

**Важнейшие результаты исследований, полученные
в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Пермском федеральном исследовательском центре
Уральского отделения Российской академии наук в 2025 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 (далее – «ИМСС УрО РАН»)

1. Предложен метод оценки усталостной долговечности при нерегулярном нагружении деталей с поверхностными остаточными напряжениями (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).

Наведение сжимающих остаточных напряжений на поверхности опасных участков авиационных конструкций повышает усталостную долговечность и давно применяется на практике. Однако методика расчёта усталостной долговечности на полетных циклах нагружения с учетом поверхностных остаточных напряжений остается дискуссионной темой.

Предлагаемый в работе метод применяется для диска компрессора высокого давления (рис. 1, а) и проушины тяги кронштейна крепления авиационного двигателя (рис. 1, б), на контактной цилиндрической поверхности которых наведены остаточные напряжения.

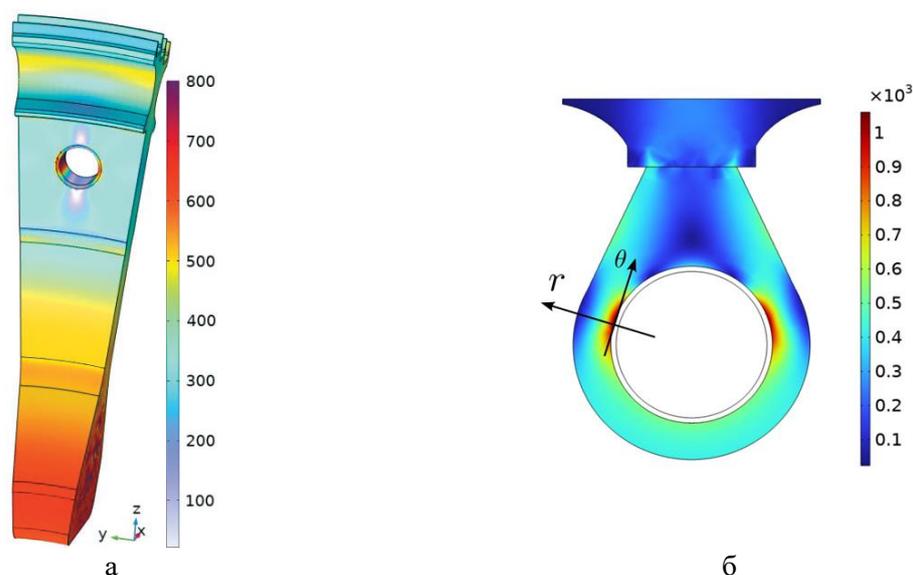


Рис. 1. Поля интенсивности напряжений а) в диске компрессора высокого давления, б) в центральном сечении проушины

Определяется распределение собственных деформаций вблизи поверхности методом Давиденкова–Биргера с использованием полученной авторами реконструктивной формулы, которое внедряется в конечноэлементную модель через начальные деформации многослойных оболочечных элементов.

Рассчитывается распределение остаточных напряжений, порожденных собственными деформациями, а также напряжений, вызванных максимальными эксплуатационными нагрузками в полетном цикле (рис. 2). Остаточные напряжения смещают опасную точку с поверхности внутрь детали, практически не изменяя

эксплуатационных напряжений. Для оценки времени зарождения усталостной трещины на полетных циклах используется предложенная авторами эволюционная модель.

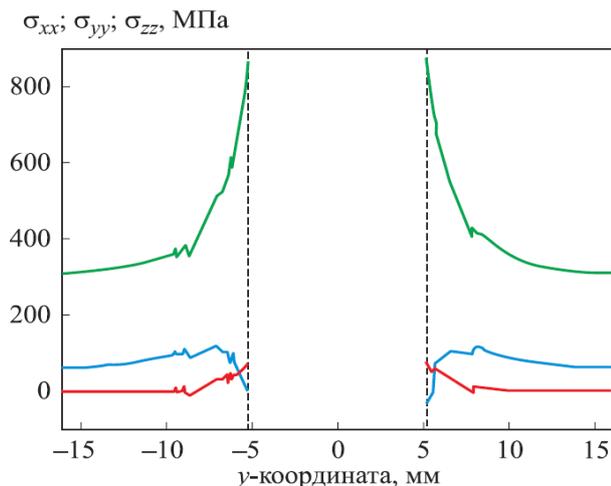


Рис. 2. Поля напряжений вблизи отверстия с учетом эксплуатационной нагрузки и технологических остаточных напряжений

По экспериментальным кривым усталости определено два набора констант эволюционной модели, один из которых описывает чувствительность к нерегулярности нагружения, а другой – нет. Кривые усталости для случая, когда очаг усталостного разрушения находится под слоем собственных деформаций, симитированы сдвигом результатов испытаний образцов без поверхностного упрочнения.

Расчет для различных представлений полетного цикла и различных распределений собственных деформаций вблизи поверхности (рис. 3) показал, что упрощение первого или второго приводит к менее консервативным (завышенным) оценкам усталостной долговечности.

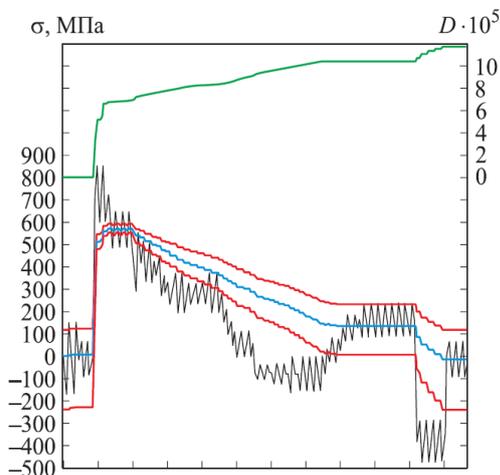


Рис. 3. Результаты расчета эволюции усталостной поврежденности в ходе полетного цикла

Данный эффект не описывается в рамках расчетов со схематизацией истории нагружения, сведения отдельных циклов многоосного нагружения к эквивалентным одноосным и суммированию их вкладов в поврежденность. Усталостное разрушение, зарождающееся под слоем остаточных напряжений, прогнозируется моделью как менее опасное событие, чем разрушение, начинающееся с поверхности.

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

2. Объяснена ориентационная природа отклика порового давления в приразломной зоне на прохождение сейсмических волн (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 нелинейной анизотропной пороупругой модели с тензорными параметрами уплотнения и поврежденности предложено модифицированное уравнение Скемптона и аналитическое выражение для отношения его коэффициентов, связывающие вариации порового давления с объемными и сдвиговыми деформациями, индцированными прохождением поверхностной сейсмической волны. Установлено, что зависимость отношения коэффициентов в модифицированном уравнении Скемптона от азимута прихода волны имеет периодический характер (рис. 4). Точки локальных экстремумов указывают на направления максимального отклика, а их величина зависит от ориентации трещиноватости в окрестности разломной зоны.

Показано, что наблюдаемое по данным мониторинга порового давления в резервуаре сточных вод Арбакл (Оклахома, США) разнообразие отклика порового давления на прохождение сейсмических волн от разноудаленных сейсмических событий с высокой точностью описывается разработанными соотношениями. На рисунке 5 представлено сравнение зависимости отношения коэффициентов в модифицированном уравнении Скемптона от угла прихода сейсмической волны, рассчитанной для условия резервуара Арбакл, и оценок, полученных по сейсмологическим данным для семи сейсмических событий.

