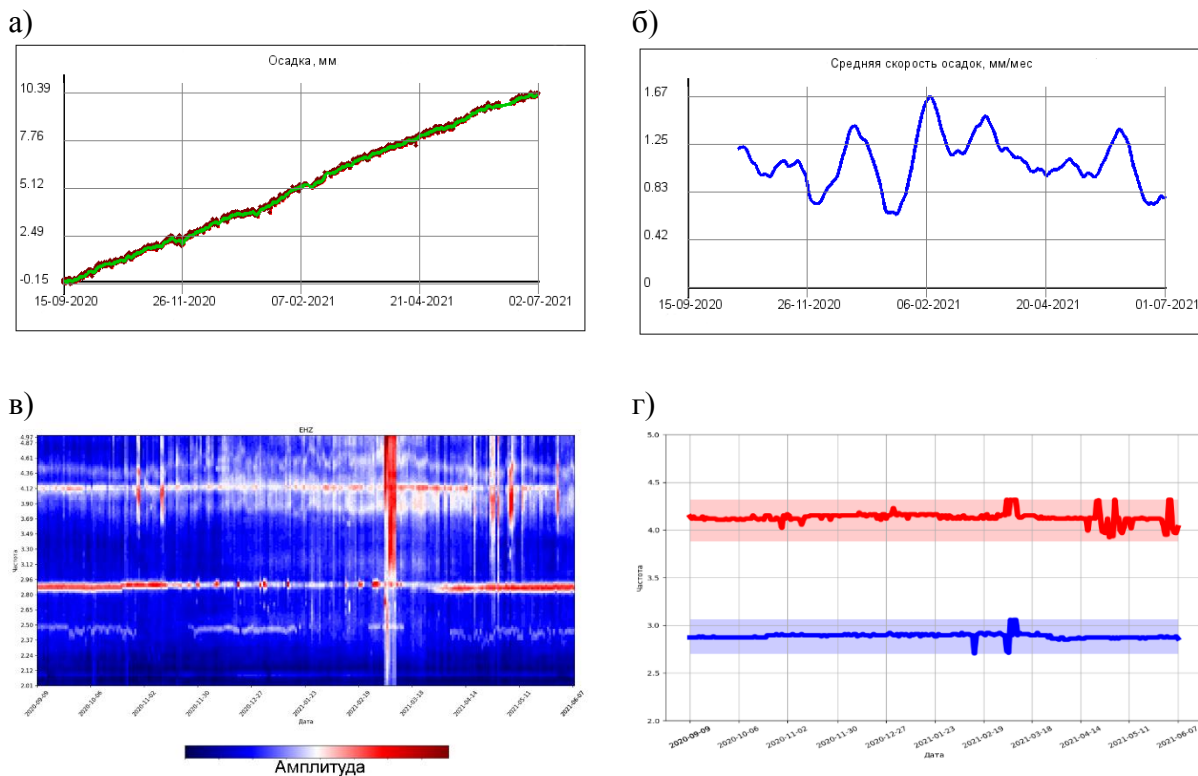


Рис. 7. Пример результатов автоматической обработки данных мониторинга: эволюция относительной разности осадок (а) и их скоростей (б); спектрограмма вертикальной компоненты колебаний (в) и графики изменения частот основных гармоник (г) Verkholantsev A.V., Tsvetkov R.V., Muriskin A.S., Pyatkov D.S. Deformation and Seismic Monitoring of a Residential Building Located in the Subsidence Zone above Mining // Seismic Instruments, 2021, Vol. 57, No. 6, pp. 730–741
 ПФИЦ УрО РАН – Горный институт УрО РАН и Институт механики сплошных сред УрО РАН, г. Пермь
 (Рук. к.т.н., Шулаков Д.Ю., e-mail: shulakov@mi-perm.ru)

1.5.5.4 Условия образования кор выветривания, осадочных и россыпных рудных месторождений; метаморфогенные рудные месторождения

34. Установлена геомеханическая и газово-геохимическая зональность на фронте высокоамплитудной (более 30 м) антиклинальной складки. Показано, что в процессе формирования данной дислокации сильвинитовый пласт подвергся соскладчатому катагенезу, приведшему к будинажу, уплощению зерен, отгонкой газово-жидких включений. Геомеханическая зональность проявилась в смене незначительно ослабленных пород (с подзоной более жестких и более пластичных), сильно ослабленными (с подзоной более вязких, менее упругих и менее вязких, более упругих). В процессе диффузии газовой фазы сформировалась зональность (метан и его гомологи → азот → углекислый газ), которая согласуется с их миграционной способностью. Интерполяция физико-механических свойств и газоносности до средних значений характерных для пласта дала основание предполагать, что зона влияния данной складки оказалась больше исследуемого интервала и составляет 380–500 м, что позволяет прогнозировать положение скоплений свободного газа.

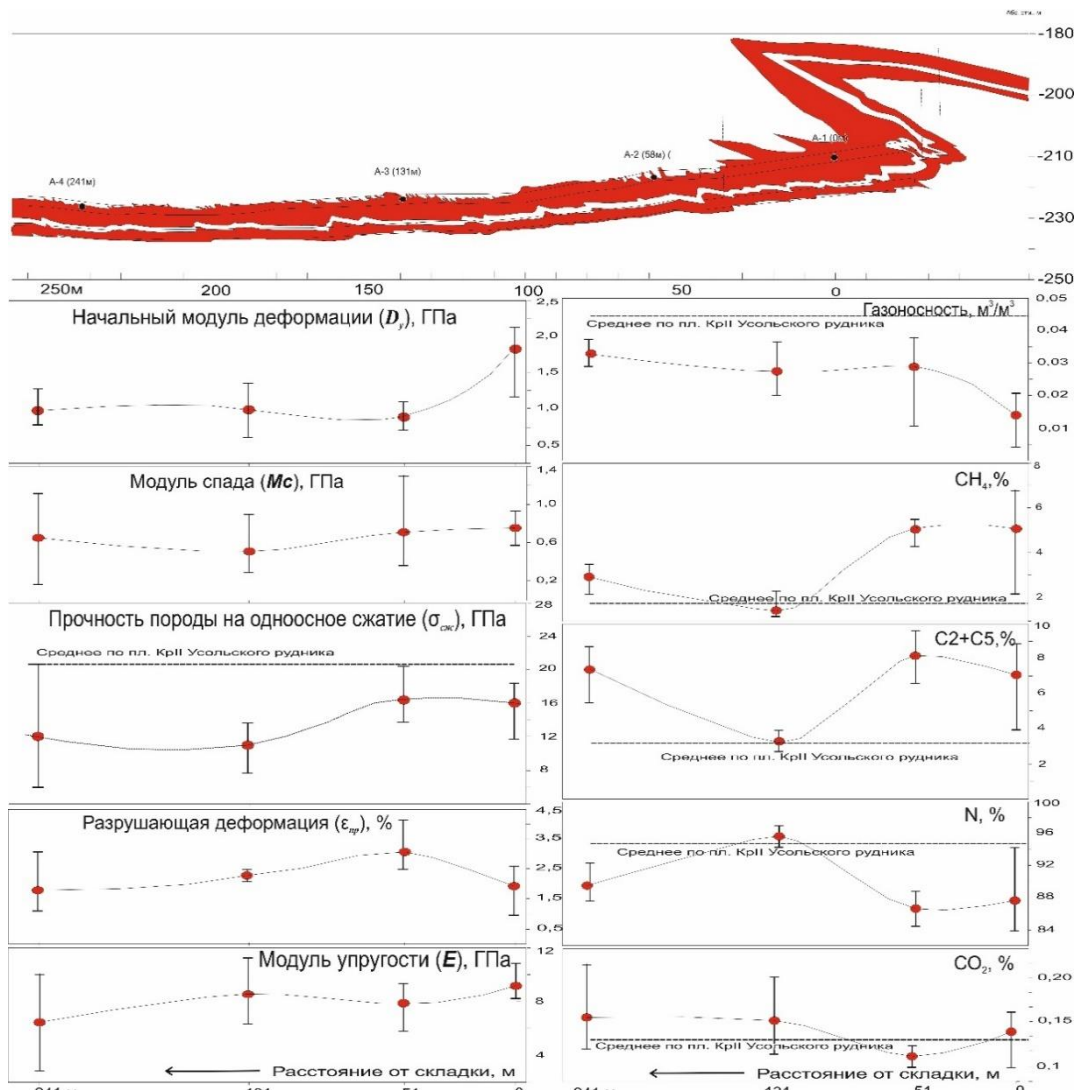


Рис. 9. Вариации геомеханических свойств, газоносности и состава газов перед складкой в сильвинитовых пластах

Чайковский И.И., Иванов О.В., Паньков И.Л., Чиркова Е.П. О природе крупной антиклинальной складки на Верхнекамском месторождении солей, ее геомеханической и газовой-геохимической зональности // УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ КАЗАНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. Серия естественные науки 2021, Т. 163, кн. 3 (в печати)
 (Рук. д.г.-м.н. Чайковский И.И., e-mail: ilya@mi-perm.ru)

1.5.7.1. Геомеханика; физико-химические свойства горных пород

35. По результатам натуральных наблюдений, лабораторных и численных экспериментов установлены основные закономерности изменения напряженно-деформированного состояния пород, вмещающих одиночные выработки, пройденные в сильвинитовом пласте вблизи более крепких (ангидрит-доломитовых) и более слабых (карналлитовых) пород. Устойчивость кровли горной выработки, пройденной в соленосных отложениях вблизи вышележащих более прочных ангидритовых, ангидрит-доломитовых пород, зависит от мощности пачки соляных пород, оставляемой в кровле выработки (рис. 10). Получены зависимости для оценки размеров зон запредельного деформирования пород, формирующихся в окрестности одиночной выработки, в зависимости от положения ее поперечного сечения относительно ангидрит-доломитовых и карналлитовых отложений.

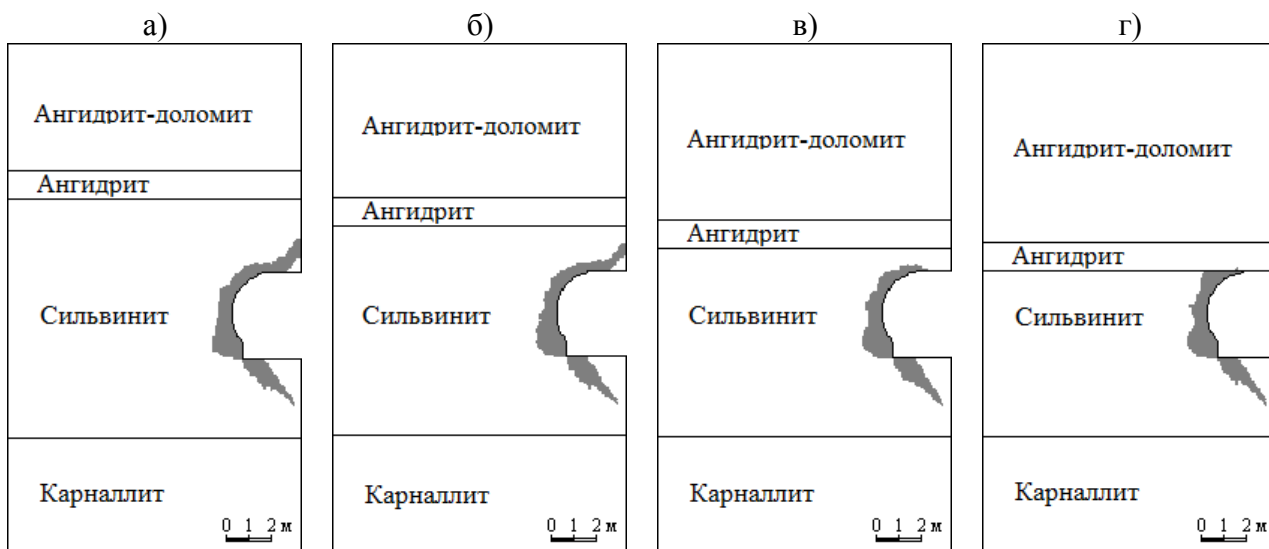


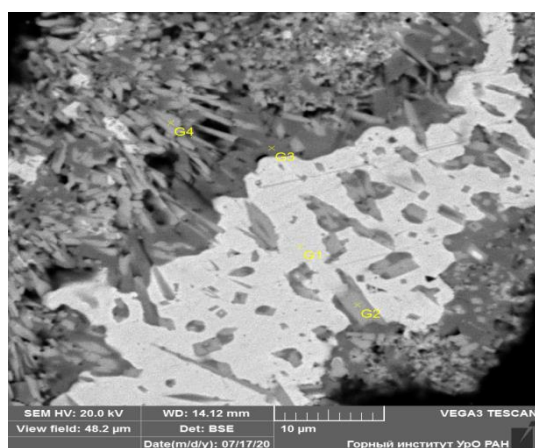
Рис. 10. Формирование зон запредельного деформирования в зависимости от мощности соляных пород в кровле выработки: а) 3,0 м; б) 2,0 м; в) 1,0 м; г) 0 м;
 — — области запредельного деформирования пород

Морозов И. А., Паньков И. Л., Токсаров В. Н. Изучение устойчивости горных выработок в соляных породах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 9. – С. 36–47. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_9_0_36.

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

1.5.7.2. Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья

36. При высокотемпературном обжиге флотационного шлама в узком диапазоне температур и содержаний хлоридных агентов получены интерметаллидные обособления, представленные техногенной минеральной ассоциацией Pd, Pt, Ag, Sn, Cu, Pb, формирующих как отдельные фазы, так и интерметаллиды (рис. 11).



| Элемен т | Карта 16. Сод. отн.% | | | |
|-------------|----------------------|------|-------|-------|
| | G 1 | G 2 | G 3 | G 4 |
| O | 1,53 | 22,2 | 9,71 | 22,95 |
| Pd | 57,77 | - | - | - |
| Pt | 2,8 | - | - | - |
| Ag | 21,4 | - | 1,72 | |
| Sn | - | 74,3 | 4,60 | 65,03 |
| Pb | 5,83 | - | - | - |
| Cu | 10,66 | 3,5 | 83,96 | 11,7 |
| Σ | 100 | 100 | 100 | 100 |

Рис. 11. Элементный состав фаз (по данным МРС-анализа)

(Рук. д.г.-м.н., Сметанников А.Ф., e-mail: smetannikov@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»).

1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин

37. Анализ жизнеспособности клеток человека играет ключевую роль в области биомедицинских технологий. Впервые разработан способ оценки жизнеспособности клеток эукариот методом лазерной интерференционной микроскопии, который основан на регистрации показателя преломления клеточных структур. Обработка сигналов изменений флуктуаций оптической толщины клетки, регистрируемых с помощью лазерного микроскопа МИМ-340 (Швабе, Россия), включает расчет показателей максимального значения дисперсии и наклона спектра мощности, что позволяет дифференцировать живые и мертвые клетки. Основное преимущество метода – это возможность проведения исследований нативных клеточных препаратов в режиме «реального времени», исключая воздействие на клетки традиционных токсичных красителей и таким образом обеспечивая высокую достоверность данных о функциональном состоянии клеток.



Рисунок – Способ оценки жизнеспособности клеток эукариот с помощью лазерного интерференционного микроскопа МИМ-340

1. Beloglazova Y., Nikitiuk A., Voronina A., Gagarskikh O., Bayandin Y., Naimark O., Grishko V. Label-free single cell viability assay using laser interference microscopy // *Biology*, 2021. V. 10. №. 7. P. 509-606. DOI: 10.3390/biology10070590 Q1, I.F. 5.079

2. Белоглазова Ю.А., Никитюк А.С., Воронина А.О., Гагарских О.Н., Баяндин Ю.В., Наймарк О.Б., Гришко В.В. Способ определения жизнеспособности клеток эукариот методом лазерной интерференционной микроскопии / Евразийский патент № 038893. Оpubл. 03.11.2021, реестр № 411.

