

**Важнейшие результаты исследований, полученные
в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Пермском федеральном исследовательском центре
Уральского отделения Российской академии наук в 2024 г.**

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

1. Сформулирована модель взаимной диффузии компонент металлического сплава с учетом напряжений и их влияния на диффузионные и химические процессы. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

На основе первопринципов механики и термодинамики континуума сформулированы связанные уравнения взаимной диффузии в деформируемом твердом теле с учетом эволюции собственных деформаций, напряжений и их влияния на диффузионные и химические процессы.

Новизна модели заключается в следующих моментах. Принято описание химического состава локального объема материала, не предполагающее его закрытость и замкнутость. Независимые диффузионные потоки для всех компонент определяются относительно локальной системы отсчета, связанной с маркерами; это описание опирается на базовый эксперимент и гарантирует однозначное решение термодинамического неравенства. Принята гипотеза о разложении движения материала на конвективное и диффузионное. Уравнения записаны в материальном описании, позволяющем формулировать условия на границе тела.

Применение модели предполагается для описания процесса сульфидно-оксидной коррозии жаропрочных сплавов высоконагруженных деталей авиационного двигателя в атмосфере продуктов сгорания авиационного топлива и морской соли. В процессах эксплуатации деталей машин в условиях воздействия агрессивной среды, значительных температурных и силовых нагрузок диффузия отвечает за транспорт агрессивных и легирующих компонентов в поверхностном слое и лимитирует интенсивность процесса коррозии (Рисунок 1).

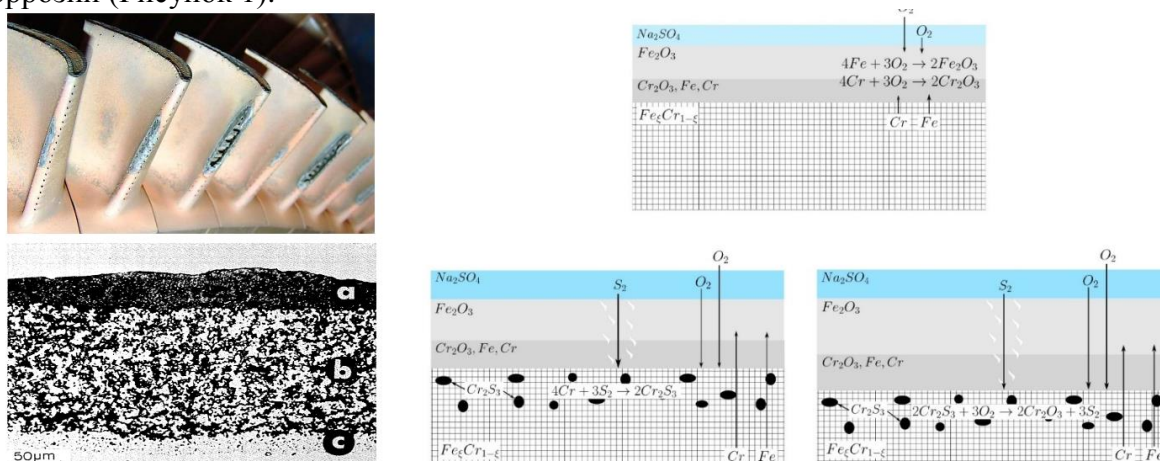


Рисунок 1 – Иллюстрация механизма сульфидно-оксидной коррозии жаропрочного сплава.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Келлер И.Э., авторы: Келлер И.Э., Дудин Д.С.).

Dudin D. S., Keller I. E. On the decomposition of motion in the description of interdiffusion in a viscoelastic body // Mechanics of Solids. 2024. Vol. 59, no. 7.

2. Численно смоделирован процесс распространения слабой ударной волны после единичного лазерного удара с учетом данных фотонного доплеровского измерителя скорости (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействий физических полей и химически активных сред)

На основе данных фотонного доплеровского измерителя скорости и в зависимости от параметров лазерной ударной обработки (энергии лазера, формы сечения луча, плотности мощности излучения) экспериментально получены профили импульса давления (Рисунок 2(а)), возникающего после единичного лазерного удара и вызывающего распространение в материале слабой ударной волны.

Традиционно для моделирования процесса формирования остаточных напряжений, вызванных лазерным ударным воздействием, используется модельный профиль давления, получаемый согласно формуле Фабро, которая не учитывает все особенности распространения ударной волны в материале. Экспериментально полученный в данной работе профиль импульса давления позволяет корректно задать граничные условия при построении численной модели процесса формирования остаточных напряжений, вызванных пластическим деформированием материала при распространении слабой ударной волны, и наиболее точно предсказать получаемые в результате лазерного ударного упрочнения остаточные напряжения. На рисунке 2(б) показана удовлетворительная корреляция остаточных напряжений, полученных экспериментально методом сверления отверстия и на основе численного моделирования с учетом импульса давления, определенного с помощью фотонного доплеровского измерителя скорости.

Полученный результат может использоваться в области авиадвигателестроения и машиностроения для подбора наиболее эффективных режимов лазерного ударного упрочнения деталей сложной геометрии с целью повышения их усталостной долговечности.

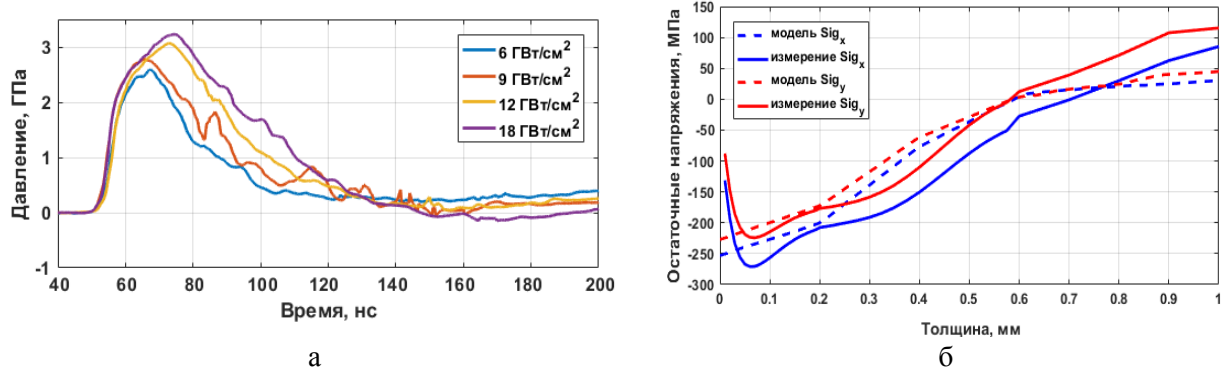


Рисунок 2 – (а) – Экспериментально полученные профили импульса давления, возникающего в результате единичного лазерного удара при различных плотностях мощности лазерного ударного воздействия (6 ГВт/см², 9 ГВт/см², 12 ГВт/см², 18 ГВт/см²); (б) – сравнение экспериментальных и численных данных остаточных напряжений в зависимости от глубины.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Плехов О.А., авторы: Бартоломей М.Л., Гачегова Е.А., Вшивков А.Н, Изюмова А.Ю.).

Plekhov O.A., Vshivkov A.N., Gachegova E.A., Iziumova A.Yu., Bartolomei M.L. Laser Shock Peening of Titanium Alloy for Improved Fatigue Resistance // Procedia Structural Integrity. – 2024 (в печати).

3. Предложен оптимальный режим лазерного ударного упрочнения тонких кромок лопаток компрессора газотурбинного двигателя (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

На основе данных численного моделирования с учетом экспериментально полученного профиля импульса давления, вызванного единичным лазерным ударом, проведена оценка остаточных напряжений на тонкой (порядка 0,35 мм) кромке лопатки компрессора газотурбинного двигателя (ГТД), численная модель которой приведена на рисунке 3(а), а также сформулированы рекомендации для лазерной ударной обработки деталей подобной геометрии. Показано, что целесообразно использовать двухсторонний режим лазерной ударной обработки одновременно двумя лазерными лучами, который исключает изгиб кромки лопатки и обеспечивает формирование только сжимающих (отрицательных) напряжений в тонкой кромке лопатки ГТД, как показано на рисунке 3(б), отражающем зависимость остаточных напряжений, сформированных при лазерной ударной обработке в предложенном режиме, от толщины кромки.

Таким образом, предложен эффективный способ лазерной ударной обработки, который позволяет повысить усталостную долговечность лопатки ГТД за счет формирования поля сжимающих остаточных напряжений в тонкой кромке лопатки.

Полученный результат может быть использован в области авиадвигателестроения для упрочнения лопаток деталей авиационных двигателей на производстве.

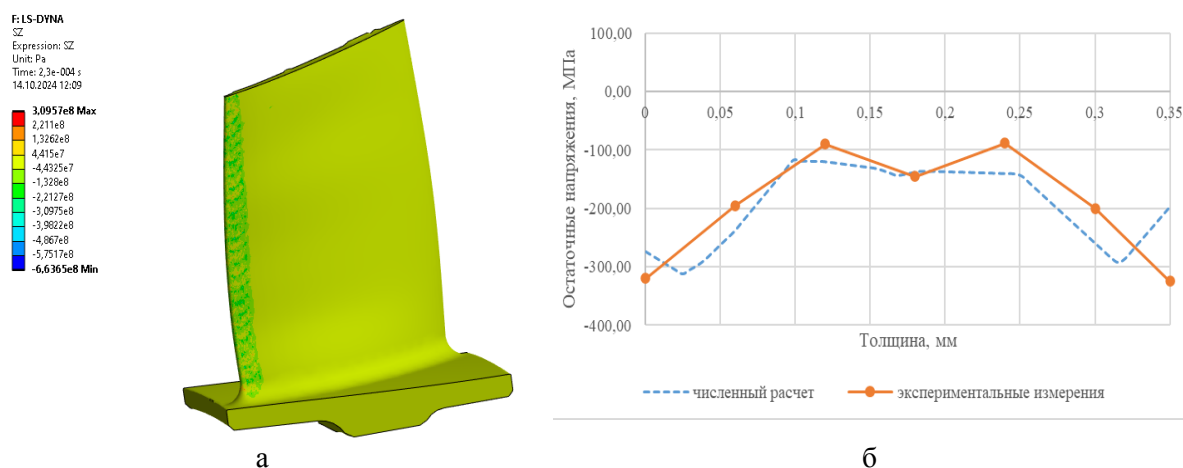


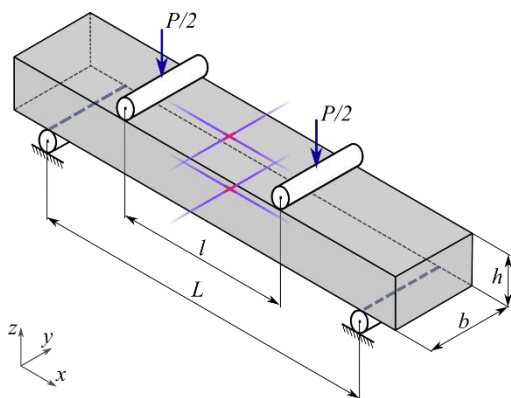
Рисунок 3 – (а) – Численная модель лопатки ГТД с обработанной лазерным ударом кромкой; (б) – зависимость остаточных напряжений от толщины кромки лопатки ГТД после лазерного ударного упрочнения в режиме двухсторонней обработки.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. Плехов О.А., авторы: Бартоломей М.Л., Гачегова Е.А., Вшивков А.Н, Изюмова А.Ю.).

Бартоломей М.Л., Изюмова А.Ю., Гачегова Е.А., Вшивков А.Н., Плехов О.А. Численный анализ остаточных напряжений при двухстороннем симметричном лазерном ударном упрочнении тонких пластин из титанового сплава ВТ6 // Вычислительная механика сплошных сред. – 2024. – Т.17. – №4 (в печати)

4. Разработана методика определения упругих свойств разномодульных материалов. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Разработана методика определения модулей упругости и коэффициентов Пуассона разномодульных материалов на основе результатов измерения деформаций волоконно-оптическими датчиками на брэгговских решётках в прямоугольных образцах при четырёхточечном изгибе (Рисунок 4(а)). Получены формулы для вычисления упругих постоянных на основе результатов измеренных деформаций. Рассмотрены варианты фиксации на поверхности образцов датчиков на брэгговских решётках с анализом численными методами возможных погрешностей определения деформаций на основе результатов эксперимента (Рисунок 4(б)). Предложены оценки погрешности определения упругих постоянных, связанные с соответствием размеров образцов соотношениям для вычисления упругих постоянных на основе измеренных деформаций и с погрешностью измерения деформаций датчиками на брэгговских решётках. Получены результаты определения упругих постоянных дюралюминия, чугуна, гранита, пенобетона с анализом различных погрешностей, имеющих место при определении модулей упругости и коэффициентов Пуассона (Таблица 1).



а



б

Рисунок 4 – (а) – Схема эксперимента на четырёхточечный изгиб; (б) – фотография испытания образца в виде прямоугольной балки на четырёхточечный изгиб.

Таблица 1 – Упругие постоянные испытанных материалов.

Материал	E^+ (ГПа)	E^- (ГПа)	ν^+	ν^-
Дюралюминий	76.6	76.1	0.334	0.334
Чугун	110	116	0.286	0.275
Гранит	20.0	26.8	0.093	0.058
Пенобетон	1.15	1.26	0.192	0.184

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: академик РАН, д.т.н. Матвеев В.П., авторы: Матвеев В.П., Сероваев Г.С., Фёдоров А.Ю., Галкина Е.Б., Зайцев А.В.).

Matveenko V.P., Serovaev G.S., Fedorov A.Y., Galkina E.B., Zaitsev A.V. Determination of elastic moduli and Poisson's ratios of bi-modulus materials based on the results of four-point bending test // Materials and Structures. — 2024. — Vol. 57. — 96. <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02373-3>

5. Метод улучшения характеристик упрощенной конструкции оптического частотного рефлектометра (OFDR) с помощью эмпирической модовой декомпозиции (EMD) и частотной фильтрации (1.3.5.7. Развитие методов фотоники для применения в технике и медицине)

Разработан метод снижения стоимости аппаратной части оптического рефлектометра в частотной области, заключающийся в замене двух опорных каналов, включающих вспомогательный интерферометр и газовую ячейку, на один канал (Рисунок 5).

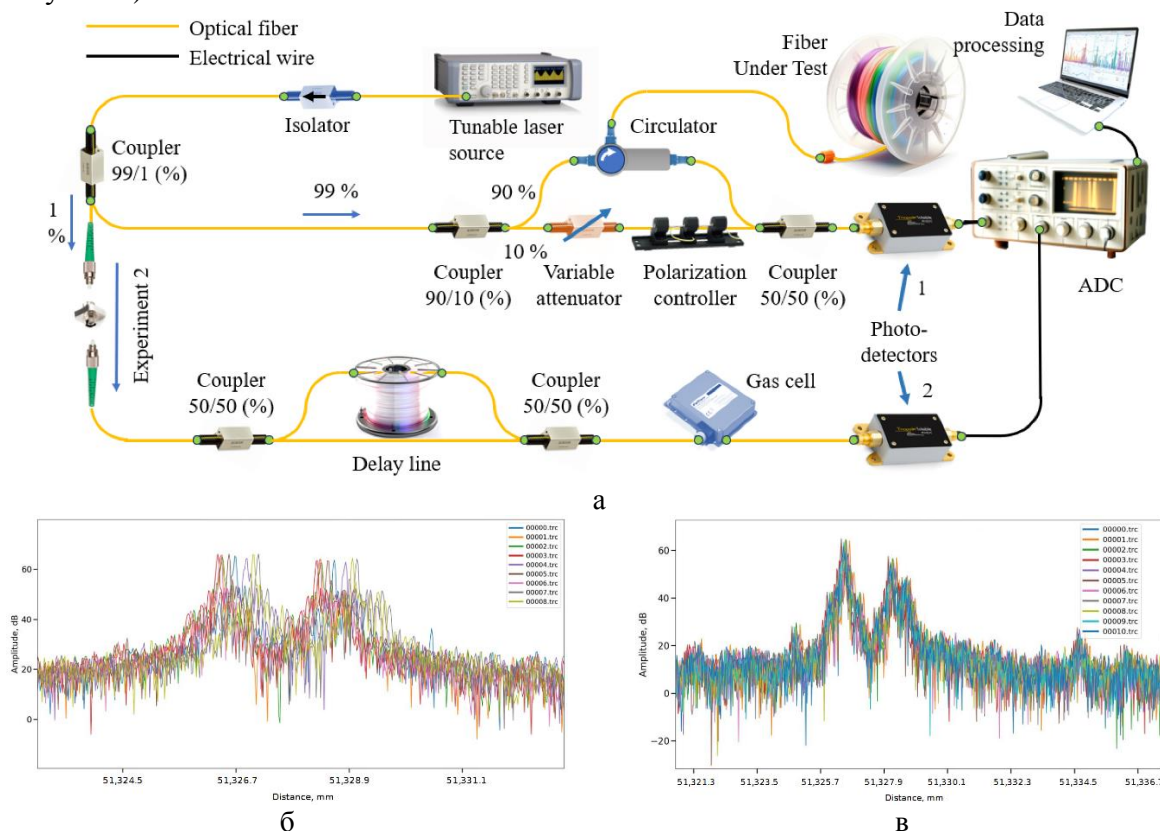


Рисунок 5 – Схема установки и результаты ее работы.

Для извлечения полезной информации использовались методы цифровой обработки сигнала: цифровая частотная фильтрация, а также эмпирическая модовая декомпозиция. Показано, что представленный подход позволяет избежать использования ненужного аналого-цифрового преобразователя и фотоприемника, при этом реконструкция OFDR-рефлектограммы осуществляется алгоритмом равночастотной передискретизации без потери высокого разрешения и с хорошей повторяемостью измерений (0,11 мм – демонстрируется частотным разделением). Предполагается, что представленные методы разделения каналов, которые в этом исследовании уже доказали свою пригодность для получения высококачественного действительного спектра, также успешно обработают мнимые данные. Описанные модификации OFDR помогут их распространению в различных системах интеллектуальных датчиков, включая системы интеллектуальных городов. Использование оптической частотной рефлектометрии в повседневной жизни затруднено высокой стоимостью изделий, а также, в некоторых случаях, габаритами существующих частотных рефлектометров, реализованных на волоконно-оптических компонентах.

Авторами продемонстрирована и подтверждена схожая эффективность использования цифровых фильтров с конечной импульсной характеристикой и методов эмпирической модовой декомпозиции объединенных каналов оптического рефлектометра частотной области, что может лечь в основу теоретических аспектов разработки и модификации методов обработки сигнала в оптоэлектронных устройствах. Результаты

могут быть применены в оптической метрологии, при построении сенсорных систем для детектирования полей температур и деформаций, системах «умных городов» т.д.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.т.н. Константинов Ю.А., авторы: Белокрылов М.Е., Камбур Д.А., Константинов Ю.А., Леонтьев Д.К., Барков Ф.Л.).

Belokrylov, M.E.; Kambur, D.A.; Konstantinov, Y.A.; Claude, D.; Barkov, F.L. An Optical Frequency Domain Reflectometer's (OFDR) Performance Improvement via Empirical Mode Decomposition (EMD) and Frequency Filtration for Smart Sensing. Sensors 2024, 24, 1253. <https://doi.org/10.3390/s24041253>

6. Интерференционные и флуорометрические исследования биологических объектов с применением многофункционального аппаратного комплекса МИМ-МКС в условиях микрогравитации. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Впервые предложено объяснение разделения фенотипов клеток в условиях микрогравитации на основе анализа данных лазерной микроскопии с использованием оригинальных программных комплексов (Рисунок 6).

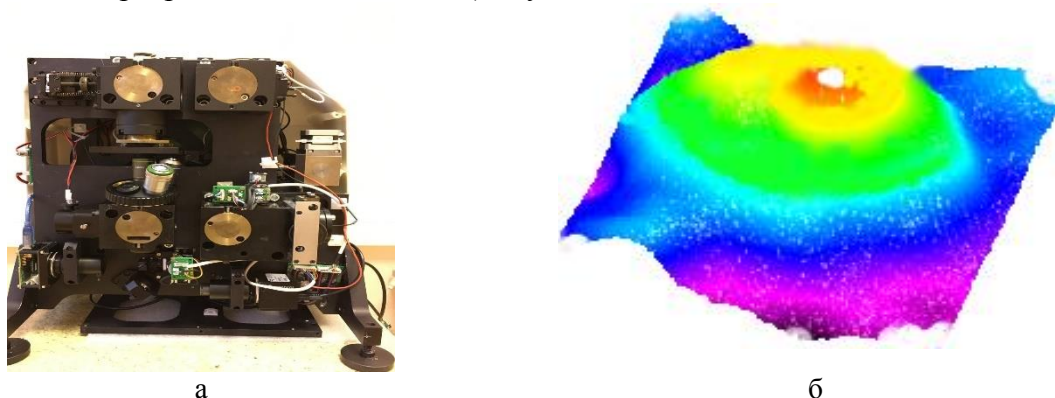


Рисунок 6 – (а) – Лазерный микроскоп МИМ-Н; (б) – изменение морфологии и фенотипа клеток в условиях микрогравитации по данным лазерной микроскопии.

Разработана (совместно с АО «ПО УОМЗ») концепция микроскопа МИМ-МКС для Российского сегмента МКС, предусматривающая максимально возможное снижение массогабаритных характеристик микроскопа в условиях экстремальных вибрационных нагрузок и перепадов температур, при сохранении функционала, разрешающей способности и быстродействия (Рисунок 7).

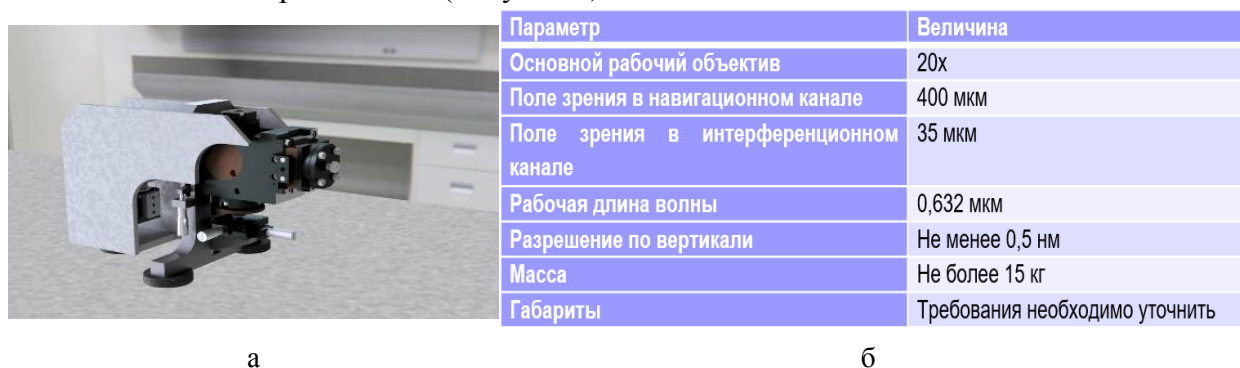


Рисунок 7 – (а) – Орбитальная версия микроскопа; (б) – его технические характеристики.

Совместно с ГК Роскосмос представлена Целевая работа (сроки реализации 2025-2027 гг.) для (i) отработки методологии медицинского контроля в длительных космических полетах; (ii) обследования космонавтов с использованием комплекса МИМ-МКС; реализации научно-образовательных программ.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н., проф. Наймарк О.Б., авторы: Наймарк О.Б., Никитюк А.С.).

Никитюк А.С. Моделирование процесса нагружения клетки эукариот с постоянной скоростью на основе методов статистической термодинамики. Математическая биология и биоинформатика, 2024, Т. 19, №2, С. 304–321.

7. Определение механических свойств покрытий на упругой подложке методом индентации с учетом особенностей формы индентора в окрестности острия. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Силовой отклик материала на вдавливание индентора позволяет судить о механических свойствах поверхности. При индентации слоистых материалов возникают вопросы о площади контакта, необходимой для вычисления механических свойств, а также о самой применимости моделей контактного взаимодействия, которые были разработаны для однородных материалов. При индентации на малую глубину и/или исследовании тонких пленок начинает играть роль и форма индентора в окрестности вершины. Методом конечных элементов исследовали вдавливание индентора в форме усеченного конуса в жесткий слой на нелинейно-упругой подложке (Рисунок 8а). Получены новые зависимости усилия и площади контакта от глубины вдавливания для различных параметров системы образец-индентор. Установлено, что площадь контакта на малой глубине вдавливания соответствует цилиндрическому индентору, который асимптотически переходит в конус с увеличением глубины индентации.