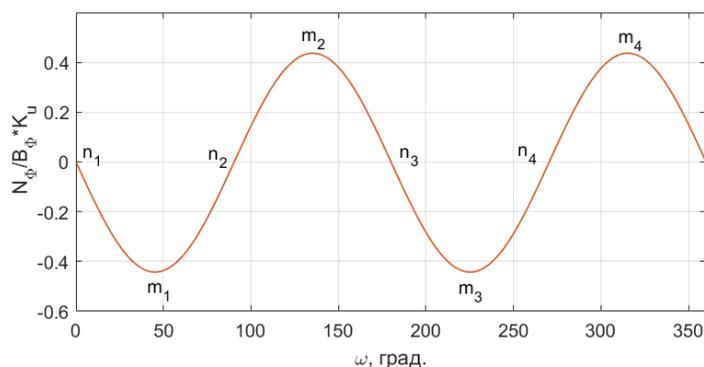


Рис. 4. Зависимость отношения коэффициентов $\frac{N_{\phi}}{B_{\phi} K_u}$ в уравнении Скемптона от угла прихода волны для случая трещиноватости соосной направлению действия максимального горизонтального напряжения

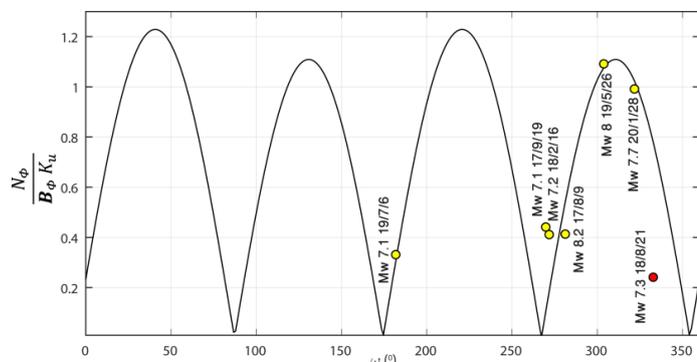


Рис. 5. Сравнение расчетной кривой и сейсмологических оценок зависимости отношения коэффициентов $\frac{N_{\phi}}{B_{\phi} K_u}$ в уравнении Скемптона от азимута прихода сейсмических волн

3. Разработан и верифицирован численный алгоритм расчёта собственных частот колебаний цилиндрических и конических оболочек, содержащих жидкость и выполненных из слоистого композиционного материала (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).

Тонкостенные оболочки – один из ключевых конструктивных элементов авиационной и ракетно-космической техники. Они широко используются в качестве топливных баков, составляющих значительную долю стартовой массы жидкостной ракеты-носителя и существенно влияющих на её динамику. Современные оболочки изготавливаются из слоистых композиционных материалов, которые позволяют снизить массу изделия и при этом сохранить его прочность.

Результаты, полученные с помощью разработанного численного алгоритма расчёта собственных частот колебаний цилиндрических и конических оболочек, содержащих жидкость и выполненных из слоистого композиционного материала, показали возможность обеспечения требуемых спектра частот и форм колебаний за счёт выбора геометрических параметров и физико-механических свойств слоистого композиционного материала, что позволяет избежать резонансных режимов и увеличить срок службы конструкции (рис. 6).

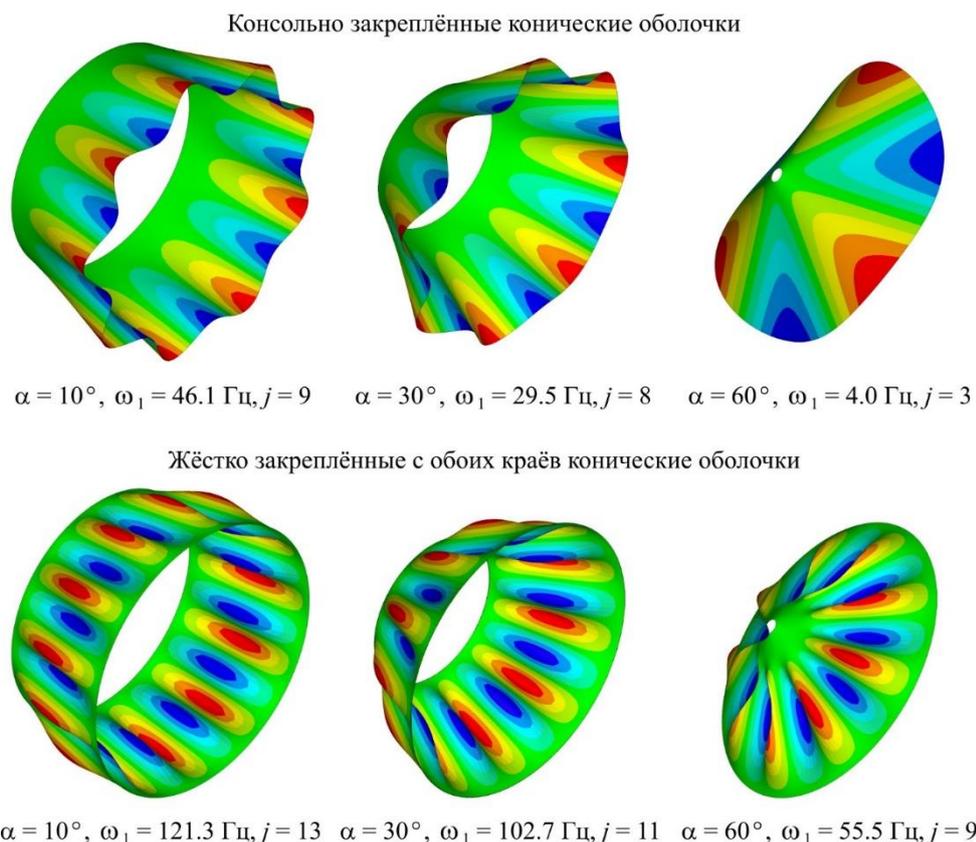


Рис. 6. Собственные формы колебаний усечённых конических оболочек при разном угле при вершине

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

4. Предложен новый метод обработки данных оптической рефлектометрии в частотной области (OFDR) (2.3.1.4. Механика технологий, обеспечивающих устойчивое инновационное развитие инфраструктур и пониженной уязвимости по отношению к возможным внешним и внутренним дестабилизирующим факторам природного и техногенного характера).

Оптическая рефлектометрия в частотной области является одним из ключевых инструментов сенсорики. Известные методы шумоподавления подобных систем, такие как эмпирическая модовая декомпозиция, частотная фильтрация и динамическое усреднение активационной функцией, сглаживают сигнал, но вносят ошибки в его динамические характеристики, изменяя интенсивность пиков отражения и искажая уровень обратного рассеяния (рис. 7).

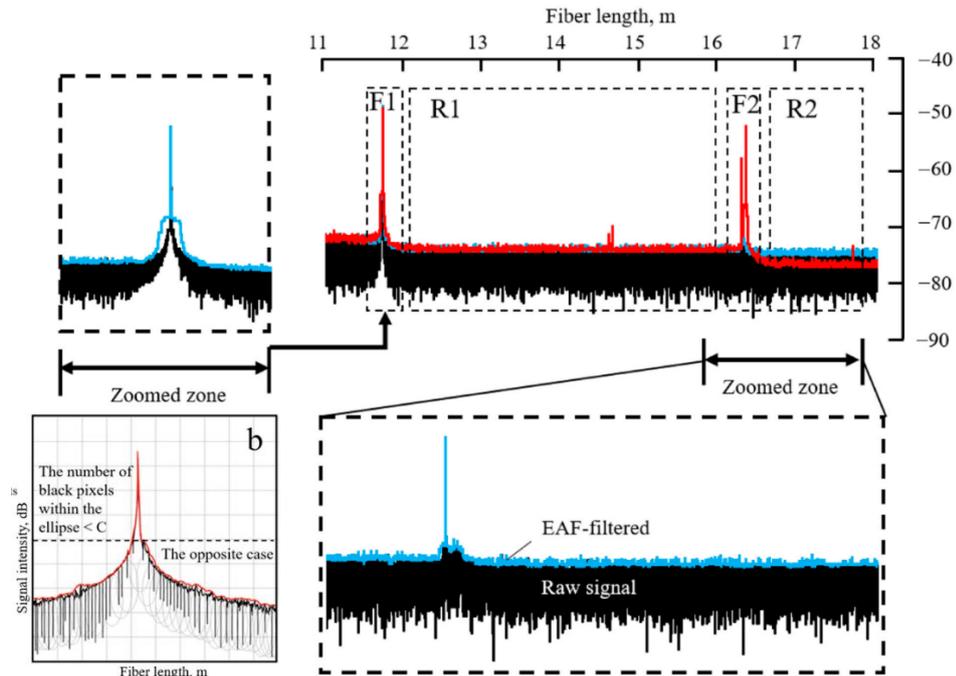


Рис. 7. Обработка единичного отражающего события

Предложен метод снижения шума на частотной рефлектограмме с помощью аппроксимации эллиптической дугой. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности данного подхода как в областях с контрастными обратными отражениями, так и без них, с нулевым искажением пиков френелевского отражения и с нулевой ошибкой затухания в областях без френелевских отражений (рис. 8).