(Рук. к.х.н. Гришко В.В. grishko@itch.perm.ru, отв. исполнитель – м.н.с. Белоглазова Ю.А. Лаборатория биологически активных соединений («ИТХ УрО РАН») совместно с «ИМСС УрО РАН» (д.ф.-м.н., проф. Наймарк О.Б.))

38. Преодоление множественной лекарственной устойчивости (МЛУ) раковых клеток – одна из актуальных проблем онкологии. Развитие МЛУ чаще всего обусловлено сверхсинтезом белков семейства ABC-транспортёров, ответственных за выброс из клетки лекарственных препаратов. Впервые обнаружено, что синтезированные из природного тритерпеноида бетулина производные с модифицированным кольцом А, нетоксичные в отношении нормальных клеток, проявляют микромолярную цитотоксичность в отношении опухолевых клеток различного происхождения, а также вариантов клеток с МЛУ путем ингибирования функций ключевого транспортного белка Р-гликопротеина. Способность эффективно подавлять экспрессию генов ABC-транспортёров и восстанавливать активность доксорубина в МЛУ-клетках позволяет рассматривать данные соединения в качестве перспективных противоопухолевых агентов широкого спектра действия.

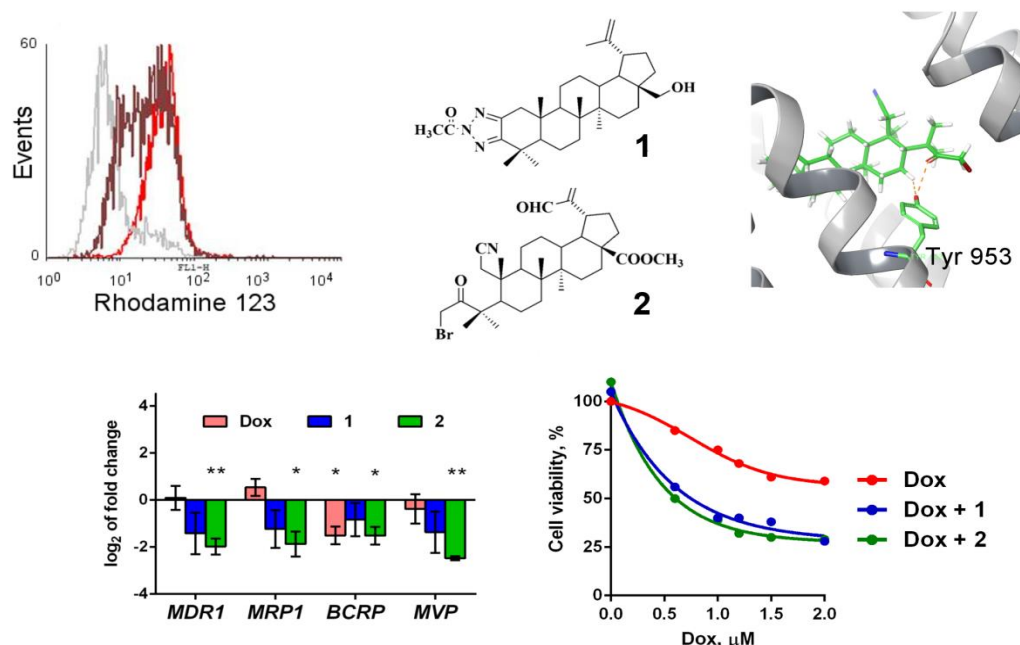


Рисунок – Воздействие тритерпеноидов на раковые клетки с множественной лекарственной устойчивостью: ингибирование выброса родамина 123, докинг с Р-гликопротеином, генотоксичность, совместное действие с доксорубицином.

1. Rybalkina E.Yu., Moiseeva N.I., Karamysheva A.F., Eroshenko D.V., Konyshova A.V., Nazarov A.V., Grishko V.V. Triterpenoids with modified A-ring as modulators of P-gp-dependent drug-resistance in cancer cells // *Chemico-Biological Interactions*, 2021. V. 348. 109645 doi.org/10.1016/j.cbi.2021.109645 Q1, I.F. 5.192

(Рук. – к.х.н. Гришко В.В. grishko@itch.perm.ru, отв. исполнители – к.б.н. Ерошенко Д.В., м.н.с. Коньшева А.В. (Лаборатория биологически активных соединений «ИТХ УрО РАН») совместно с НИИ канцерогенеза ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России (д.б.н. А.Ф. Карамышева))

39. Впервые получены полимерные наноконпозиты серебра на основе полисульфонов диаллиламинофосфониевых солей. Методом сканирующей электронной микроскопии подтверждено формирование наноконпозитов с узкодисперсным распределением наночастиц серебра в полимерной матрице и образование наночастиц сферической формы диаметром 16-18 нм. Уровень цитотоксической активности новых сополимеров и их наноконпозитов в отношении опухолевых клеток рабдомиосаркомы и меланомы сравним с действием противоопухолевого антибиотика доксорубицина. Наноконпозиты также обладают высокой бактерицидной активностью в отношении планктонных клеток и бактериальных биопленок. Вследствие отсутствия токсичного эффекта в отношении нормальных клеток *in vitro* и в тесте острой токсичности *in vivo* разработанные полимерные наноконпозиты могут рассматриваться в качестве перспективной платформы для разработки новых лекарственных средств.

Escherichia coli, ATCC 25922
Staphylococcus epidermidis 33

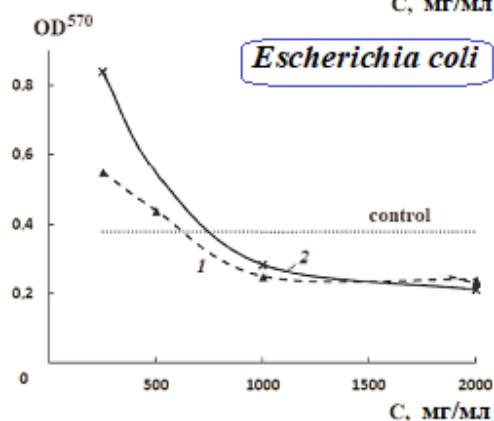
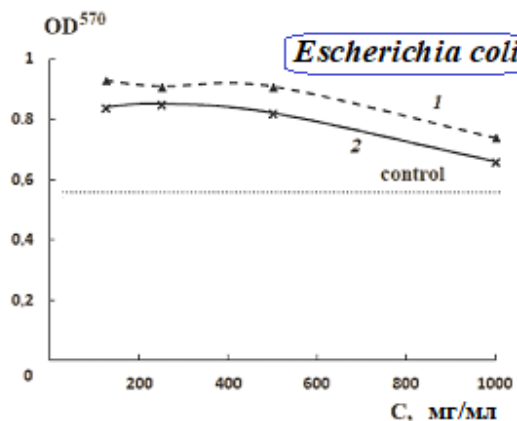
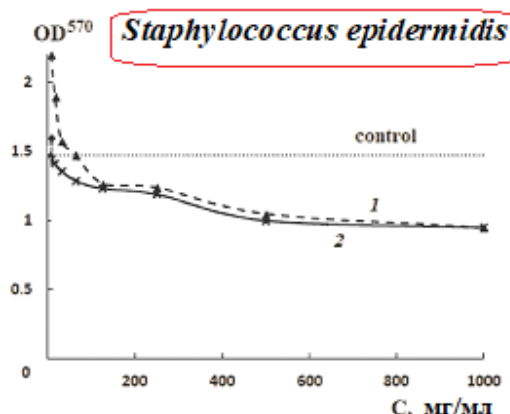
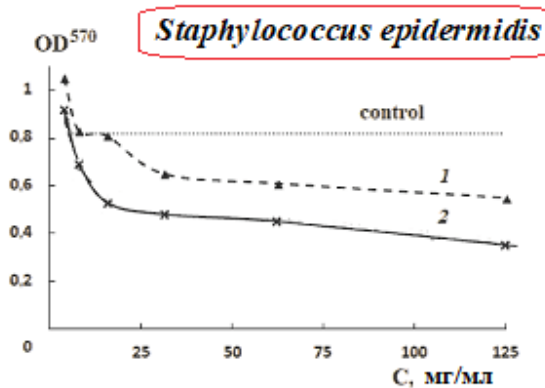
МБК, мкг/мл

31.2

3.9

Формирование биопленок

Сформированные биопленки



нано поли[ДААФ-BF₄-SO₂]
 нано поли[ДААФ-Cl-SO₂]

IC₅₀, мкМ

RD
 12.17±1.31
 17.89±1.65

MS
 5.35±1.25
 21.28±1.01

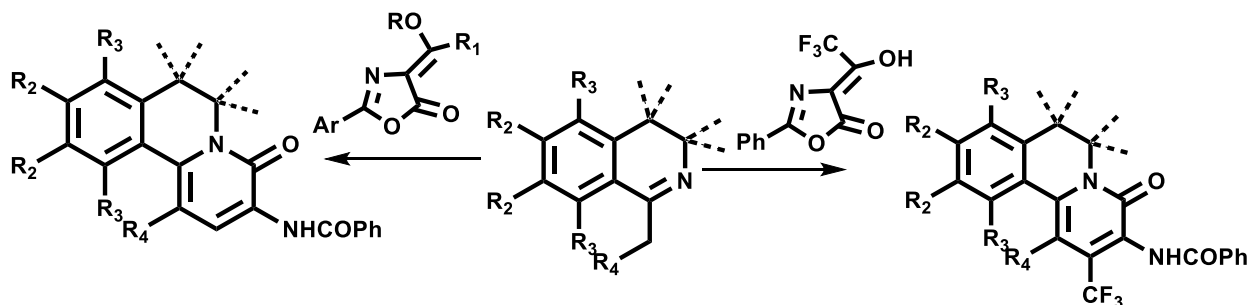
Рисунок – Бактерицидная и цитотоксическая активность наноконструкций.

1. Gorbunova M., Lemkina L., Nechaev A. Guanidinium and phosphonium scaffolds loaded with silver nanoparticles: synthesis, characterization, *in vitro* assessment of the antibacterial potential and toxicity. J. Inorg. Organomet. Polym. 2021. 31(5), P. 2218–2232 DOI:10.1007/s10904-021-01941-2 Q2, IF 3.54 (Рук. к.х.н. Горбунова М.Н., mngorb@newmail.ru отв. исп. – Д.В. Ерошенко (Лаборатория биологически активных соединений «ИТХ УрО РАН») совместно с «ИЭГМ УрО РАН» (к.м.н. Л.М. Лемкина)).

1.4.1.2 Новые атом- и энергосберегающие методы синтеза химических веществ

40. Впервые разработан подход к синтезу аналогов и прекурсоров природных, в т.ч. морских, алкалоидов с широким спектром биологической активности, в частности, препятствующих репликации SARS-Cov-2, а также являющимися агонистами и модуляторами каннабиоидных (CB2) рецепторов, антагонистами простагландиновых (EP3) рецепторов, нейродегенеративных заболеваний, включая болезнь Альцгеймера, противораковых и противовоспалительных препаратов.

Указанный подход заключается во взаимодействии производных 1-алкил-3,4-дигидроизохинолинов с азлактонами, что позволяет получать производные 3-амино-6,7-дигидро-4Н-пиридо[2,1-а]изохинолин-4-онов с выходами от 16 до 89 % (18 примеров).

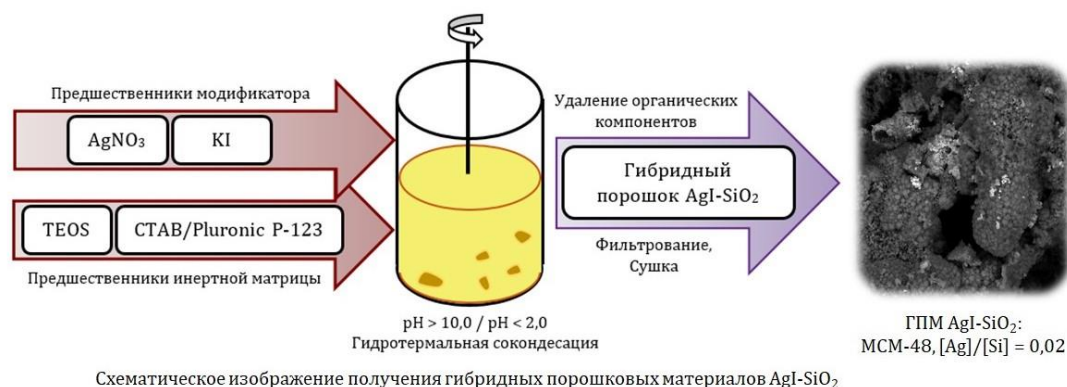


1. V.Yu. Shuvalov, A.L. Samsonenko, Y.S. Rozhkova, V.V. Morozov, Y.V. Shklyayev, A.S. Fisyuk / Synthesis of 3-Aminopyrido[2,1-*a*]isoquinolin-4-one Derivatives *via* Condensation of Azlactones with 1-Alkyl-3,4-dihydroisoquinolines. // ChemistrySelect 2021, 6, 11265–11269. doi.org/10.1002/slct.202103028 IF 2.109 Q2.

(Рук. д.х.н., проф. Шкляев Ю.В. yushka49@mail.ru Лаборатория синтеза активных реагентов «ИТХ УрО РАН».)

1.4.2.3 Физико-химические основы синтеза функциональных материалов для различных областей современной техники

41. Впервые установлены закономерности формирования β -формы иодида серебра в составе гибридного порошкового материала (ГПМ) AgI-SiO_2 , предназначенного для осаждения теплых/переохлажденных туманов и низких слоистых облаков. Предложены подходы, позволяющие получать ГПМ AgI-SiO_2 с целевой β -формой иодида серебра в количестве, превышающем 80 мас. %. Доказано, что использование в составе AgI-SiO_2 мезопористого диоксида кремния способствует повышению влагопоглощательной способности в 2,0-2,5 раза.



Гибридные порошковые материалы AgI-SiO_2 предназначены для конденсации теплых/переохлажденных туманов и низких слоистых облаков. Разработанные методы синтеза обеспечивают образование активных зародышеобразующих и влагопоглощательных центров

1. Averkina A.S., Kondrashova N.B., Valtsifer I. V, Valtsifer V.A. The Influence Preparation Way on Properties Powders AgI-SiO_2 // Silicon. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12633-021-01188-z> (Рук. д.т.н., проф. Вальцифер В.А. valtsifer.v@itcras.ru Лаборатория многофазных дисперсных систем «ИТХ УрО РАН»)

42. Впервые описано изменение абразивной стойкости полиуретановых литевых эластомеров в зависимости от влажности окружающей среды. Как было установлено, абразивный износ для некоторых типов полиуретанмочевин имеет исключительно сильную зависимость от влажности. Незначительное увеличение износа для полиуретанмочевин на основе простого олигоэфира типа олигобутиленоксиддиол демонстрирует резкий контраст по сравнению с почти двукратным повышением износа у аналогов на основе сложных олигоэфиров или олигоэфира типа олигопропиленоксиддиол. Причиной такого поведения изученных материалов является их временная пластификация влагой. Полученные результаты в корне меняют проблему выбора оптимального материала для использования в тех технологиях, в которых абразивный износ играет важную роль, в особенности в горно-обогащательной промышленности.