Информация о локальных механических свойствах необходима для объяснения и прогнозирования макроскопических свойств функциональных покрытий. Полученные результаты используются для обработки экспериментальных данных индентации неоднородных нанопокровтий на поверхности упругого полимера (Рисунок 8б). В частности, определены толщина, модуль упругости и прочностные свойства покрытия.

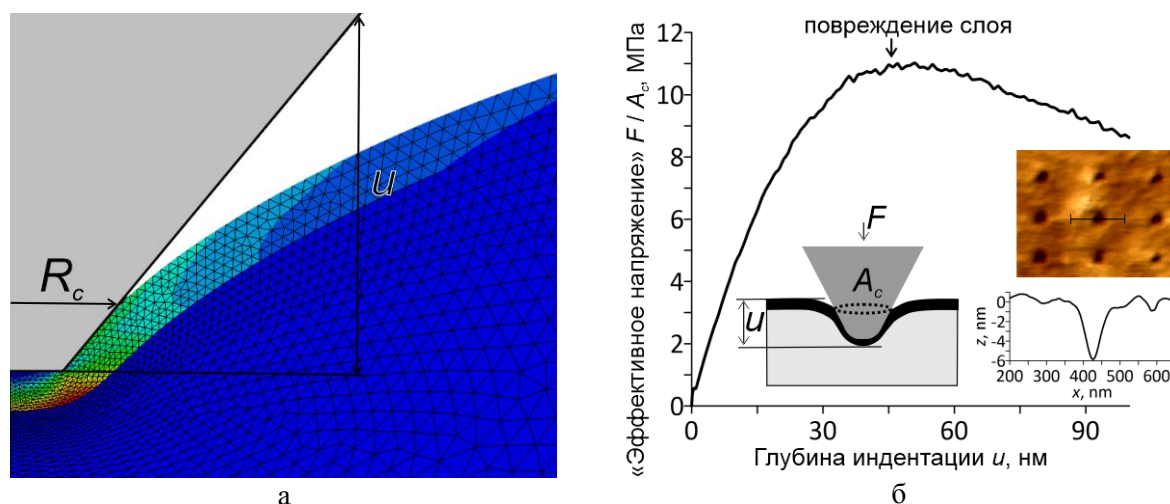


Рисунок 8 – (а) – Конечноэлементная модель вдавливания усеченного конуса в слой на упругой подложке; индентация покрытия на поверхности полимера (б): определение прочности и толщины покрытия.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Свистков А.Л., авторы: Морозов И.А., Изюмов Р.И., Беляев А.Ю.).

I.A. Morozov, R.I. Izumov. Challenges of reliable AFM-tip shape reconstruction and approximation // Microscopy Research and Technique. 2024. DOI: 10.1002/jemt.24415

I.A. Morozov, A.Yu. Beliaev, A.S. Kamenetskikh. AFM Nanoindentation of Stiff Inhomogeneous Layer on Polymeric Substrate // Microscopy Research and Technique. 2024. DOI: 10.1002/jemt.24734

8. Теоретическое описание изгиб магнитоактивного кантилевера, лежащего на горизонтальной плоскости. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Кантилеверы из магнитоактивного эластомера – базовый элемент миниатюрных датчиков, манипуляторов и захватов. Система мини-кантилеверов (cilia, «ресничек»), расположенных на плоскости – это «ресничный ковёр», который, реагируя на приложенное переменное поле, может заставлять объекты, помещённые на него, направленно перемещаться. В стандартном варианте «реснички» вертикальны. Нами впервые рассмотрена задача о единичной «ресничке» иной конфигурации: горизонтальная «ресничка» на плоскости в нормальном к ней поле. Оказалось, что в этом случае действие силы тяжести полностью изменяет поведение системы. Как показал эксперимент (Рисунок 9), свободный конец «реснички» резко отрывается от горизонтали (или она встаёт дугой) в некотором пороговом поле. Однако при снижении поля «ресничка» возвращается в исходное состояние плавно, как показано на рисунке 10. Для объяснения эффекта построена модель, трактующая его как неклассический переход первого рода. Показано, что горизонтальное положение идеальной «реснички» всегда устойчиво. Поле отрыва является программируемым параметром, задаваемым через внесение контролируемого дефекта.

Сфера практического применения результата: моделирование миниатюрных датчиков, манипуляторов и захватов, управляемых бесконтактным (полевым) способом.

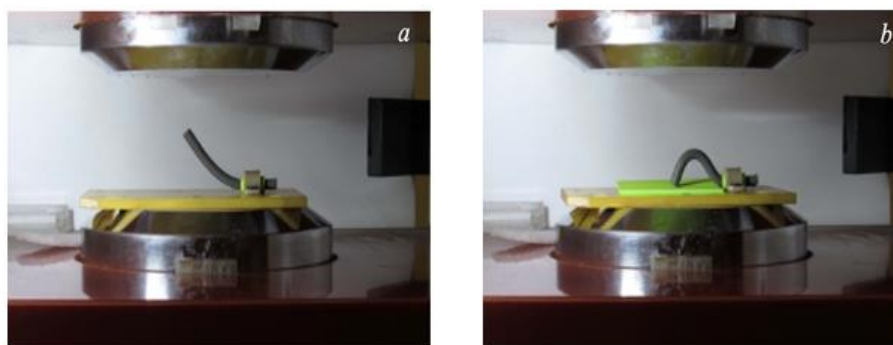


Рисунок 9 – Две наблюдаемые моды деформации: а – простой изгиб, б – дуга (harpin).

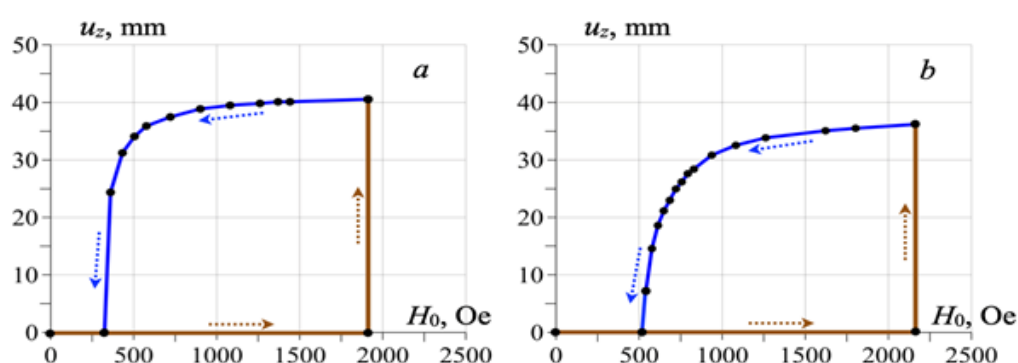


Рисунок 10 – Лабораторный опыт (вверху) и теоретическое описание (внизу) процесса изгиба кантилевера из магнитоактивного эластомера.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Иванов А.С., авторы: Столбов О.В., Райхер Ю.Л.).

Stolbov O.V., Stepanov G.V., Raikher Yu.L. Field-induced upward bending of a magnetoelastomer cantilever residing on a horizontal plane: an unconventional cilium // Smart Materials and Structures. Accepted, to be published in 2025.

9. Получены зависимости значений модуля Юнга карбонизированного нанослоя, сформированного на полиуретановой подложке ионно-плазменной обработкой, от различных доз ионов. (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Нанопокртия, сформированные различными плазменными и химическими методами на поверхности полимерных материалов, обладают уникальными свойствами. Однако применимость полимерных материалов с нанопокртиями в конкретных температурных и механических условиях зависит от физических и механических свойств покрытия. Определение модуля Юнга является задачей первостепенной важности, так как он широко используется при расчетах напряженно-деформированного состояния элементов конструкций и изделий в целом. Малые значения толщины нанопокртий ограничивают выбор методов определения модуля упругости. Поэтому была предложена методика определения модуля упругости нанопокртия, сформированного на мягкой подложке, основанная на результатах испытаний на одноосное растяжение (Рисунок 11).

Особенность методики заключается в том, что покрытие формируется с обеих сторон стержневого образца прямоугольного сечения, и используется один и тот же образец подложки до и после создания покрытия при испытаниях на одноосное растяжение. Исследовался биосовместимый карбонизированный нанослой, сформированный на полиуретане ионно-плазменной обработкой, который представляет интерес в медицине как покрытие для полимерных эндопротезов. Было установлено, что полученные зависимости значений модуля Юнга карбонизированного слоя от режима ионно-плазменной обработки отлично коррелируют с зависимостью изменений в молекулярной структуре поверхностного слоя от дозы ионной обработки. Здесь стоит отметить, что именно изменения в молекулярной структуре поверхностного слоя определяют механические свойства этого слоя. Изменения в молекулярной структуре исследовались с помощью инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье и спектральной эллипсометрии. Коэффициент корреляции Пирсона при сравнении зависимостей модуля Юнга и изменений в молекулярной структуре от режимов плазменной обработки составляет 0.94-0.97.

Таким образом, впервые продемонстрировано применение экспериментальной методики одноосного растяжения образцов для определения модуля упругости нанопокртия на мягкой подложке.

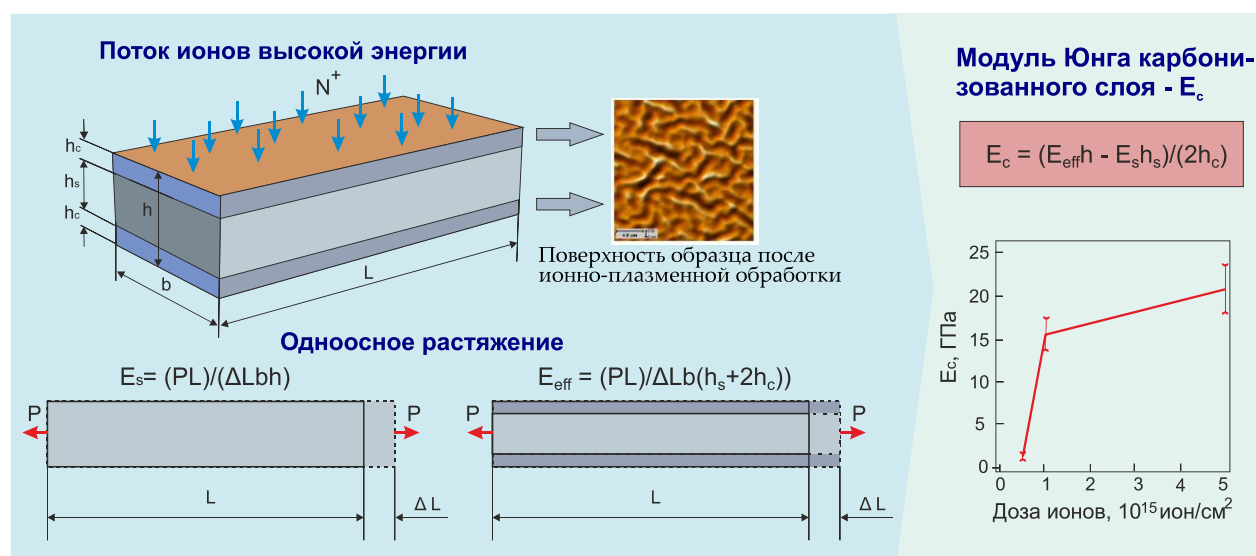


Рисунок 11 – Методика эксперимента, основные соотношения для определения модуля Юнга нанопокртия на мягкой подложке и зависимости модуля Юнга биосовместимого карбонизированного нанослоя от дозы ионов плазменной обработки.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Шардаков И.Н., авторы: Чудинов В.С., Шардаков И.Н., Морозов И.А., Беляев А.Ю.).

Chudinov V.S., Shardakov I.N. ; Ivanov Y.N., Morozov I.A., Belyaev A.Y. Elastic modulus of a carbonized layer on polyurethane treated by ion-plasma. Polymers 2023, 15, 1442. <https://doi.org/10.3390/polym15061442>.

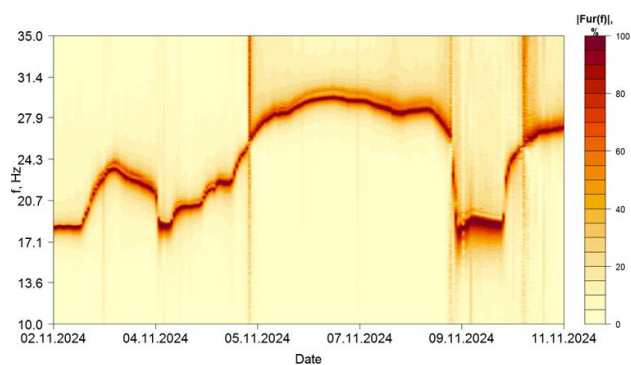
10. Разработан и представлен численно-экспериментальный метод определения модуля упругости грунтового массива (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред)

Разработан и представлен численно-аналитический метод определения модуля упругости грунта, основанный на экспериментальных результатах о собственных частотах колебаний сваи-зонда (Рисунок 12а) с актуатором и без него (за счет фоновых вибраций), встроенной в грунтовой массив и их теоретические зависимости от модуля упругости грунта. Приведены экспериментальные результаты о динамическом поведении сваи (Рисунок 12б), встроенной в грунтовой массив и численные результаты на основе метода конечных элементов, обеспечивающие построение зависимости собственных частот колебаний сваи от модуля упругости грунта. В качестве демонстрации достоверности и эффективности рассматриваемого метода приводится сопоставление численных результатов о собственных частотах колебаний сваи с различными грузами на ее свободном конце при найденной зависимости модуля упругости грунта и соответствующих экспериментальных результатов.

Новизна метода заключается в создании сваи-зонда с активным нагружающим элементом (актуатором) и аппаратно-технической частью, которая позволяет регистрировать изменение свойств замерзающего и оттаивающего грунтового массива в постоянном режиме. Совокупное использование данных со свай-зондов и результатов математического моделирования позволяют оценивать не только качественные изменения свойств грунта, но и их количественные показатели. Именно это позволяет найти широкое применение данного метода в зоне Арктики, где процессы таяния вечной мерзлоты имеют катастрофическое влияние на инфраструктуру городов и промышленных предприятий. Благодаря разработанному методу возможно в режиме реального времени отслеживать изменение деформационных свойств криолитозоны и прогнозировать развитие деформаций.



а



б

Рисунок 12 – (а) – Фотография сваи-зонда в грунте; (б) – тоновое изображение изменения Фурье спектров собственных частот в процессе замораживания грунта.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.т.н. Гусев Г.Н., авторы: Гусев Г.Н., Цветков Р.В., Епин В.В.).

Гусев Г.Н., Цветков Р.В., Епин В.В. Численно-экспериментальный метод определения модуля упругости грунтового массива //Известия Российской академии наук. Механика твердого тела, 2024, 6 выпуск. (в печати).

11. Предложен механизм арктического усиления потепления на основе лабораторной модели общей циркуляции атмосферы. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Проведено экспериментальное и численное моделирование потепления Арктики при помощи лабораторной модели общей циркуляции атмосферы. Арктическое потепление реализуется путем изменения размера локального холодного теплообменника в "атмосферном" режиме, при котором структура среднего течения и бароклинных волн в лабораторной модели подобны общей атмосферной циркуляции и волнам планетарного и синоптического масштабов. Лабораторное арктическое потепление приводит к относительно слабому отклику меридиональной и зональной циркуляции за исключением полярной области, где аналог полярной ячейки становится слабее, смещается ближе к средним радиусам и локализуется преимущественно в верхнем слое. Структура лабораторных аналогов ячеек Хэдли и Ферреля одинакова для всех рассмотренных конфигураций (Рисунок 13).

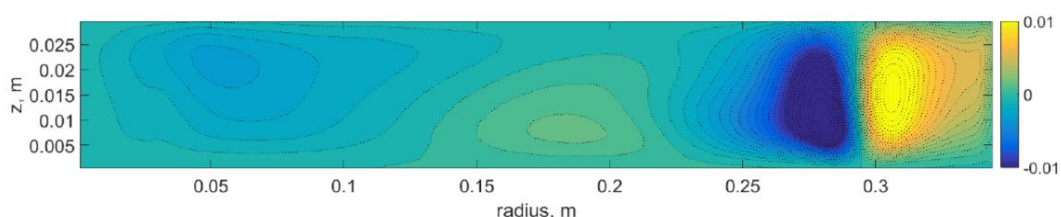


Рисунок 13 – Среднее меридиональное течение в лабораторной модели общей циркуляции атмосферы.

Уменьшение скорости зонального потока (аналога западного ветра западного ветра) и изменение активности бароклинных волн в лабораторных средних широтах составило менее 10 %. Наиболее важным результатом данного исследования является заметная трансформация поля средней температуры (Рисунок 14).

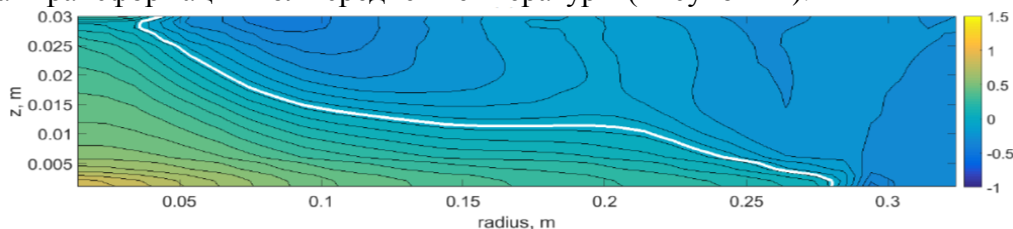


Рисунок 14 – Изменение температуры при моделировании арктического потепления.

Центральная область и большая часть нижнего слоя становятся теплее, в то время как большая часть верхнего слоя и периферийной (экваториальной) части нижнего слоя становятся холоднее, что согласуется с результатами наблюдений и расчетов при помощи различных климатических моделей. Природа этого явления в лабораторной системе тесно связана с изменениями радиальных потоков тепла. Ослабление и смещение вверх аналога полярной ячейки, вызванное лабораторным потеплением Арктики, приводит к значительному уменьшению отрицательного теплового потока вблизи дна, что ведет к повышению температуры в придонном слое.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Сухановский А.Н., авторы: Сухановский А.Н., Попова Е.Н., Васильев А.Ю.).

Sukhanovskii, A. and Gavrilov, A. and Popova, E. and Vasiliev, A. The study of the impact of polar warming on global atmospheric circulation and mid-latitude baroclinic waves using a laboratory analog // Weather and Climate Dynamics, 2024, Vol.5(2), P.863-880.)

12. Исследована конвекция Релея-Бенара в полости с погруженным свободно плавающим телом. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Экспериментально и численно исследована турбулентная тепловая конвекция в прямоугольной полости с протяженной погруженной свободно плавающей на заданной глубине пластиной (пример течения в полости с плывущей пластиной представлен на рисунке 15).

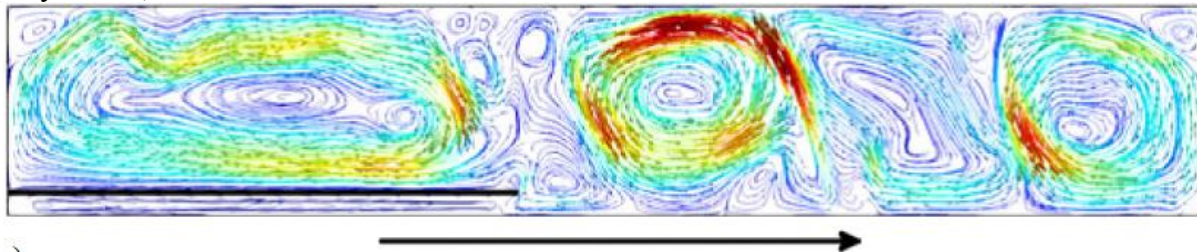


Рисунок 15 – Поле скорости конвективного течения в полости с горизонтальной пластиной (показана толстой черной линией).

Варьирование значений управляющих параметров (числа Рэлея, соотношения сторон и вертикального положения пластины) позволило получить широкий спектр режимов, от неподвижных и чисто периодических до стохастических. Показано, что устойчивые периодические движения возникают, когда пластина плавает вблизи одного из теплообменников. Увеличение расстояния между пластиной и теплообменником нарушает периодическое движение и (при умеренных числах Рэлея) приводит к ярко выраженной асимметрии, когда пластина большую часть времени находится вблизи одной из стенок, совершает редкие переходы к противоположной стенке. Изменение положения пластины со временем в различных режимах представлено на рисунке 16. При увеличении числа Рэлея движения пластины от одного края полости к другому появляются вновь, но всегда носят нерегулярный характер. Теплоизолирующая плавающая пластина обеспечивает пространственно-временную вариацию теплового потока и уменьшает интегральный тепловой поток.

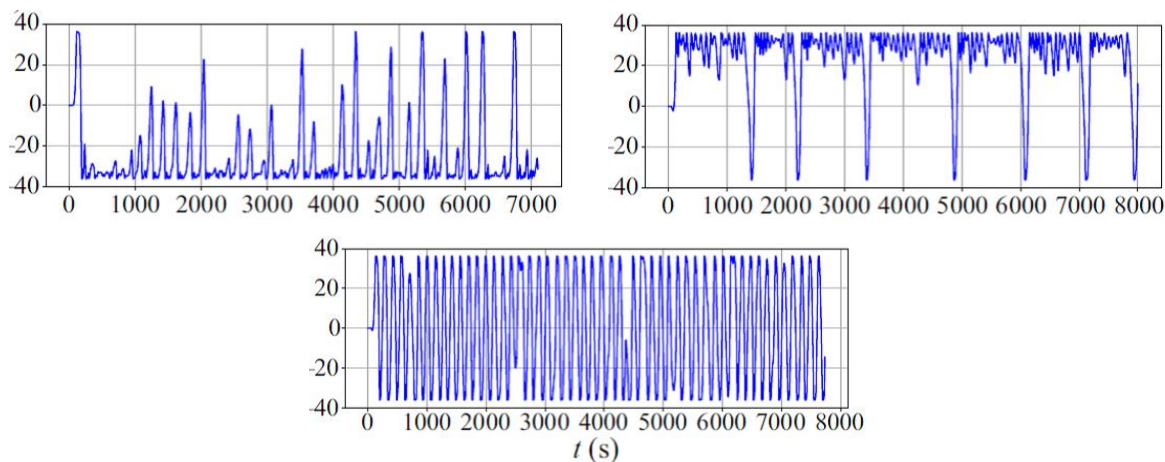


Рисунок 16 – Движения центра пластины при различных режимах течения.

Полученный результат важен для понимания динамики сложных природных и технологических систем, в которых конвективное движение осложнено наличием плавающих крупномасштабных включений.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н., проф. Фрик П.Г., авторы: Фрик П.Г., Сухановский А.Н., Попова Е.Н., Васильев А.Ю.).

Frick P., Filimonov S., Gavrilov A., Popova E., Sukhanovskii A., Vasiliev A. Rayleigh-Benard con-vection with immersed floating body // Journal of Fluid Mechanics. 2024. V.979. A23.

13. Создана методика расчета параметров спирального МГД-насоса, разработанного в «ИМСС УрО РАН», дающая возможность рассчитывать и создавать МГД-насосы, которые даже на таких низкопроводящих сплавах как свинец способны создавать высокие давления. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Создание атомных электростанций, использующих в качестве хладагента свинец делает актуальным исследование и проектирование устройств, способных эффективно его перекачивать. Целью данного исследования является оценка эффективности развиваемого давления в стопорном режиме спиральным-МГД насосом трансформаторного типа, способного создавать высокие давления даже работая с низко проводящими жидкими металлами. На рисунке 17 показан внешний вид такого спирального МГД-насоса, а также обозначены магнитные силовые линии внутри его сердечника и индуцированный ток в его канале. Выполнено численное моделирование электродинамических процессов в насосе. В работе приведена оценочная аналитическая зависимость, которая помогает без расчетных пакетов сравнивать характеристики различные варианты конструируемого насоса. В рамках верификации математической модели произведен расчет экспериментально исследуемой конструкции по оценочной форме и численной модели.

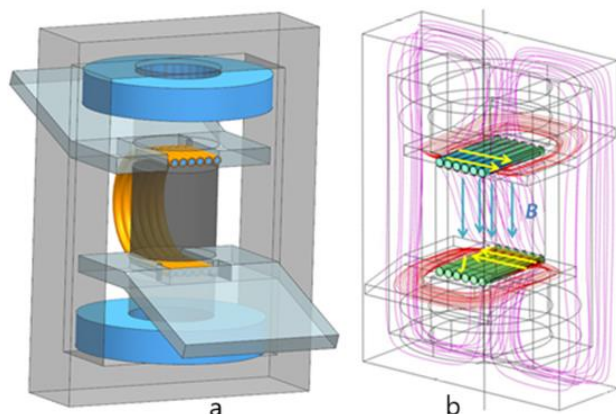


Рисунок 17 – (а) – Спиральный насос, (б) – распределение магнитного поля и индуцированного тока в сердечнике и канале.