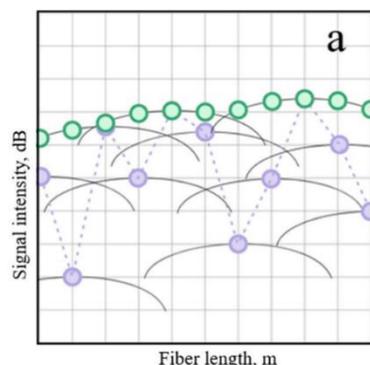


Рис. 8. Принцип аппроксимации сигнала рэлеевского рассеяния

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

5. Установлено, как флюенс и энергия ионов азота определяют особенности геометрии углеродного нанослоя во время ионно-плазменной обработки на поверхности полиуретанового материала (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).

Подведен итог циклу работ по исследованию особенностей формирования углеродного нанослоя на поверхности материала во время ионно-плазменной обработки полиуретана ионами азота. Задача актуальна для разработки технологии создания биосовместимых имплантатов из полимерных материалов. Проблема связана с тем, что размеры волн на поверхности углеродного нанослоя и трещиностойкость должны формироваться с учетом требования создания оптимального биосовместимого покрытия (рис. 9).

Предложена новая модель, объясняющая механизм появления волнообразной поверхности. Нанослой рассматривается как смесь двух континуумов. Это деформируемый континуум (углерод) и континуум, образованный электрическими зарядами (ионами азота). Электрические заряды стремятся удалиться друг от друга. Перераспределение зарядов вызывает появление напряжений в углероде, искривление нанослоя, формирование волнообразной поверхности (рис. 10). В натуральных экспериментах и в компьютерном моделировании установлено, как технологические параметры влияют на особенности формирования углеродного нанослоя во время ионно-плазменной обработки. Управлять можно величиной флюенса (количеством ионов, проникших в полиуретан через единицу площади поверхности) и энергией ионов азота (рис. 11).

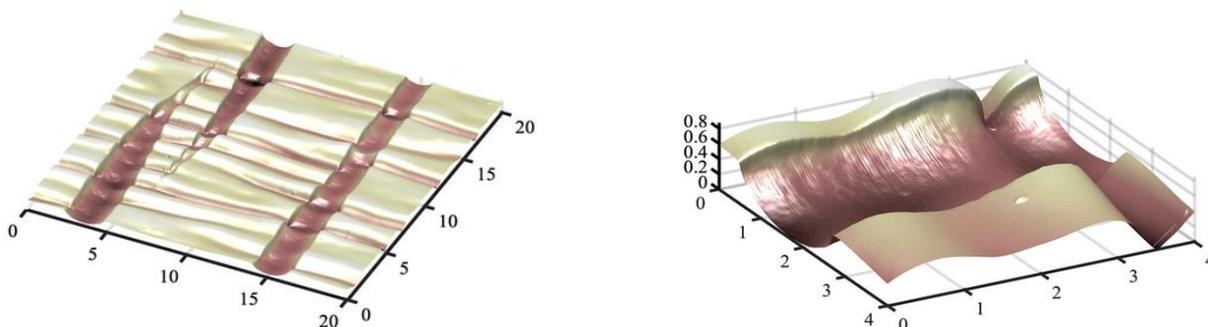


Рис. 9. Примеры исследования с помощью атомно-силовой микроскопии поверхности углеродного нанослоя, появляющегося при ионно-плазменной обработке полиуретанового материала. Рассматривалась перестройка волнообразной поверхности при деформировании и возникновение трещин в нанослое. Размеры даны в мкм



Рис. 10. Пример вычисления плотности распределения глубины расположения ионов азота при внедрении их в материал. Энергия ионов в приведенном примере равна 10 кэВ. Глубина внедрения дана в нм

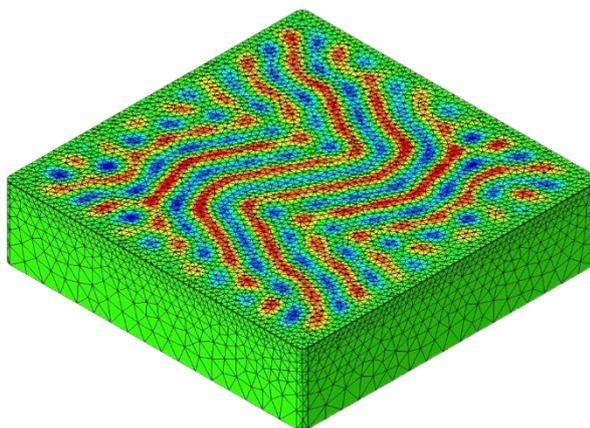


Рис. 11. Пример волнообразной поверхности углеродного слоя, возникающего при ионно-плазменной обработке полиуретанового материала ионами азота. Вычисления осуществлены методом конечных элементов для энергии ионов 10 кэВ и флюенса $5 \cdot 10^{15}$ ионов/см². Рассмотрена область размером 20 на 20 мкм

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

6. Описаны вынужденные колебания магнитоактивного эластомера с учетом влияния мезомасштабного магнитомеханического гистерезиса (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).

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) – перспективные материалы для управляемого демпфирования. Принцип управления – (1) под действием приложенного поля магнитомягкие зёрна наполнителя намагничиваются и под действием возникших пондеромоторных сил стремятся собраться в цепочки, но (2) этому препятствуют силы упругого сопротивления деформированной матрицы. Таким образом, поле «программирует» упругость композита.

В высоконаполненных МАЭ существенным оказывается также взаимное намагничивание частиц, что существенно увеличивает магнитные межчастичные силы и как следствие обуславливает сильные нелинейности механического поведения композита в целом. Причина – предсказанный нами ранее для квазистатики МАЭ гистерезис межчастичных расстояний (коллапс частиц) в приложенном поле.

В настоящей работе этот эффект изучен для случая комбинации постоянного и переменного полей. Дан анализ влияния вязкости эластомера на амплитудно-частотную характеристику вынужденных колебаний образца МАЭ. Показано, что в рассмотренной ситуации даже малоамплитудным колебаниям присущ значительный ангармонизм (рис. 12).

Сфера практического применения результата: конструирование и моделирование магнитоактивных демпферов и виброизоляторов, датчиков и манипуляторов, управляемых бесконтактным (полевым) способом.