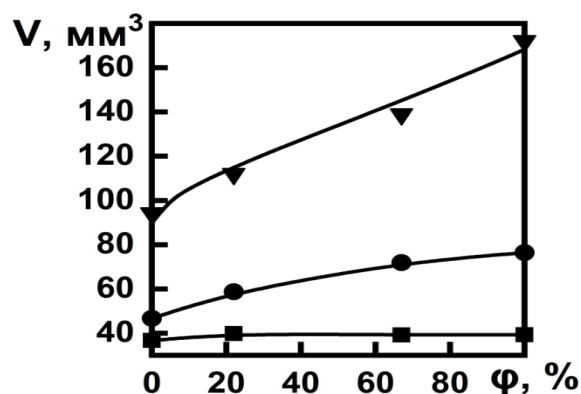


Рисунок – Зависимость объемного износа образцов полиуретанмочевинных эластомеров по ГОСТ 23509-79/ISO 4649-85 от относительной влажности воздуха ϕ для образцов, синтезированных эластомеров на основе толуилنديзоцианата, метилен-о-бис-хлоранилина и олигоэфиров: простого – олиготетраметиленоксиддиола с молекулярной массой 1000 (■) и олигопропиленоксиддиола (Лапрол-1052) с молекулярной массой 1000 (▼) и сложного олигоэтилен-бутиленгликольадипината П-6БА с молекулярной массой 2000 (●).
(Рук. чл.-корр. РАН Стрельников В.Н. svn@itcras.ru Лаборатория полимерных материалов «ИТХ УрО РАН»)

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

1.6.3.1. Разнообразие микроорганизмов

43. Подведены итоги многолетних территориально ориентированных исследований функционального и видового разнообразия типичных представителей почвенных и водных нокардиоподобных бактерий, содержащих миколовые кислоты, – актиномицетов рода *Rhodococcus* (класс *Actinomycetia*) в биогеоценозах антропогенно нагруженных почвенных и водных экосистем. Получены новые фундаментальные данные об особенностях биологии развития и дифференциации стресс-толерантных родококков разных видов, выделяющихся среди других микроорганизмов наибольшим разнообразием деградируемых экополлютантов и перспективных в качестве уникальных источников специфических ферментных систем, биосурфактантов, иммуномодуляторов. На примере *Rhodococcus* spp. обсуждаются вопросы, касающиеся универсальных механизмов защиты бактерий от негативного воздействия антропогенных загрязнителей и рисков патогенизации свободноживущих бактериальных форм, усиления роста паразитарной и патогенной микробиоты.

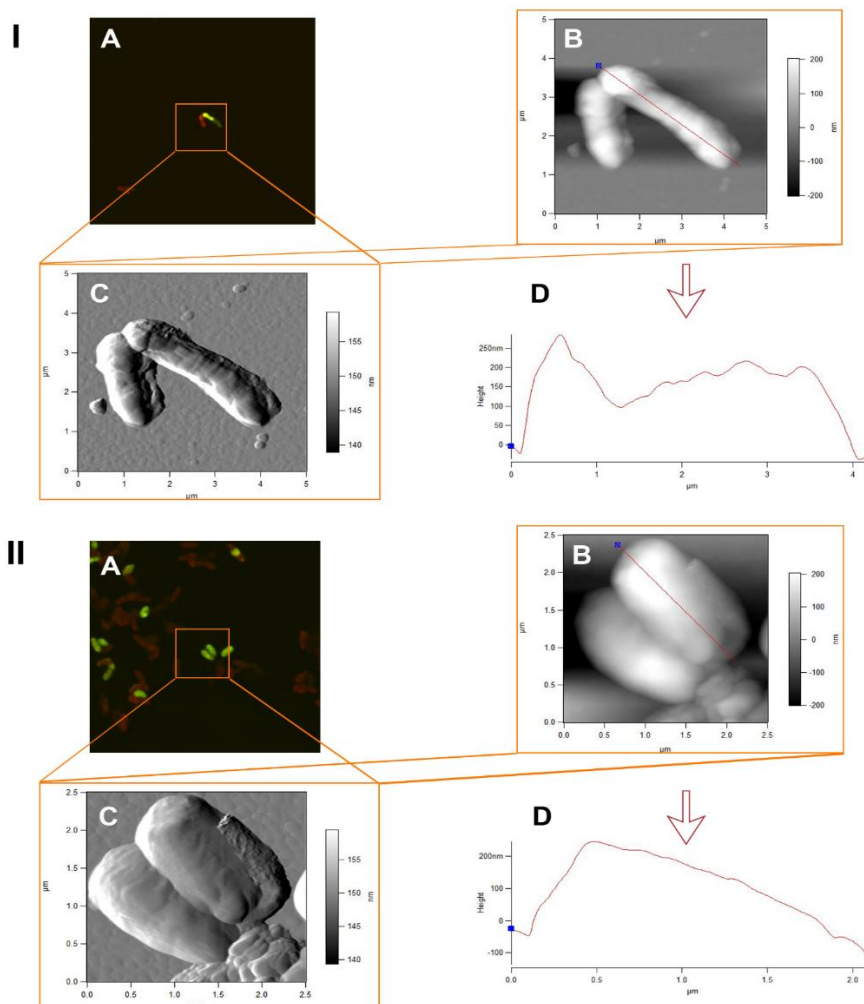


Рисунок – КЛСМ (А), АСМ (В, С) изображения и профили (D) клеток *Rhodococcus cerastii* ИЭГМ 1278, выращенных в течение 4 сут в присутствии *n*-гексадекана (I) и 100 мг/л ибупрофена и *n*-гексадекана (II). Шкала на КЛСМ-изображениях соответствует 5 мкм.

Под влиянием фармполлютанта ибупрофена и его метаболитов наблюдается переход родококков от одиночного состояния к многоклеточному существованию, сопровождающийся выраженной морфологической аномалией клеток (изменение их формы и размеров, снижение соотношения площади поверхности клетки к ее объему, а также параметров шероховатости клеточной поверхности), смещением ζ -потенциала в область более отрицательных значений и снижением проницаемости клеточных мембран. Полученные данные рассматриваются нами в качестве механизмов адаптации родококков и, как следствие, повышения их устойчивости к воздействию ибупрофена.

Ившина И.Б., Куюкина М.С., Каменских Т.Н., Криворучко А.В., Тюмина Е.А., Елькин А.А. Углеродородокисляющие родококки: особенности биологической организации под воздействием экополлютантов. Атлас-монография / Под ред. И.Б. Ившиной. УрО РАН, 2021. 140 с. ISBN 978-5-7691-2546-1. Усл. печ. л. 13,6. Тираж 350 экз.

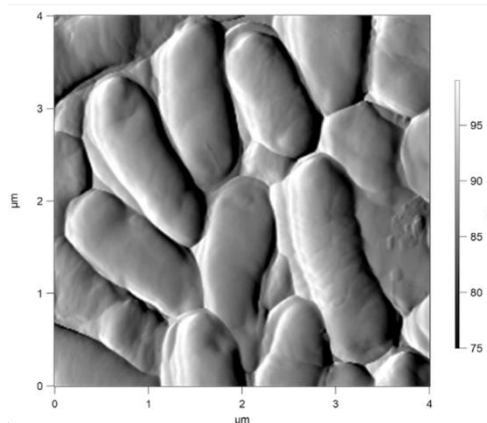
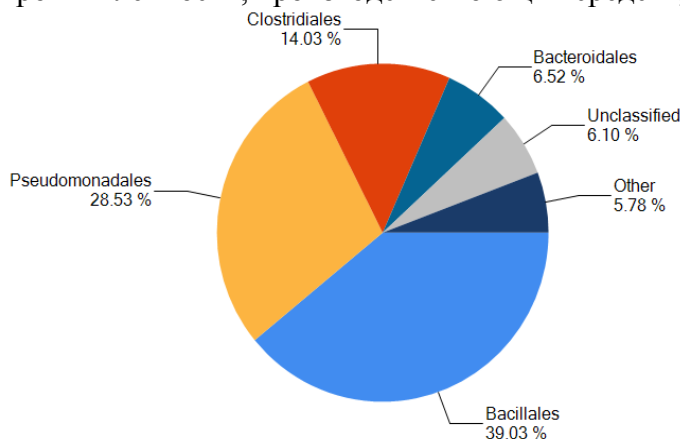
Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V., Tyumina E.A. Responses to ecopollutants and pathogenization risks of saprotrophic *Rhodococcus* species // Pathogens. 2021. V. 10. Article 974. DOI: 10.3390/pathogens10080974. Q2.

Ivshina I.B., Tyumina E.A., Bazhutina G.A., Vikhareva E.V. Response of *Rhodococcus cerastii* IEGM 1278 to toxic effect of ibuprofen // PLoS ONE. 2021. V. 16(11). Article e0260032. DOI: 10.1371/journal.pone.0260032. Q1.

Ившина И.Б., Тюмина Е.А., Бажутин Г.А., Вихарева Е.В. Биодеструктор ибупрофена // Патент на изобретение РФ № 2762007. Зарегистр. в Госреестре изобр. РФ 14.12.2021. Бюл. № 35. Патентообладатель: ПФИЦ УрО РАН.

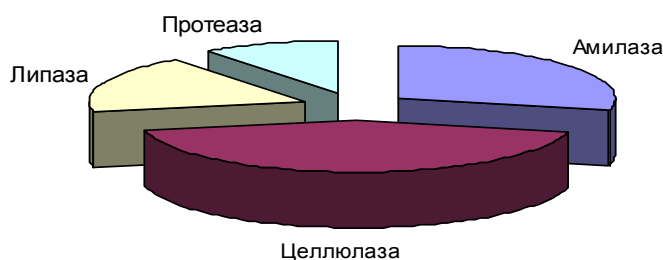
(Рук. академик РАН Ившина И.Б., т.(342) 280-81-14, e-mail: ivshina@iegm.ru).

44. Изучено разнообразие бактериального сообщества различных сред биотопа антропогенного происхождения – содового шламохранилища г. Березники (Пермский край). (**) Из содового шлама и грунтов, восстанавливающихся после антропогенной нагрузки, выделены бактерии, устойчивые к щелочной среде и высокой минерализации, обладающие различными гидролитическими активностями: амидазной, амилазной, липазной, нитрилгидролазной, протеазной, целлюлазной. Выделенные штаммы полезны для биотехнологий и могут служить источником ферментов, используемых в различных сферах народного хозяйства (химической промышленности, производстве моющих средств, обработке целлюлозосодержащих отходов).



Метагеномный анализ бактериального сообщества действующего содового шламохранилища

Факультативный алкалофил *Bacillus aequororis* 5-ДБ



Соотношение гидролитических бактерий в грунте восстанавливающихся территорий содового шламохранилища

Шилова А.В., Максимов А.Ю., Максимова Ю.Г. Выделение и идентификация алкалотолерантных бактерий с гидролитической активностью из содового шламохранилища // Микробиология. – 2021. – Т. 90, № 2. – С. 155-165.

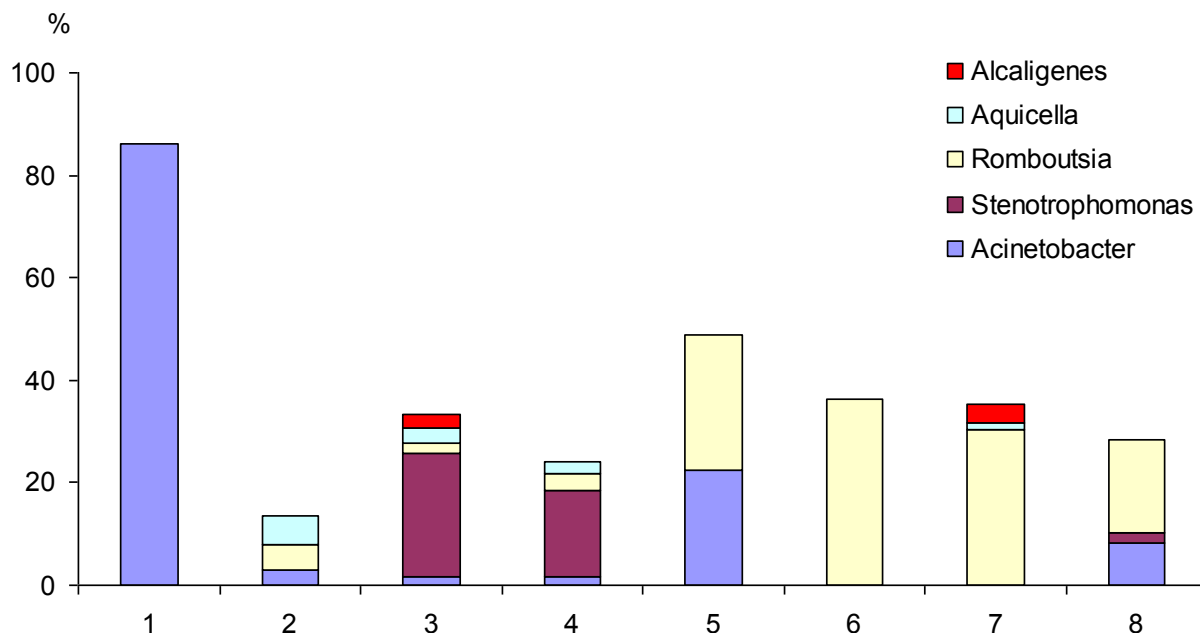
Максимова Ю.Г., Шилова А.В., Щетко В.А., Максимов А.Ю. Содовые шламохранилища: проблема утилизации отходов и поиск микроорганизмов-продуцентов промышленно значимых ферментов // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25, № 10. – С. 20–25.

Шилова А.В., Глебов Г.Г., Максимова Ю.Г. Морфологические аспекты адаптации алкалофильной бактерии *Bacillus aequororis* к высокой солености и щелочности среды // Вестник Пермского университета. Серия Биология. – 2021. – № 3. - С. 178-184.

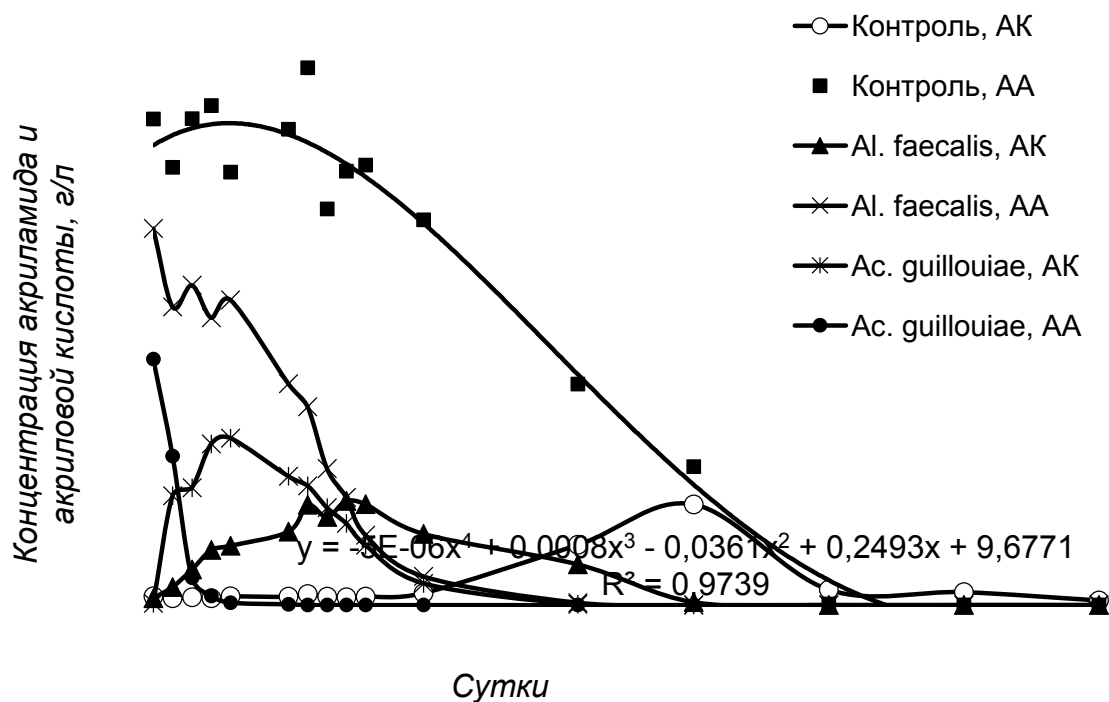
(Рук. д.б.н. Максимова Ю.Г., т. (342) 212-44-76, e-mail: maks@iegm.ru).