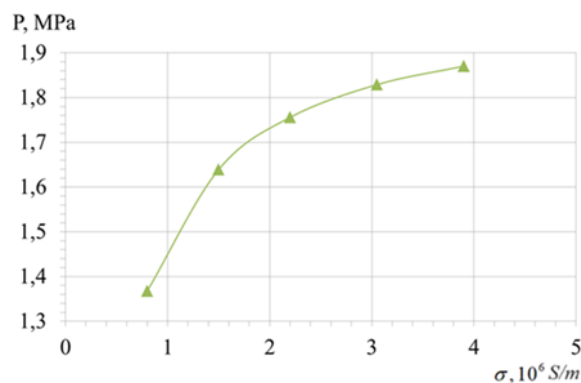


Рисунок 18 – Зависимость развиваемого насосом давления от проводимости перекачиваемого металла.

В работе получены характеристики насоса в стопорном режиме при некоторых конструктивных его вариантах, а также при его работе с металлами различных электропроводностей рисунок 18. Произведено сравнение расчетов по оценочной формуле и численной модели с результатами эксперимента. Показано что насос может создавать высокие давления порядка единиц мегапаскалей, работая даже с такими металлами как жидкий свинец, обладающий низкой электропроводностью.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.т.н. Хрипченко С.Ю., авторы: Хрипченко С.Ю., Долгих В.М., Тонков Е.Ю.).

Хрипченко С.Ю., Тонков Е.Ю. Электродинамические процессы в спиральном магнитогидродинамическом насосе трансформаторного типа// Журнал технической физики» 2024, том 94 выпуск 10 с. 1729-1737 DOI: 10.61011/JTF.2024.10.58868.181-24.

14. Исследовано влияние электропроводности на пульсации течения жидкого металла. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Изучение свойств проводящих жидкостей вот уже много лет является важнейшим этапом в процессах металлургии и энергетики. Изучение свойств таких жидкостей возможно бесконтактным способом, что, несомненно, является преимуществом при работе с опасными веществами.

В работе представлены результаты экспериментального исследования течения эвтектического галлиевого сплава в цилиндрической ячейке, которая помещена в переменное магнитное поле. Фото и схема эксперимента показаны на рисунке 19. Вынужденное течение электропроводной жидкости порождается за счёт действия локализованной электромагнитной силы. Установлено, что в области низких частот источника питания проблематично получить профиль скорости, соответствующий картине течения, имеющего форму двух торов. Однако, в области высоких частот таких трудностей не наблюдается.

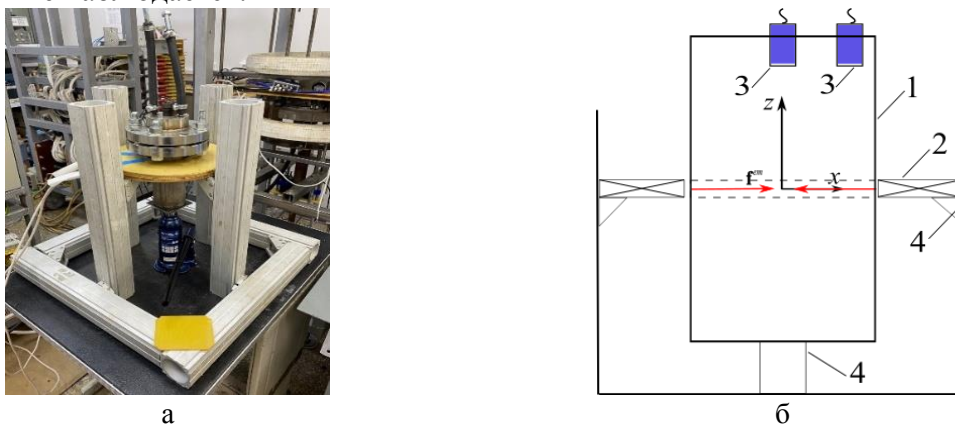


Рисунок 19 – (а) – Фото установки, (б) – схема эксперимента.

Результаты эксперимента и их верификация с численными расчётами могут быть полезны для разработки методов уменьшения интенсивности вихревых течений при реализации процесса электромагнитной сепарации примесей, основанной на индукционном механизме генерации электромагнитной силы, которая вытесняет частицы.

Полученные результаты дают возможность дальнейшего развития методики бесконтактного контроля некоторых свойств расплавленного металла, что имеет важное значение для материаловедения. На рисунке 20 показана зависимость частоты от вязкости среды, полученная при помощи моделирования. Например, эффективную проводимость жидкого металла в ячейке можно оценить на основе данных о частоте пульсаций скорости нестационарного течения.

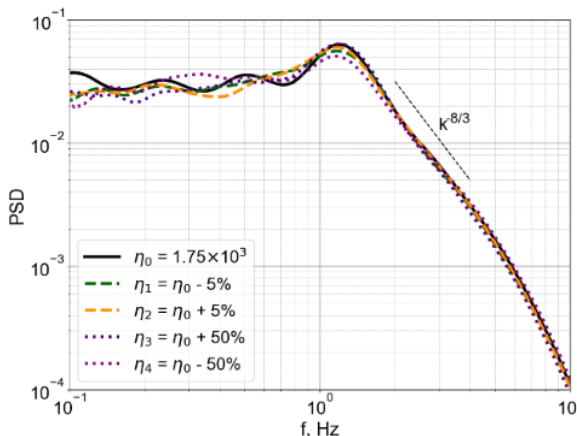


Рисунок 20 – Зависимость частоты от вязкости.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.ф.-м.н. Колесниченко И.В., авторы: Колесниченко И.В., Полуянов А.О.).

Poluyanov A., Kolesnichenko I. Experimental Study of Liquid Metal Flow for the Development of a Contact-Less Control Technique // Fluid Dynamics & Materials Processing. 2024. Vol.20 No.7, Pp.1553-1563. DOI: 10.32604/fdmp.2024.050165

15. Количественное описание фазового расслоения магнитных жидкостей во внешнем температурном и магнитном полях. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Предложен экспериментальный метод измерения бинадальных кривых магнитных жидкостей, претерпевающих фазовый переход типа «коллоидный газ - коллоидная жидкость». Предложен пошаговый алгоритм лабораторных измерений и численной обработки данных. Используется бидисперсная модель для описания дисперсного состава коллоида. Гидродинамическая концентрация частиц вычисляется в рамках термодинамической теории возмущений первого порядка. Исследованы четыре образца магнитной жидкости с различным дисперсным составом. Показано, что бинадальные кривые отражают индивидуальные свойства образцов, что позволяет описывать и предсказывать коллоидную стабильность при любом сочетании температуры и внешнего магнитного поля (Рисунок 21).

Сфера практического применения результата: экспериментально измеренная бинадаль позволяет предсказывать возникновение или отсутствие агрегации коллоидных частиц при определенной комбинации внешних воздействий «температура – напряженность внешнего магнитного поля», а также количественно описывать долевое соотношение и концентрацию частиц в обеих фазах.

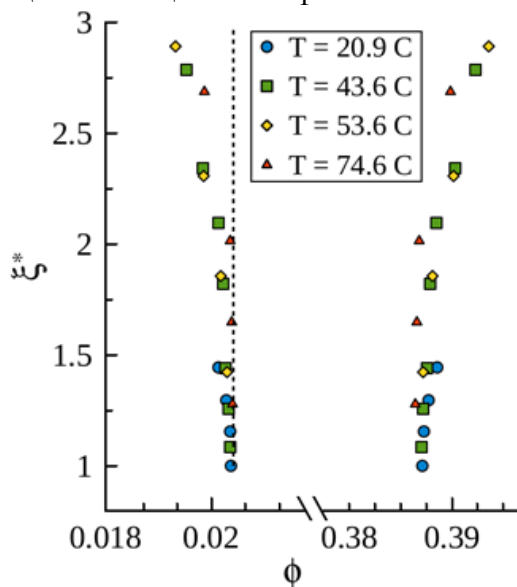


Рисунок 21 – Пример экспериментальной бинадали, измеренной для одного из тестовых магнитных жидкостей при различных температурах и значениях напряженности магнитного поля. Ветви бинадали представлены в координатах объемная концентрация коллоидных частиц – нормированный параметр Ланжевена.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н. Иванов А.С., авторы: Иванов А.С., Сомов С.А.).

Ivanov A.S., Somov S.A. Experimental method for measuring binodal curves of magnetic fluids exhibiting field-induced magnetic condensation of nanoparticles // Journal of Molecular Liquids, Vol. 414, 2024, Art. no.126020.

16. Количественно описана термоконцентрационная конвекция в газовых смесях «воздух – вода» и «воздух – ундекан» при фазовых превращениях жидкости (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Экспериментально исследована термоконцентрационная конвекция в двух газовых смесях воздуха с водяным паром или парами ундекана (вещество с физико-химическими свойствами, близкими к таковым у керосина). Эксперимент поставлен в квази-2D постановке, в замкнутой полости при нормальном атмосферном давлении в диапазоне температур от 0 до 80 С. Термоконцентрационная конвекция обусловлена градиентами температуры и концентрации пара в воздухе. Результаты представлены в безразмерном виде посредством эффективного числа Рэля RaE , равного сумме теплового RaT и концентрационного RaC чисел. Измеренные кубическая и квадратичная температурные зависимости (RaC / RaT) для указанных сред представлены на рисунке 22. Результаты количественно описывают влияние фазовых переходов «жидкость-пар» на интенсивность конвекции воздуха. Так, пренебрежение этими эффектами при температуре 38 С и использование обычного RaT вместо фактического RaE , привело бы к ошибке в 100 %. При более высоких температурах упорядоченное конвективное движение существует исключительно благодаря фазовым переходам (испарению и конденсации) жидкостей на противоположных теплообменниках.

Сфера практического применения результата: проектирование и расчет газодинамики в технических устройствах, представляющих собой замкнутые полости с градиентами температуры, в которых течение газовых смесей сопровождается фазовыми переходами воды или керосина: теплообменники, устройства для карбюрации жидкого топлива, и др.

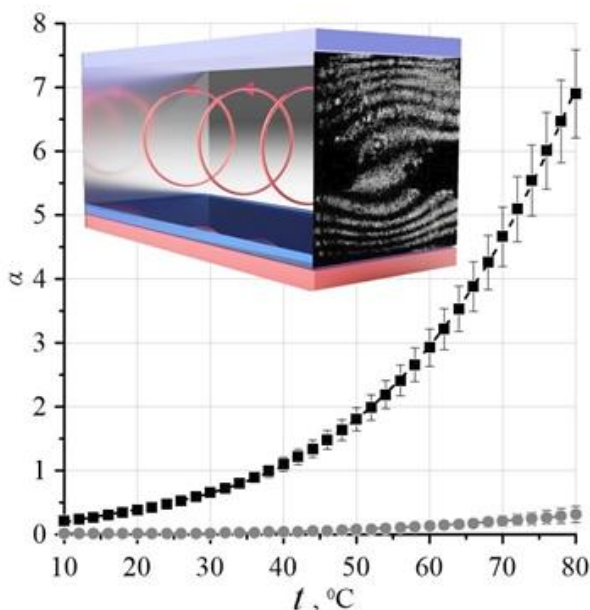


Рисунок 22 – Экспериментальные зависимости (RaC / RaT) от средней температуры t для влажного воздуха (черные квадраты) и смеси воздуха с ундеканом (серые круги). Поверх графика представлено схематическое изображение прямоугольной конвективной ячейки с квази-2D течением газа. Визуализация течения выполнена методом голографической интерферометрии (пример интерферограммы представлен на торце ячейки).

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук. д.ф.-м.н. Иванов А.С., авторы: Иванов А.С., Сомов С.А.).

Somov S.A., Ivanov A.S. Experimental study of thermoconcentration convection in air-water and air-undecane mixtures // Physics of Fluids, 2024, Vol. 36, Iss. 10. Art. no. 104104.

17. Проведено численное моделирование процесса консолидации при селективной лазерной плавке. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

Технология 3D печати на сегодняшний день является передовым направлением в области быстрого создания сложных изделий, которые находят применение в авиастроении, медицине, кораблестроении и других областях. Целью настоящей работы является численное моделирование процесса консолидации порошка нержавеющей стали 316L при 3D печати методом селективной лазерной плавки. Моделирование проведено совместно с Удмуртским государственным университетом с помощью разработанного в 2020–2023 гг. программного модуля «Усадка и дефекты» для расчета многофазных течений, возникающих в аддитивном производстве. Разработанная численная модель процесса консолидации, позволяет предсказывать пористость и эффективный модуль упругости получаемого материала. Модуль является частью программного комплекса «Виртуальный принтер» для моделирования различных технологий 3D печати.

Исследован процесс консолидации ансамбля расплавленных частиц (Рисунок 23) в слое порошка с эффективной толщиной 50 мкм. Размер частиц порошка был задан с использованием логнормального распределения их диаметров, полученного экспериментально.

Обнаружено, что при некоторых режимах обработки, например, при недостаточной мощности лазерного излучения, в ходе плавления и уплотнения порошка могут образовываться мелкие поры – дефекты расплавления, которые приводят к значительному снижению модуля упругости материала вблизи пор. При этом высокие локальные напряжения (Рисунок 24) потенциально способны привести к быстрому распространению трещин в материале.

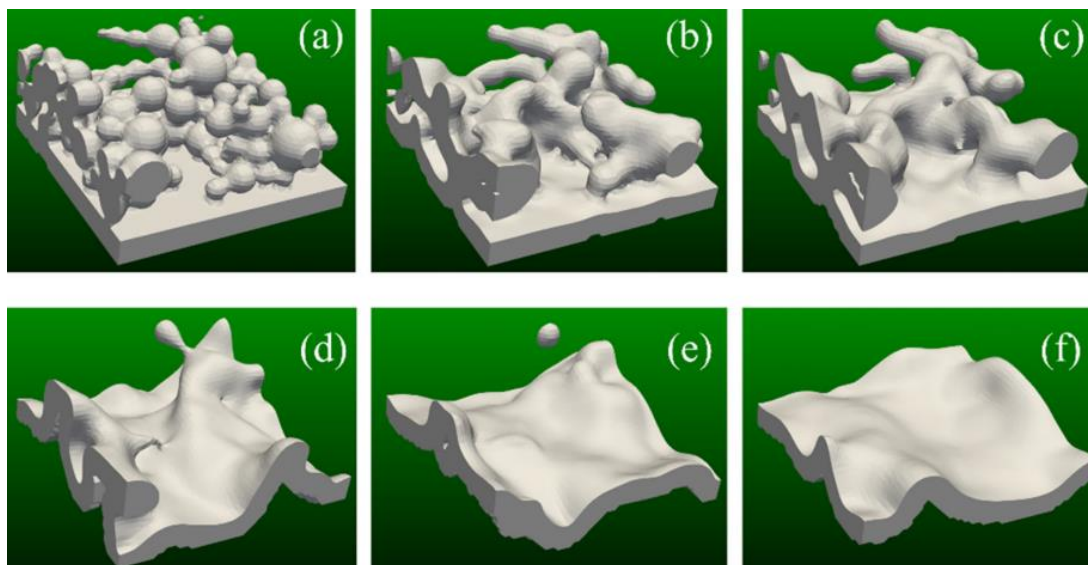


Рисунок 23 – Временная эволюция (a)-(f) ансамбля жидких частиц в процессе консолидации расплава порошка.

На основе результатов численного моделирования предложен упрощенный критерий выбора надлежащих режимов работы при производстве методом селективной лазерной плавки. Критерий основан на оценке требуемого времени нагрева и характерных времен плавления и уплотнения, а также времени существования расплавленной ванны. Рассчитана зависимость эффективного модуля Юнга от пористости получаемого материала.

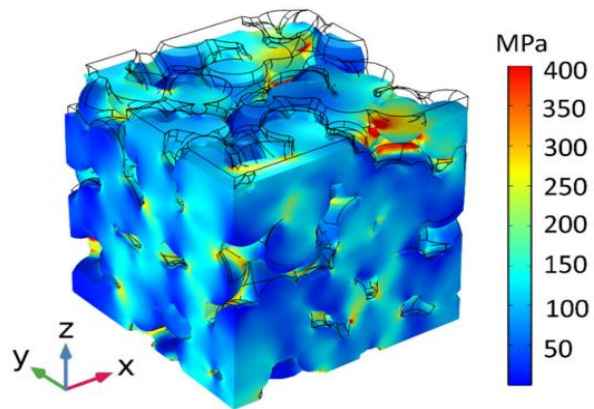


Рисунок 24 – Распределение локальных напряжений в закристаллизовавшемся материале.
(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н., проф. Любимова Т.П.,
авторы: Иванцов А.О., Любимова Т.П., Хлыбов О.А.).

Voroshilov, E.S., Mosina, R.M., Gruzd, S.A., Ivantsov, A.O., Khlybov, O.A., Lyubimova, T.P., Krivilyov, M.D. (2024). Capillary effects and consolidation kinetics during selective laser melting of 316L powder. Physics of Fluids, 36(4)

18. Впервые комплексно исследовано влияние вибраций на возникновение и развитие конвекции в наклонном слое бинарной смеси. (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва)

О двойной диффузионной конвекции говорят, когда возникает взаимодействие диффузии и теплопроводности. Это явление встречается во многих природных процессах, происходящих в океанах, атмосфере, при различных химических реакциях или в инженерных приложениях. Реальные физические системы при этом могут испытывать периодические внешние воздействия, способные как увеличить, так и понизить устойчивость стационарных состояний.

В работе впервые комплексно исследована двойная диффузионная конвекция в наклонном слое бинарной смеси при различных ориентациях градиента плотности, углах наклона слоя и направлениях вибраций.

Определены условия существования квазиравновесных состояний смеси – состояний, при которых имеется лишь пульсационное течение, а среднее течение отсутствует. Получены карты линейной устойчивости таких состояний на плоскости параметров число Релея – вибрационный аналог числа Релея (Рисунок 25). Обнаружено, что поперечные вибрации повышают устойчивость квазиравновесий. С увеличением наклона оси вибраций, угла наклона слоя и величины градиента концентрации устойчивость понижается, при этом длина волны наиболее опасных возмущений возрастает. Прямое численное моделирование подтверждает результаты линейной теории устойчивости.

Полученные результаты могут быть использованы для управления режимами конвекции в многокомпонентных смесях с помощью вибраций.

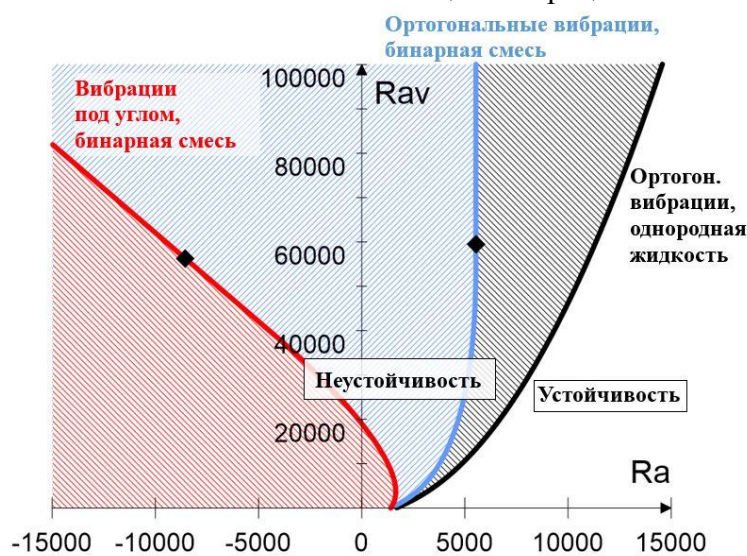


Рисунок 25 – Карта устойчивости.

(«ИМСС УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.ф.-м.н., проф. Любимова Т.П., авторы: Любимова Т.П., Прокопьев С.А.).

Lyubimova T. P., Lyubimov D. V., Prokopev S. A., Stability of quasi-equilibrium of a binary fluid-inclined layer under the action of high-frequency vibrations // Physics of Fluids. – 2024. – V. 36. – no. 10. – p. 104106.

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

19. Методика оценки и прогноза оседаний земной поверхности по данным измерения деформаций горных выработок (2.3.7.4. Методы мониторинга опасных техногенных процессов; безопасного ведения горных работ)

Для условий камерной системы разработки месторождений солей (Рисунок 26) предложена оперативная схема контроля и прогноза оседаний земной поверхности, основанная на шахтных измерениях горизонтальной конвергенции очистных камер. Методика позволяет оценить вклад отработки каждого рабочего пласта в интенсивность деформирования подработанного массива и развития процесса сдвижения, что является крайне важным при определении мер охраны рудников от затопления (Рисунок 27-28, Таблица 2).

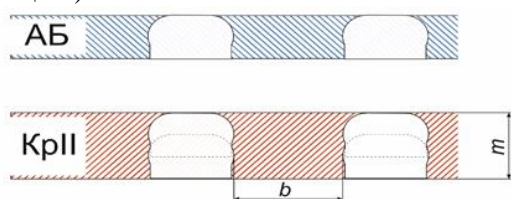


Рисунок 26 – Схема отработки пластов КрII и АБ.

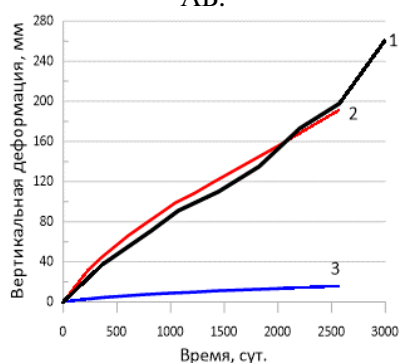


Рисунок 27 – Характер нарастания оседаний земной поверхности (1) и деформаций целиков на пластах КрII (2) и АБ (3).

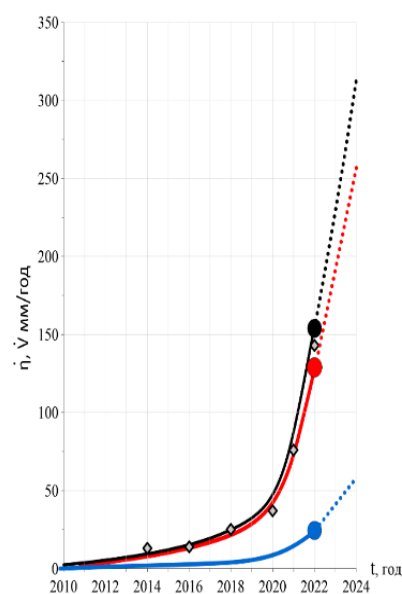


Рисунок 28 – Графики скоростей вертикальных деформаций целиков и оседаний земной поверхности.

Таблица 2 – Скорости горизонтальной конвергенции и оседаний земной поверхности

Участок	Пласт	Скорость гор. конвергенции камер \dot{U} , мм/год	Расчетная скорость верт. деформации целиков $\dot{V}_{АБ}, \dot{V}_{КрII}$, мм/год	Расчетная скорость оседания $\dot{\eta}$, мм/год	Фактическая скорость оседания мм/год
1	КрII	113.2	67.04	96.20	95.0
	АБ	70.0	29.16		
2	КрII	187.38	128.58	153.08	143.0
	АБ	60.0	24.50		

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: академик РАН, д.т.н. Барях А.А.).

Baryakh A.A., Evseev A.V., Lomakin I.S., Tsayukov A.A. Operational control of rib pillar stability // Eurasian Mining. 2020. № 2. С. 7-10. (Scopus Q1).

Барях А.А., Евсеев А.В., Глебова П.А., Васильева Е.Л. Прогноз оседаний земной поверхности по данным измерений деформаций горных выработок // Горный журнал. 2023. № 11. С. 10-14. (Scopus Q3).

20. Получение глубинного сейсмического разреза ниже забоя скважин на месторождениях водорастворимых полезных ископаемых (2.3.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых)

На основе изучения отраженных волн в системе наблюдений межскважинного сейсмического просвечивания получен глубинный сейсмический разрез в межскважинном пространстве и в интервале водозащитной толщи (Рисунок 29). Выполнено выделение волновых полей восходящих и нисходящих волн, миграция и суммирование по общей глубинной точке. Алгоритм учитывает высококонтрастную границу кровли солей и опробован при различных параметрах систем наблюдений.