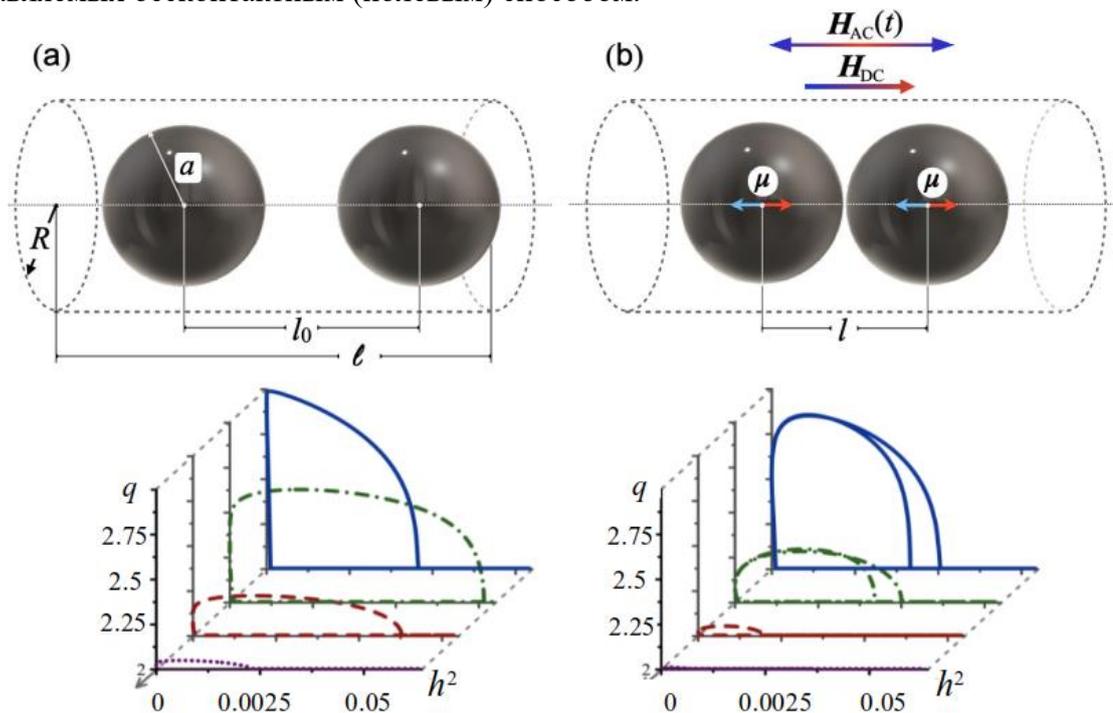


Рис. 12. Двухчастичная модель: (а) начальное состояние, (б) – в полях: переменном, постоянном (вверху) и примеры магнитодеформационных циклов; h – б/разм. амплитуда поля, q – межцентровое расстояние (внизу)

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

7. Впервые выполнен сравнительный анализ структуры и динамики общей циркуляции атмосферы и бароклинических волн в атмосфере модельных зонально-однородных планет земного типа. (2.3.1.2 Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Выполнен сравнительный анализ структуры и динамики общей циркуляции атмосферы и бароклинических волн для идеализированных, азимутально-однородных планет, позволивший оценить влияние вариаций среднеширотных характеристик земной поверхности на основные характеристики циркуляции атмосферы. Численные эксперименты выполнены с помощью пакета WRF-ARW для встроенных в него характеристик земной атмосферы и земных параметров планетарного движения и инсоляции. Рассмотрены три модельные конфигурации, а именно, пустынная планета, пустынная планета с экваториальным океаном и аквапланета с фиксированным меридиональным распределением температуры. Показано, что, несмотря на зонально однородные граничные условия и отсутствие рельефа, на всех рассмотренных модельных планетах заметно флуктуируют интенсивность, время жизни, фазовая и групповая скорость бароклинических волн. В случае пустынной планеты и планеты смешанного типа имеет место выраженный сезон наибольшей волновой активности. На аквапланете нет сильных сезонных вариаций, однако при этом наблюдаются продолжительные интервалы приостановок дрейфа волн на запад (блокинги). Проведен анализ спектрального состава бароклинических волн и его сезонной изменчивости (рис. 13).

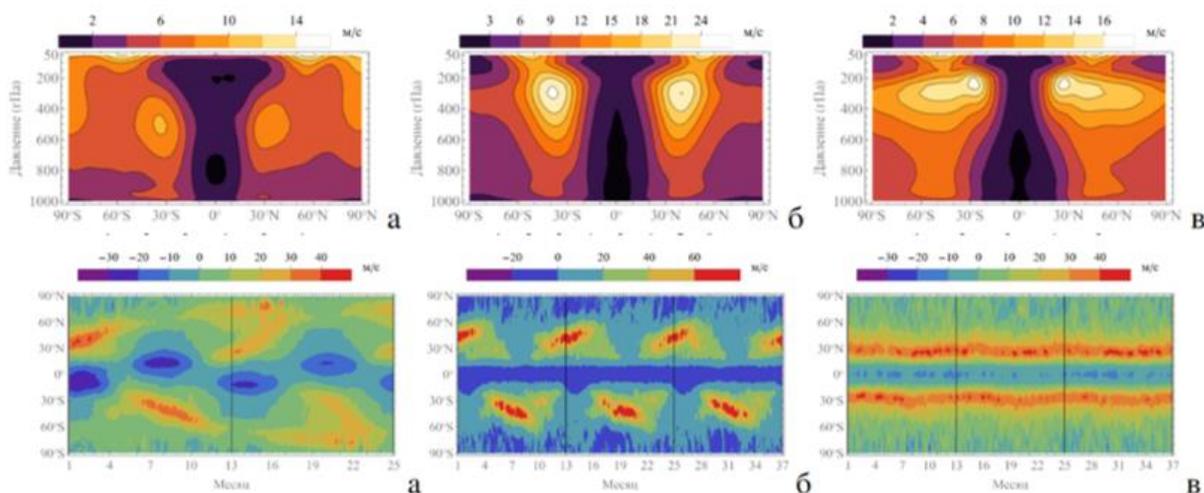


Рис. 13. Средние распределения зональной скорости (вверху), сезонные вариации зональной скорости (внизу)

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

8. Обнаружен неизвестный ранее режим, названный редкоинверсным хаосом (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Рассмотрено вязкое обобщение модели двухдискового динамо Рикитаке, известной как простейшая динамическая модель случайных инверсий геомагнитного поля. Проведено систематическое исследование возникающих режимов в пространстве параметров (степень омической диссипации и отношение моментов сил, вращающих диски) при фиксированном магнитном числе Прандтля $Rm=10^{-6}$, характерном для жидкого ядра Земли. Показано, что есть узкая область в пространстве параметров, в которой реализуются режимы редкоинверсного хаоса, отличающиеся очень длительными хронами (интервалами времени, в течение которых знак магнитного поля сохраняется), в пределах которых решение носит квазиустойчивый характер, а имеющие место колебания поля характеризуются незначительной амплитудой и крайне медленной скоростью роста. Выявлена закономерность эволюции возмущений поля в пределах отдельного хрона, позволяющая предсказать время следующей инверсии магнитного поля (рис. 14).