45. Изучено биоразнообразие илов антропогенно-загрязненной реки Данилихи и более экологически чистого притока реки Сюзьва (Пермский край) методом метагеномного секвенирования. С целью увеличения биodeградативной способности микробиоты ила по отношению к акриламиду внесена биомасса амидазосодержащих штаммов. Показано, что в условиях умеренной климатической зоны с преобладанием среднегодовых температур воздуха и

воды ниже 25°C формирование самоподдерживающейся популяции на основе внесенных бактерий с амидазной активностью происходит эффективнее, чем в условиях повышенных температур. Полученный консорциум способен к деградации высоких концентраций акриламида - токсичного загрязнителя окружающей среды.



Процентное соотношение некоторых родов домена *Bacteria* в образцах после инкубации в течение 6 мес. при 5°C: 1 – ил р. Данилихи; 5 – ил притока р. Сюзьва; при хранении 6 мес. при 25°C: 2 – ил р. Данилихи без аугментации; 3 – ил р. Данилихи с биоаугментацией *A. faecalis*; 4 – ил р. Данилихи с биоаугментацией *A. guillouiae*; 6 – ил притока р. Сюзьва, без аугментации; 7 – ил притока р. Сюзьва с биоаугментацией *A. faecalis*; 8 – ил притока р. Сюзьва с биоаугментацией *A. guillouiae*



Трансформация акриламида илом р. Данилиха после инкубации при 5°C в течение 6 мес.:
 АА – акриламид, АК – акриловая кислота, контроль – суспензия ила без добавления
 биомассы амидазосодержащих бактерий.

Максимова Ю. Г., Овечкина Г. В., Максимов А. Ю. Биоаугментация акриламид-деградирующих бактерий в микробиоте речного ила // Вода и экология: проблемы и решения. 2021. № 3 (87). С. 56-65.

(Рук. д.б.н. Максимова Ю.Г., т. (342) 212-44-76, e-mail: maks@iegm.ru).

1.6.6.3. Идентификация и описание новых метаболических путей у микроорганизмов и новых биологически активных метаболитов и ферментов с биотехнологическим потенциалом

46. Экспериментально обоснована возможность направленной модификации функциональной активности актинобактерий рода *Rhodococcus* с применением металлических наночастиц, ведущей к повышению стабильности и эффективности иммобилизованных биокатализаторов. Эффективность комбинированного метода био(нано)обработки загрязненной нефтепродуктами воды в биореакторе с помощью иммобилизованных актинобактерий и наночастиц никеля составила 80% при сохранении функциональной стабильности активированного нанометаллом биокатализатора в течение трех операционных циклов. (**)

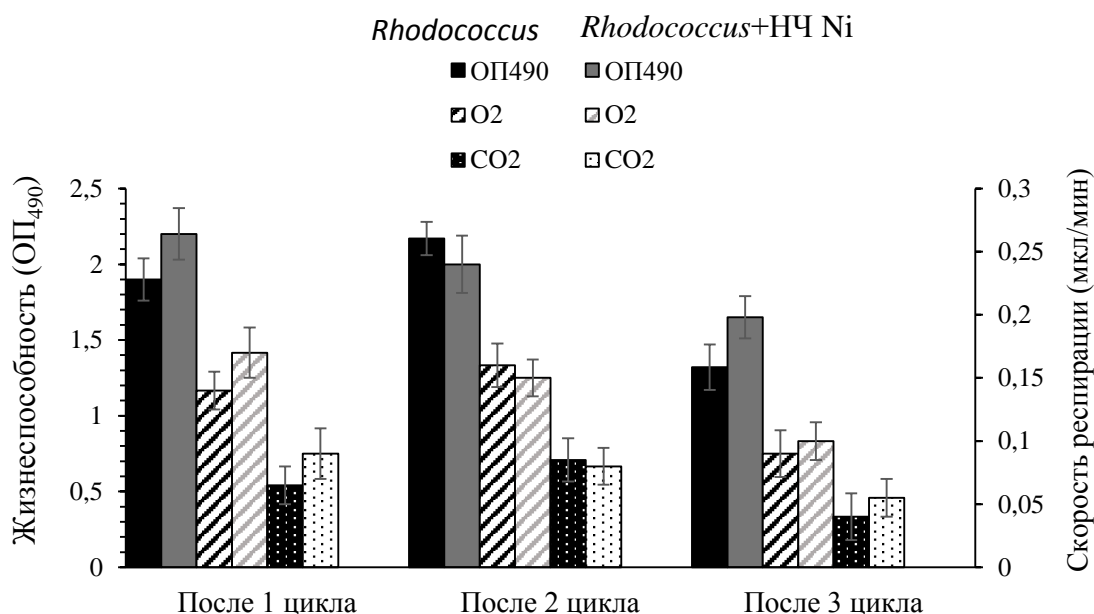


Рисунок – Функциональная стабильность иммобилизованных клеток *Rhodococcus*, активированных наночастицами никеля, в процессе очистки нефтезагрязненной воды в лабораторном биореакторе.

Kuyukina M.S., Ivshina I.B., Krivoruchko A.V., Peshkur T.A., Cunningham C.J. Improvement of jet fuel contaminated water treatment in a fluidized-bed bioreactor by introducing nickel nanoparticles // International Biodeterioration & Biodegradation. 2021. Article 105308. Q2.

Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V. Extremotolerant *Rhodococcus* as an important resource for environmental biotechnology // In: Actinomycetes in Extreme and Marine Environments: An Unexhausted Source for Microbial Biotechnology / Ed. by I. Kurtböke. – Science Publishers, CRC Press: Boca Raton, 2021.

Cunningham C.J., Peshkur T.A., Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Sustainable bioremediation of hydrocarbon contaminated soils: opportunities for symbiosis with organic waste management? // Russian Journal of Ecology. 2021. V. 52. № 6. P. 462–468. DOI: 10.1134/S1067413621060047.

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

47. Механизм действия синтетического аналога дитерпена морского происхождения на *Mycobacterium smegmatis*.

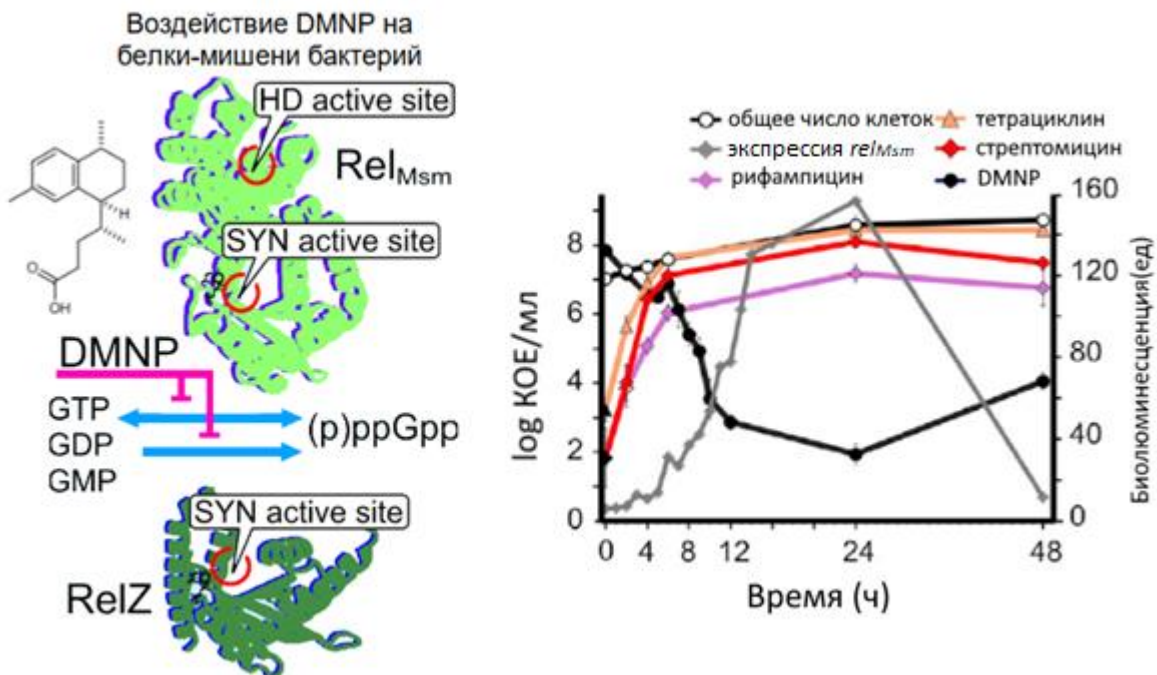


Рис. 1. Механизм антибактериального действия DMNP на клетки *M. smegmatis*.

А. Воздействие DMNP на белки-мишени; Б. DMNP подавляет персистообразование в стационарной фазе роста *M. smegmatis*, в противоположность клиническим антибиотикам. Исследован механизм антибактериального действия синтетического дитерпеноида морского происхождения 4-(4,7-Диметил-1,2,3,4-тетрагидронафталин-1-ил)пентановая кислота с условным названием DMNP, структурная формула которого представлена на рисунке. (**)

Показано, что мишенями DMNP в клетках *Mycobacterium smegmatis*, модельного организма для изучения возбудителя туберкулеза, являются ферменты, ответственные за синтез сигнальных соединений – гуанозинтетра(пента)фосфата (p)ppGpp, которые вырабатываются бактериями в ответ на воздействие клинических антибиотиков и стрессов и запускают механизмы адаптации к ним, в том числе персистенцию и образование биопленок. К таким ферментам в клетках микобактерий относятся (p)ppGpp синтетазы Rel_{Msm} и RelZ. Контуры компьютерных моделей этих белков обозначены на рисунке зеленым цветом с указанием красными окружностями активных центров, на которые воздействует DMNP. Используя данный механизм, DMNP подавляет адаптацию микобактерий к клиническим антибиотикам, предотвращая развитие персистенции и образование биопленок. В перспективе это соединение может быть использовано для разработки терапевтических средств, в том числе направленных на подавление затяжных рецидивирующих инфекций туберкулеза.

Представленные результаты опубликованы в статье:

A.G.Tkachenko, N.M. Kashevarova, R.Yu. Sidorov et al. A synthetic diterpene analogue inhibits mycobacterial persistence and biofilm formation by targeting (p)ppGpp synthetases. *Cell Chemical Biology* Volume 28, Issue 10, 21 October 2021, Pages 1420-1432.e9

<https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2021.01.018>. Q1

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

48. Роль эндогенного кадаверина, продукта лизиндекарбоксилазной активности, в регуляции чувствительности *Escherichia coli* к антибиотикам. (**)

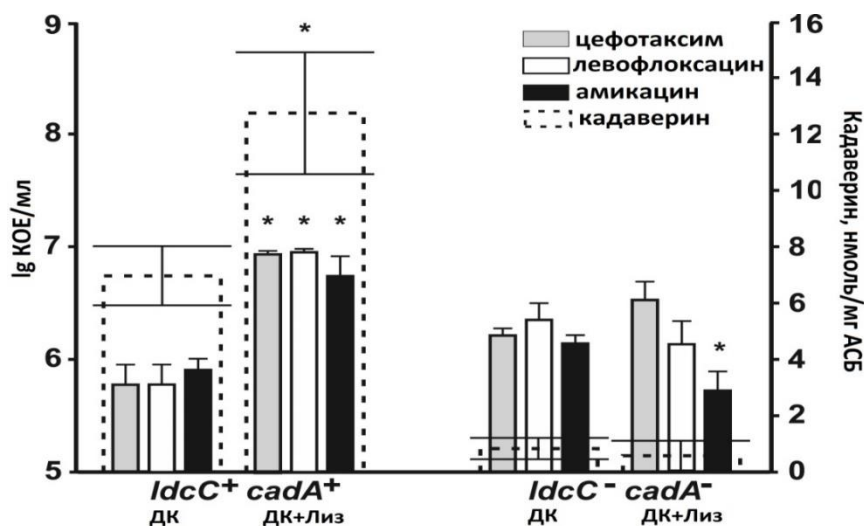


Рисунок. Накопление эндогенного кадаверина способствует снижению антибиотикочувствительности *E. coli*.

Клетки культивировали в декарбоксилазном бульоне с добавкой 10 г/л лизина (ДК+Лиз) и без (ДК), дважды отмывали физраствором и подвергали действию антибиотиков в течение 2 часов, после чего определяли количество колониеобразующих единиц (КОЕ), а также уровень внутриклеточного кадаверина.

* - статистически значимые отличия по сравнению с культурой, выращенной на среде без добавки лизина (Ньюман-Кейлс тест, $p \leq 0,05$).

Экспрессия генов *ldcC* и *cadA*, кодирующих ферменты лизиндекарбоксилазы, продуктом активности которых является один из полиаминов, кадаверин, возрастала в клетках *E. coli*, подвергнутых воздействию бета-лактамовых и фторхинолоновых антибиотиков. В отличие от этого, аминогликозиды не индуцировали генную экспрессию. При этом только внутриклеточно синтезированный кадаверин снижал действие всех трех классов исследованных антибиотиков, тогда как его экзогенная добавка вызывали лишь незначительный положительный эффект на антибиотикотолерантность клеток *E. coli*. Индуцированный антибиотиками синтез кадаверина способствовал выживанию бактерий в ответ на добавку фторхинолонов. Длительное воздействие фторхинолонов на клетки природных изолятов *E. coli* способствовало отбору форм с повышенной способностью синтезировать кадаверин за счет повышения активности *LdcC*, величина которой прямо коррелировала с толерантностью клеток к фторхинолонам. Таким образом, биосинтез кадаверина играет существенную роль в снижении бактериальной чувствительности к антибиотикам, что представляет интерес с точки зрения перспективы использования ингибиторов синтеза полиаминов в клинической практике с целью повышения активности антибиотиков.

Представленные результаты опубликованы в статье:

Akhova A., Nesterova L, Shumkov M, Tkachenko A. Cadaverine biosynthesis contributes to decreased *Escherichia coli* susceptibility to antibiotics. *Research in Microbiology*. 2021, V. 172.N. 7-8 P. 103881.

Q2

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

49. Линдан (γ -гексахлорциклогексан, γ -ГХЦГ) – пестицид, подлежащий уничтожению согласно Стокгольмской конвенции. (**)

Исследования нескольких десятилетий показали, что одним из перспективных способов разложения линдана является бактериальная деструкция. В результате проведенных в ИЭГМ Уро РАН исследований, выделены штаммы *Achromobacter* sp. NE1 (GenBank MW132988) и *Brevundimonas* sp. 242 (GenBank MW132989) (филум *Proteobacteria*), обладающие уникальным генетическим и метаболическим профилем и осуществляющие утилизацию как линдана, так и образующихся при его трансформации другими бактериями конечных токсичных продуктов – 1,2,4-трихлорбензола и 2,5 – дихлорфенола.