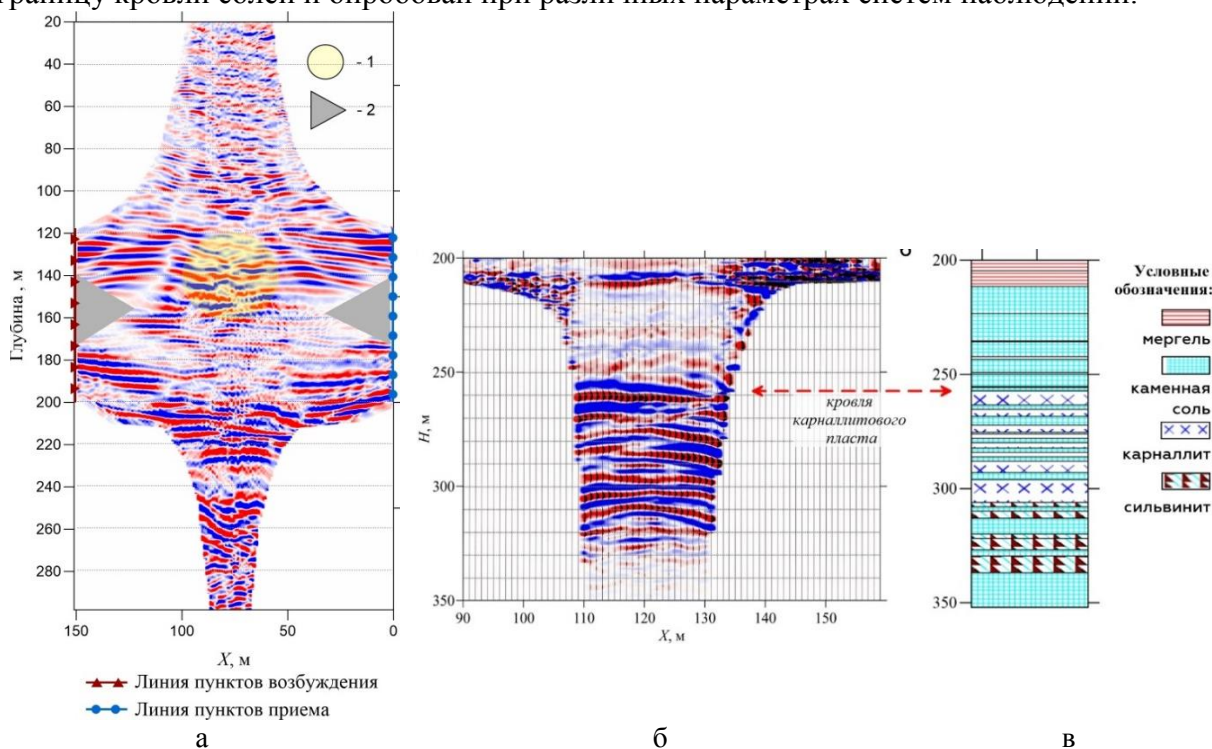


Рисунок 29 – Глубинный сейсмический разрез по данным обработки межскважинного просвечивания: (а) – глубинный сейсмический разрез, (б) – разрез ниже забоя скважин, (в) – литологическая колонка.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.т.н., проф. Санфиоров И.А.).

Чугаев А. В., Санфиоров И. А., Тарантин М. В. Сейсморазведка на отраженных волнах при межскважинных исследованиях на Верхнекамском месторождении калийных солей // Геология и геофизика. – 2023. – Т. 64, № 2. – С. 293-307. [Q2, IF 1.2].

Чугаев А.В., Санфиоров И.А., Тарантин М.В. Трапезникова А.Б., Носков А.О. Получение сейсмических изображений в методе межскважинного просвечивания на основании углубленного анализа волнового поля // Инженерная и рудная геофизика 2022 : Сборник материалов 18-ой научно-практической конференции и выставки, Геленджик, 05–08 сентября 2022 года. – Москва: ООО "ЕАГЕ ГЕОМОДЕЛЬ", 2022. – С. 411-421.

21. Метод анализа устойчивости воздушных потоков в рудничных вентиляционных сетях при пожарах (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)

Разработан лабораторный стенд, имитирующий проветривание наклонной горной выработки с интенсивным тепловым источником (пожаром). Экспериментальные исследования на стенде подтвердили корректность математической модели тепломассообменных процессов в наклонной выработке при пожарах. Численное трехмерное моделирование выявило условия, способствующие образованию тепловой конвекции и изменению направления движения воздуха (Рисунок 30). Определена зависимость критической тепловой мощности, соответствующей моменту опрокидывания воздушной струи, от аэродинамических параметров горной выработки. Полученные результаты стали основой для метода анализа устойчивости воздушных потоков в рудничных вентиляционных сетях при пожарах.

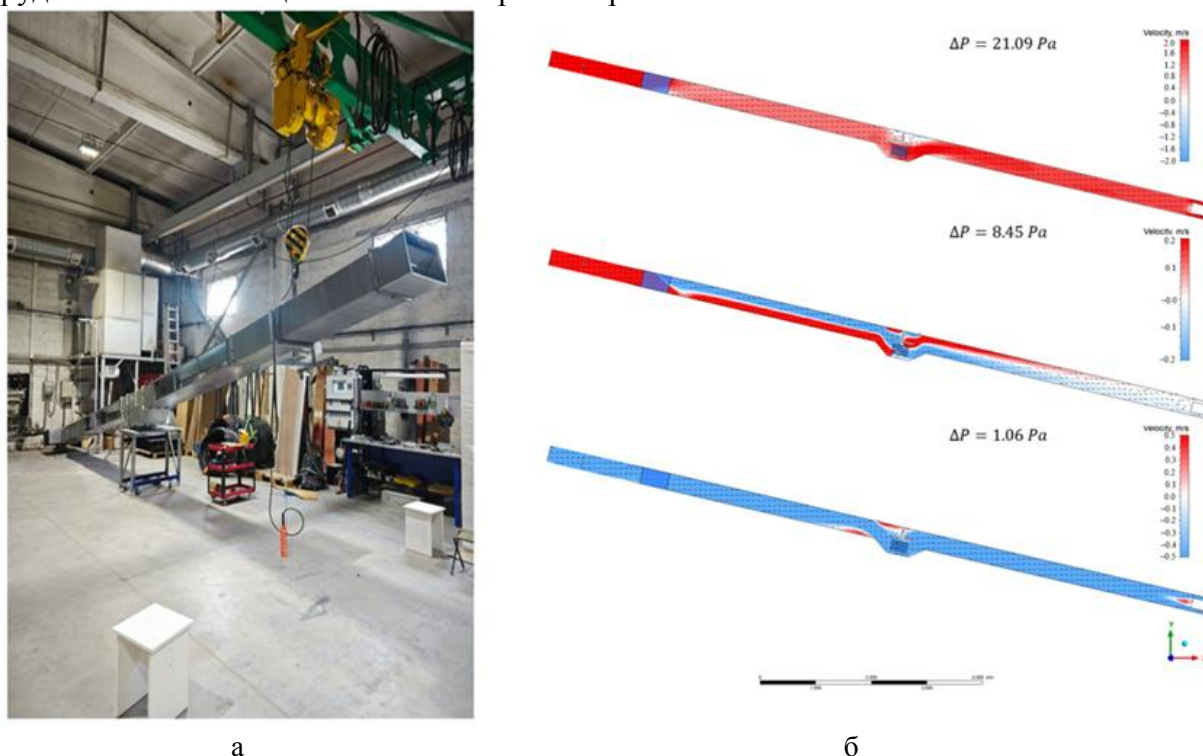


Рисунок 30 – (а) – Лабораторный стенд; (б) – рассчитанные распределения продольной компоненты скорости воздушного потока при различных режимах проветривания.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.т.н. Левин Л.Ю.).

Levin L., Popov M., Semin M., Zhikharev S. Experimental and Numerical Study of Air Flow Reversal Induced by Fire in an Inclined Mine Working // Applied Sciences. – 2024. – Т. 14. – №. 15. – Стаття № 6840. (Q1 Web of Science).

22. Установлено влияния лучистого теплообмена на микроклиматические параметры в забое глубокого рудника (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)

Проведенные экспериментально-теоретические исследования на глубоком калийном руднике показали, что для точного прогноза распределения температур воздуха в вентиляционном канале и тупиковой выработке необходимо учитывать не только конвективно-диффузионный, но и лучистый теплообмен. Численное моделирование нестационарного тепломассопереноса показало, что лучистый теплообмен может быть основной причиной растепления окружающих пород с течением времени. Помимо лучистого теплообмена в модели учтены динамическое продвижение забоя и нагрев воздуха от вентиляторов местного проветривания (Рисунок 31). На основе моделирования разработаны новые технические решения для нормализации параметров микроклимата в атмосфере тупиковых выработок.

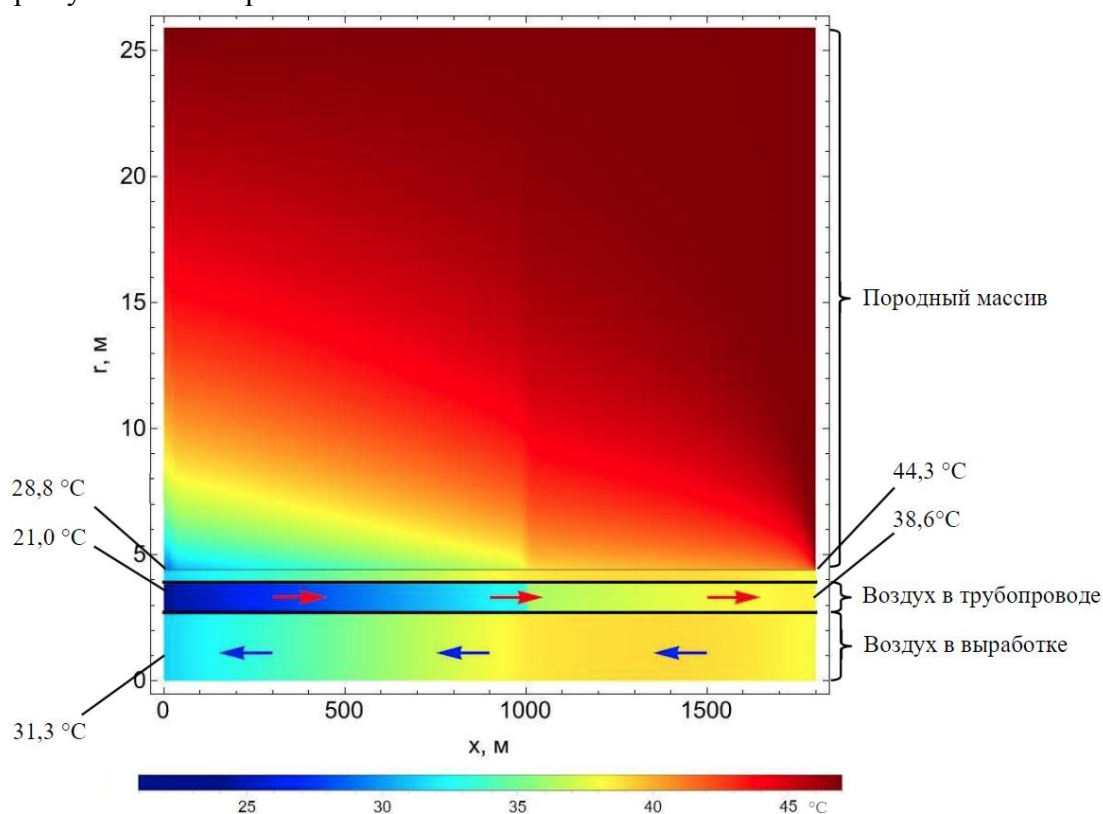


Рисунок 31 – Рассчитанное теплораспределение в тупиковой выработке с учетом лучистого теплообмена, динамического продвижение забоя и нагрева воздуха от вентилятора.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.т.н. Левин Л.Ю., д.т.н. Зайцев А.В.).

Olkhovsky D., Zaitsev A., Bublik S. Study on the influence of radiation heat transfer on microclimatic parameters in the blind heading of a deep potash mine // International Journal of Thermal Sciences. – 2024. – Т. 199. – Статья № 108904. (Q1 Web of Science).

23. Обоснованы интегральные показатели крупномасштабной структуры турбулентного течения в тупиковых выработках, проветриваемых нагнетательным способом (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)

С помощью трех разработанных показателей (спутный поток, максимальная продольная и средняя поперечная скорости воздуха в сечении тупиковой выработки) выявлены фундаментальные закономерности изменения крупномасштабной структуры осредненного течения. Определены два типа структуры течения, существующие до и после критического отставания конца трубопровода от груди забоя, которое составило около 25 м для рассмотренного типа тупиковых выработок (Рисунок 32). Полученные результаты имеют большое практическое значение для проветривания тупиковых горных выработок.

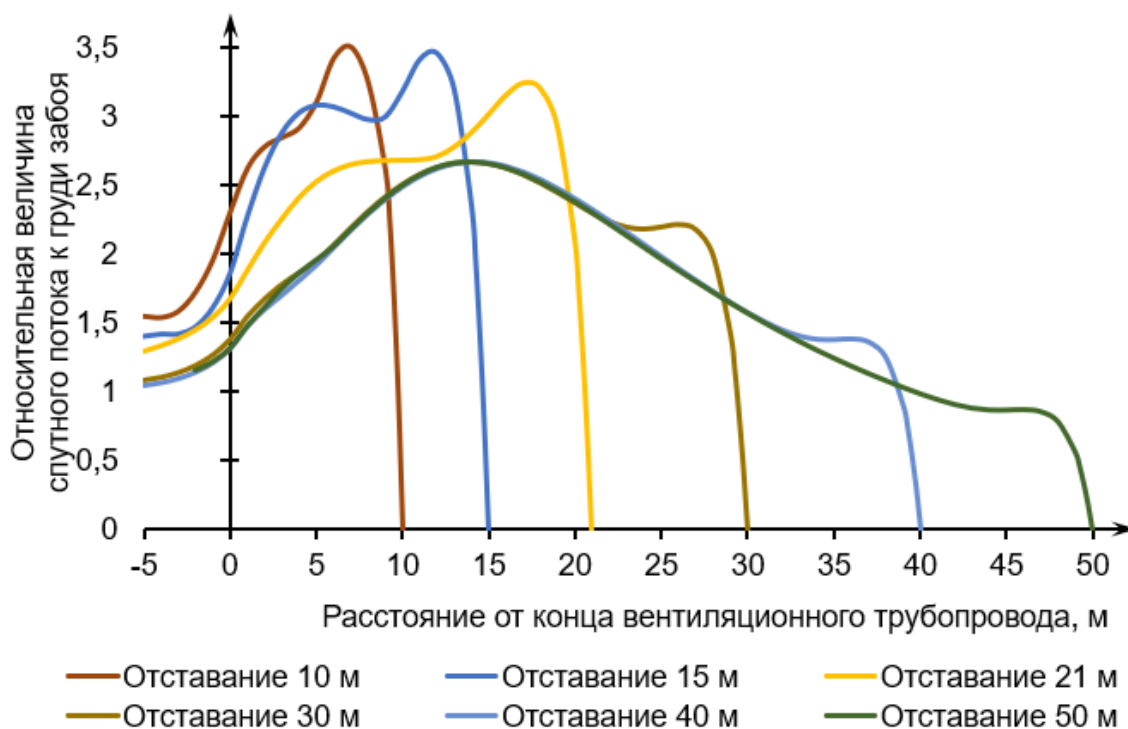


Рисунок 32 – Зависимость относительной величины спутного потока (расхода) воздуха от расстояния от конца вентиляционного трубопровода при различном отставании трубопровода от груди забоя.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.т.н. Левин Л.Ю., д.т.н. Семин М.А.).

Semin M., Faynburg G., Tatsiy A., Levin L., Nakariakov E. Insights into turbulent airflow structures in blind headings under different ventilation duct distances // Scientific Reports. – 2024. – Т. 14. – № 1. – Статья № 23768. (Q1 Web of Science).

24. Метод определения коэффициента длительной прочности соляных пород (2.3.7.1. Геомеханика, гидро- газо- и термодинамика горных пород; физико-химические свойства и разрушение геоматериалов)

Разработан ускоренный метод определения коэффициента длительной прочности соляных пород, основанный на построении расчетной кривой длительной прочности по скорости установившейся ползучести и критическим деформациям на пределе остаточной прочности (Рисунок 33). Использование метода позволяет сократить время длительных испытаний до 5-7 дней.

Результаты проведенных исследований предназначены для оценки допустимой степени нагружения соляных междукамерных целиков для условий конкретных отработываемых участков шахтных полей рудников различных калийных месторождений.

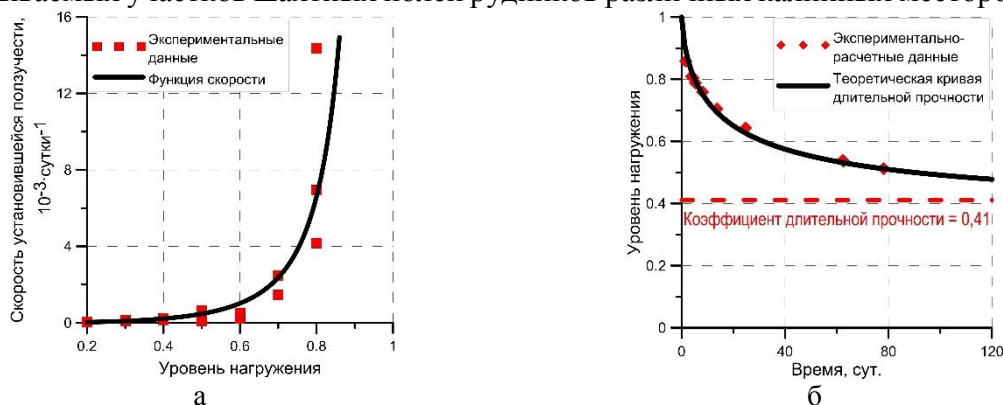


Рисунок 33 – (а) – Зависимость скорости установившейся ползучести от уровня нагружения; (б) – теоретическая кривая длительной прочности (на примере образцов пестрого сильвинита).

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: академик РАН, д.т.н. Барях А.А.).

Барях А. А., Ударцев А. А., Паньков И. Л. К оценке длительной прочности соляных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 11. – С. 5–22. DOI: 0.25018/0236_1493_2024_11_0_5.

25. Оценка радиационной обстановки в Кунгурской Ледяной пещере (2.3.4.2. Изотопная геохимия и геохронология)

Оценка радиационной безопасности произведена с учетом параметров радиационного (гамма) фона, замеров концентраций радона и торона, микроклиматических показателей (температура воздуха, влажность), скорости воздушных потоков, освещенности и расчета показателя специальной оценки условий труда.

Для показателей гамма-активности и концентрации радона прослеживается отчетливая зависимость от сезона года и соблюдения регламента проветривания, установленного в пещере (Рисунок 34-35). Применяемые режимы проветривания обеспечивают безопасные значения радиационного фона и торона.

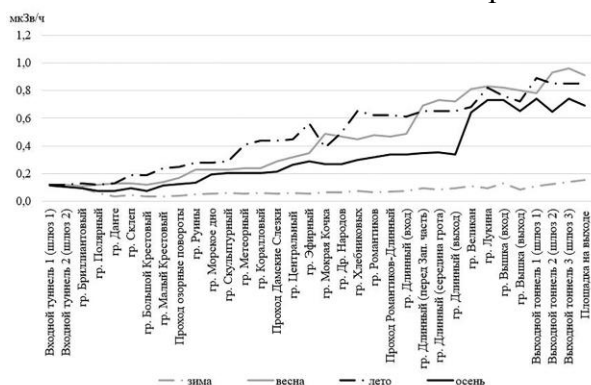


Рисунок 34 – Сезонные значения радиационного фона в точках замера.

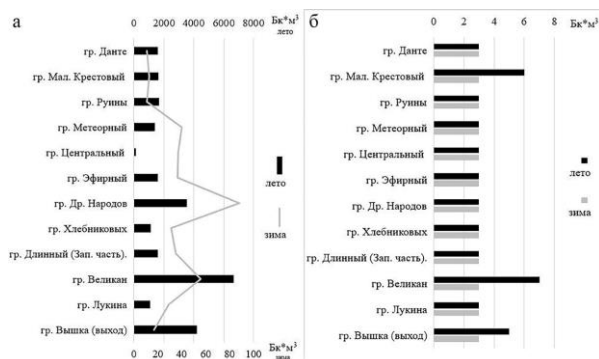


Рисунок 35 – Сезонные значения радона (а) и торона (б) в точках замера.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.г.н. Кадебская О.И.).

Красиков А.В., Казанцева А.С. Радиологический мониторинг и оценка радиационной обстановки в Кунгурской Ледяной пещере // Известия ТулГУ. Науки о Земле, 2024, Вып. 1. – С. 198-213.

Krasikov A.V., Kazantseva A. S. Radiological monitoring and assessment of the radiation situation in the Kungur Ice Cave // Journal of Environmental Radioactivity. Vol. 278, December 2024, 107540 (Scopus Q2)

26. Определение коэффициента добротности горных пород в масштабе месторождения (2.3.1.5. Сейсмология и методы сейсмической томографии)

Выполнена адаптация метода Гладвина-Стейси для расчета интегральной добротности на основании характеристик первых вступлений сейсмических событий. Разработанная методика позволяет определять добротность на интервале расстояний от первых сотен метров до нескольких километров с использованием записей техногенных сейсмических событий (Рисунок 36).

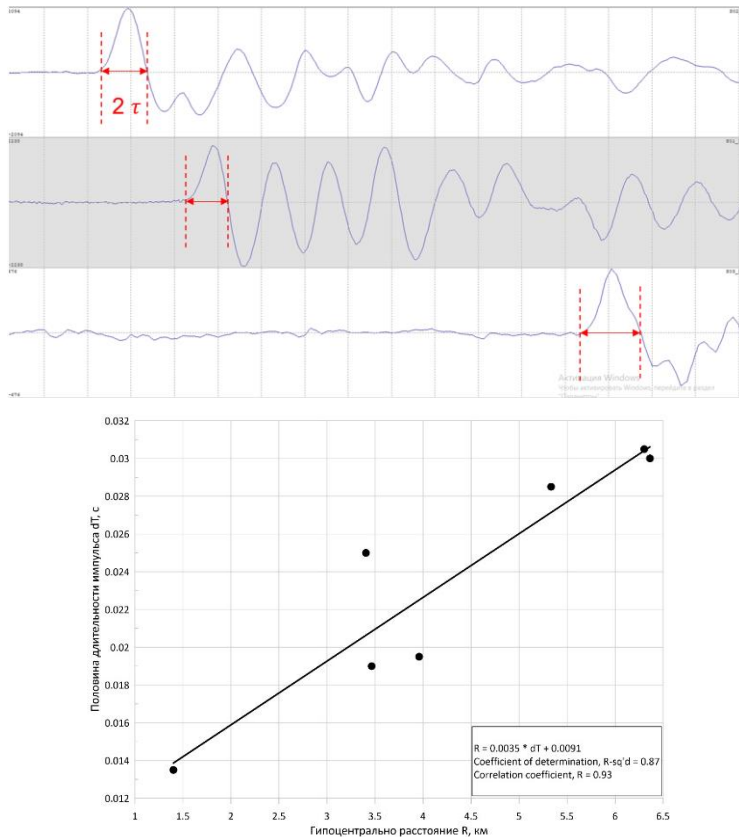


Рисунок 36 – Длительность импульса первого вступления сейсмической волны t и изменение ее с расстоянием.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.т.н., проф. Санфиров И.А., к.т.н. Шулаков Д.Ю.).

Мурыськин, А. С. Определение добротности среды на территории рудников на примере Верхнекамского и Жезказганского месторождений / А. С. Мурыськин // Горное эхо. – 2024. – № 1(94). – С. 55-59. – DOI 10.7242/echo.2024.1.9. – EDN CWLWUP.

27. Трансформация региональных аномалий силы тяжести на сферообразной Земле для решения геологических задач (2.3.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых)

Разработан новый метод трансформации аномалий силы тяжести, предназначенный для изучения территорий от 1 млн. кв. км и более, использующий геодезические координаты (широту, долготу) точек задания поля и сферу Каврайского в качестве модели нашей планеты. В его основе лежит моделирование гравитационного поля двумя системами точечных масс, находящихся на разных глубинах. Созданное программно-алгоритмическое обеспечение обеспечивает высокую точность и скорость вычисления информативных компонент поля (Рисунок 37).

Метод может использоваться при изучении структурно-тектонического строения крупных блоков суши и акваторий, а также для прогнозирования месторождений полезных ископаемых.