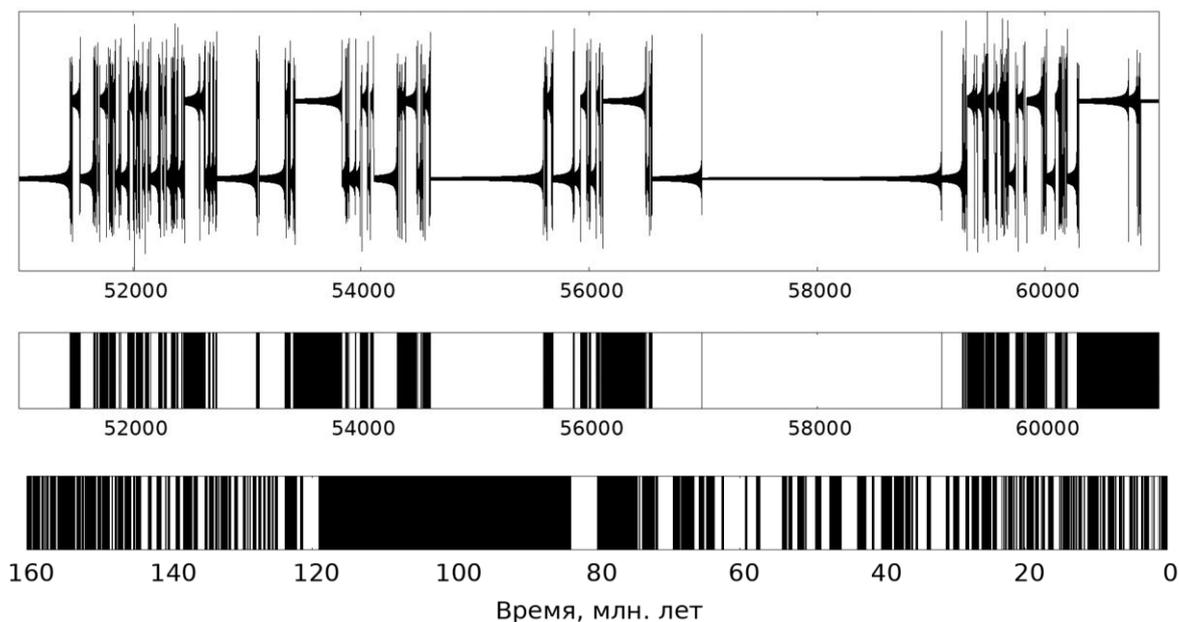


Рис. 14. Фрагмент решения двухдискового динамо в режиме редкоинверсного хаоса (вверху), соответствующая ему шкала полярностей (плюс – черный, минус – белый) и фрагмент шкалы геомагнитной полярности (внизу)

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

9. Определение эффективности работы МГД-перемешивателей (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Предложена методика сравнения эффективности работы различных конструкций МГД-перемешивателей в машинах непрерывного литья круглых алюминиевых слитков.

Предложена конструкция МГД-перемешивателя с одним индуктором вращающегося поля и наклонными полюсами, но создающим, как тороидальное, так и полоидальное течение жидкого металла. Перемешивание жидкого металла при получении круглых непрерывных алюминиевых слитков имеет большое значение.

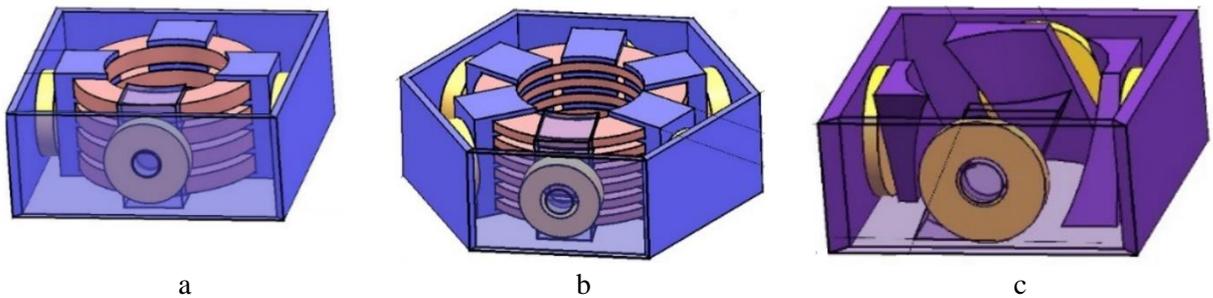
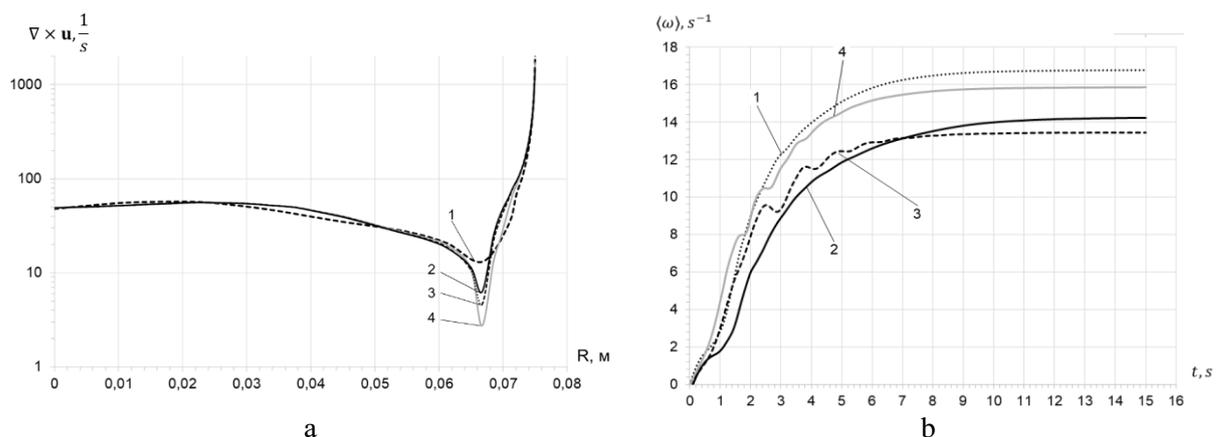


Рис. 15. МГД-перемешиватели: трехфазный – *a*, двухфазный – *b* и *c*. Перемешиватели *a* и *b* имеют индуктора бегущего и вращающегося поля. Перемешиватель *c* имеет один индуктор вращающегося поля, но с наклонными сердечниками

Были рассчитаны электродинамические процессы и процессы массопереноса в жидком алюминии при работе МГД-перемешивателей, имеющие как трехфазные, так и двухфазные (рис. 15) индукторы бегущего и вращающегося магнитного поля.

Предлагается сравнивать эффективность работы этих перемешивателей по распределению завихренности жидкого металла в его объеме (рис. 16, *a*) по величине средней удельной азимутальной компоненты завихренности электромагнитных сил, по среднему удельного значения вращательного момента этих сил, по средней в области фронта кристаллизации угловой скорости (рис. 16, *b*), по средней по объему плотности кинетической энергии полоидального течения (рис. 16, *c*), и уменьшению неоднородности распределения вносимой примеси у фронта кристаллизации (рис. 16, *d*).



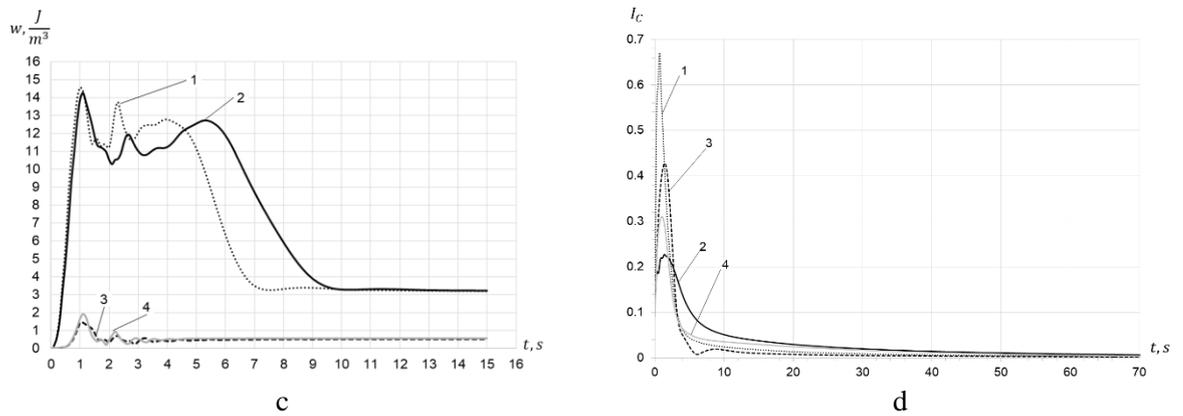


Рис. 16. *a*- распределение завихренности скорости металла в объеме металла;
b, *c*, *d* -зависимости завихренности металла, средней угловой скорости, средней плотности энергии и однородности распределение примеси в металле от времени соответственно

Сравнение характеристик показало, что трехфазный МГД-перемешиватель с индукторами бегущего и вращающегося поля наиболее эффективен в сравнении с рассмотренными.