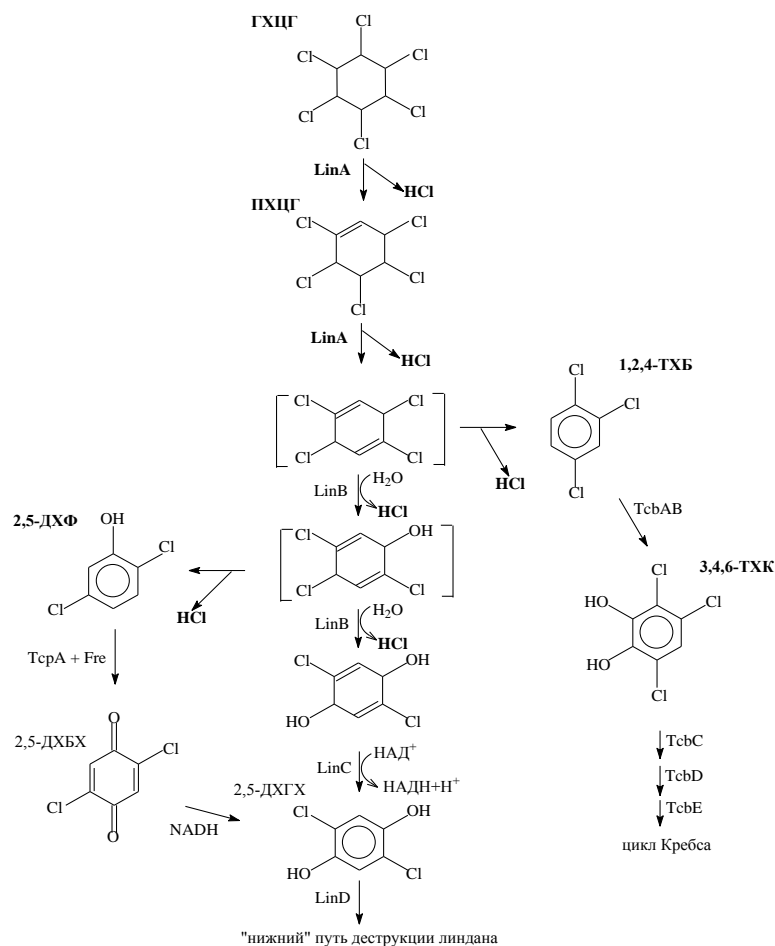
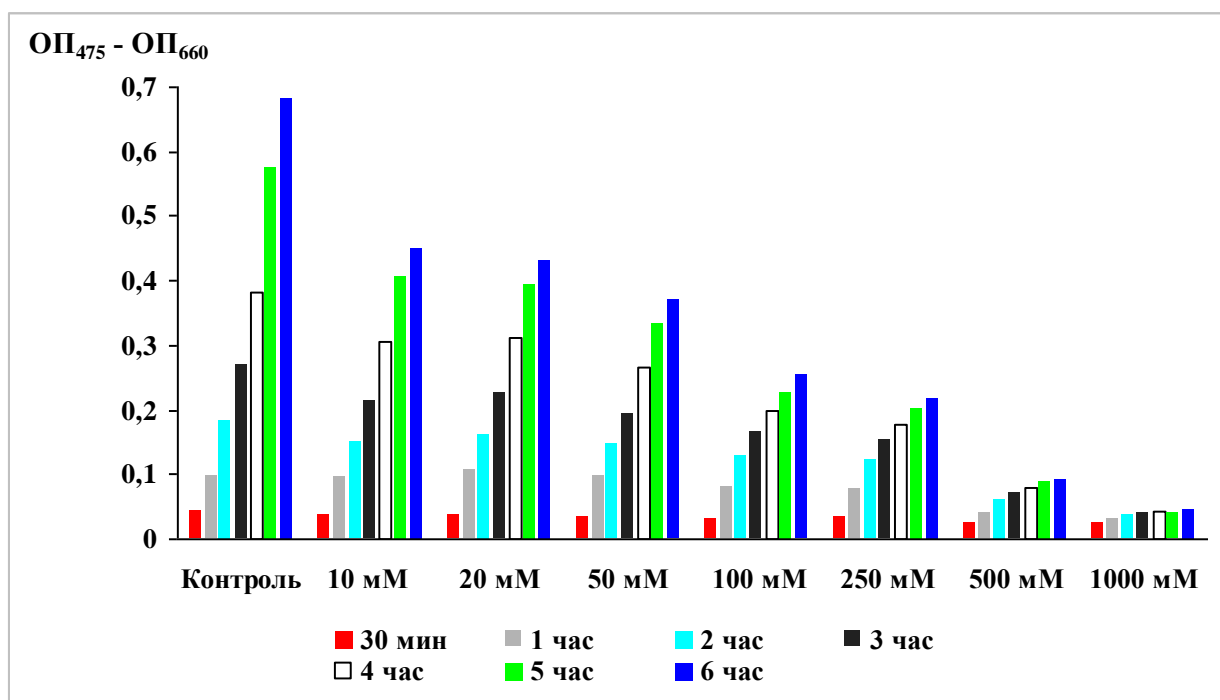


Рисунок. Верхний» путь деградации линдана и образующихся продуктов (Lal et al., 2006; Camacho-Pérez et al., 2012; Fang et al., 2020; www.kegg.jp): ГХЦГ – γ -гексахлорциклогексан (линдан), ПХЦГ - γ -пентахлорциклогексен, 2,5-ДХГХ – 2,5-дихлоргидрохинон, 1,2,4-ТХБ – 1,2,4-трихлорбензол, 3,4,6-ТХК – 3,4,6-трихлоркатехол, 2,5-ДХФ – 2,5-дихлорфенол, 2,5-ДХБХ – 2,5-дихлорбензохинон. Жирным шрифтом обозначены элементы схемы, определяемые в настоящем исследовании.

Публикация: Егорова Д.О., Назарова Э.А., Демаков В.А. Новые штаммы-деградаторы линдана *Achromobacter* sp. NE1 и *Brevundimonas* sp. 242 // Микробиология. 2021. Т. 90, №3. С. 357–361. DOI: [10.31857/S0026365621030034](https://doi.org/10.31857/S0026365621030034) (Рук. к.б.н. Егорова Д.О., т. (342) 280-77-00, e-mail: daryao@rambler.ru)

50. Изучено влияние акриламида на физиологические свойства, метаболическую активность бактерий разных систематических групп, а также его генотоксическое действие по отношению к тест-бактериям рода *Salmonella*. Выявлены наиболее устойчивые бактерии с амидазной активностью, способные трансформировать акриламид в акриловую кислоту. Изучены способы иммобилизации клеток этих бактерий с целью разработки прототипа кондуктометрического биосенсора на акриламид. Определено, что включение в гели агарозы и альгината бария способствует сохранению амидазной активности и обеспечивает возможность длительного использования биокатализатора.



Влияние различных концентраций акриламида на дыхательную активность *Alcaligenes faecalis 2*
 Мочалова Е.М., Максимова Ю.Г. Оценка генотоксичности акриламида и его влияния на жизнеспособность и метаболическую активность бактерий // Сборник статей всероссийской научной конференции с международным участием «Фундаментальные и прикладные аспекты биоинформатики, биотехнологии и недропользования», 18–20 октября 2021 года, Пермь, С. 76-79. (Рук. д.б.н. Максимова Ю.Г., т. (342) 212-44-76, e-mail: maks@iegm.ru).

1.6.6.1. Идентификация и изучение новых микроорганизмов и вирусов и их функциональной роли в биосфере

51. Впервые изучен физиологический ответ бактерий семейства *Halomonadaceae* на низкие температуры.

Умеренно галофильный штамм *Chromohalobacter* sp. N1 способен к росту при низких температурах (до 0 °С). Показано, что в условиях гипотермического стресса увеличивается внутриклеточное количество эктоина и он является преобладающим компонентом в пуле азотсодержащих соединений клетки (табл. 1; рис. 1). Результаты проведенного исследования могут быть использованы при разработке биотехнологических методов производства эктоина. В настоящее время эктоин находит широкое применение в косметической промышленности, но имеет перспективы использования в фармацевтике и медицине - для консервации биологического материала и увеличения сроков сохранности и эффективности лекарственных препаратов на основе макромолекул, например аденовирусных векторов.

Таблица. Характеристика штамма *Chromohalobacter* sp. N1

| Признак | Результат |
|---|---|
| Наиболее близкородственный вид | <i>Chromohalobacter japonicus</i> 43 ^T |
| 16S рДНК сходство, % | 99.72 |
| Максимальна и минимальная температура (°С) для роста (ОП ₅₄₀) | |
| 0 | + (0.13±0.03) |
| 37 | + (0.15±0.01) |
| Эктоин (мкмоль/мг сухого веса биомассы) при культивировании в минеральной среде, содержащей 5% NaCl | |
| 5°С | 0.71±0.02 |

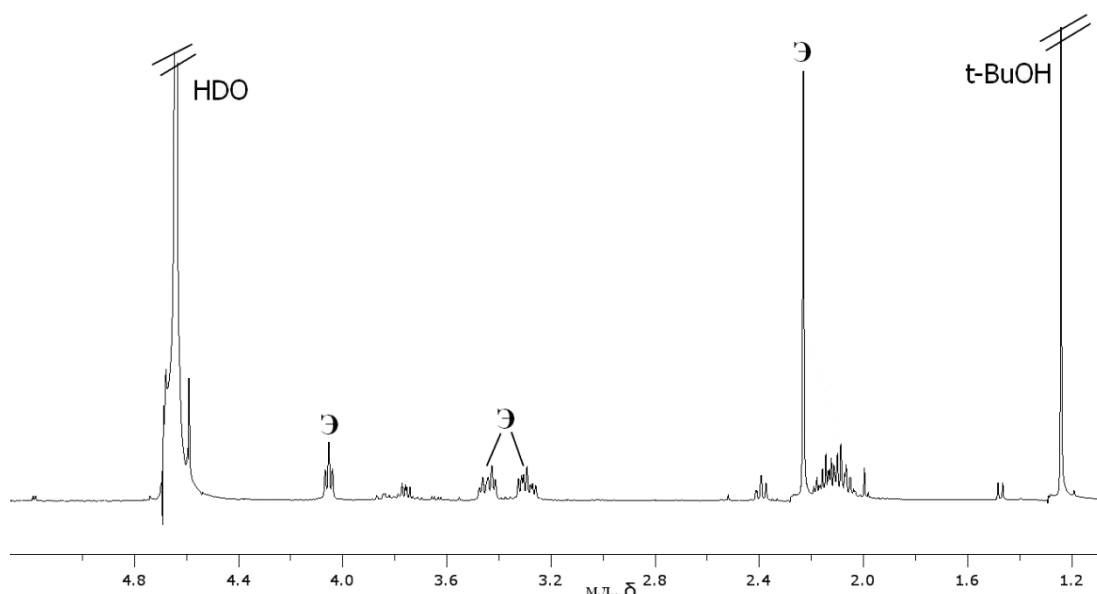
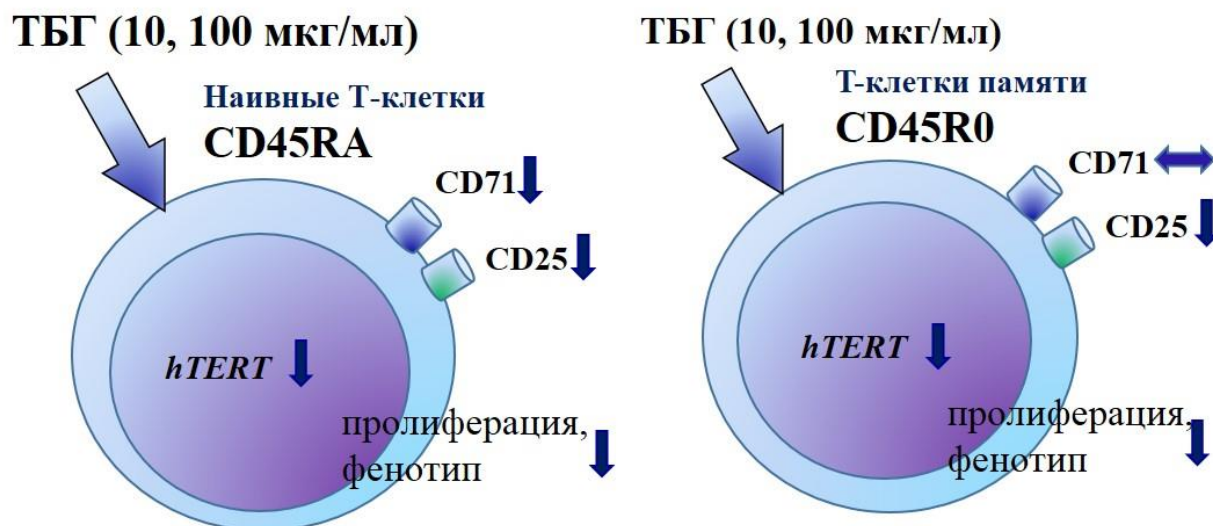


Рисунок. ^1H ЯМР-спектр клеточного экстракта штамма *Chromohalobacter* sp. N1. Условные обозначения: эктоин (Э), монодейтериевая вода (HDO), третбутиловый спирт (t-BuOH). Исследования выполнены совместно с сотрудниками «ИТХ УрО РАН». (Рук. д.б.н. Плотникова Е.Г., т. (342) 280-84-31, e-mail: peg@iegm.ru).

1.6.10.1. Механизмы пролиферации, дифференцировки, старения и гибели клеток

52. Трофобластический $\beta 1$ -гликопротеин (ТБГ) является доминантным фетоплацентарным белком, который обладает иммуносупрессивными свойствами. Изучали эффекты ТБГ на репликативный потенциал наивных Т-клеток (CD45RA+) и Т-клеток иммунной памяти (CD45R0+) в системе *in vitro* на модели клеток человека. ТБГ человека получали авторским запатентованным методом. Установлено, что ТБГ в физиологических концентрациях угнетал экспрессию мРНК гена *hTERT* в наивных Т-клетках и Т-клетках иммунной памяти, одновременно снижая число пролиферирующих Т-клеток и экспрессию маркера активации CD25. В то же время ТБГ снижал экспрессию CD71 только на наивных Т-клетках, не влияя на этот показатель на Т-клетках иммунной памяти. Таким образом, ТБГ снижал репликативный потенциал и подавлял пролиферацию наивных Т-клеток и Т-клеток иммунной памяти, что в контексте беременности может вносить вклад в формирование иммунной толерантности к полуаллогенному эмбриону.



Timganova V.P., Litvinova L.S., Yurova, K.A. *et al.* Effect of Pregnancy Specific β 1-Glycoprotein on the Replicative Potential of Naïve T Cells and Immune Memory T Cells. *Bull Exp Biol Med* (2021). doi.org/10.1007/s10517-021-05357-3 Q3

Zamorina S.A., Troynich Y.N., Loginova N.P., Charushina Y.A., Shardina K.Y., Timganova V.P. Pregnancy-Associated Proteins as a Tool in the Therapy of Autoimmune Diseases and Alloimmune Disorders (Review). In: Rocha A., Isaeva E. (eds) Perm Forum 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 342. Springer, Cham. doi.org/10.1007/978-3-030-89477-1_38

Timganova V.P., Bochkova M.S., Khramtsov P.V., Rayev M.B., Zamorina S.A. Immunoregulatory potential of pregnancy-specific β 1-glycoprotein // *Medical Immunology (Russia)/Meditsinskaya Immunologiya*, 2021, Vol. 23, no. 3, pp. 471-484. [doi: 10.15789/1563-0625-IPO-2170](https://doi.org/10.15789/1563-0625-IPO-2170). (Рук. д.б.н. Заморина С.А., т. (342) 280-77-94, e-mail: mantissa7@mail.ru).

53. Получены новые данные об особенностях метаболизма глюкозы и работы митохондрий в иммунных клетках ВИЧ-инфицированных больных с различной эффективностью восстановления иммунитета на фоне антиретровирусной терапии. (**)

Установлено, что по сравнению с зараженными ВИЧ пациентами, успешно отвечающими на лечение, больные, у которых терапия не приводит к регенерации CD4+ Т-лимфоцитов, имеют сниженную скорость метаболизма глюкозы в CD4+ Т-клетках памяти. В митохондриях этих клеток обнаружены функциональные дефекты, в том числе сниженные заряд мембраны, интенсивность митохондриального дыхания и резервная дыхательная емкость. Кратковременная стимуляция увеличивала интенсивность обмена веществ в CD4+ Т-клетках памяти, однако у ВИЧ-инфицированных лиц с нарушением восстановления иммунитета эти показатели не достигали значений, характерных для здоровых людей.