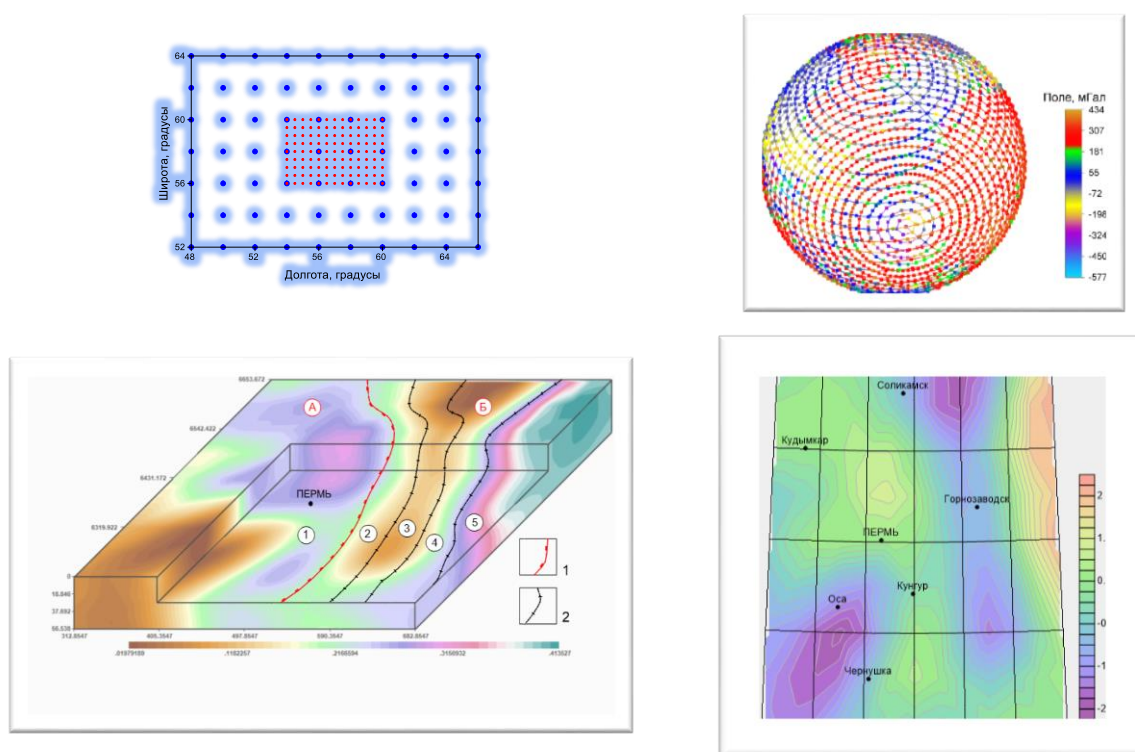


Рисунок 37 – Построение глобальной модели гравитационного поля.

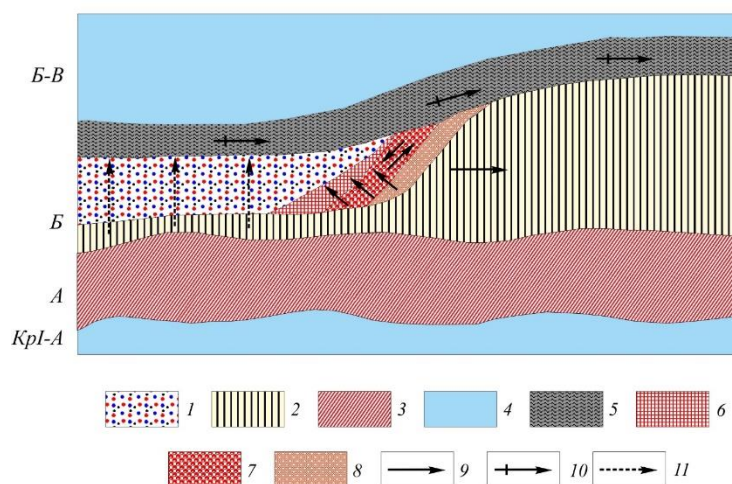
(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.г.-м.н. Бычков С.Г.).

Долгаль А.С., Костицын В.И., Новикова П.Н. и др. Подавление помех геологической природы при трансформации региональных аномалий силы тяжести // *Геофизика*. 2024. № 5. С. 24–29.

Долгаль А.С. Построение глобальной аналитической модели аномалий силы тяжести методом истокообразной аппроксимации // *Горное эхо*. 2024. № 1(94). С. 49–54.

28. Геологическая модель механизма дегазации калийных пластов смешанного состава в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр)

На основе установленных закономерностей распределения газовой компоненты в калийных пластах смешанного состава (карналлит+сильвинит) разработана геологическая модель механизма дегазации, включающая миграцию водных растворов по калийным пластам в направлении карналлитов. В процессе миграции функционировала трехзонная система галогенного метасоматоза, сопровождавшаяся сильвинитизацией карналлита. Это приводило к уменьшению объема карналлитового пласта, формированию систем трещин в вышележащих породах в процессе их деформирования и миграции свободных газов из пласта смешанного состава в вышележащие породы с последующей возможной аккумуляцией в галопелитовых слоях и прослойках, полостях и пустотах (Рисунок 38).



1 – проводник; Т – трещина; 1 – забойная зона; 2 – обменная зона; 3 – конденсационная зона; 4 – свободный газ; 5 – метасоматит (пестрый сильвинит пласта Б); 6 – массообмен между забойной и конденсационной зонами через обменную; 7 – продольный массообмен вдоль обменной зоны; 8 – каменная соль пласта Б–В с «коржом» и галопелитовыми слоями и прослойками; 9 – направление миграции свободных газов в процессе метасоматоза; ТЗ – транзитная зона

Рисунок 38 – Геологическая модель механизма дегазации калийных пластов смешанного состава (карналлит + сильвинит) в условиях Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (на примере карналлитового пласта Б).

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.т.н, проф. Андрейко С.С.).

Андрейко С.С., Нестеров Е.А., Бобров Д.А. Модели механизма дегазации пласта Б смешанного состава в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – Вып.1. – С.507–514.

29. Резкие колебания минерализации воды на участке функционирования технических водозаборов г. Березники (2.3.11.1. Гидрология, гидрохимия и экологическое состояние вод суши)

На основе длительных непрерывных мониторинговых наблюдений с частотой измерений $\nu = 72/\text{сутки}$ за гидрологическими и сопряженными с ними гидрохимическими параметрами на Камском водохранилище в теплый период, в районе г. Березники, в придонной области установлена возможность резких, весьма быстрых колебаний удельной электропроводности, очень тесно связанной с ней минерализации воды. В результате выполненных исследований показано, что в течение 20 минут может наблюдаться изменение фиксируемых показателей качества воды практически на порядок, что имеет принципиальное значение для обеспечения как экологической безопасности водного объекта, так и его использования для целей водоснабжения (Рисунок 39).

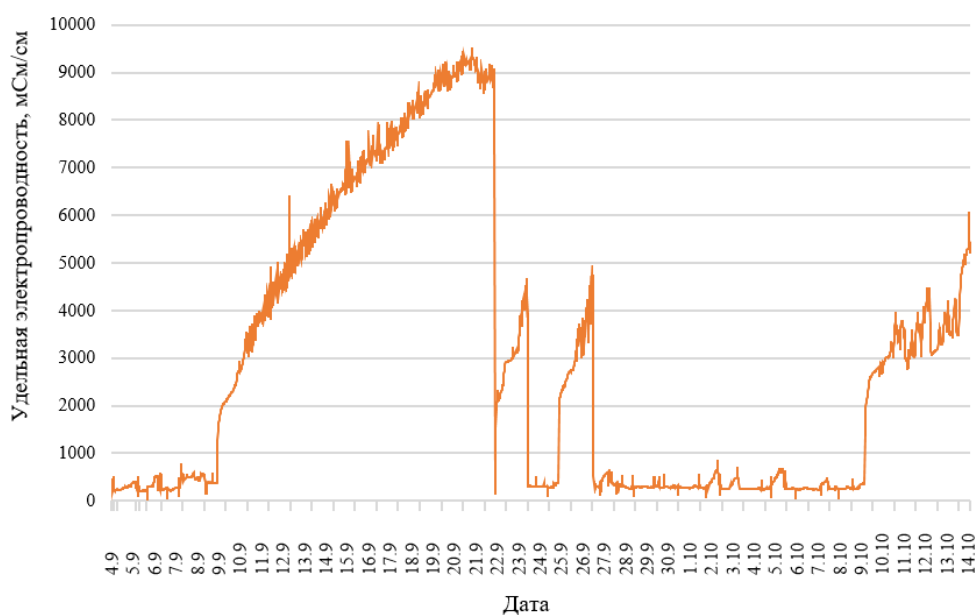


Рисунок 39 – Синхронный график хода удельной электропроводности и уровня воды с 20-минутной дискретностью в районе г. Березники за весь период натурных наблюдений.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.г.н. Лепихин А.П.).

Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С., Опутин М.А., Синцова Т.Н., Исахов А.А. Опыт применения логгеров для исследования динамики состояния водных объектов, расположенных в зонах активного техногенеза // Водное хозяйство России. 2024. №6.

30. Выявлена цикличность осадконакопления и геохимических изменений в пелитоморфных породах соликамской свиты (2.3.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли)

Использование сканирующего электронного микроскопа VEGA 3 TESCAN с системой рентгеновского энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350/X-max 20 для расчленения пелитоморфных пород соликамской свиты, позволило установить что цикличность осадконакопления определялась периодическим привносом во впадину алюмосиликатного материала с суши обусловившим проявление 9 циклов седиментации проявившихся на фоне постепенной смены эвапоритовой обстановки морской. Вариации содержания петрогенных оксидов и геохимических модулей позволили показать изменение состава размываемых пород на водосборах и степень их гипергенного преобразования, что дает возможность реконструировать палеогеографические обстановки (Рисунок 40).

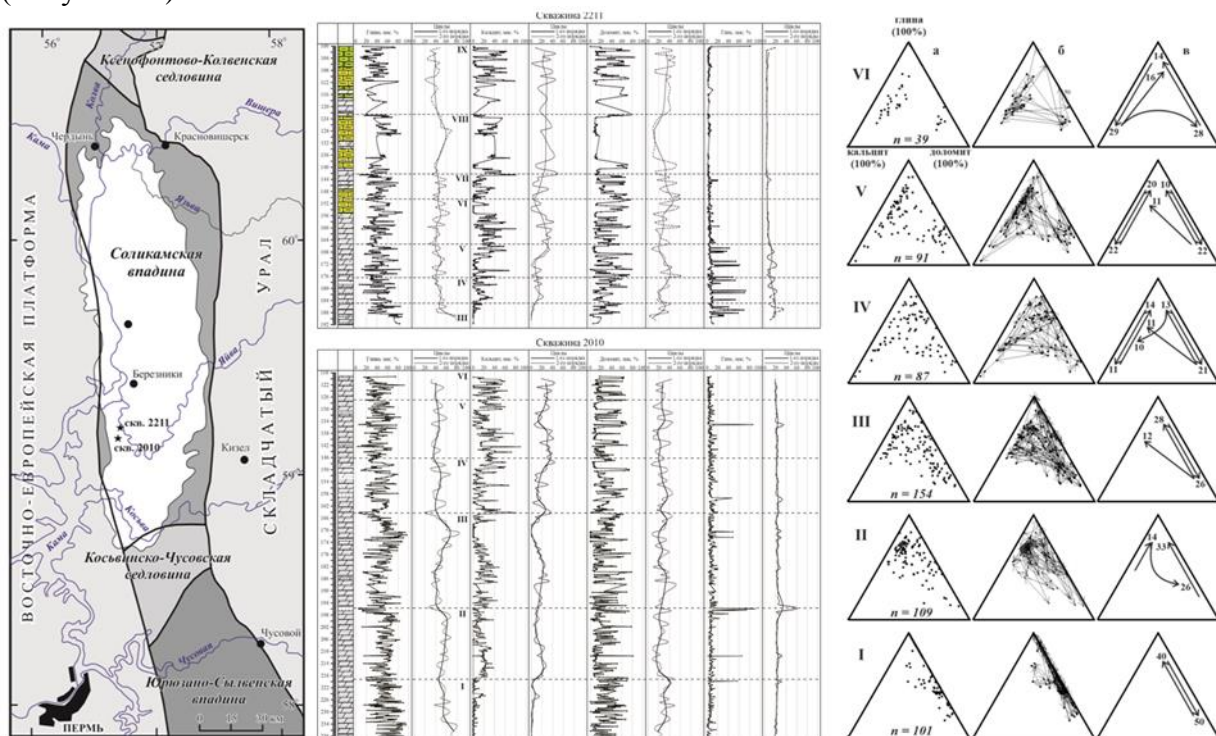


Рисунок 40 – Цикличность осадконакопления соликамской свиты.

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.г.-м.н. Чайковский И.И.).

Уткина Т. А., Чайковский И. И. Литохимическая цикличность соликамской свиты в юго-западной части Соликамской впадины (Предуральский краевой прогиб) // Литология и полезные ископаемые, 2024 (в печати) (IF 1,1).

31. Обоснована система пассивной очистки шахтных вод Кизеловского угольного бассейна (2.3.11.1. Гидрология, гидрохимия и экологическое состояние вод суши)

На основе программы геохимического моделирования произведен прогноз состава сточных вод, формирующийся при добавлении различных количеств щелочных реагентов, и оценка масс образующегося осадка. Определены основные формы нахождения металлов в реках-приемниках шахтных вод, выявлены основные вторичные минеральные фазы, формирование которых способствует выведению токсичных элементов из водных растворов, и осуществлен прогноз устойчивости образованных минеральных соединений при их миграции в водотоках (Рисунок 41).



Рисунок 41 – Истечение шахтных вод Кизеловского угольного бассейна в водоемы Пермского края

(«ГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.г.-м.н. Бачурин Б.А.).

Фетисова Н. Ф., Фетисов В. В. Подходы к выбору систем очистки дренажных вод заброшенных горных выработок Кизеловского угольного бассейна // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 1. – С. 109–124. (Scopus Q2)

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

32. Синтез фуранотритерпеноидов и оценка анти-Tdp1 свойств новых полусинтетических тритерпеноидов (1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин)

Разработан метод синтеза фуранотерпеноидов из 1,10-секотритерпеноидов (Рисунок 42). Нетоксичные в отношении раковых и нераковых клеток фуранотерпеноиды и их синтетические предшественники проявили заметную ингибирующую активность (IC_{50} 1,0-9,0 мкМ) в тесте с ферментом репарации ДНК – тирозил-ДНК-фосфодиэстеразой 1 (Tdp1). Наиболее высокую аффинность к активному сайту Tdp1 показали 1-оксим, 1,10-секо-гидроксиитрил и фуранотерпеноид лупанового типа, перспективные для разработки новых Tdp1-ингибиторов, обеспечивающих снижение лекарственной резистентности раковых клеток в условиях противоопухолевой терапии.

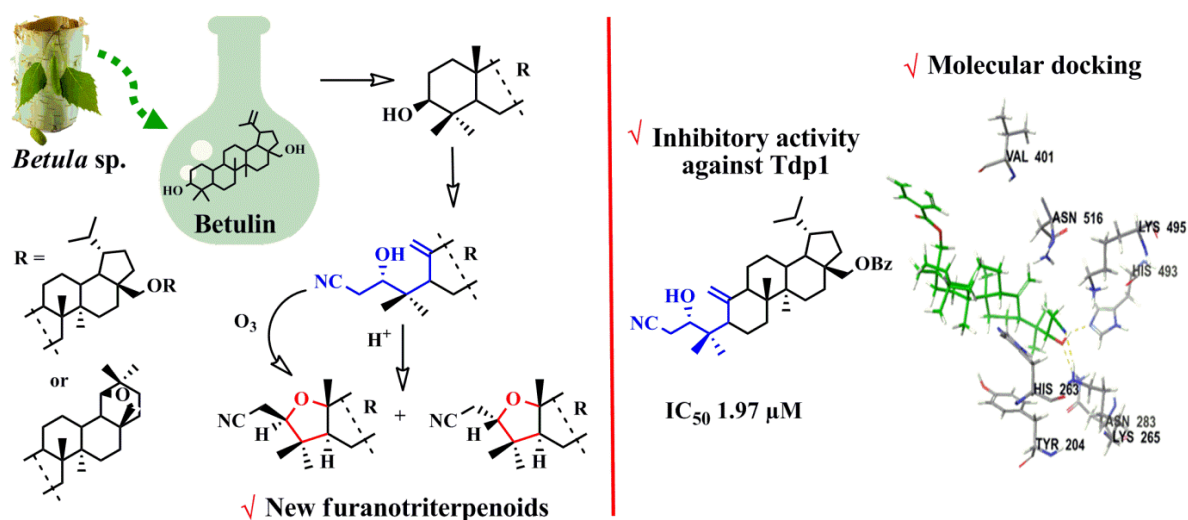


Рисунок 42 – Синтез и анти-Tdp1 активность фуранотритерпеноидов.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, рук.: к.х.н. Гришко В.В, авторы: Толмачева И.А., Ерошенко Д.В., Чернышова И.А., Лаврик О.И.).

Tolmacheva I., Eroshenko D., Chernyshova I., Nazarov M., Lavrik O., Grishko V. Synthesis of furanotriterpenoids from betulin and evaluation of tyrosyl-DNA phosphodiesterase 1 (Tdp1) inhibitory properties of new semi-synthetic triterpenoids // Eur. J. Med. Chem., 2024, Vol. 276. P. 116724-116735. WOS Q1. DOI 10.1016/j.ejmech.2024.116724

33. Гибридные наполнители на основе углеродного волокна и магнитных частиц как компоненты полимерных композиционных материалов для защиты от электромагнитного излучения (1.4.2.1. Фундаментальные основы получения новых металлических, керамических и углеродсодержащих композиционных материалов)

Предложены два способа синтеза магнитных магнитомягких ($УВ@Fe_3O_4$) и магнитожестких частиц ($УВ@BaFe_{12}O_{19}$) на поверхности коротких углеродных волокон с получением гибридных наполнителей со структурой ядро-оболочка (Рисунок 43).

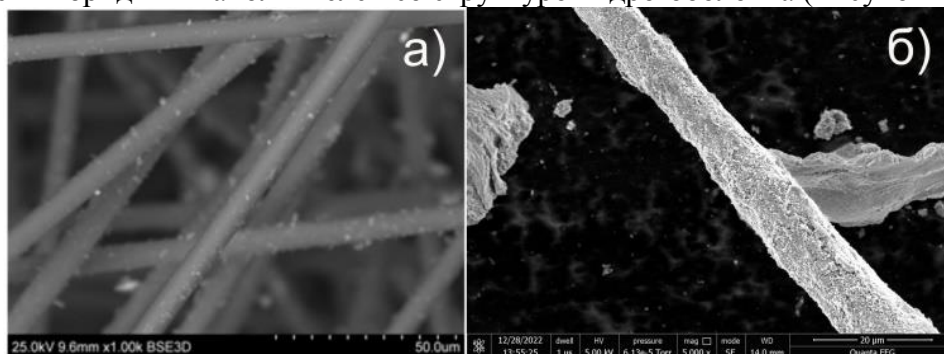


Рисунок 43 – СЭМ изображения гибридных наполнителей: $УВ@BaFe_{12}O_{19}$ (а) $УВ@Fe_3O_4$ (б).

Показана перспективность их применения для полимерных композиционных материалов с целью обеспечения электромагнитной совместимости радиоэлектронного оборудования. На примере гибридного комбинированного наполнителя на основе магнетита и короткого углеродного волокна установлен рост проводимости полимерного композита на их основе почти в 50 раз при содержании наполнителей до 5 мас. % (Рисунок 44).

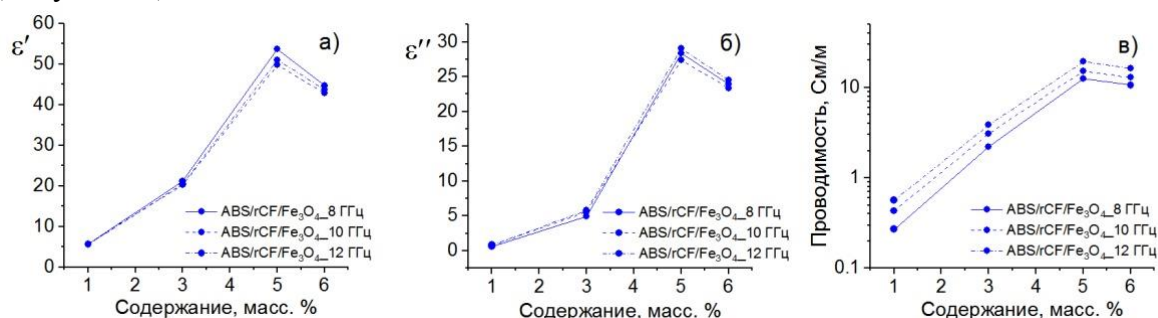


Рисунок 44 – Зависимость действительной части ϵ' (а) и мнимой части ϵ'' (б) относительной диэлектрической проницаемости и проводимости (в) от концентрации наполнителей.

Полученные результаты раскрывают потенциал использования таких наполнителей для создания высокоэффективных полимерных материалов для защиты от электромагнитного излучения с использованием методов серийного производства (экструзии и литья под давлением).

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.т.н. Астафьева С.А., авторы: Лебедева Е.А., Иванова Е.В., Трухинов Д.К.).

Lebedeva E.A., Ivanova E.V., Trukhinov D.K., Istomina T.S., Knyazev N.S., Malkin A.I., Chechetkin V.A., Korotkov A.N., Balasoiiu M., Astaf'eva S.A. Electrophysical Characteristics of Acrylonitrile Butadiene Styrene Composites Filled with Magnetite and Carbon Fiber Fillers. // Polymers. 2024. V. 16. № 15. 2151. WOS Q1, IF 4.967. <https://doi.org/10.3390/polym16152153>

34. Новые простые олигоэфир с терминальными аминными группами (1.4.1.4 Новые полимерные, композитные, нано- и сверхтвердые материалы)

Синтезированы оригинальные олигоэфир с терминальными аминными группами, которые могут быть использованы в качестве высокоэффективных отвердителей для эпоксидсодержащих олигомеров. Синтез предусматривал стадию получения олигоэфирдиакрилатов с их последующим взаимодействием с 3-аминометил-3,5,5-триметилциклогексиламином в соответствии с рисунком 45. Полученные олигоэфир использованы при разработке полиуретановых эластомеров с низкой температурой стеклования (ниже -65°C). Разработанные продукты могут быть также использованы в качестве основы для широкого круга морозостойких полимерных связующих.

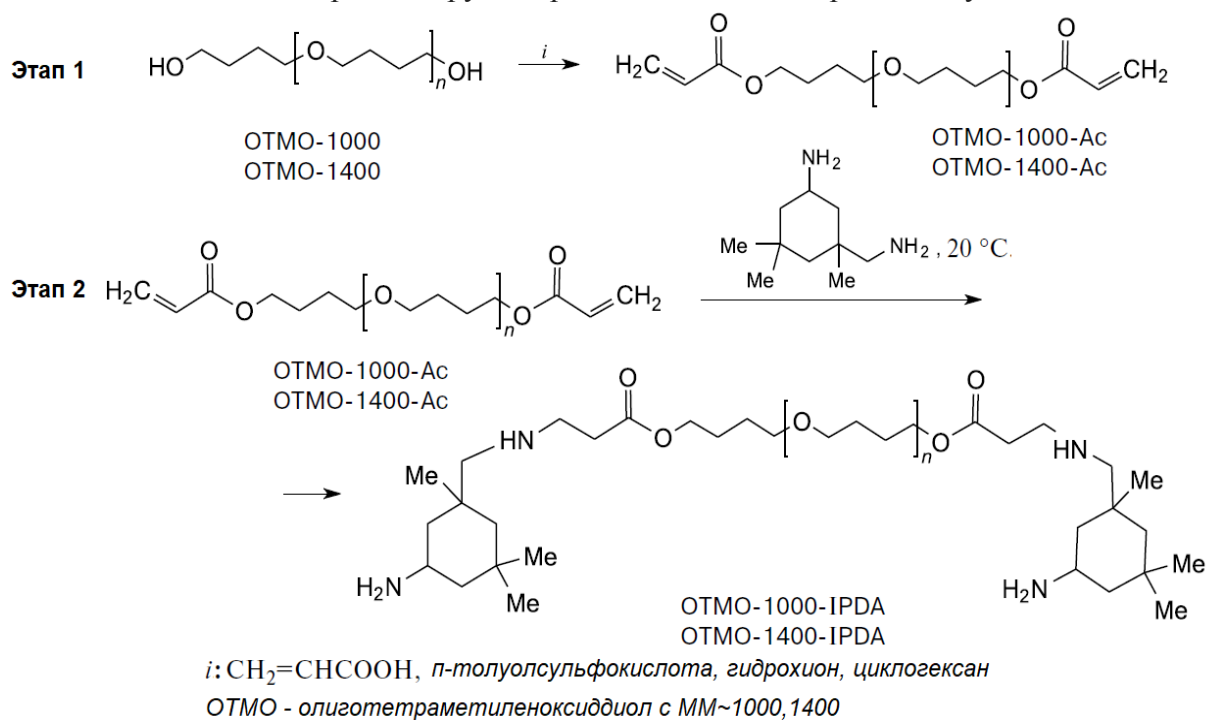


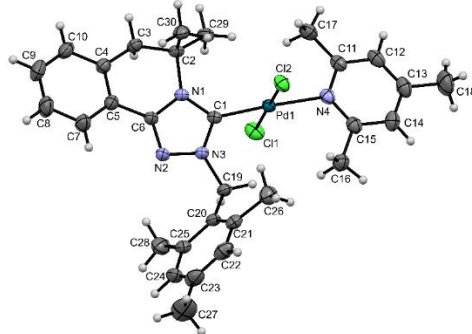
Рисунок 45 – Схема синтеза олигоэфиров с терминальными аминными группами.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: чл.-корр. РАН, д.т.н. Стрельников В.Н., авторы: Слободинюк А.И., Слободинюк Д.Г.).