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

10. Исследованы возможности метода температурных корреляций для оценки скорости крупномасштабной циркуляции при турбулентной конвекции жидкого металла в наклонном цилиндре (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Исследованы возможности метода температурных корреляций для получения средней скорости турбулентного течения жидкого металла, использующего сигналы с датчиков температуры, расположенных в ряд по направлению движения крупномасштабной циркуляции. Проведен анализ данных экспериментального исследования и численного трехмерного расчета (рис.17, 18, 19).

Показано, что метод имеет свои ограничения, а работает хорошо в условиях умеренных турбулентных пульсаций температуры и скорости. Получена нелинейная зависимость амплитуды скорости крупномасштабной циркуляции от угла наклона цилиндра с максимумом вблизи 45° .

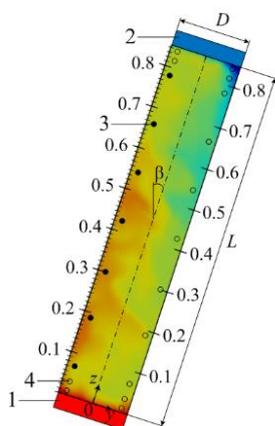


Рис. 17. Схема установки в сечении $0yz$ с указанием расположения датчиков температуры в эксперименте и расчете:
1, 2 – горячий и холодный теплообменники,
3 – точки измерения температуры в эксперименте и расчёте, 4 – дополнительные точки измерения температуры в расчёте

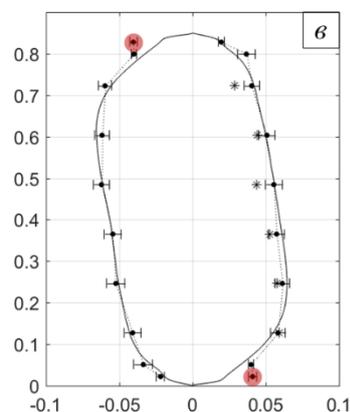


Рис. 18. Осредненные по времени профили скорости в сечении $0yz$ (сплошные линии), а также значения скоростей, полученные путём кросскорреляционного анализа температурных сигналов из численного счёта (круги) и эксперимента (звезды) для $\beta = 45^\circ$

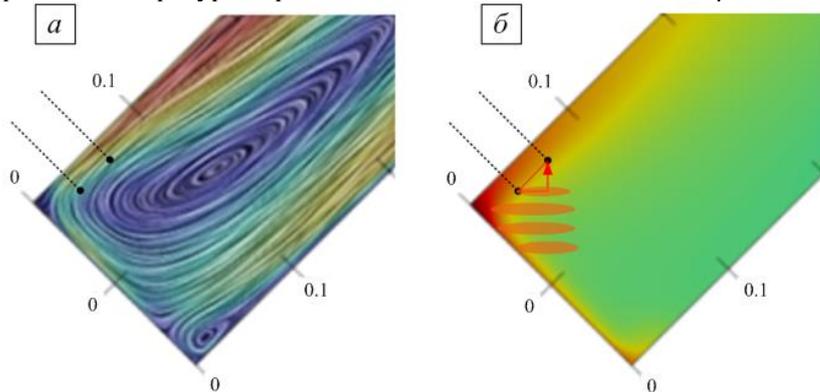


Рис. 19. Иллюстрация невыполнения гипотезы Тейлора в области теплообменника при $\beta = 45^\circ$

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

11. Обнаружено возникновение неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в зоне смешения потоков жидкого металла (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Численно исследована устойчивость слоя смешения в цилиндрической ячейке между двумя вихревыми течениями, вращающимися в противоположных направлениях и созданными электромагнитными силами (рис. 20).

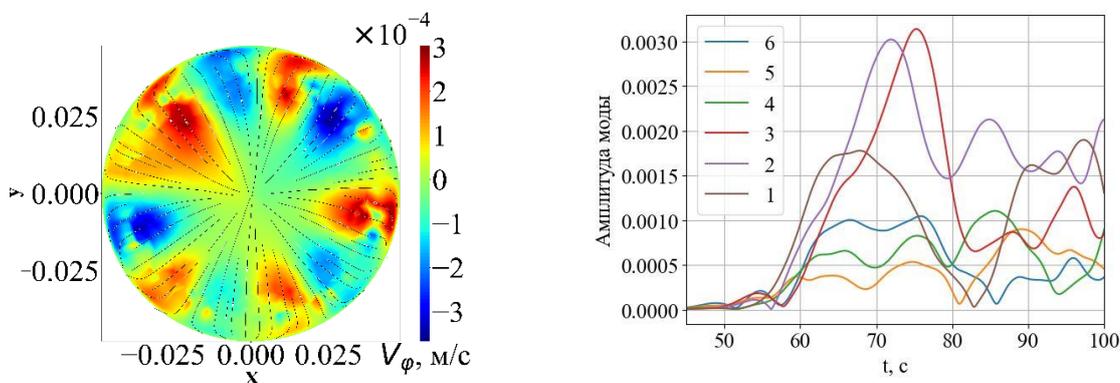


Рис. 20. Поле азимутальной скорости в сечении XoY – слева; Зависимость амплитуды мод течения от времени – справа

Для различных значений силового параметра изучен переходной процесс развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, которая становится источником развития малых возмущений и приводит к турбулентному перемешиванию жидкости. Обнаружено, что наибольший вклад в энергию возмущений вносят вторая и третья азимутальные моды (рис. 21).

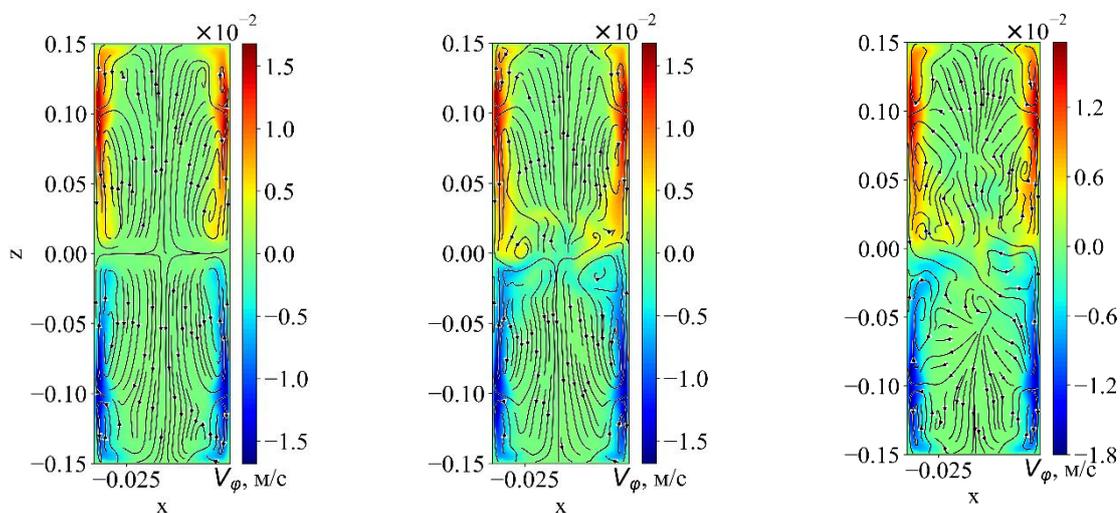


Рис. 21. Поле скорости в плоскости XoZ

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

12. Предложен, теоретически обоснован и экспериментально реализован инкрементально-дифференциальный метод измерения кривой намагничивания мягких магнитных материалов (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Предложен, теоретически обоснован и экспериментально реализован инкрементально-дифференциальный метод измерения кривой намагничивания мягких магнитных материалов (soft magnetic matter) – дисперсий нано- и микроразмерных ферромагнитных частиц в жидких и полимерных матрицах, удовлетворяющий точности, предъявляемой методикой магнитогранулометрического анализа этих материалов.