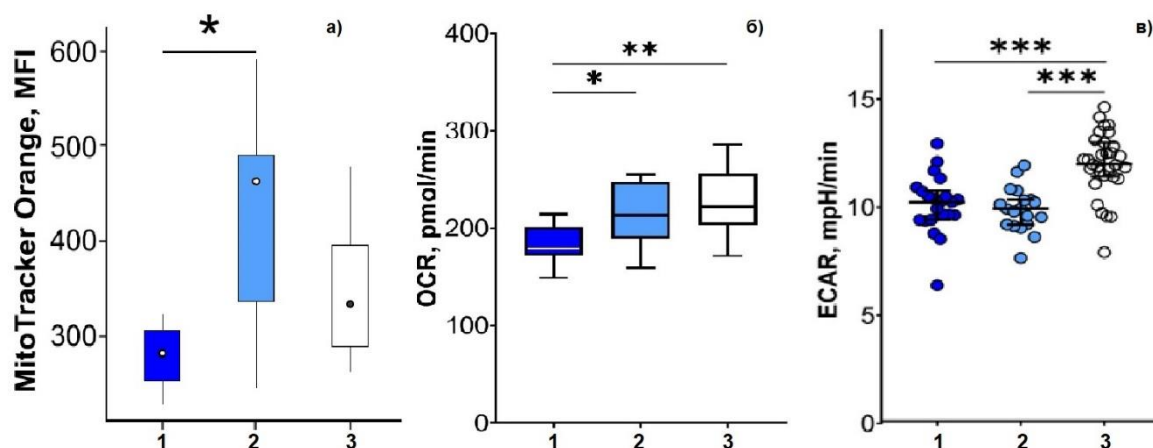


Рисунок. Мембранный потенциал митохондрий (а), их резервная дыхательная емкость (б) и интенсивность гликолиза (в) CD4+ Т-лимфоцитов памяти ВИЧ-инфицированных пациентов с различной эффективностью восстановления иммунитета на фоне антиретровирусной терапии. Группы сравнения: 1 – ВИЧ-инфицированные пациенты с нарушением регенерации иммунитета на фоне терапии; 2 – ВИЧ-инфицированные больные с эффективным восстановлением иммунной системы на фоне лечения; 3 – здоровые субъекты. Данные получены методом проточной цитометрии (а) с использованием митохондриально-селективного красителя MitoTracker Orange CM-H2TMRos: MFI - Mean Fluorescence Intensity (средняя интенсивность свечения) и с применением технологии Seahorse (б, в): OCR - oxygen consumption rate (скорость потребления кислорода клетками), ECAR - extracellular acidification rate (скорость внеклеточного закисления среды). * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$; *** – $P < 0,001$ (критерий Манна-Уитни).

Vlasova V., Saidakova E., Korolevskaya L., Shmagel N., Younes S., Lederman M., Shmagel K.. Mitochondrial disorders in activated memory CD4+ T cells derived from HIV-infected immunological non-responders // Abstract Book IAS 2021 11th IAS Conference on HIV Science, 18-21 July 2021, Berlin. P. 415.

(Рук. д.м.н. Шмагель К.В., т. (342) 280-83-34, e-mail: shmagel@iegm.ru).

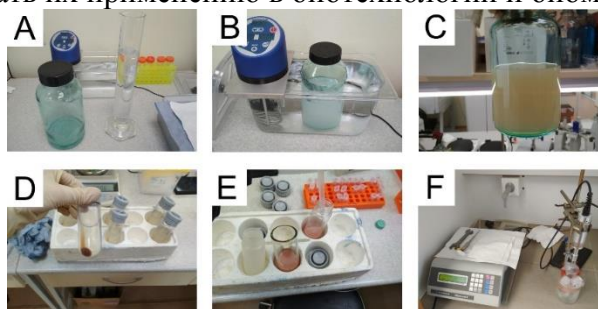
1.6.12.6. Нанобиотехнологии

54. Разработан новый метод синтеза желатиновых наночастиц. (**)

Желатиновые наночастицы широко используются в адресной доставке лекарственных средств и вакцин, культивировании клеток, а также в качестве альтернатив поверхностно-активным веществам при получении эмульсий Пикеринга. Синтез желатиновых наночастиц методом десольватации сопряжен с необходимостью предварительного осаждения низкомолекулярных фракций, присутствие которых в ходе синтеза приводит к агрегации наночастиц.

Нами впервые предложен воспроизводимый и масштабируемый способ синтеза биосовместимых желатиновых наночастиц, позволяющий использовать желатин с любой молекулярной массой и из любого источника (рыбий, говяжий, свиной). Суть метода заключается в быстром добавлении изопропилового спирта к раствору желатина при очень медленном перемешивании. Разработанный метод является масштабируемым, воспроизводимым и позволяет получать биосовместимые наночастицы.

Разработанный способ синтеза позволит существенно снизить себестоимость желатиновых наночастиц и способствовать их применению в биотехнологии и биомедицине.



Khramtsov, P.; Burdina, O.; Lazarev, S.; Novokshonova, A.; Bochkova, M.; Timganova, V.; Kiselkov, D.; Minin, A.; Zamorina, S.; Rayev, M. Modified Desolvation Method Enables Simple One-Step Synthesis of Gelatin Nanoparticles from Different Gelatin Types with Any Bloom Values. *Pharmaceutics* 2021, 13, 1537. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics13101537> (WoS, Q1, IF=6,3) (Рук. д.б.н. Раев М.Б., т. (342) 280-77-94, e-mail: mraev@iegm.ru)

1.6.6. Функциональная микробиология

55. Результаты проведенных исследований чувствительности бактерий ряда видов рода *Listeria* впервые выявили, что их развитие может быть подавлено внесением в среду культивирования новых пептидов семейства лантибиотиков – варнерина и хоминина, эффективность антибактериального действия которых заметно возрастает при их совместном применении с клиническими антибиотиками или в сочетании с другими физико-химическими факторами и хелатирующими соединениями, как это было обнаружено нами ранее экспериментами на грамотрицательных бактериях.

Polyudova T., Eroshenko D., Pimenova E. The biofilm formation of nontuberculous mycobacteria and its inhibition by essential oils // *International Journal of Mycobacteriology*. – 2021. – Vol. 10. – No 1. – P. 43-50. – DOI 10.4103/ijmy.ijmy_228_20.

Давыдова, К.С., Полюдова Т.В., Коробов В.П. Адгезия бактерий на адсорбционно модифицированных поверхностях полимеров // *Химия. Экология. Урбанистика*. – 2021. – Т. 2. – С. 67-71.

Дьячкова В.А., Кононова Л.И., Пьянков И.А., Коробов В.П. Оценка влияния мембранных липидов и гидрофобности клеток стафилококков на их чувствительность к хитозанам // *Химия. Экология. Урбанистика*. – 2021. – Т. 2. – С. 77-81.

(Рук. к.м.н. Коробов В.П., т. (342) 212-62-95, e-mail: korobov@iegm.ru).

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

4.1.1.1. Оптимизация сельскохозяйственного природопользования, агроэкологическая оценка земель, создание адаптивных систем земледелия и агротехнологий нового поколения на основе цифровизации и регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах

56. Агроэкологическая оценка перспективных для условий Пермского края сортов ярового ячменя.

Урожайность сортов ярового ячменя, т/га, 2017-2021 гг.

| Сорт | Урожайность, т/га | Отклонение (+/-), т/га |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| Родник стандарт Прикамья - | 3,37 | 0 |
| 177-07 | 3,70 | +0,33 |
| 198-12 | 2,90 | -0,47 |
| 43-05 (Форсаж) | 3,44 | +0,07 |
| 484-09 | 3,29 | -0,08 |
| 304-10 | 3,50 | +0,13 |
| 169-16 | 3,17 | -0,20 |
| 103-15 | 3,00 | -3,37 |
| 38-15 | 3,08 | -0,29 |
| 229-16 | 2,99 | -0,38 |
| 107-15 | 3,24 | -0,13 |
| 29-11 | 2,77 | -0,60 |
| 207-16 | 2,20 | -1,17 |
| 279-18 | 2,36 | -1,34 |
| 208-16 | 2,24 | -1,13 |
| 207-17 | 1,98 | -1,39 |
| 15-16 | 1,93 | -1,44 |
| 120-17 | 2,53 | -0,84 |
| 176-17 | 1,76 | -1,61 |
| НСР ₀₅ | - | 0,20 |

Эффективность технологии, направленной на увеличение производства зерна, зависит от ряда факторов, в частности, от правильного подбора сортов. Сотрудники провели исследование сортов ярового ячменя на продуктивность, экологическую пластичность и адаптивность к почвенно-климатическим условиям Пермского края.

Представлены результаты пяти лет исследований 19 новых сортов ячменя селекции ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Продуктивность сортов ячменя зависела от особенностей роста и развития, которые определялись погодными условиями и технологическими приёмами выращивания. В условиях 2017-2021 годов урожайность изучаемых сортов ячменя в среднем составила 1,76 – 3,70 т/га, самым урожайным за годы испытания был сорт 177-07. Выявлены сорта, с оптимальным комплексом продуктивности, адаптивной способности и стабильности, устойчивые к болезням и вредителям, разных групп скороспелости. В условиях Пермского края энергетически и экономически выгодными является выращивание сортов Родник Прикамья, 177-07, 43-05, 304-10, 169-16.



Бессонова Л.В., Вяткина Р.И, Фомин Д.С. Агробиологическая оценка новых сортов ячменя в Пермском крае // Известия Оренбургского ГАУ. 2019. №5 (79). С.87-89.
(Рук. к. с.-х. н. Корляков К.Н. korlyakovkn@rambler.ru)

4.1.3.2. Индикаторы изменений свойств почв под воздействием природных и антропогенных факторов, новые системы управления плодородием почв в динамических условиях внешней среды 57. Критерии оценки антропогенной трансформации органического вещества пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья.

Органическое вещество почвы рассматривается как незаменимый агропроизводственный ресурс, как классификационный признак почвы и ключевой показатель ее качества и здоровья. Разработаны критерии антропогенной трансформации органического вещества, которые являются необходимыми для принятия практических решений по изменению и оптимизации технологий возделывания сельскохозяйственных культур, выявления причин низкого плодородия почвы, определения направлений использования и охраны земельных ресурсов. Возможность диагностики пахотных почв по расширенному спектру показателей плодородия приведёт к уменьшению затрат на внесение органических и минеральных удобрений, получению более дешевой растениеводческой и животноводческой продукции, что обеспечит доступность, ассортимент и качество продуктов питания для населения, стимулирует разработку новой сельскохозяйственной техники и научного оборудования. Полученные новые знания по влиянию агротехнологий на органическое вещество почв, его экофизиологические свойства повысят образовательный уровень специалистов сельскохозяйственных предприятий, научных сотрудников, преподавателей и студентов высших и средних специальных учебных заведений, вызовут интерес к более углубленному изучению почвенных процессов, привлекут молодых специалистов в сельскохозяйственную науку и агропромышленный комплекс.

Критерии оценки антропогенной трансформации органического вещества пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья

| Наименование критерия | Величина критерия | |
|--|------------------------------|-------------------|
| | пашня (оптимальный интервал) | целина (лес, луг) |
| Содержание Сорг, % | 1,28-1,45 | 1,28-2,69 |
| Запасы Сорг, т/га | 32,0 – 36,4 | 28,0-41,2 |
| Содержание Слаб, % | 0,28-0,40 | 0,20-0,60 |
| Соотношение С:N в почве | 7,1-10,4 | 8,4-10,1 |
| Соотношение С:N в гуминовых кислотах | 1,20-1,40 | 1,36-1,54 |
| Смик, мкг/г | 544-1182 | 571-1236 |
| Смик/Сорг | 5,3-8,2 | 4,6-5,2 |
| Эмиссия CO ₂ , мкг С-CO ₂ /(г ч) | 2,75-2,86 | 2,77-3,13 |
| qCO ₂ , мкг С-CO ₂ /(мгСмик ч) | 2,3-5,2 | 2,5-4,8 |

Zavyalova N.E., Vasbieva M.T. Elemental Composition and Structure of Humic Acids in Virgin and Arable Soddy-Podzolic Soils of the Cis-Urals //ISSN 1064-2293, Eurasian Soil Science, 2021, Vol. 54, No. 10, pp. 1575–1580. doi: 10.1134/S1064229321100148

Zavyalova N.E., Vasbieva M.T., Fomin D.S., Shirokikh I.G. Influence of different types of land use on prokaryotic communities and organic matter stabilization in soddy-podzolic soil. // Eurasian soil science. 2021. т. 54. № 2. с. 264-270. doi: 10.31857/s0032180x21020167

Zavyalova 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. т. 53. № 3. с. 383-388. doi: 10.1134/s1064229320030126.

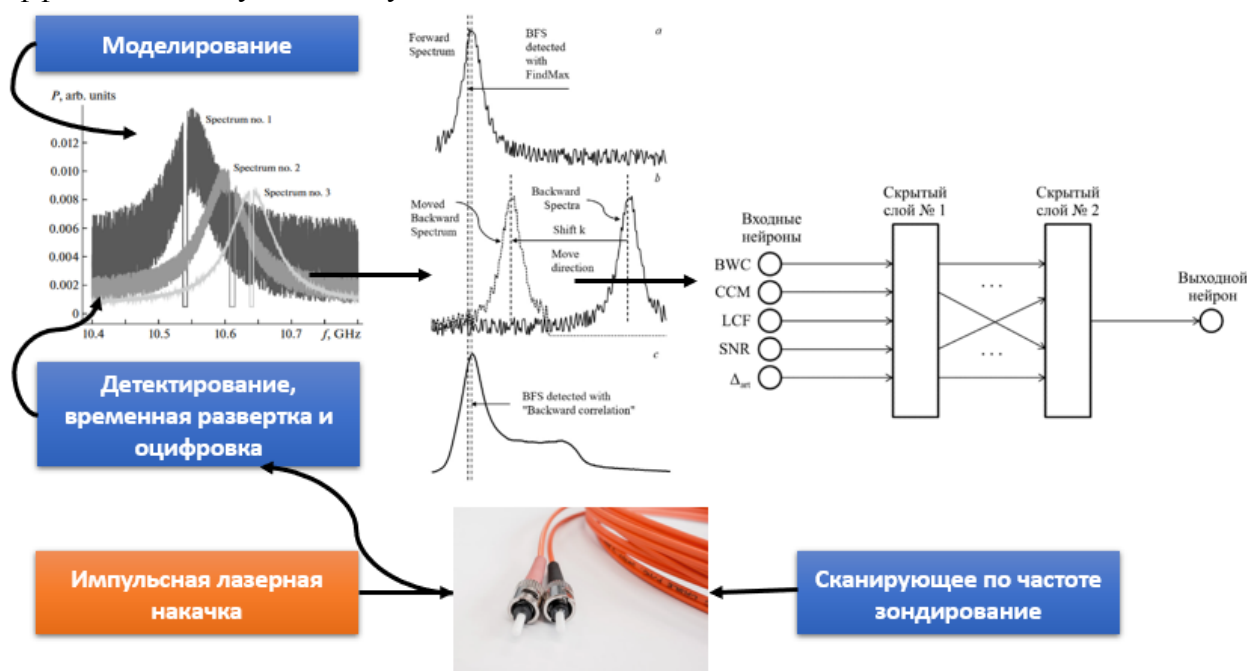
(Рук. к. с.-х. н. Корляков К.Н. korlyakovkn@rambler.ru)

Лаборатория фотоники Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее - Лаборатория фотоники ПФИЦ УрО РАН)

Раздел 1.3.5.6. Новые оптические материалы, оптические элементы фотоники, интегральная оптика, голография, нанофотоника, метаматериалы и метаповерхности.

Раздел 1.3.5.7. Развитие методов фотоники для применения в технике и медицине.