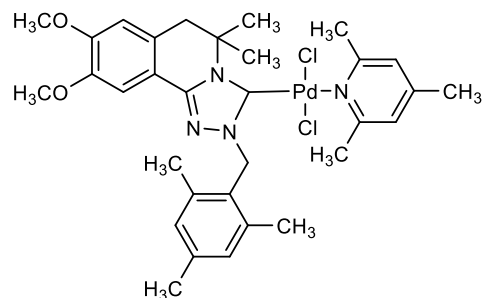
Slobodinyuk, A.I, Slobodinyuk, D.G. Synthesis of oligotetramethylene oxide diamines containing cycloaliphatic moieties as the hardeners for compounds with terminal epoxy groups // Russian Chemical Bulletin. 2024. V. 73, No. 7. P. 2028-2033. WoS Q3, IpF 1.7 <https://doi.org/10.1007/s11172-024-4323-6>.

35. Синтез новых PEPPSI-комплексов на основе изохинолинов (1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин)

Синтезированы новые PEPPSI-комплексы из 2-арил-5,5-диметил-1,2,4-триазоло[3,4-*a*]изохинолинов и 2,4,6-триметилпиридина, среди которых методом МТТ отобраны соединения с высокой цитотоксической активностью (IC_{50} 0.7–1.4 мкМ) в отношении раковых клеток человека НСТ116 и индексом селективности 10-11 в сравнении с нераковыми клетками линии НЕК293 (Рисунок 46), перспективные для разработки новых противоопухолевых агентов.



$IC_{50} = 1.4 \text{ мкМ}$



$IC_{50} = 0.7 \text{ мкМ}$

Рисунок 46 – Цитотоксически активные PEPPSI-комплексы.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.х.н. Глушков В.А., авторы: Ермакова Л.С., Белоглазова Ю.А.).

L.S. Ermakova, V.S. Gracheva, O.A. Maiorova, M.V. Dmitriev, Yu.A. Beloglazova, V.A. Glushkov // Russ. Chem. Bull. 2024, Vol. 73, No. 4, P. 1072-1081. WoS Q3, IpF 1.7 DOI 10.1007/s11172-024-4222-x.

36. Разработка гидрогелевых пленок с антимикробными свойствами на основе к-каррагинана и гуанидиниевых полиамфолитов (1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин)

Гидрогелевые пленки на основе к-каррагинана и гуанидиниевых полиамфолитов получены путем физической сшивки *in situ* хлоридом калия и бурой соответственно (Рисунок 47). Разработан метод модификации полимерных пленок антибиотиками (доксидциклином и ампициллином). Показано, что на высвобождение лекарственного средства из гидрогеля влияет размер сетки и плотность поперечных связей гидрогелей, температура и pH среды (Рисунок 48). Гидрогели, наполненные антибиотиками, обладают высокой антимикробной активностью, пролонгированным действием и могут рассматриваться в качестве новых лекарственных средств для лечения ран.

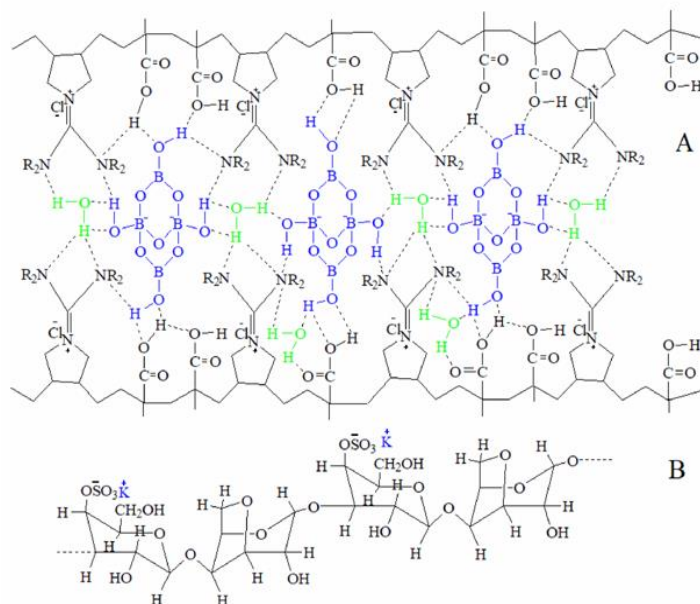


Рисунок 47 – Два типа взаимодействий, приводящих к образованию гидрогеля на основе каррагинана и АГХ-МАК.

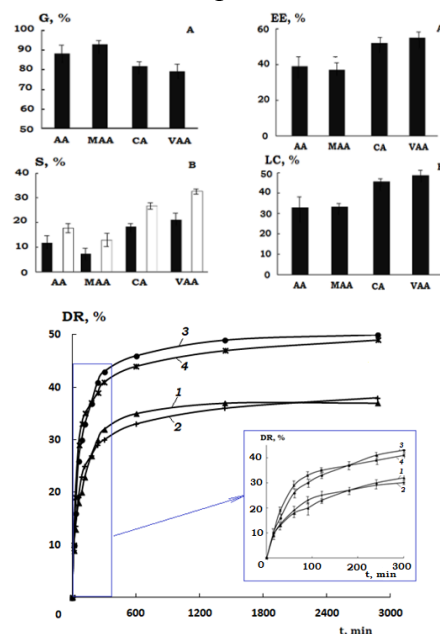


Рисунок 48 – Гелевая фракция (G), эффективность инкапсуляции (EE) и выделение лекарств (DR) гидрогелей.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, «ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.х.н. Горбунова М.Н., авторы: Лемкина Л.М.).

Gorbunova M., Ovcharuk A., Lemkina L. Biocide physically cross-linked hydrogels based on carrageenan and guanidinium polyampholytes for wound healing applications. *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. V. 278 (3). P. 134948. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134948>. WOS Q1, IF 7.7.

37. Создание лекарственной формы нового противоракового препарата (1.4.1.3. Подходы к получению биологически активных органических соединений)

Разработан модельный состав лекарственной формы (ЛФ) нового отечественного соединения (производного пиридоо-[3,2-1]акридина) МОВ 265 S (Рисунок 49) в виде лиофилизата с массовым соотношением МОВ 265 S: ПВП – 1:5, а также технология ее получения из 5 стадий. Подобраны основные показатели качества полученной модели. Результаты изучения цитотоксической активности показали, что композиция эффективна на всех использованных клеточных культурах, при этом максимальную цитотоксичность наблюдали на клеточной линии лейкоза Jurkat, что совпадает с данными литературы о цитотоксической активности производных акридина на лейкозах и злокачественных лимфомах. Новая модель ЛФ является перспективной для дальнейших исследований с целью импортозамещения в связи с отсутствием в России противораковых лекарственных средств – производных акридина.

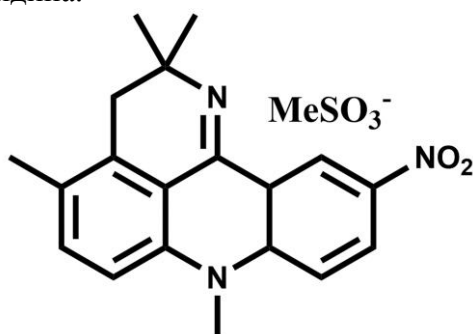


Рисунок 49 – МОВ 265 S

2,2,4,7-tetramethyl-10nitro-2,7,7a,11a-tetrahydro-3H-pyrido[4,3,2-k]acridine.

(Синтез препарата: «ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, Разработка лекарственной формы: ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), ГБОУ г. Москвы «Курчатовская школа», рук.: д.х.н., проф. Шкляев Ю.В., авторы: Морозов В.В.).

Ланцова А.В., Санарова Е.В., Николаева Л.Л., Ланцова Д.А., Шкляев Ю.В., Бармашов А.Е., Соловьева Н.Л., Барышникова М.А. //Российский биотерапевтический журнал. 2024. 23(3):57–64. Q4. DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2024-23-3-57-64>

38. Новые биоциды для использования в комплексе санитарных и противоэпидемических мероприятий (1.4.2.3 Физико-химические основы синтеза функциональных материалов для различных областей современной техники)

Разработаны устойчивые биоцидные эмульсии на основе полиакриламидных матриц и активных компонентов (поверхностно-активных веществ, полиспиртов и высокодисперсных оксидов цинка/меди), которые позволят уменьшить частоту ротации биоцидов в медицинских учреждениях. Это достигается за счёт пролонгированного бактериостатического и бактерицидного эффекта в отношении как чувствительных, так и резистентных патогенных возбудителей в форме моновидовых и поливидовых биоплёнок.

Новые биоциды при нанесении на поверхность капельным распылением формируют континуальное покрытие, проявляющее бактериостатический/бактерицидный эффект.

Установлено, что введение глицерина, поверхностно-активных веществ в состав пленкообразующего биоцида приводит к повышению эксплуатационных характеристик покрытия, таких как износостойкость, смачиваемость и растекаемость. Использование высокодисперсных частиц оксида цинка/меди позволяет формировать бактериостатический/бактерицидный эффект, за счёт аккумуляции в пленке биоцида катионов, проявляющих ингибирующий эффект в отношении патогенных микроорганизмов (Рисунок 50).

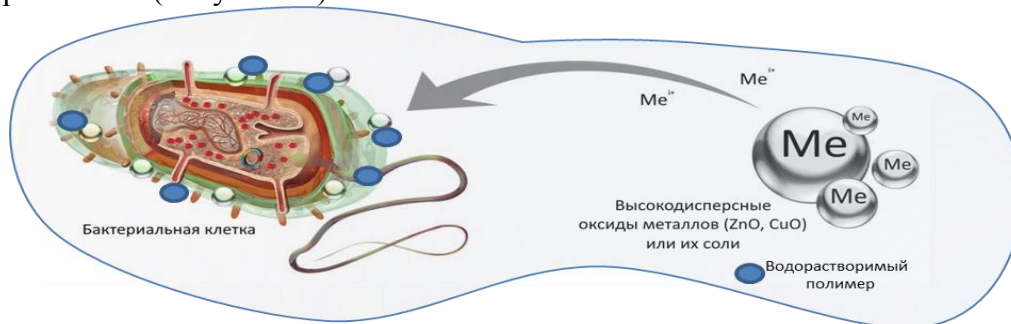


Рисунок 50 – Схематическое изображение процесса воздействия компонентов биоцидных пленкообразующих эмульсий на клетку-патоген.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.т.н., проф. Вальцифер В.А., авторы: Аверкина А.С., Кондрашова Н.Б., Вальцифер И.В.).

A. S. Averkina, A. V. Sivtseva, V. A. Valtsifer, I. N. Feklistova, I. V. Valtsifer. Creation of Long-Acting Disinfectant Emulsions Based on Polyacrylamide Polymers and Functional Additives // Chemistry for Sustainable Development. – 2024. – I. 3, - P. 249-257. DOI: 10.15372/CSD2024555. WOS Q4.

39. Технология экстракционного извлечения никеля из сернокислых растворов бактериального выщелачивания окисленных никелевых руд (1.4.3.1. Физико-химические основы новых экологически безопасных и безотходных технологий для разделения и извлечения стратегически важных металлов)

Для решения задач увеличения производства никеля и кобальта необходимо вовлечение в переработку окисленных никелевых руд (ОНР), которые имеют сложный состав и не поддаются обогащению традиционными методами. Однако в результате истощения богатых сульфидных месторождений именно они в будущем станут основным источником первичного никеля и кобальта.

Предложена принципиальная технологическая схема экстракционного извлечения никеля и других металлов из сернокислых растворов бактериального выщелачивания ОНР с гидразидами на основе α - третичных карбоновых кислот (ГВИК 1519). Показано, что из раствора выщелачивания (концентрация основных металлов г/л: Ni – 1,485; Co – 0,024; Fe – 6,163) за 3 ступени экстракции возможно получение органического экстракта, содержащего 5-6 г/л никеля (Рисунок 51а); удаление соэкстрагируемых металлов (кобальта и железа) на стадии реэкстракции путем последовательной обработки экстракта водой и слабым раствором H_2SO_4 (Рисунок 51б); реэкстракция раствором электролита с получением реэкстракта с содержанием 25-30 г/л никеля с последующей кристаллизацией кристаллогидратов $NiSO_4 \cdot 7H_2O$ (Рисунок 52). Технологическая схема может быть использована для гидрометаллургической переработки окисленных никелевых руд.

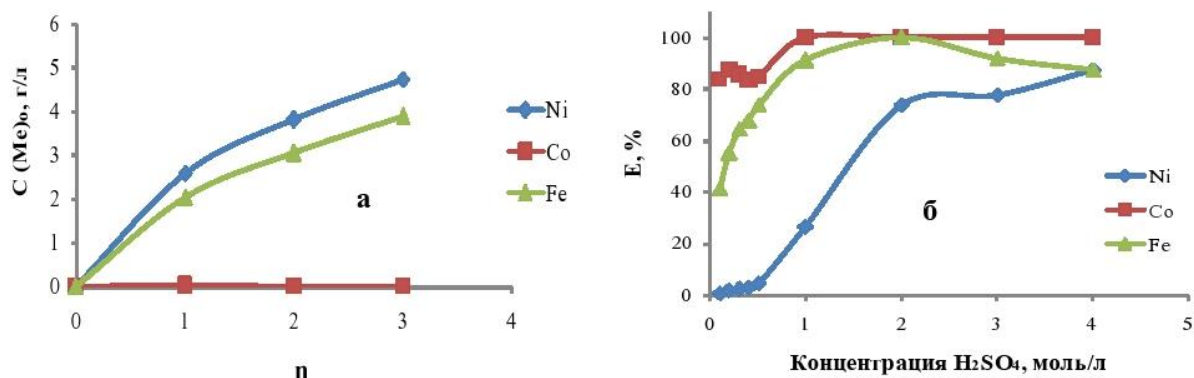


Рисунок 51 – Зависимость степени извлечения ионов металлов из раствора выщелачивания от количества ступеней экстракции (а) и степени реэкстракции от концентрации серной кислоты (б); $C_{ГВИК} = 0,3$ моль/л в керосине с добавкой 15 об.% 2-этилгексанола; $V_o:V_B=1:2$.



Рисунок 52 – Кристаллогидраты $NiSO_4 \cdot 7H_2O$, полученные из реэкстракта.

(«ИТХ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.х.н. Чеканова Л.Г., авторы: Ваулина В.Н.).

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

40. Механизмы устойчивости актиномицетов к негативному воздействию тяжелых металлов (1.6.3. Биологическое разнообразие и биоресурсы)

На основе детального исследования стрессовых ответов актиномицетов на воздействие тяжелых металлов (ТМ) разработана и запатентована бактериальная ассоциация иммобилизованных клеток *Gordonia peraffinivorans* и *Rhodococcus ruber*, обладающая высокой активностью извлечения ТМ из сточных вод промышленных предприятий. Ранжированы наиболее эффективные биоинактиваторы и биоаккумуляторы ТМ, пригодные для биотехнологического применения. Изучены механизмы устойчивости актиномицетов к стрессу, вызванному металлами As, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Zn: биосинтез пигментов и метаболитов антиоксидантной защиты клеток; экспрессия генов стрессовых оперонов и регулонов (*ars*, *cad*, *chr*, *cop*, *czc*, *mer*, *mod*, *oxyR*, *pbr*, *znt*, *soxRS* и др.); изменение рельефа клеточной поверхности и проницаемости плазматической мембраны (Рисунок 53); способность преобразовывать токсичные растворимые ионы ТМ (в частности Mo) в нетоксичные нерастворимые соединения, обнаруживаемые в виде электронно-плотных наночастиц. По результатам биоинформатического анализа секвенированных геномов наиболее активных штаммов выявлены белки, участвующие в связывании, выведении и окислительно-восстановительной трансформации ионов Mo. Разработана и запатентована бактериальная ассоциация иммобилизованных клеток *Gordonia peraffinivorans* и *Rhodococcus ruber*, обладающая высокой активностью биоаккумуляции ТМ Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Zn из сточных вод промышленных предприятий.

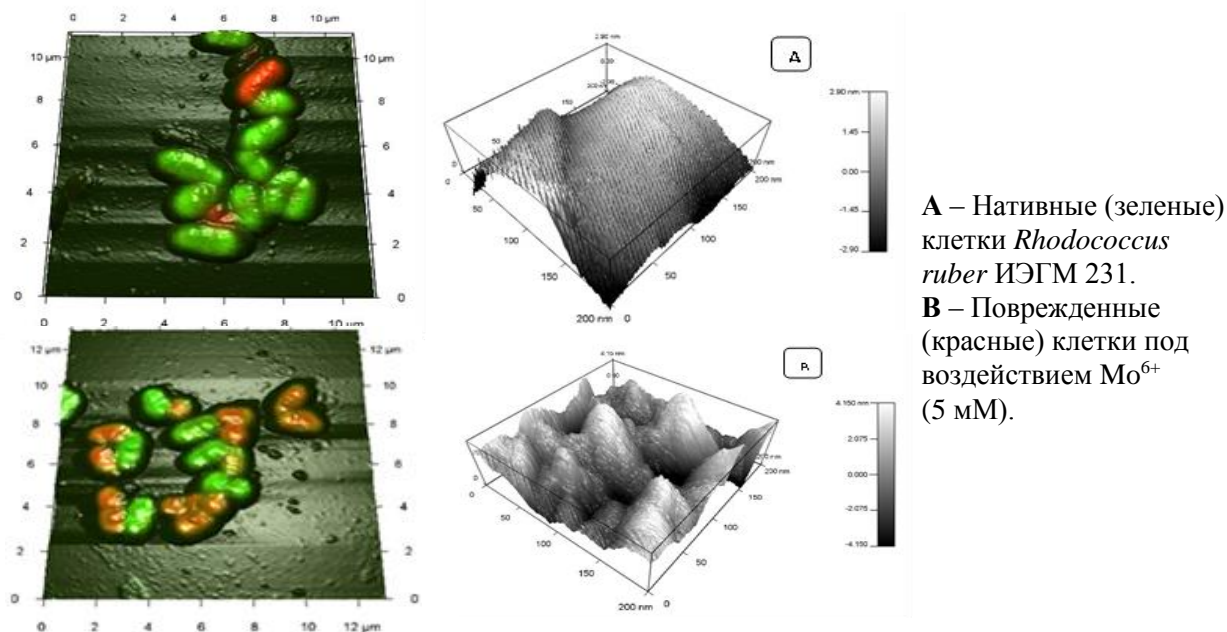


Рисунок 53 – АСМ-КЛСМ микроскопия (слева) и рельеф (справа) поверхности бактериальных клеток.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: академик РАН, д.б.н., проф. Ившина И.Б., авторы: Куюкина М.С., Литвиненко Л.В., Голышева А.А., Криворучко А.В.).

Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Litvinenko L.V., Golyshcheva A.A., Kostrikina N.A., Sorokin V.V., Mulyukin A.L. Bioaccumulation of molybdate ions by alkanotrophic Rhodococcus leads to

significant alterations in cellular ultrastructure and physiology. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2024. 274: 116190. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116190. [Q1]

Ivshina I.B., Kuyukina M.S., Krivoruchko A.V. Extremotolerant Rhodococcus as an important resource for environmental biotechnology. In Actinomycetes in Marine and Extreme Environments: Unexhausted Sources for Microbial Biotechnology. Ed. I. Kurtböke. Science Publishers, CRC Press: Boca Raton, 2024. P. 209–246. DOI: 10.1201/9780429293948. [Q1]

*Патент РФ 2818318. Гольшева А.А., Литвиненко Л.В., Ившина И.Б. Бактериальная ассоциация *Gordonia peraffinivorans* и *Rhodococcus ruber* – активный биоаккумулятор тяжелых металлов. Приоритет изобр. 13.12.2023. Зарегистр. в Госреестре РФ 02.05.2024. Бюл. № 13. Патентообладатель: ПФИЦ УрО РАН.*

41. Ципрофлоксацин повышает внутриклеточный уровень цистеина и запускает механизмы цистеинового гомеостаза (1.6.6. Функциональная микробиология)

С использованием комплекса электрохимических сенсоров впервые показано, что в средах с сульфатом высокие дозы ципрофлоксацина (ЦФ) у *E. coli* вызывают временное повышение внутриклеточного цистеина (Cys) и запуск механизмов его гомеостаза: стимуляцию синтеза глутатиона (GSH), ускорение экспорта Cys и продукцию H₂S (Рисунок 54). Мутации в транспортных системах Cys, ферментах его деградации, синтезе GSH и регуляторе Cys регулона влияли на продукцию H₂S, скорость роста и дыхания и вызывали значительные изменения в Cys и GSH, индукции регулонов Fur и SOS и чувствительности к ЦФ. Не обнаружено связи между генерацией H₂S, концентрацией Cys и чувствительностью к ЦФ, что не согласуется с гипотезой о H₂S как универсальном защитном механизме от антибиотиков. Впервые показано, что образование H₂S является частью универсального стрессового ответа у бактерий *B. subtilis* и *B. megaterium*, растущих на среде с сульфатом.

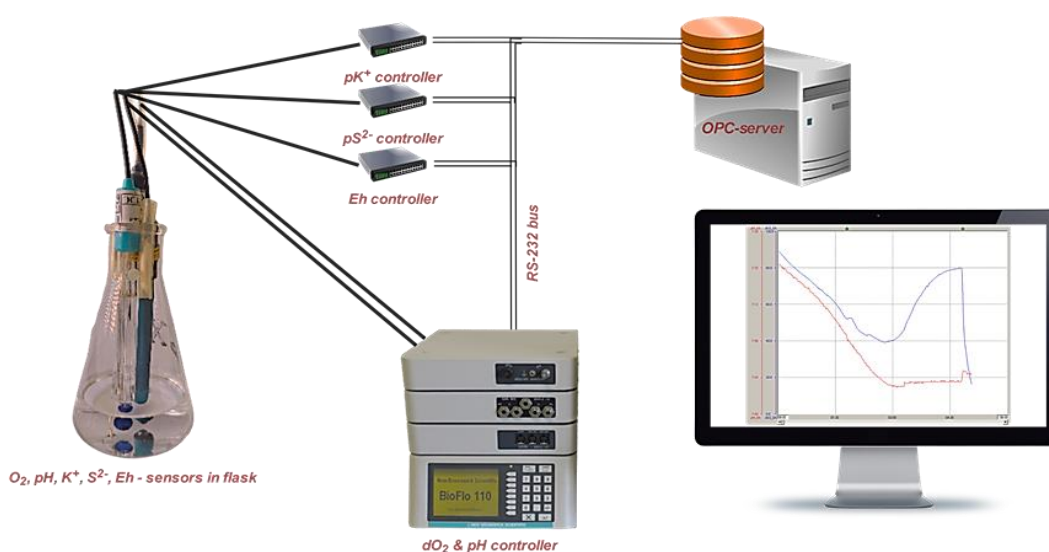


Рисунок 54 – Использование электрохимических сенсоров и комплекса биохимических тестов позволяет исследовать ответ бактериальных культур на стресс голода и выявить наличие процессов, связанных с нарушением гомеостаза цистеина.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Смирнова Г.В., авторы: Октябрьский О.Н., Самойлова З.Ю., Тюленев А.В., Сутормина Л.А., Музыка Н.Г., Ушаков В.Ю., Калашникова Т.В.).