Метод предполагает измерение квазистатические измерения на инфранизких частотах (< 1 Гц) без механических воздействий на исследуемый образец и использует принцип интегрирования экспериментальных данных, что снижает погрешность измерений. Основное внимание в работе уделено техническим деталям проектирования, калибровки и обоснования экспериментальной установки, обработке исходных экспериментальных данных и, особенно, процедуре численного интегрирования.

Показано, как выбор метода численного интегрирования влияет на количество экспериментальных точек, необходимых для достижения высокой точности измерений. Магнитные жидкости использовались в качестве тест-объектов для демонстрации особенностей экспериментальной техники (рис. 22).

Сфера практического применения результата: измерение кривой намагничивания – основной магнитной характеристики мягких магнитных материалов (soft magnetic matter), с возможностью их гранулометрического анализа.

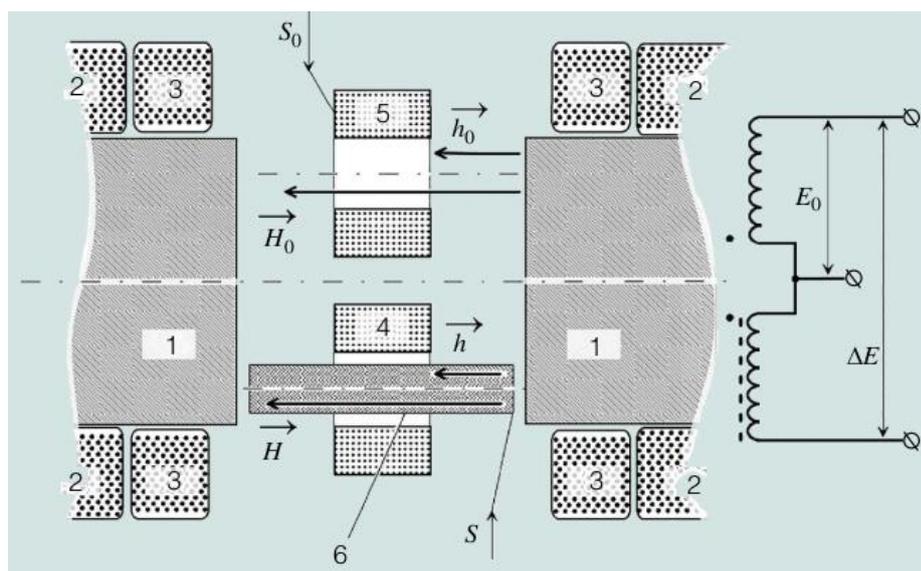


Рис. 22. Схема установки электрической цепи: 1 – полюсы электромагнита, 2 – намагничивающие катушки, 3 – модулирующие катушки, 4 и 5 – измерительная и компенсационная катушки, 6 – испытуемый образец

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

13. Разработана теория линейного и нелинейного магнитного отклика взвешенных в жидкости магнитожёстких частиц при наличии постоянного поля смещения (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Разработана теория магнитного отклика взвешенных в жидкости наночастиц, внутренняя диффузия магнитного момента которых пренебрежимо мала. Показано, что в постоянном поле произвольного направления магнитный отклик частиц на переменное зондирующее поле определяется суперпозицией счетного множества релаксационных мод. Динамическая восприимчивость аппроксимирована выражением дебаевского вида.

Развита теория нелинейного магнитного отклика взвешенных в жидкости магнитожёстких частиц. Представлен метод решения основного кинетического уравнения, не накладывающий ограничений на величину приложенного поля. Изучен динамический магнитный гистерезис частиц в линейно поляризованных полях различной амплитуды и частоты. Установлено, что подмагничивающее поле изменяет форму петель гистерезиса и уменьшает ее площадь. Случай перпендикулярного подмагничивания является особым: петли гистерезиса остаются симметричными при любой величине поля смещения (рис. 23).

Сфера практического применения результата: моделирование и проектирование устройств, использующих магнитную жидкость в качестве рабочего тела: инерционные датчики (акселерометры, сейсмодатчики, баллистические датчики), магнитомеханические актуаторы и др.

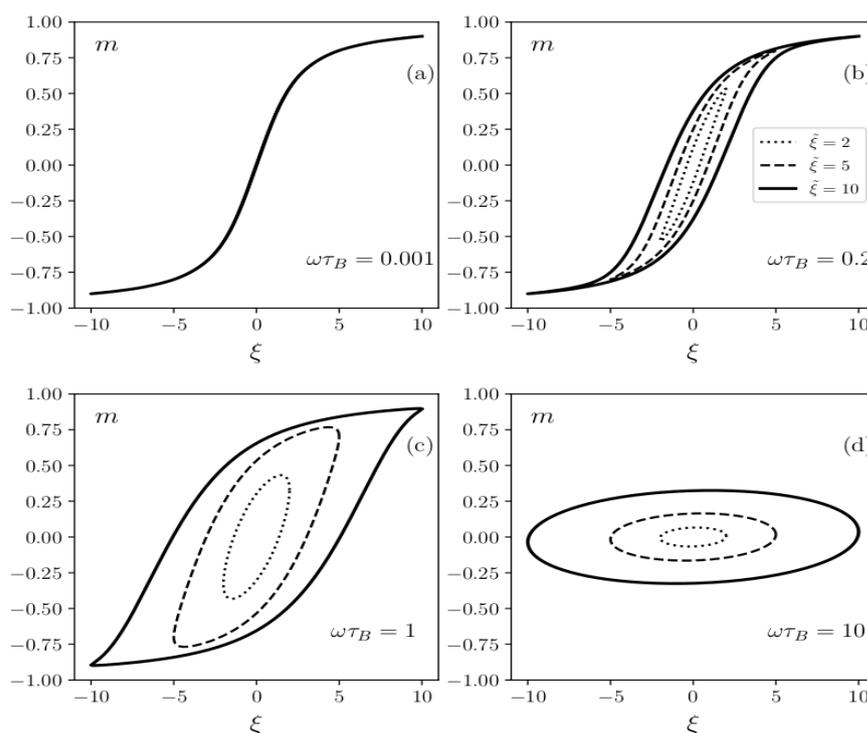


Рис. 23. Петли динамического гистерезиса наночастиц в нулевом подмагничивающем поле для безразмерных амплитуд, равных 2 (пунктирные линии), 5 (штриховые линии), 10 (сплошные линии), и безразмерных частот зондирующего поля $\omega t = 0.001$ (a), 0.2 (b), 1 (c), 10 (d)

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

14. Предсказан новый тип ритмов мозговой активности в тканях с разреженной сетью синаптических связей (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Построена среднеполевая теория макроскопической динамики синаптических сетей нейронов с импульсным синаптическим шумом. Обнаружено самовозбуждение глобальных колебаний даже при сильно разреженной сети связей.

Построена математическая модель, описывающая статистическое поведение больших систем элементов с внутренним импульсным шумом. В математических нейронах, теории перемежаемости и квантовой теории примесной проводимости (описывается теми же уравнениями), коллективные явления традиционно изучались в рамках так называемого «диффузионного приближения» (рис. 24).