58. Произведена сравнительная оценка эффективности современных методов детектирования частотного сдвига в оцифрованных спектрах вынужденного рассеяния Мандельштама-Бриллюэна в оптических волокнах. Один из методов - разработанный авторами в 2020 году метод обратной корреляции (BWC - Backward Correlation) - в сравнении с ныне применяющимися в мировой научной практике методами LCF (Lorentzian curve fitting) и CCM (Cross-correlation method), продемонстрировал свою эффективность для обработки спектров с экстремально низким отношением сигнал-шум ($SNR < 5$ дБ), содержащих при этом также помехи оцифровки (локальные потери данных). При переходе из областей с данными, где $SNR > 10$ дБ, в области $SNR < 5$ дБ у метода BWC происходило падение точности всего в 4-5 раз, при падении точности у аналогов на 2-4 порядка. Также показано, что при вероятности появления цифрового артефакта в спектре более 9% метод BWC показывает лучшие результаты, чем остальные. Подключение к методу нейросетевого алгоритма после обучения на более чем 2×10^5 спектрах позволило уменьшить ошибку детектирования частотного сдвига ещё на 10%. За время тестирования метод BWC был опробован как на спектрах, полученных моделированием, так и на экспериментальных данных. В перспективе данный комплекс подходов позволит увеличить максимальные дальности зондирования бриллюэновскими системами оптоволоконных телекоммуникационных и сенсорных линий, а также распределенно исследовать специальные оптические волокна с высоким коэффициентом затухания излучения.



Лаборатория механобиологии живых систем Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее - Лаборатория механобиологии живых систем ПФИЦ УрО РАН)

1.6.2.9. Механизмы воздействия загрязнений разных типов на суборганизменном, организменном, популяционном и экосистемном уровнях; основы экологического нормирования антропогенного воздействия

59. Экспериментально обосновано, что адгезия является одним из основных механизмов, обеспечивающих биodeградацию углеводов непатогенными актинобактериями, и универсальной адаптивной реакцией актинобактерий рода *Rhodococcus* в ответ на повреждающее воздействие углеводов.

Получены новые сведения о биофизических, молекулярных и клеточных механизмах адгезии углеводородокисляющих родококков. Показано, что гликолипидные биосурфактанты, продуцируемые родококками в ответ на присутствие в среде жидких углеводов, выполняют функцию адгезивных молекул, определена сила адгезии *Rhodococcus*-биосурфактантов, установлена их важная роль в адгезии родококков, выявлены особенности расположения молекул биосурфактантов на абиотических поверхностях в зависимости от их концентрации в среде. Выявлена прямая зависимость адгезивной активности родококков от степени шероховатости (особенности рельефа поверхности) клеток. Показана локализация адгезинов липидной природы в специфических придаточных структурах, обнаруживаемых на поверхности клеток, и их определяющая роль в адгезии *Rhodococcus* (рисунок 1). Способ закрепления родококков за счет характерных выростов клеточной стенки, содержащих молекулы адгезии, отнесен к новому ранее не описанному клеточному механизму адгезии *Rhodococcus*. Результаты этих исследований обобщены в диссертационной работе: Криворучко А.В. Биофизические и молекулярные механизмы адгезии углеводородокисляющих родококков: дисс. ...докт. биол. наук: 03.02.03. – Пермь, 2021. – 223 с.

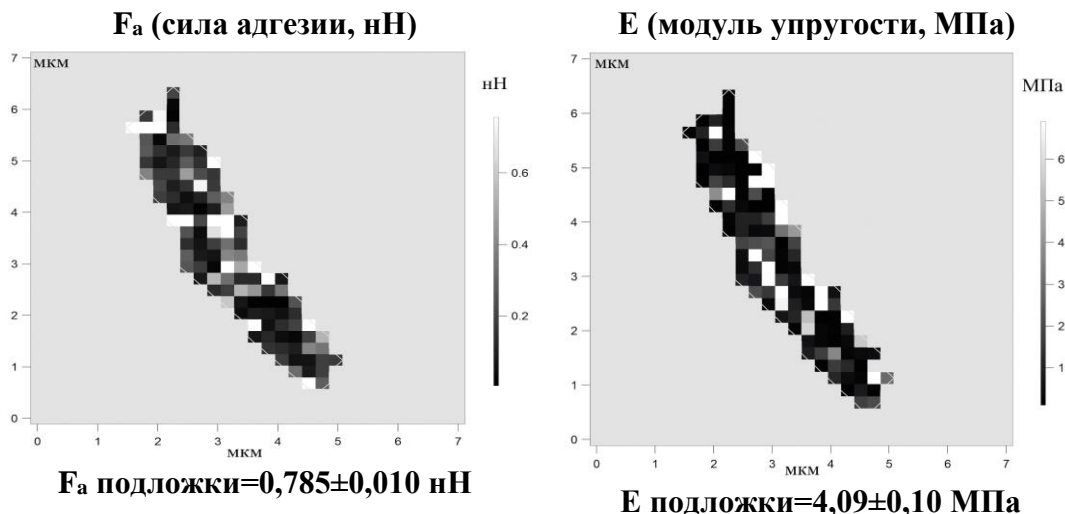


Рисунок 1. Карты распределения сил адгезии зонда атомно-силового микроскопа и модуля упругости на поверхности единичной клетки *R. opacus* ИЭГМ 57. Участки с $F_a > 0,6$ нН и $E > 6,0$ МПа соответствуют специфическим придаточным структурам клеточной стенки.

(Рук. к.б.н. А.В. Криворучко nast@iegm.ru)

1.6.12.5. Экобиотехнологии

60. Разработан научно-практический подход к созданию эффективных биокатализаторов на основе углеводородокисляющих родококков с учетом способности к продукции гликолипидных биосурфактантов, количественных показателей адгезивной активности и особенностей клеточного рельефа штаммов-биодеструкторов.

Определены условия формирования кондиционирующей пленки на поверхности адсорбентов, наличие которой приводит к выравниванию микрорельефа поверхности и обеспечивает

равномерное и практически монослойное распределение родококков и их высокую метаболическую активность. Подобраны оптимальные адсорбенты углеводородокисляющих родококков и получена серия работающих прототипов биокатализаторов, сохраняющих активность в течение 8 мес и обеспечивающих биодеградацию 34–77% нефтяных углеводородов, в том числе полициклических ароматических углеводородов, в течение 21–196 сут при исходном уровне загрязнения 0,05–10 вес. % (таблица). На основе штамма *Rhodococcus erythropolis* ИЭГМ 746 разработан биокатализатор для очистки сточных вод от фармполлютантов. Данный штамм способен к деградации 100 мг/л нестероидного противовоспалительного средства кетопрофена (2-(3-бензоилфенил)пропановая кислота) в условиях кометаболизма в присутствии 0,1 вес. % н-гексадекана. Процент биодеградации кетопрофена составляет 38% через 14 сут. Результаты этих исследований обобщены в виде: 1) Криворучко А.В. Био-физические и молекулярные механизмы адгезии углеводородокисляющих родококков: дисс. ...докт. биол. наук: 03.02.03. – Пермь, 2021. – 223 с; 2) Bazhutin G.A., Polygalov M.A., Tyumina E.A., Tyan S.M., Ivshina I.B. Cometary bioconversion of ketoprofen by *Rhodococcus erythropolis* IEGM 746 / In: Science and Global Challenges of the 21st Century – Science and Technology (Eds. A. Rocha, E. Isaeva). – Cham: Springer, 2022. – P. 404–410.

Таблица 1 – Биодеградация углеводородных загрязнителей с помощью биокатализаторов на основе планктонных или прикрепленных клеток *Rhodococcus* spp.

| Условия эксперимента | Загрязнитель | Уровень загрязнения, вес. % | Продолжительность биодеградации, сут | Биодеградация*, % | |
|----------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|--------------------|------------------------|
| | | | | Планктонные клетки | Прикрепленные клетки** |
| Среда “К” | Модельная нефть | 1,5 | 21 | 62 ± 5 | 77 ± 5*** |
| Среда “К” | Сырая нефть | 0,4 | 21 | 34 ± 3 | 48 ± 4*** |
| Модельная почва | Модельная нефть | 5 | 40 | 50 ± 4 | 65 ± 4*** |
| Модельная почва | Сырая нефть | 10 | 35 | 24 ± 3 | 34 ± 4*** |
| Почва Turkey Yard | Смесь ПАУ (нафталин, фенантрен, пирен, хризен, бензпирен в равных соотношениях) | 0,05 | 196 | 5 ± 0 | 40 ± 6*** |

Примечание. *С учетом потерь в абиотическом контроле, в том числе за счет адсорбции загрязнителя на подложке. **Клетки закрепляли на древесных опилках, обработанных 5 вес. % *Rhodococcus*-биосурфактантов. ***Статистически достоверно ($p < 0,05$) от планктонных клеток.

(Рук. к.б.н. А.В. Криворучко nast@iegm.ru)

1.6.8.7. Биоимиджинг-визуализация биологических молекул и процессов

61. Впервые с использованием метода высокочувствительной инфракрасной термографии исследована динамика адгезии непатогенных бактерий, документирована возможность использования данного метода детекции тепла для регистрации температурных показателей, изменяющихся в процессе адгезии родококков, и на их основе разработан алгоритм количественной оценки бактериальной адгезии.

Данный метод позволяет в режиме реального времени и в условиях свободного теплообмена клеток с окружающей средой определять количество прикрепленных клеток, характер их распределения на твердой поверхности и динамику адгезии бактерий на начальных этапах прикрепления клеток, пригоден при разработке эффективных биокатализаторов на основе углеводородокисляющих актинобактерий (рисунок 2). Результаты этих исследований представлены в диссертационной работе: Криворучко А.В. Биофизические и молекулярные механизмы адгезии углеводородокисляющих родококков: дисс. ... докт. биол. наук: 03.02.03. – Пермь, 2021. – 223 с.

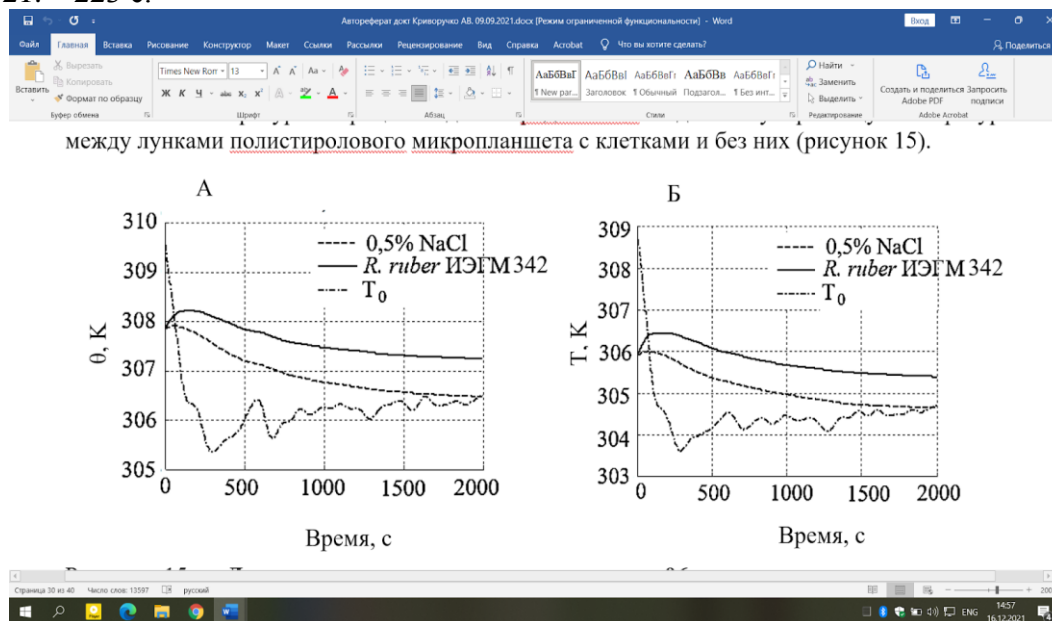


Рисунок 2. Динамика изменения температуры в 96-луночных полистироловых микропланшетах с клетками *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 342. Метод детекции тепла: А – инфракрасная термография, Б – прецизионная термометрия с использованием платиновых термометров сопротивления PR100. Условные обозначения: θ – средняя температура в лунке планшета, К; T – экспериментальная температура по данным прецизионной термометрии, К; T_0 – фоновая температура (температура пустых лунок микропланшета), К.
 (Рук. к.б.н. А.В. Криворучко nast@iegm.ru)

1.4.5.1. Создание инновационных лекарственных средств и вакцин

62. One-pot синтезом получено 15 цис-пиридиноминовых комплексов палладия (II), в том числе шесть комплексов синтезированных впервые. На головном мозге мышей проводили исследования ингибирования моноаминоксидаз с использованием полученных комплексов. Некоторые вещества: [2,6-диметил-N-((пиридин-2-ил)метил)анилин]-цис-дихлоридопалладий(II), [4-нитро-N-((пиридин-2-ил)метил)анилин]-цис-дихлоридопалладий(II), и цис-дибромидо[2,6-ди(пропан-2-ил)-N-((пиридин-2-ил)метил)анилин]палладий(II), проявили активность (концентрация IC50 составила от 13,09 до 17,66 мкМ). Все исследуемые соединения показали отсутствие цитотоксического эффекта на клеточной линии НЕК-293 (эмбриональные клетки почки человека). Оценка острой токсичности цис-дибромидо[2,6-ди(пропан-2-ил)-N-((пиридин-2-ил)метил)анилин]-палладий (II) показала, что исследуемый комплекс обладает низкой токсичностью (LD50 > 5000 мг/кг) при внутрибрюшинном введении вещества мышам. Показана способность актинобактерий рода *Rhodococcus* к окислительной конверсии 1,0 г/л растительных пентациклических тритерпеноидов – олеаноловой (ОК) и глицирретовой (ГК) кислот, перспективных в качестве исходных веществ при получении биологически активных соединений. Отобран штамм *R. rhodochrous* ИЭГМ 1360 с высокой окислительной активностью,

катализирующий в течение 7 сут образование 3-оксо-olean-12-ен-28-овой (0,9%) и 3,11-диоксо-olean-12-ен-29-овой (26,1%) кислот из ОК и ГК соответственно. Результаты этих исследований обобщены в виде: 1) Денисов М.С., Гагарских О.Н., Утушкина Т.А. Пиридиниминовые комплексы палладия (II): синтез и ингибирование моноаминоксидазы // Вестник Пермского университета. Химия. – 2021. – Т. 11, вып. 1. – С. 30–58. 2) Luchnikova N.A., Ivanova K.M., Tarasova E.V., Grishko V.V., Ivshina I.B. Actinobacterial transformation of oleanane triterpenoids / Сборник статей всероссийской научной конференции с международным участием “Фундаментальные и прикладные аспекты биоинформатики, биотехнологии и недропользования” (18–20 октября 2021 года, г. Пермь). – Пермь, 2021. – С. 5–7.

(Рук. к.б.н. А.В. Криворучко nast@iegm.ru)

1.1.3.6. Моделирование в задачах фундаментальной науки

63. Исследованы и промоделированы тангенциальные разрывы модельной вязкой жидкости – глицерина под действием сдвиговой нагрузки. Полученные результаты объясняют аномальные режимы передачи импульса, вызванные механизмами неустойчивости, которые реализуются в условиях “распада” множественных метастабильных состояний, обычно наблюдаемых при интенсивном (динамическом и ударно-волновом) нагружении в жидкостях, в том числе в биологических жидкостях и средах культивирования прокариотических и эукариотических клеток, и твердых телах. Результаты этих исследований представлены в работе: Efremov D.V., Chudinov V.V., Uvarov S.V. Investigation of the tangential discontinuities formation in the glycerol under shear load // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2021. – V. 1093. – 012006. – 5 pp.

(Рук. к.б.н. А.В. Криворучко nast@iegm.ru)

Лаборатория агробиофотоники Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее - Лаборатории агробиофотоники ПФИЦ УрО РАН

1.6.12.3. Агробиотехнологии

1.3.5.7. Развитие методов фотоники для применения в технике и медицине

64. Исследовано влияние когерентных источников освещения с фиксированными спектральными характеристиками на рост и морфогенез пробирочных микроклонов картофеля. Использованы источники с узкими диапазонами с максимумами светоиспускания при 400, 420-430, 545, 580, 660, 730, 800 нм. Показано, что кроме известных эффектов красной части спектра (поглощение пигментов фотосинтеза) и синей (регуляция ростовых процессов), стимулирующее влияние на морфогенетические процессы у картофеля оказывала также желто-зеленая зона спектра.