Smirnova G., Tyulenev A., Sutormina L., Kalashnikova T., Muzyka N., Ushakov V., Samoiloza Z., Oktyabrsky O. Regulation of cysteine homeostasis and its effect on *Escherichia coli* sensitivity to ciprofloxacin in LB medium. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024. 25: 4424. DOI: 10.3390/ijms25084424. [Q1]

Tyulenev A., Smirnova G., Ushakov V., Kalashnikova T., Sutormina L., Oktyabrsky O. Stress-induced sulfide production by *Bacillus subtilis* and *Bacillus megaterium*. *Microorganisms*. 2024. 12: 1856. DOI: 10.3390/microorganisms12091856. [Q2]

Smirnova G., Tyulenev A., Sutormina L., Kalashnikova T., Samoiloza Z., Muzyka N., Ushakov V., Oktyabrsky O. Effect of H₂S and cysteine homeostasis disturbance on ciprofloxacin sensitivity of *Escherichia coli* in cystine-free and cystine-fed minimal medium. *Archives of Microbiology*. 2024. 206: 456. DOI: 10.1007/s00203-024-04185-z. [Q2]

42. Сельскохозяйственные животные и органические удобрения – источник мультирезистентных штаммов *Escherichia coli* с высоким трансмиссивным потенциалом (1.6.3. Биологическое разнообразие и биоресурсы)

В настоящее время проблеме формирования и распространения устойчивости микроорганизмов к антибиотикам в местах сельскохозяйственной деятельности человека уделяется большое внимание, особенно в контексте безопасности пищевых продуктов. Культуры *E. coli*, выделенные от здоровых сельскохозяйственных животных и из органических удобрений, оказались устойчивыми к тетрациклам, хлорамфениколу, цефалоспорином и фторхинолонам. Около трети штаммов *E. coli* имели фенотип множественной лекарственной устойчивости (МЛУ), которые чаще, чем не-МЛУ штаммы содержали интегроны класса 1, бактериофаги, конъюгативные плазмиды (Рисунок 55). Устойчивость к антибактериальным препаратам была обусловлена присутствием генов бета-лактамаз (*bla*TEM, *bla*CTX-M, *bla*SHV), системы эффлюкса тетрациклина (*tetA*, *tetM*), белков *QnrB* и *QnrS*, ответственных за плазмид-опосредованную резистентность к фторхинолонам (*qnrB*, *qnrS*), а также генами устойчивости к хлорамфениколу (*catA1*, *cmiA*, *floR*). Гены антибиотикоустойчивости из сельскохозяйственных штаммов были перенесены в клетки *E. coli* Nissle 1917 путем конъюгации. Результаты исследования показывают, что резистентные патогенные штаммы бактерий, циркулирующие в агропромышленном комплексе, обладают высоким трансмиссивным потенциалом. Интродукция таких штаммов в окружающую среду увеличивает «резервуар сопротивления и патогенности» в микробиоме природных биотопов.

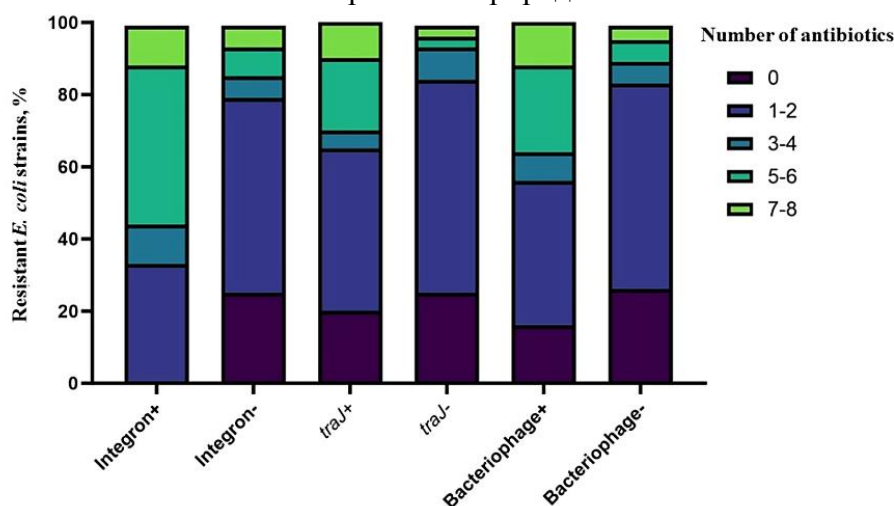


Рисунок 55 – Распределение МЛУ культур среди носителей мобильных элементов.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Кузнецова М.В., авторы: Михайловская В.С.).

Mihailovskaya V.S., Starčić Erjavec M., Kuznetsova M.V. Escherichia coli from healthy farm animals: antimicrobial resistance, resistance genes and mobile genetic elements. Acta Veterinaria Hungarica. 2024. DOI: 10.1556/004.2024.01102. [Q2]

Karpov D.S., Kazakova E.M., Kovalev M.A., Shumkov M.S., Kusainova T., Tarasova I.A., Osipova P.J., Poddubko S.V., Mitkevich V.A., Kuznetsova M.V., Goncharenko A.V. Determinants of antibiotic resistance and virulence factors in the genome of Escherichia coli APEC 36 strain isolated from a broiler chicken with generalized colibacillosis. Antibiotics. 2024. 13: 945. DOI: 10.3390/antibiotics13100945. [Q1]

43. Геномные аспекты деградации гидроксированных и хлорированных бифенилов штамма *Rhodococcus opacus* KT112-7 (1.6.3. Биологическое разнообразие и биоресурсы)

Штамм *Rhodococcus opacus* KT112-7 характеризуется генетическими системами, которые способствуют его высокой биodeградационной активности по отношению к гидроксированным и хлорированным бифенилом и их метаболитам.

Геном штамма KT112-7 состоит из хромосомы и 2 плазмид. Гены деградации бифенилов (*bph*-гены) были идентифицированы на плазмиде PRHWK1 и хромосоме, а также на хромосоме выявлены гены деградации гидроксибензойных кислот (Рисунок 56). Установлено, что штамм KT112-7 способен разлагать моногидроксированные бифенилы до основных метаболитов клетки, при этом наибольшая разрушительная активность наблюдается в отношении 3- и 4-гидроксированных бифенилов (98%).

Таким образом, штамм *Rhodococcus opacus* KT112-7 является перспективным для использования в технологиях деградации гидроксибифенилов.

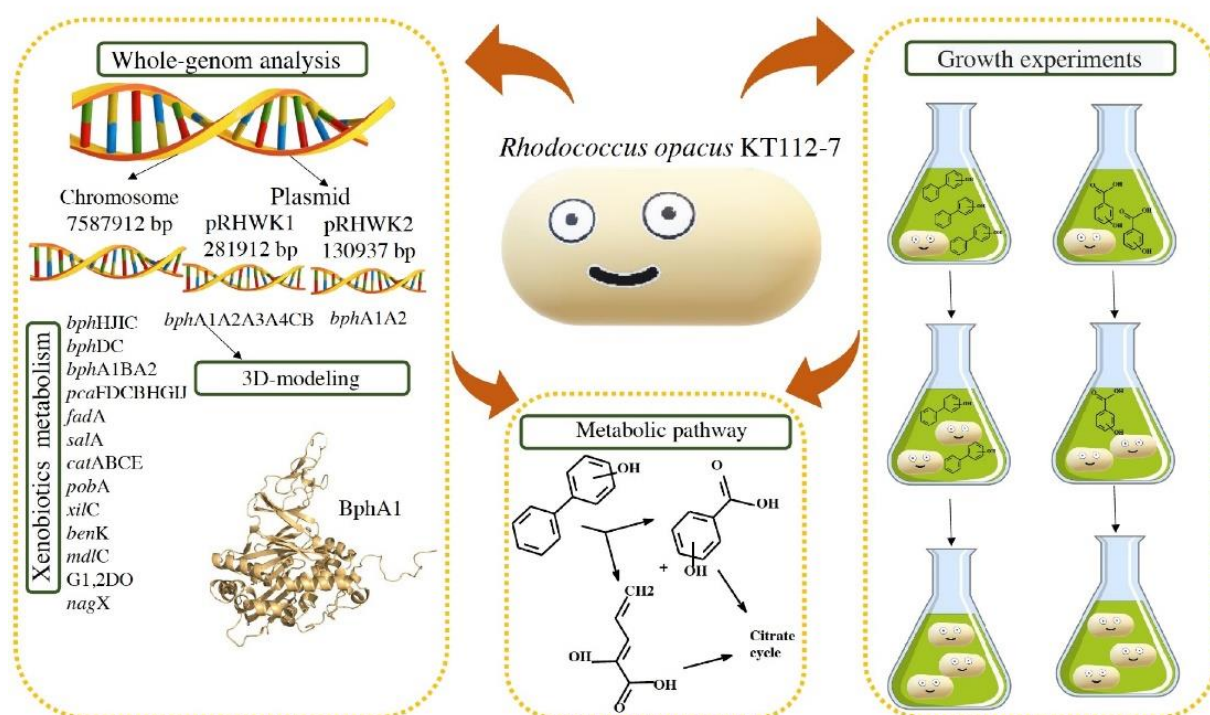


Рисунок 56 – Генетический и биodeградативный потенциал штамма *Rhodococcus opacus* KT112-7 в отношении замещенных бифенилов.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Плотникова Е.Г., авторы: Егорова Д.О., Кирьянова Т.Д.).

Горбунова Т.И., Егорова Д.О., Салютин В.И., Чупахин О.Н. Химические превращения и бактериальные трансформации полихлорбифенилов и их производных. *Успехи химии*. 2024. 93(11): RCR5138. DOI: 10.59761/RCR5138. [Q1]

Egorova D., Olsson B., Kir'yanova T., Plotnikova E. An assessment of the degradation potential and genomic insights towards hydroxylated biphenyls by *Rhodococcus opacus* strain KT112-7. *Current Genomics*. 2024. 25: e13892029319746. DOI: 10.2174/0113892029319746240812051356. [Q3]

44. Механизм ингибирования алармонсинтетаз микобактерий синтетическим аналогом метаболита морских кораллов эрогоргиаена DMNP (1.6.6. Функциональная микробиология)

Впервые исследован механизм ингибирования алармонсинтетаз микобактерий синтетическим аналогом метаболита морских кораллов эрогоргиаена DMNP, действие которого основано на неконкурентном ингибировании активности белков RelMsm и RelZ (Рисунок 57). Анализ молекулярного докинга позволил определить вероятное место связывания DMNP – вблизи активного сайта синтетазного домена (p)ppGpp-синтеаз. Полученные результаты вносят вклад в разработку нового класса соединений, сочетание которых с традиционными антибиотиками, способно решить актуальные проблемы резистентности к антибиотикам и бактериальной персистенции.

В основе механизма развития персистенции бактерий лежит их способность в условиях стрессов, включая воздействие антибиотиков, синтезировать соединения-алармоны -гуанозин (пента) тетрафосфат ((p)ppGpp), за что ответственны бактериальные ферменты алармонсинтетазы (белки Rel и SpoT). Проведенные в данной работе исследования ферментативной кинетики алармонсинтетаз в присутствии DMNP показали, что это соединение действует как неконкурентный ингибитор активности белков RelMsm и RelZ. Анализ молекулярного докинга позволил определить вероятное место связывания ДМНП – вблизи активного сайта синтетазного домена (p)ppGpp-синтеаз. Полученные результаты вносят вклад в разработку нового класса соединений, сочетание которых с традиционными антибиотиками, способно решить актуальные проблемы резистентности к антибиотикам и бактериальной персистенции.

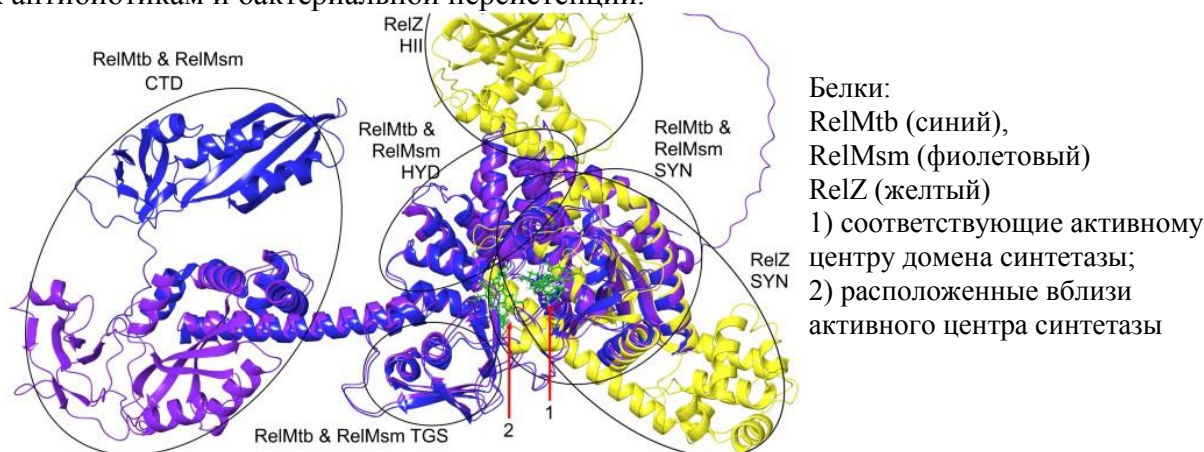


Рисунок 57 – Структурное выравнивание и результаты молекулярной стыковки DMNP со структурами белков, предсказанными AlphaFold. SYN, домен синтетазы; HYD, домен гидролазы; CTD, регуляторный С-концевой домен; TGS, домен TGS; HII, домен РНКазы HII; кластеры связывания DMNP (зеленый).

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н., проф. Ткаченко А.Г., авторы: Сидоров Р.Ю., Кашеварова Н.М., Хаова Е.А.).

Sidorov R.Y., Tkachenko A.G. The mechanism of inhibition of mycobacterial (P)PPGPP synthetases by a synthetic analog of erogorgiaene. *Biochemistry (Moscow)*. 2024. 89(3), 407–416. DOI: 10.1134/S0006297924030027. [Q2]

Kashevarova N.M., Khaova E.A., Tkachenko A.G. The regulatory effects of (P)PPGPP and indole on camp synthesis in *Escherichia coli* cells. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektcii*. 2024. 28(1), 15–23. DOI: 10.18699/VJGB-24-03. [Q2]

45. Колориметрический иммуноанализ на основе наносфер никелата лантана для определения С-реактивного белка в образцах сыворотки крови человека (1.6.10. Клеточная биология и иммунология 1.6.12. Биотехнология и синтетическая биология)

Представлен новый метод получения диагностических реагентов с использованием наносфер никелата лантана (LaNiO_3 НС) и их применение в колориметрическом иммуноанализе (Рисунок 58). Наночастицы перовскита LaNiO_3 , особенно наносферы, обладают большим потенциалом для использования в биомедицинских анализах благодаря своим каталитическим свойствам, подобным пероксидазе. Однако диагностические реагенты на основе LaNiO_3 НС не были протестированы в ИФА-подобном колориметрическом иммуноанализе или других иммуноферментных анализах, а данные об их синтезе весьма ограничены.

В качестве целевого анализатора был выбран С-реактивный белок (СРБ). Был оптимизирован синтез конъюгата LaNiO_3 НС с моноклональными антителами против СРБ. Подтверждены воспроизводимость и масштабируемость метода производства, представляемого конъюгата. Также была продемонстрирована коллоидная стабильность полученных конъюгатов в течение 1 месяца хранения. С использованием синтезированных конъюгатов был разработан и оптимизирован колориметрический иммуноанализ в лунках планшета в сэндвич-формате в соответствии с рисунком. Анализ продемонстрировал предел обнаружения 0,178 мкг/л с линейным диапазоном от 0,195 до 6,25 мкг/л. На основании этих данных разработанный анализ может быть использован для первичной профилактики сердечнососудистых заболеваний в соответствии с рекомендациями CDC/АНА.

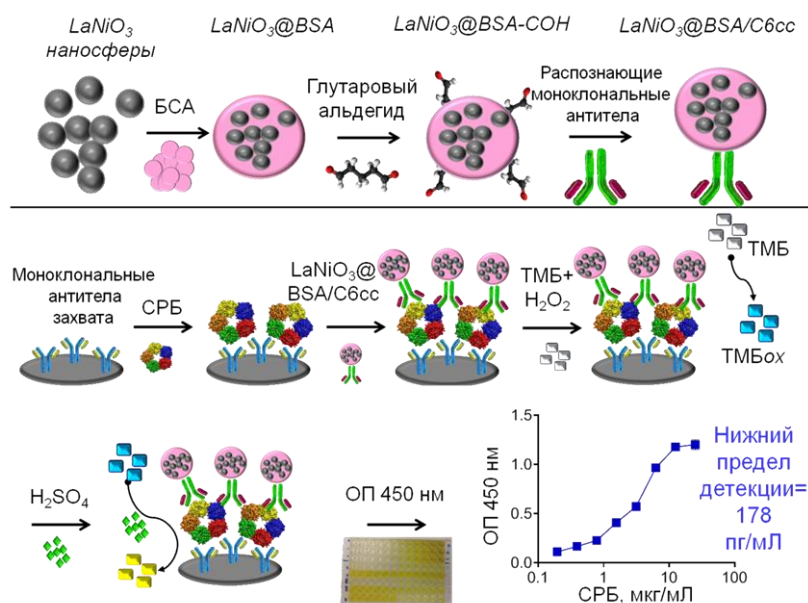


Рисунок 58 – Колориметрический иммуноанализ на основе наносфер никелата лантана для определения С-реактивного белка в образцах сыворотки крови человека.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Раев М.Б., авторы: Никитина М.Д., Храмов П.В.).

Nikitina M., Khramtsov P., Devyatov S., Valeev R., Eryomina M., Chukavin A., Rayev M. The development of a method to produce diagnostic reagents using LaNiO_3 nanospheres and their application in nanozyme-linked immunosorbent assay for the colorimetric screening of C-reactive protein with high sensitivity. Analyst. 2024. 149(23), 5657-5667. DOI: 10.1039/D4AN01160K. [Q2]

46. Биотехнологический потенциал психротолерантных метиловобактерий, изолированных из биотопов Антарктических оазисов (1.6.3. Биологическое разнообразие и биоресурсы)

Выделение штаммов хладоустойчивых метилотрофных микроорганизмов из криосферы Земли имеет большой потенциал для биотехнологии. Из образцов, отобранных на территории оазисов Холмы Ларсеманн и Оазис Бангера (Антарктида) изолировано десять штаммов психротолерантных метилотрофных бактерий. Большинство изолятов отнесены к роду *Pseudomonas*, также обнаружены представители родов *Janthinobacterium*, *Massilia*, *Methylotenera* и *Flavobacterium*. Штаммы были способны расти на широком спектре сахаров, метиламинах и других субстратов (Рисунок 59). Оптимальные температуры роста штаммов варьировались от 6°C до 28°C. Оптимальная концентрация NaCl 0.5 – 2.0%. Оптимальные значения pH среды 6-7. Было обнаружено, что три штамма синтезировали индол-3-уксусную кислоту на среде с L-триптофаном достигая значений 11-12 мкг/мл. Количество внутриклеточных углеводов у некоторых штаммов превышало 50 мкг/мл. Для ряда штаммов показано наличие кальций-зависимой и лантан-зависимой метанолдегидрогеназы. У изолятов xBan7, xBan20, xBan37, xBan49, xPrg27, xPrg48, xPrg51 обнаружено присутствие свободных аминокислот.



Рисунок 59 – Субстратный профиль выделенных штаммов метилотрофных бактерий OD590 > 0.15 “++”; 0.10-0.15 “+”; 0.03-0.10 “+/-”; <0.03 “-”.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Беляева П.Г., авторы: Шаравин Д.Ю.).

Sharavin D.Yu., Belyaeva P.G. Biotechnological potential of psychrotolerant methylotrophic bacteria isolated from biotopes of Antarctic oases. Archives of Microbiology. 2024. 206(7). DOI: 10.1007/s00203-024-04056-7. [Q2]

47. Продукция бактериоцинов коагулазонегативными стафилококками, ингибирование грамотрицательных бактерий посредством комбинированного действия лантибиотиков и полимиксинов (1.6. Биологические науки; 1.6.6. Функциональная микробиология)

Скрининг коагулазонегативных стафилококков на продукцию антимикробных пептидов Исследовано 11350 штаммов КНС, выделенных с абиотических поверхностей. Антагонистической активностью обладали 160, что составляет 1,4%. Антибактериальная активность обусловлена пептидными соединениями.

Преодоление наружных барьеров грамотрицательных бактерий для реализации антибактериальных эффектов лантибиотиков возможно путем их совместного действия с полимиксинами, что продемонстрировано на примере варнерина и низина. Совместное действие лантибиотиков с полимиксинами Б и М инактивировало не только планктонные бактерии *E. coli*, но и в составе биопленок (Рисунок 60).

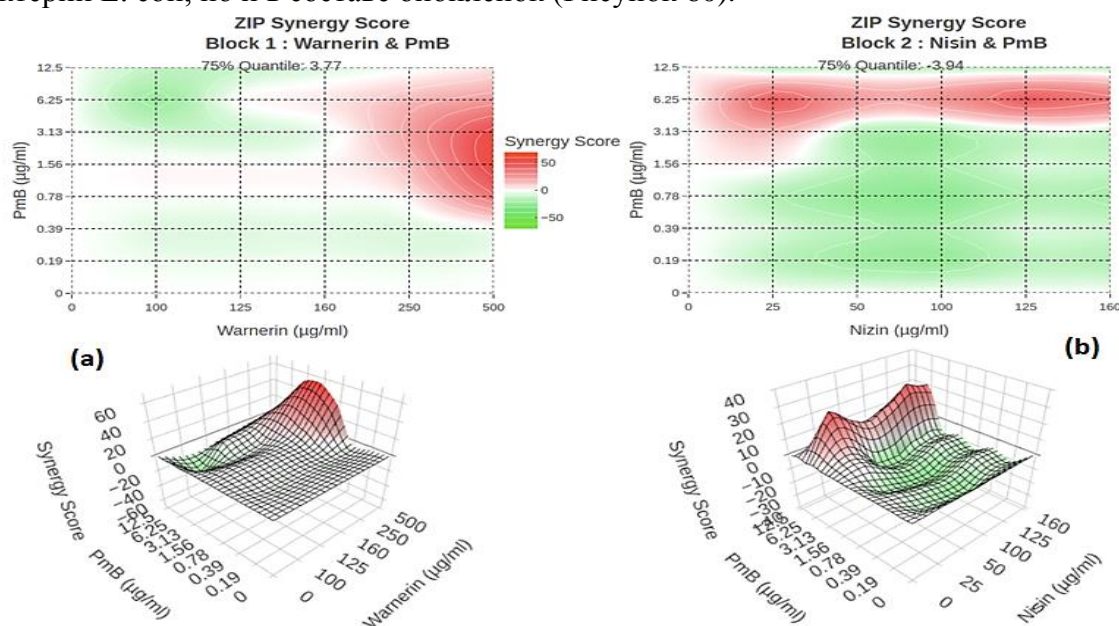


Рисунок 60 – (a) – Ландшафты синергизма и антагонизма варнерина, (b) – низина в комбинациях с полимиксином Б в отношении зрелых биопленок *E. coli*, построенные с использованием модели ZIP.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.б.н. Полюдова Т.В., авторы: Лемкина Л.М., Есаев А. Л., Коробов В.П., Антипьева М.В.).

Polyudova T., Lemkina L., Eroshenko D., Esaev A. Suppression of planktonic and biofilm of Escherichia coli by the synergistic lantibiotics–polymyxins combinations. Archives of Microbiology. 2024. 206(4): 191. DOI 10.1007/s00203-024-03922-8. [Q2]

Polyudova T.V., Lemkina L.M., Antip'eva M.V., Esaev A.L, Korobov V.P. Prevalence of production of antagonism peptide factors among coagulase-negative staphylococci. Microbiology (Moscow). 2024. 93(6), 847–854. DOI: 10.1134/S0026261724606626. [Q3]

48. Разработка прототипа биосенсора на акриламид на основе иммобилизованных клеток бактерий с амидазной активностью (1.6.6. Функциональная микробиология)

Разработан биоселектирующий агент на основе бактериальных клеток с амидазной активностью, иммобилизованных в структуре гелей немодифицированного или модифицированного углеродными нанотрубками альгината бария, агарозы, а также выращенных в виде биопленок на терморасширенном графите, для определения акриламида в растворах (Рисунок 61). Бактериальные клетки с амидазной активностью трансформируют акриламид в акриловую кислоту, изменяющую проводимость раствора, которая детектируется кондуктометром. Время полужизни биоселектирующего агента не менее 500 ч, предел обнаружения 10^{-3} М.

Показано, что наилучшими характеристиками для определения акриламида (изменение электропроводности растворов, высокая операционная стабильность, механическая прочность) обладали клетки *Alcaligenes faecalis*, иммобилизованные в геле агарозы. Разработан способ хранения биоселектирующего агента в замороженном состоянии от -20 до -80 °С; также показана возможность долговременного хранения во влажном состоянии при $4-25$ °С.



Рисунок 61 – Прототип кондуктометрического биосенсора на акриламид, биоселектирующим агентом которого являлись клетки *Alcaligenes faecalis* 2 с амидазной активностью, иммобилизованные в структуре гелей немодифицированного или модифицированного углеродными нанотрубками альгината бария, агарозы, а также выращенные в виде биопленок на терморасширенном графите.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Максимова Ю.Г., авторы: Максимов А.Ю., Протасова Е.М.).

Protasova E.M., Maksimova Yu.G. Development of a bio-selecting agent based on immobilized bacterial cells with amidase activity for bio-detection of acrylamide. Applied Biochemistry and Microbiology, 2024. 60(5), 942–949. DOI: 10.1134/S0003683824605031. [Q3]

Решение о выдаче патента РФ по заявке № 2024107566/10(017022) от 22.03.2024. Максимова Ю.Г., Максимов А.Ю., Протасова Е.М. Способ биодетекции акриламида иммобилизованными клетками амидазосодержащих бактерий.

49. Впервые установлены новые механизмы регуляции клеток иммунной системы во время физиологической беременности и роль гормона кисспептина в этих процессах (1.6. Биологические науки; 1.6.10. Клеточная биология и иммунология)

При физиологической беременности кисспептин регулирует дифференцировку Т-хелперов, продуцирующих интерлейки-17 (Th17) в тимусе, опосредуя эффекты также и через плазмацитодендритные клетки (pDC) (рисунок 10). В периферической крови количество CD4⁺-Т-клеток – недавних мигрантов из тимуса (RTE) снижается, а центральных наивных (MN) увеличивается, среди которых повышается доля регуляторных Т-клеток (Treg) и экспрессия в них RAG2 (маркера экстратимической дифференцировки), а доля Th17 снижается (рисунок). Полученные данные расширяют понимание физиологии иммунной системы при беременности, перспективны для включения в спектр лабораторных показателей и создания новых подходов терапии патологий беременности (Рисунок 62а).

В рамках изучения механизмов контроля аутоиммунных процессов выявлен новый маркер популяции Th17 (Th17.1/ex-Th17), CD20, и показано, что фактор транскрипции ROR α , участвующий в трансформации классических Th17 в патогенные, является рецептором для гормона мелатонина (Рисунок 62б). Полученные данные помогут идентифицировать и контролировать патогенные Th17 при аутоиммунной патологии.

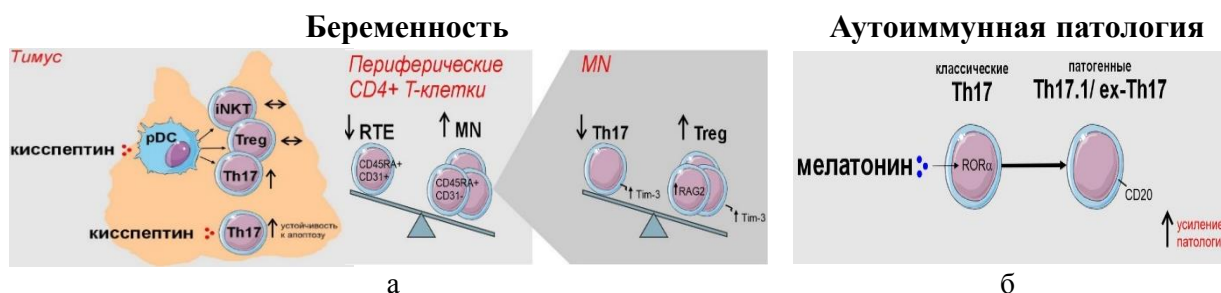


Рисунок 62 – Гормональные механизмы регуляции клеток иммунной системы при беременности (а) и аутоиммунных патологиях (б).

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Ширшев С.В., авторы: Куклина Е.М., Орлова Е.Г., Горбунова О.Л., Глебездина Н.С., Логинова О.А.).

Орлова Е.Г., Логинова О.А., Горбунова О.Л., Ширшев С.В. Влияние кисспептина на субпопуляционный состав регуляторных клеток (Th17, Treg, iNKT) тимуса *in vitro*. *Российский иммунологический журнал*. 2024. 27(4), 1077-1084. DOI: 10.46235/1028-7221-16681-TKE. [Q4]

Куклина Е.М. Механизмы ROR α -зависимых эффектов мелатонина. *Российский иммунологический журнал*. 2024. 27(2), 203-206. DOI: 10.46235/1028-7221-16625-MOR. [Q4]

Глебездина Н.С. Роль CD20⁺Т-лимфоцитов в патогенезе рассеянного склероза // *Медицинская иммунология*, 2024. 26(4), 749-754. DOI: 10.46235/1028-7221-16676-TRO. [Q4]

50. Молекулярный профиль, характеризующий состояние иммунного истощения, отличается в субпопуляциях CD4+ и CD8+ Т-клеток (1.6.10. Клеточная биология и иммунология)

Иммунное истощение – одно из основных препятствий для лечения хронических инфекций и онкологических заболеваний. Распространенным методом определения истощенных Т-клеток является оценка экспрессии ингибиторных рецепторов PD-1 и TIGIT. Мы впервые исследовали экспрессию этих молекул в субпопуляциях CD4+ и CD8+ Т-лимфоцитов. Было установлено, что у здоровых доноров профили экспрессии PD-1 и TIGIT на CD4+ Т-лимфоцитах существенно отличаются от таковых на CD8+ клетках (рисунок 63). У последних обнаруживается большая доля TIGIT-позитивных элементов, в основном среди высокодифференцированных субпопуляций. При этом профили экспрессии PD-1 аналогичны на CD4+ и CD8+ Т-лимфоцитах. На примере ВИЧ/ВГС коинфицированных иммунологических неответчиков на антиретровирусную терапию было показано, что экспрессия PD-1 не всегда свидетельствует о функциональном истощении CD8+ клеток. Хотя у этих пациентов по сравнению с лицами, давшими стандартный ответ на терапию, увеличено число PD-1+ CD4+ и CD8+ лимфоцитов (фенотипический признак истощения), функциональные нарушения были выявлены преимущественно в субпопуляции CD4+ Т-клеток. Это подтверждается увеличением доли гибнущих при делении CD4+ лимфоцитов, и сниженной продукцией интерлейкина-2 стимулированными CD4+ клетками. В отличие от них, CD8+ Т-клетки, несмотря на экспрессию PD-1, не демонстрировали функциональных нарушений. Полученные результаты вносят вклад в понимание особенностей экспрессии ингибиторных рецепторов на поверхности Т-лимфоцитов и указывают на необходимость пересмотра подходов к оценке функционального истощения иммунной системы.

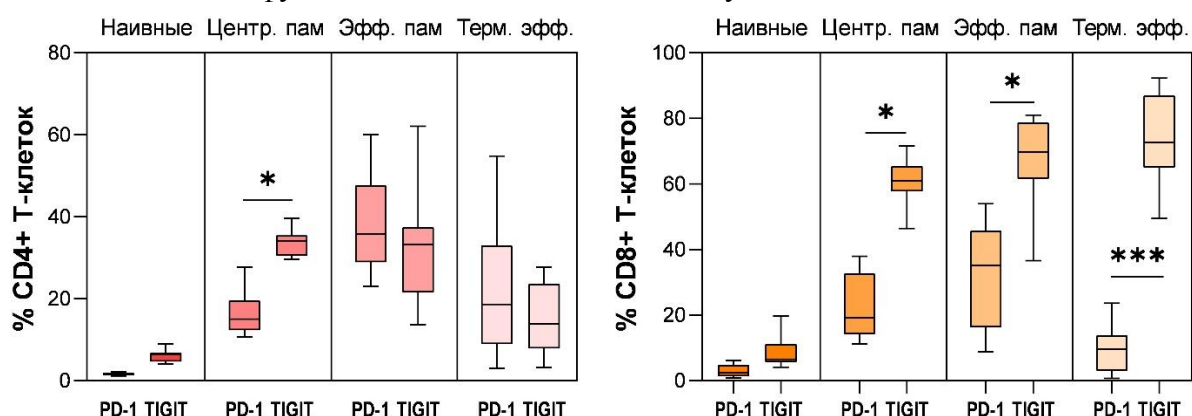


Рисунок 63 – Доля PD-1+ и TIGIT+ клеток среди CD4+ и CD8+ Т-лимфоцитов.

(«ИЭГМ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.б.н. Сайдакова Е.В., авторы: Власова В.В.).

Власова В.В., Сайдакова Е.В. Особенности экспрессии ингибиторных рецепторов PD-1 и TIGIT на CD4+ и CD8+Т-лимфоцитах различной степени зрелости. *Российский иммунологический журнал*. 2024. 27(3), 553–558. DOI: 10.46235/1028-7221-16619-ТЕР. [Q4]

Сайдакова Е.В., Королевская Л.Б., Власова В.В., Шмагель Н.Г., Шмагель К.В. Признаки функционального истощения CD4+ и CD8+ Т-клеток у ВИЧ/ВГС коинфицированных иммунологических неответчиков на антиретровирусную терапию. *Инфекция и иммунитет*. 2024. 14(3), 586–592. DOI: 10.15789/2220-7619-MIC-16641. [Q4]

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

51. Руководство по использованию в кормлении птицы кормовых фитодобавок, обладающих иммуностимулирующим действием (4.2.1.2. Создание методологических платформ и разработка технологий повышения уровня реализации генетического потенциала селекционных форм животных, птиц, насекомых и рыб в аквакультур)

Продуктивность птицы обусловлена многими факторами: генетическим потенциалом, селекционной работой, условиями внешней среды и прочим. Полностью использовать генетический потенциал птицы можно за счёт ввода в рацион различных кормовых добавок. В настоящее время использованию биологически активных веществ с целью повышения продуктивности птицы отводится важная роль. В период 2021-2024 гг. в лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ проведён ряд научно-хозяйственных опытов по скармливанию курам-несушкам и мясной птице (бройлеры) кормовых фитодобавок, обладающих иммуностимулирующим действием (из астрагала нутового, левзеи сафлоровидной). Установлено влияние скармливания фитодобавок в составе типовых комбикормов на потребление и переваримость кормов рациона, интенсивность роста молодняка птицы, яйценоскость, расход кормов на единицу продукции птицеводства, рентабельность ведения отрасли птицеводства. Выявлено, что использование в кормлении кур-несушек кормовой фитодобавки из астрагала нутового способствовало повышению выхода яичной массы в первой и второй опытных группах на 1,88 % и 2,75 %, интенсивности яйцекладки на 8,76 % и 3,52 % и сбор яиц на несушку на 8,77 % и 3,51 %, соответственно (Таблица 3).

Скармливание кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной в дозе от 3 до 5 г на голову в сутки цыплятам-бройлерам способствовало большему отложению в организме птицы белка корма. Цыплята-бройлеры первой, второй и третьей опытных групп по сравнению с контрольной лучше использовали азот от принятого - на 0,17%, 0,74% и 1,39%, соответственно. Кормовая фитодобавка из левзеи сафлоровидной повлияла на динамику роста молодняка кур-несушек. Масса цыплят в первой и второй опытных группах по окончании эксперимента, в % к контрольной группе, составляла 101,0 и 105,5%, соответственно.

Таблица 3 – Влияние фитодобавки из астрагала нутового на продуктивность кур-несушек

Показатель	Группа		
	контрольная	первая опытная	вторая опытная
Возраст достижения пика яйценоскости, недель	37,20 ± 0,07	36,90 ± 0,09	36,10 ± 0,07***
Яйценоскость на среднюю несушку, шт.	178	181	183
Масса яйца, г.	60,70 ± 0,12	60,70 ± 0,13	61,30 ± 0,08*
Получено яичной массы на среднюю несушку, кг	10,80 ± 0,03	10,90 ± 0,05	11,22 ± 0,04**
Интенсивность яйцекладки, %	93,74	94,92	97,76

(«Пермский НИИСХ» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.б.н. Авдеев Н.В., авторы: Морозков Н.А., Лепихина Е.В., Жданова И.Н., Терентьева Л.С.).

Морозков Н.А., Суханова Е.В., Кайгородов Р.В., Жданова И.Н., Терентьева Л.С. Эффективность использования фитодобавки из астрагала нутового в рационах кур-несушек // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2024. – Т. 25, № 4. – С. 664-673. – DOI 10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673. – EDN TKESQI.

52. Руководство по возделыванию перспективных для условий Пермского края сортов картофеля (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)

Сорт – основа интенсивных и энергосберегающих технологий производства продуктов растениеводства. Целью на 2022-2024 гг. лаборатории агротехнологий являлось проведение исследований по возделыванию новых сортов и селекционного материала картофеля в почвенно-климатических условиях Пермского края. Было проведено испытание 20 сортов картофеля различных групп скороспелости (раннеспелые сорта, среднеранние, среднеспелые) ведущих селекционных центров страны. Выявлен ряд сортов, лидирующих по следующим показателям:

- Урожайность:
 - Удача (27,9 т/га, группа ранних сортов).
 - Корнет (28,7 т/га, группа среднеранних сортов).
 - Аляска (25,9 т/га, группа среднеспелых сортов).
- Содержание сухого вещества:
 - Ломоносовский (21,7%, группа ранних сортов).
 - Кортни (22,2%, группа среднеранних сортов).
 - Дана (22,6%, группа среднеспелых сортов).
- Содержание крахмала:
 - Ломоносовский (15,3%, группа ранних сортов);
 - Кортни (18,7%, группа среднеранних сортов);
 - Купчиха (17,8%, группа среднеспелых сортов, рисунок 64).

По комплексной оценке, (количеству клубней, весу гнезда, урожайности) за вегетационные периоды 2022-2024 гг. выделились сорта: в ранней группе спелости – Удача, Холмогорский и Блоссом; в среднеранней группе – Забава и Корнет (Рисунок 65); в среднеспелой группе – Аляска, Флагман и Орлан.



Рисунок 64 – Среднеспелый сорт Купчиха



Рисунок 65 – Среднеранний сорт Корнет

(«Пермский НИИСХ» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: к.с.-х.н. Корляков К.Н., авторы: Латыпова А.Л., Морозова Т.С., Цёма Л.Г.).

Цема, Л. Г. Оценка отечественных сортов картофеля разных групп спелости при выращивании в почвенно-климатических условиях Среднего Предуралья // Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Материалы Всерос. науч. конференции с международным участием, посвященной 110-летию Пермского НИИСХ, Пермь, 05–07 июля 2023 года. – Пермь: Издательство "От и До", 2023. – С. 389-398. – EDN MCGKRG.

«Институт гуманитарных исследований Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук («ИГИ УрО РАН»)

53. Изучение нематериального этнокультурного достояния народов России (6.1.2.13. Динамика этнодемографических процессов в мире. Этнокультурный облик населения Российской Федерации и мира)

В последние два десятилетия в России проводилась активная работа по выявлению, описанию и каталогизации объектов нематериального этнокультурного достояния. За этот период был собран значительный комплекс материалов, началась разработка теоретических и методологических подходов к пониманию концепта «нематериальное этнокультурное наследие», описанию объектов, выработке критериев и практической работе с реестром (каталогом) объектов. Особенно активизировалась данная деятельность в последние несколько лет, импульс этому был придан принятием закона и других нормативно-правовых актов.

Особенностью Российской Федерации является деятельность в данном направлении как на федеральном (Рисунок 66), так и на региональном уровне, как и создание и функционирование как федерального, так и региональных каталогов. В настоящее время ведётся активная работа по наполнению федерального реестра, а также разработка и наполнение региональных каталогов. Так как данная работа имеет новаторский характер, возникает множество вопросов теоретического и методологического плана. По-прежнему существуют различия в подходах к наполнению и содержанию реестров в разных регионах страны.

Изучен опыт разработки федерального и регионального законодательства, а также изменения, произошедшие в этой сфере после принятия в 2022 г. ФЗ «О нематериальном этнокультурном достоянии Российской Федерации». На основании мониторинга регионального законодательства и анализа подходов к определению понятия нематериального этнокультурного достояния авторы приходят к выводу, что в современной России идет активная нормотворческая работа, что ставит новые задачи по сохранению нематериального этнокультурного достояния не только перед органами власти, но и перед экспертным сообществом. Необходимо и приведение в соответствие с ФЗ региональной законодательной базы, выстраивание единой системы работы федеральных и региональных экспертных советов.

РЕЕСТР ОБЪЕКТОВ НЕМАТЕРИАЛЬНОГО КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ НАРОДОВ РОССИИ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

Центральный федеральный округ	Объектов НКН	44
Северо-Западный федеральный округ	Объектов НКН	22
Южный федеральный округ	Объектов НКН	7
Северо-Кавказский федеральный округ	Объектов НКН	11
Приволжский федеральный округ	Объектов НКН	32
Уральский федеральный округ	Объектов НКН	18
Сибирский федеральный округ	Объектов НКН	23
Дальневосточный федеральный округ	Объектов НКН	15

Рисунок 66 – Федеральный каталог (реестр) объектов нематериального этнокультурного достояния (<https://rusfolknasledie.ru>)

(«ИГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: член-корр. РАН, д.и.н. Черных А.В., авторы: Черных А.В., Каменских М.С.).

Черных А. В., Каменских М.С. Нематериальное этнокультурное достояние народов России в федеральном и региональном законодательстве: история и основные тенденции (2003-2023 гг.) // Вестник Российской нации. – 2024. – № 1(94). – С. 23-37.

Черных А.В., Чернышева Ю.С. Реестры объектов нематериального этнокультурного достояния Российской Федерации: опыт и новые задачи // Труды Отделения историко-филологических наук РАН. / Отд-ние ист.-филол. наук РАН. – М.: РАН, 2024 – 424 с. 2023. Том 13 / отв. ред. В.А. Тишков; [сост. Н.В. Тарасова]. – 2024. С.166-182. ISBN 978-5-907645-23-3

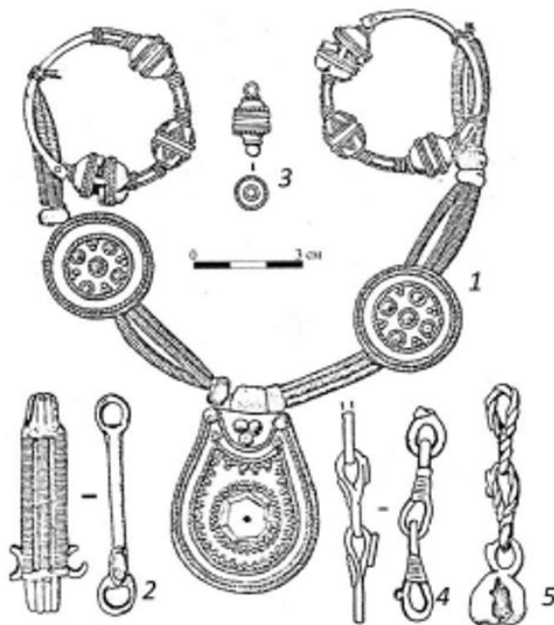
54. Изучение средневековых ремесел (черной и цветной металлургии и металлообработки) (6.1.3.14. Этнокультурное многообразие средневековой Евразии в археологическом освещении)

Археологические исследования ИГИ УрО РАН проводились по нескольким направлениям, среди которых ключевым и наиболее активно разрабатываемым является изучение средневековых ремесел, в частности – черной и цветной металлургии и металлообработки. Производились исследования сырьевой базы, технологических особенностей производства, мастерских.

Сравнительно новый подход был применен к изучению т.н. «наборных» поясов, являвшихся характерной особенностью средневековой эпохи. Металлические элементы подобных поясов встречаются на обширных пространствах Восточной Европы и восточнее – за пределами Уральского хребта. Безусловно, исследователей интересует вопрос о возможных центрах производства металлической ременной гарнитуры, а также вопрос о формах ее поставки на рынок – в виде разрозненных деталей либо готовых изделий. К сожалению, существует не так много археологических культур, в которых наборные пояса встречаются в полном комплекте и в состоянии, пригодном для проведения реконструкции.

Были продолжены исследования в области изучения ювелирного дела Пермского Предуралья. Среди исследований в этом направлении было проведено детальное изучение уникального комплекта ювелирных изделий, обнаруженного в погребении №74 Ыджыдъельского могильника Перми Вычегодской, а в частности – ювелирный убор, который был введен в научный оборот как «очелье» (Рисунок 67-68). Анализ комплекта позволил уточнить способ его ношения – височные украшения подвешивались к головному убору с помощью ремешков, другая металлическая часть комплекта с нанизанными на шнурок элементами соединяла между собой височные украшения и проходила под подбородком, обрамляя лицо.

Находки серебряных зерно-филигранных изделий прикамского происхождения в материалах памятников вымской культуры перми и рассматриваемый ювелирный убор в очередной раз свидетельствуют об интенсивных связях между населением вымской и родановской культур.



1 – очелье; 2 – пластичная подвеска; 3 – зерно-филигранная привеска; 4 – фрагмент щитковидной цепочки; 5 – фрагмент цепочки с бубенчиком. 1 – серебро, позолота, сердолик, цветной металл, стекло; 2, 4, 5 – цветной металл; 3 – серебро, позолота.

Рисунок 67 – Ыджыдъельский могильник. Погребальный инвентарь погребения №74.



Рисунок 68 – Очелье и погребальный инвентарь из погребения (лицевая сторона, изнаночная сторона, прорисовка) Ыджыдъельского могильника.

(«ИГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, рук.: д.и.н. Крыласова Н.Б., авторы: Крыласова Н.Б., Подосёнова Ю.А.).

Крыласова Н. Б. Сходство и различие наборных поясов IX-XI вв. Ветлужско-Вятского междуречья и Пермского Предуралья // Археология Евразийских степей. – 2024. - № 4. – С. 336–352.

Савельева Э.А., Подосёнова Ю.А. Очелье из Ыджыдъельского могильника вымской культуры Перми Вычегодской // Труды Камской археолого-этнографической экспедиции. – 2024. - Вып. XXV. – С. 127-141.

55. Исследование историко-культурного наследия в контексте формирования имиджей регионов (5.4.4.3. Региональная и глобальная интеграция Российской Федерации)

Историко-культурное наследие является одной из базовых основ формирования региональной идентичности. Оно связывается не только с символическим содержанием осмысления специфики территории, но и с культурно-психологическим ядром ценностей регионального сообщества, через них описываются ментальные особенности, традиции и обычаи жителей. Актуализация ресурсов идентичности формирует имиджевую политику как часть политики идентичности (Рисунок 69).

В настоящее время для любых регионов мира востребован поиск ресурсов идентичности, позволяющих облегчить решение задач консолидации сообщества, узнаваемости и укрепления его позиций в сетях взаимодействий общенационального и международного уровня. Значительный интерес поэтому представляет грамотное использование ресурса региональной идентичности в целях позиционирования территориальных особенностей. Историко-культурное и природное наследие формирует привлекательный имидж территории и является одним из ключевых факторов для позиционирования региона. В то же время эффективный бренд территории может быть сформирован только на основе региональной идентичности. Это усиливает потребность в изучении и поиске таких стратегий имиджевой политики, которые позволяют считывать уникальный код, внутреннюю самость сообщества, попадание в которую в значительной степени предопределяет позитивные эффекты от проводимой политики.

На примере 300-летнего юбилея Перми проанализирована риторика ключевых акторов политики идентичности. Автор делает вывод о том, что в случае Перми юбилей рассматривался, прежде всего, как инструмент решения имиджевых задач. Повестка конструирования идентичности по отношению к проблеме продвижения занимала подчиненное положение. Юбилей увязывался с возможностью осмысления городской и региональной идентичности, но данное направление не выразилось в широкую общественную дискуссию в среде интеллектуалов.

С точки зрения идентитарного подхода событие такого рода может выступать катализатором рефлексии, благоприятно влиять на вовлеченность жителей, интегрировать в сообщество. Одна из причин слабой выраженности идентитарного вектора, возможно, связана со слабой открытостью в реализации символического проекта. Тем не менее, эксперты зафиксировали важное отличие от предыдущего опыта и отметили позитивное изменение с точки зрения самой артикуляции темы идентичности, пусть и для решения внешних задач.



Рисунок 69 – Обложка книги Дневник Алтайской школы политических исследований № 40. Роль историко-культурного наследия в формировании имиджей регионов : коллективная монография / под ред. Ю.Г. Чернышова. – Барнаул : АЗБУКА, 2024. С. 20-30. ISBN 978-5-6052469-9-2

(«ИГИ УрО РАН» – филиал ПФИЦ УрО РАН, авторы: Назукина М.В.).

Назукина М.В. Место историко-культурного наследия в идентитарных основах регионального имиджа // Дневник Алтайской школы политических исследований № 40. Роль историко-культурного наследия в формировании имиджей регионов : коллективная монография / под ред. Ю.Г. Чернышова. – Барнаул : АЗБУКА, 2024. С. 20-30. ISBN 978-5-6052469-9-2

Назукина М.В. Трехсотлетие Перми как элемент политики идентичности // Историческая этнология. - 2024. - Т. 9. - № 3. - С. 413–427.