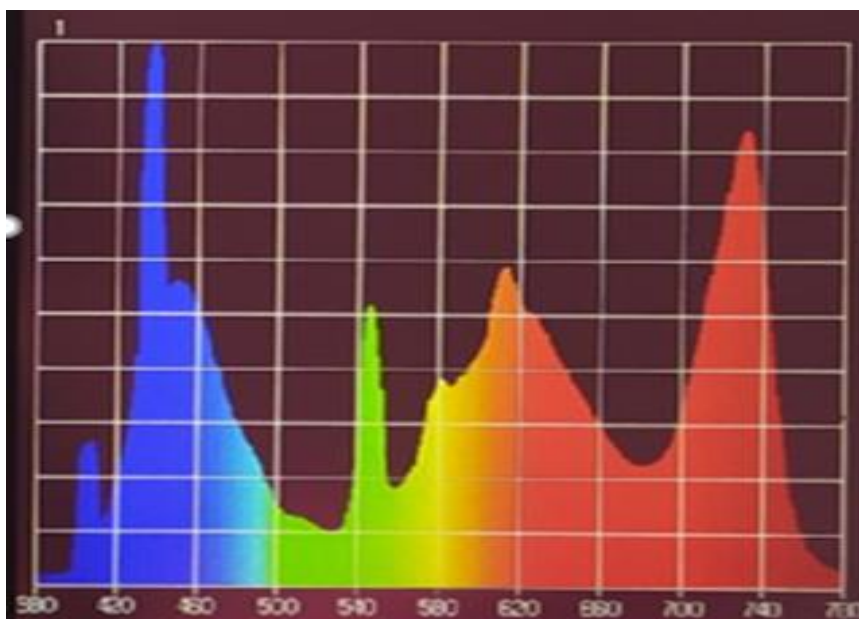


Рис. 1. Спектр фитосветильника, оказывающего стимулирующее действие на морфогенез модельных пробирочных растений

(Рук. к.б.н. А.Ю. Максимов almaks1@mail.ru)

1.3.5.7. Развитие методов фотоники для применения в технике и медицине

4.1.2.6. Новые системы и методы мониторинга фитосанитарного состояния агробиоценозов и диагностики микроорганизмов

65. Оптимизирован состав олигонуклеотидов и флуоресцентных зондов для ПЦР-диагностики микромицетов – фитопатогенов картофеля *Phytophthora infestans* и *Fusarium oxysporum*, наносящих большой экономический урон при производстве и хранении пасленовых сельскохозяйственных культур - картофеля и томатов. Показано возможность обнаружения следовой контаминации этих фитопатогенов в смешанном материале, до развития признаков заболевания.

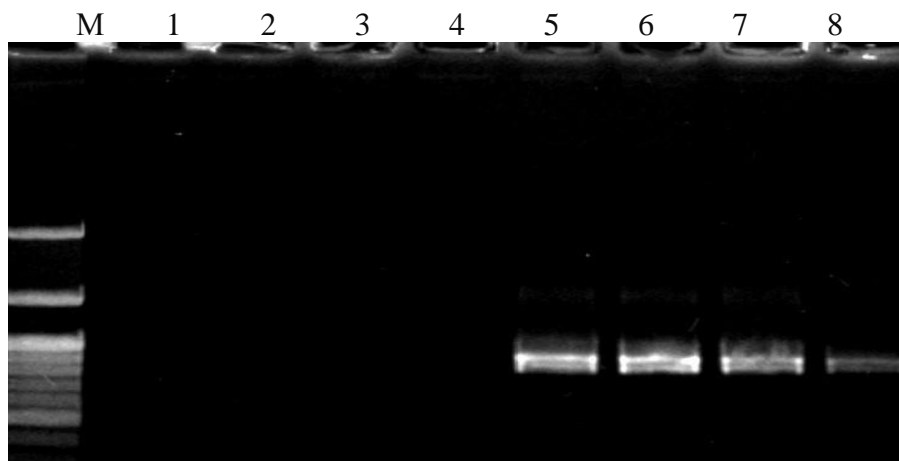


Рис. 2. ПЦР-детекция *Phytophthora infestans* в материале листьев растений картофеля.

М- Маркер молекулярной массы, 1-4 - здоровые листья, 5-8 - листья в начальной стадии поражения.

(Рук. к.б.н. Ю.А. Дубасова pavlova_ua@mail.ru)

Отдел истории, археологии и этнографии Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее ОИАЭ ПФИЦ УрО РАН)

6.1.3.14. Этнокультурное многообразие средневековой Евразии в археологическом освещении

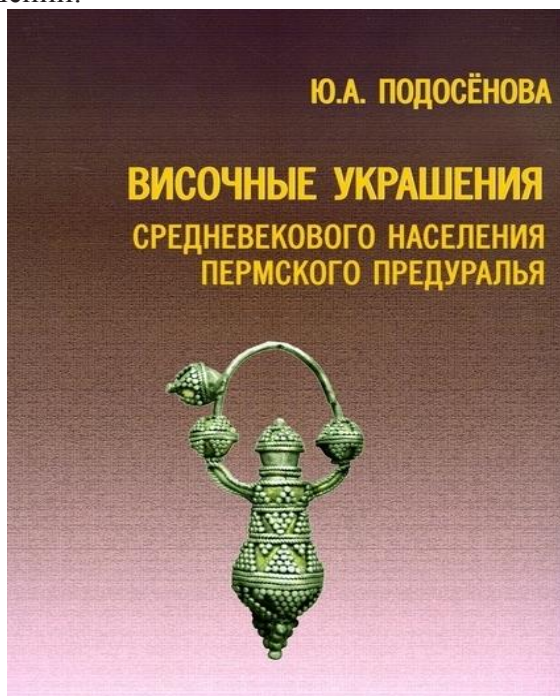
66. В 2021 г. гл.н.с. ОИАЭ Крыласовой Н.Б. завершено исследование медницкой мастерской на Рождественском городище – торгово-ремесленной фактории булгар в Пермском крае. (*)

Мастерская – первая открытая на Урале, была основана в XII в. медником, переселившимся из Волжской Булгарии, и продолжала функционировать до конца XIII века и снабжала своей продукцией территорию Предуралья и Приобья. Полученные в мастерской богатые материалы позволяют в полной мере проследить технологию медницкого дела, представить ассортимент продукции, производимой медником (котлы, предметы быта, украшения, проволока). Сопутствующие материалы бытового и хозяйственного назначения свидетельствуют о высоком уровне жизни ремесленника, о его грамотности (находка стилоса). Несомненно, болгарские мастера, поселившиеся на Рождественском городище, известном по арабским источникам как городок Афкула, не только обеспечивали местное население ремесленной продукцией, но и способствовали развитию здесь городской культуры. В 2021 г. в мастерской найден был обнаружен уникальный перстень-печатка с арабской надписью на щитке. Расшифровка надписи показала, что она содержит имя «Аджлаб ибн ‘Умар», выполненное почерком Насх. Эта находка позволила узнать имя одного из жителей городища, скорее всего мастера-медника выходца из Волжской Булгарии.



Результаты исследования частично опубликованы.
(Рук. гл.н.с., д.и.н. Крыласова Н.Б. n.krylasova@mail.ru)

67. В 2021 г. ст.н.с. ОИАЭ Подосёновой Ю.А. опубликована монография «Височные украшения средневекового населения Пермского Предуралья» В монографии рассматриваются объекты материальной культуры. В частности, височные украшения, которые занимали важное место в costume средневекового населения. На основе систематизации украшений этой категории автору удалось проследить процесс развития традиции использования височных украшений, способы их ношения, выделить виды украшений, характерные для разных хронологических периодов и придающие своеобразие костюмному комплексу ломоватовской и родановской археологических культур, выделены технологические приемы и стилистические особенности. Параллельно рассматриваются этнокультурные связи, влияющие на изменение технологии изготовления и декоративного оформления височных украшений. Изучению впервые подверглись височные украшения 25 средневековых могильников, датируемых V–XIV вв., 2 кладов, 7 городищ и селищ, материалы из случайных и грабительских сборов. Всего обработано 772 целых экземпляра височных украшений.



Подосёнова Ю.А. Височные украшения средневекового населения Пермского Предуралья : монография / Ю.А. Подосёнова; под ред. Н.Б. Крыласовой ; Перм. гос. гуманитар.-пед. ун-т ; Перм. федерал. исследоват. центр УрО РАН. – Пермь, 2021. – 210 с., ил. 151 + Прил. (8 с.)
(Рук. с.н.с., к.и.н. Подосёнова Ю.А. podosenka@yandex.ru)

6.1.2.14. Исследование меняющейся роли традиционных культуры и институтов

68. Результатами исследований в финно-угороведении стала подготовка двух монографических исследований. (*)

В авторской монографии исследуются особенности традиционной культуры коми-пермяков, нашедших отражение в визуальных источниках XIX - начала XX в., а также раскрыты особенности истории и изучения коми-пермяков в этот период и специфика становления отечественной этнографической фотографии. Монография включает более 400 фотоснимков XIX – начала XX в. из 16 российских музеев. Черных А. В. Коми-пермяки на фотографиях второй половины XIX – начала XX в. Этнографический альбом. СПб.: Изд-во «Маматов», 2021. – 372 с.



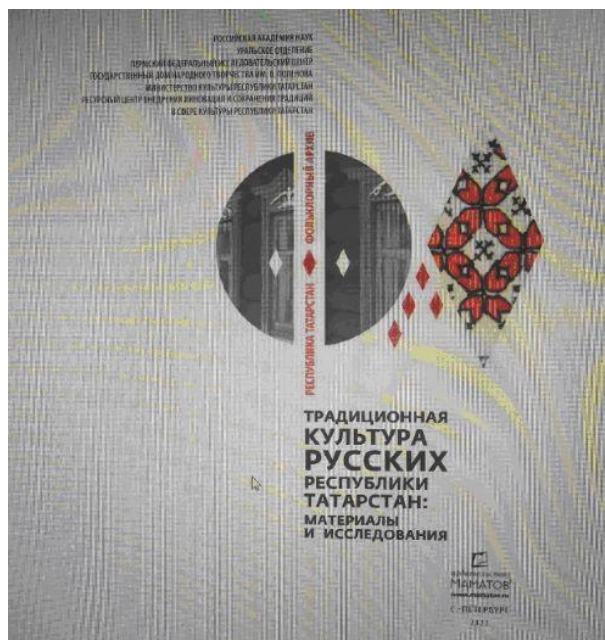
История многолетних полевых исследований, архивных и музейных изысканий традиционной культуры марийцев Урала завершена подготовкой монографии о традиционном костюме уральских марийцев. На широком комплексе источников в исследовании раскрыты особенности формирования костюмного комплекса, проанализированы особенности его саморазвития в период XIX – начала XXI в., влияние межэтнических контактов. Раскрыты особенности как отдельных предметов одежды, так и костюмных комплексов в свадебном, повседневном, исследованы особенности мировоззренческих представлений, связанные с предметами одежды.

Черных А. В. Традиционный костюм народов Пермского края. Марийцы. СПб.: Изд-во «Маматов», 2021. – 528 с.

(Рук. д.и.н. чл. корр. РАН А.В. Черных atschernych@yandex.ru)

69. Проводившиеся в 2018-2021 гг. полевые исследований русской традиционной культуры Республики Татарстан завершились подготовкой коллективной монографии. В книге рассматриваются особенности языка и традиционной культуры русских Республики Татарстан. Изучаются исторические предания, особенности традиционного костюма, конфессиональные традиции старообрядцев согласия «по Кресту», комплексы семейной обрядности русских районов Нижней Камы. Традиционная культура русских Республики Татарстан: материалы и исследования: коллективная монография / А. В. Черных (отв. ред.); В. Е. Добровольская (отв. ред.), И. И. Русинова, А. В. Вострокнутов, Ю. С. Чернышева. – Санкт-Петербург: Маматов, 2021. – 552 с.

(Рук. д.и.н. чл. корр. РАН А.В. Черных atschernych@yandex.ru)



Отдел по исследованию политических институтов и процессов Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее Отдел по исследованию политических институтов и процессов ПФИЦ УрО РАН)

5.4.1.6. Взаимосвязи глобальных и региональных социальных, политических и идеологических процессов

70. Проведено исследование относительно возможностей статистического моделирования временных рядов в политике, в частности – аналитического потенциала базовых моделей авторегрессии со скользящим средним и интеграцией (ARIMA), авторегрессии с распределенным лагом (ADL) и модели коррекции регрессионных остатков (ECM). В частности, анализ рейтинга одобрения президента РФ В.В. Путина с помощью модели авторегрессии со скользящим средним показывает наличие долговременной памяти и циклов: возмущения, которые выводят одобрение из состояния равновесия, заставляют рейтинг двигаться в определенном направлении некоторое время, после чего он возвращается к своему среднему значению. Анализ готовности присоединиться к акциям протеста с экономическими требованиями, в свою очередь, свидетельствует о том, что россияне реагируют на изменения в инфляции и безработице в предсказанном направлении, но с запозданием. Модель коррекции регрессионных остатков также указывает на долгосрочное равновесие между источниками экономического недовольства и готовностью к коллективным действиям.

Семенов А.В. Анализ временных рядов в политической науке: возможности и ограничения // Политическая наука. – 2021. – № 1. – С. 76–97.

(Рук. д.и.н. И.К. Кирьянов ikiryanov@yandex.ru)

71. Дано определение понятия «индустриальное наследие» в контексте политики идентичности городов Пермского края. Под ним предложено понимать символические и мифологические проекции использования уральского нарратива и концепта «горнозаводской цивилизации» в позиционировании и идентитарных проектах. Доказано, что в Пермском крае – в отличие, например, от Свердловской области – уральский нарратив, хотя и продолжает воспроизводиться, но не является фундаментом регионального социокультурного проектирования на региональном уровне. Основой политики идентичности на современном этапе становятся история и культура, мифология «Перми Великой», образы «Пермского периода» (доиндустриальной Перми), что вписывает регион в более широкий смысловой контекст.

Шипицына О.А., Солонина Н.С., Бугров К.Д., Назукина М.В., Снитко А.В., Тимофеев М.Ю. Форум. Горнозаводская и равниннофабричная цивилизации России: индустриальное наследие и городская идентичность // Городские исследования и практики. 2021. Т. 6. № 1. С. 125–144

(Рук. д.и.н. И.К. Кирьянов ikiryanov@yandex.ru)

72. С позиций теории «постмиграционного общества» проанализированы взгляды французского имама Т. Убру, автора концепции «шариата меньшинства», в отношении мусульманской идентичности, национальной идентичности и интеграции мигрантов во Франции. Показано формирование и утверждение в современных обществах нового типа религиозности, которая строится на разрыве с традиционными связями (семьей, обществом, нацией), не отличается твердой убежденностью и носит изменчивый характер. Выявлено, что либеральное направление исламской мысли на Западе настаивает на безоговорочном приоритете национальной идентичности над религиозной и фактически отстаивает тезис о лаяткультуре применительно к правовой культуре принимающих стран. Представляется, что определенные наработки в рамках подхода «национализации исламской идентичности» могут быть реализованы в системе регулирования межконфессиональных отношений и выстраивания бесконфликтной политики идентичности в отношении прибывающих в РФ мигрантов.

Михалева А.В. Исламская идентичность в светском обществе в концепции Т. Убру // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. 2021. Т. 6. № 2 (20). С. 158-167; Михалева А.В. Правовые аспекты интеграции европейского ислама в концепции Т. Убру// Исламоведение. 2021. Т. 12. № 1 (47). С. 68-82.

(Рук. д.и.н. И.К. Кирьянов ikiryanov@yandex.ru)