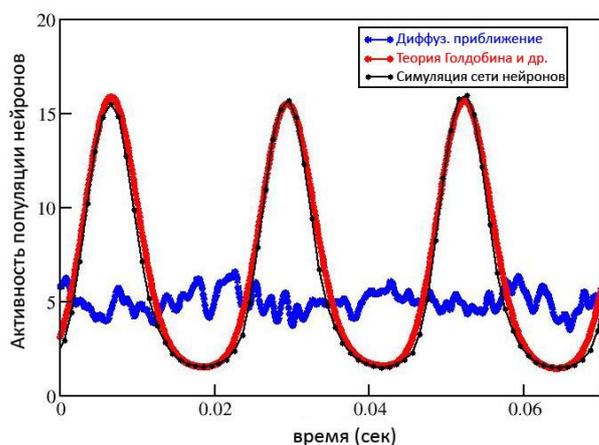


Рис. 24. Сравнение результатов, полученных с помощью нового подхода Голдобина и др. (красная линия), диффузионного приближения (синяя линия) и численного моделирования (черная линия)

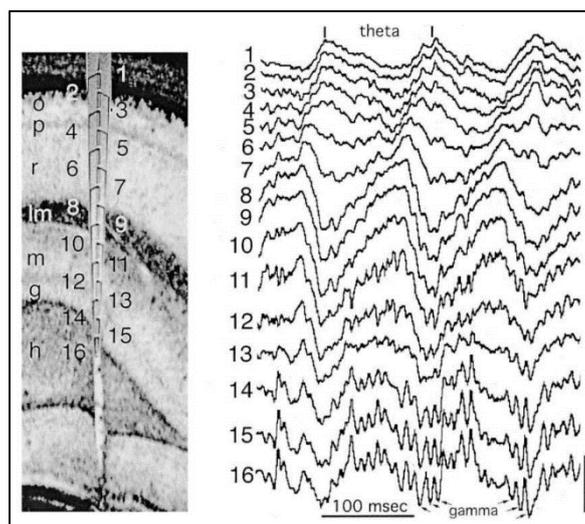


Рис. 25. Глобальные колебания в тканях мозга на различной глубине

Новая математическая модель предсказывает и позволяет исследовать явления, невозможные в рамках традиционного приближения. В частности, возникновение гамма-ритма мозговой активности в подсистемах с разреженной сетью связей, таких как зрительная зона коры головного мозга кошки или гиппокамп мыши (рис. 25).

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

15. Показано, что разность средней температуры кожи и крови модулирует амплитуду колебаний на поверхности кожи. В результате этого возникает эффект инверсии фазы колебаний температуры кожи под действием локального нагрева (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Система микроциркуляции крови – важнейшее звено сердечно-сосудистой системы, в котором происходят обменные процессы. Был проведен цикл экспериментальных и численных исследований, направленных изучение реакции кожной температуры на физиологические тесты, в результате которого было обнаружено изменение фазы и амплитуды кожной температуры, вызванное локальным нагревом. Температуру кожи измеряли на ладонной поверхности дистальных фаланг указательного, среднего и безымянного пальцев левой руки (пример показан на рис. 26).

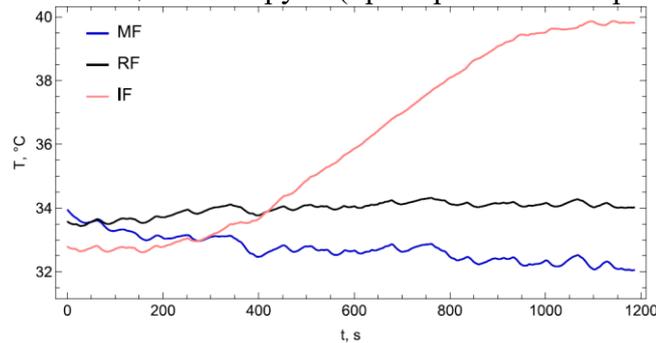


Рис. 26. Изменение температуры на поверхности дистальных фаланг указательного (IF), среднего (MF) и безымянного (RF) пальцев левой руки

В нативных условиях амплитуды колебаний кожной температуры всех пальцев имеют почти одинаковые значения и скоррелированы между собой. Во время нагрева амплитуда колебаний кожной температуры указательного пальца сначала уменьшается, но при переходе через 37°C восстанавливается с отрицательной корреляцией по отношению к двум другим пальцам (рис. 27).

Предложенная математическая модель способна продемонстрировать данный эффект и обосновать его теоретическое объяснение. Впервые представленный подход позволил показать, что разность средней температуры кожи и крови модулирует амплитуду колебаний кожной температуры и задает сдвиг фазы.

Основной вывод работы подчеркивает сложность задачи оценки микроциркуляции крови методами термометрии.

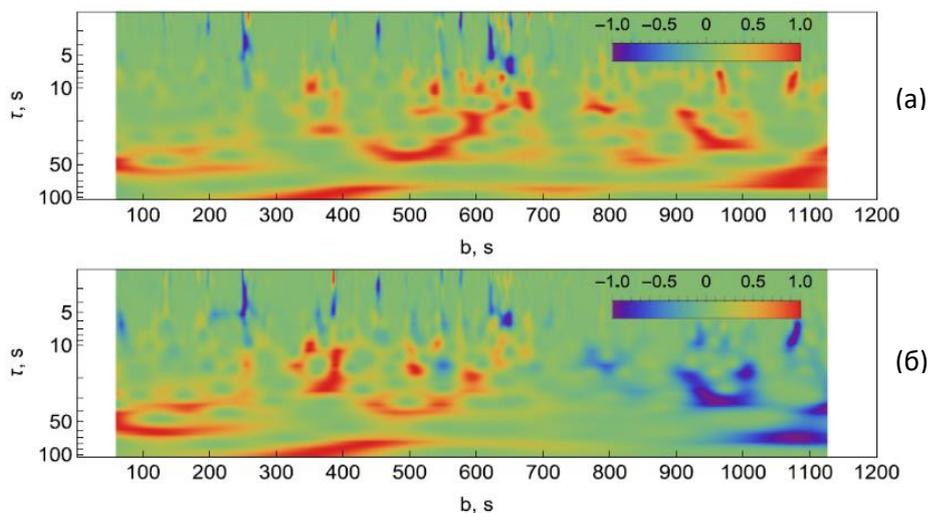


Рис. 27. Вейвлет спектрограммы корреляции колебаний температуры среднего и безымянного пальцев (а) и корреляции указательного и безымянного пальцев (б)

16. Формирование конвективных течений при слабом нарушении условий устойчивой стратификации (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

На примере задачи о свободной тепловой конвекции вблизи твердого включения в насыщенной жидкостью пористой среде, подогреваемой сверху, изучено формирование течений при слабом нарушении условий устойчивой стратификации. Использовано приближение типа Озеена, однако в отличие от обычного приближения Озеена квазилинеаризация применяется к нелинейным членам в уравнении энергии, а не в уравнении импульса. В предельном случае высокой теплопроводности включения, получено аналитическое решение задачи, удовлетворяющее граничным условиям и равномерно пригодное на любом расстоянии от включения. Для конечных значений отношения теплопроводностей включения и жидкости получено полуаналитическое решение.

Обнаружено, что в случае включения высокой теплопроводности, формируется конвективное течение, имеющее вид горизонтальных вихрей, причем в горизонтальной плоскости, проходящей через ось включения, жидкость движется от включения. В случае включения низкой теплопроводности направление конвективной циркуляции противоположно. Аналитические результаты подтверждены сравнением с численными результатами, полученными в рамках полного нелинейного подхода методом конечных разностей (рис. 28).

Рассмотренные явления носят общий характер. Их общей чертой является то, что слабое нарушение устойчивой стратификации приводит к возникновению конвективных течений в виде горизонтальных структур с горизонтальной составляющей скорости, значительно превышающей вертикальную. Причиной их возникновения является то, что устойчивая стратификация препятствует вертикальным течениям, связанным с работой против силы тяжести, но не препятствует горизонтальным течениям.

Актуальность изученной проблемы связана с широкими геофизическими и экологическими приложениями.

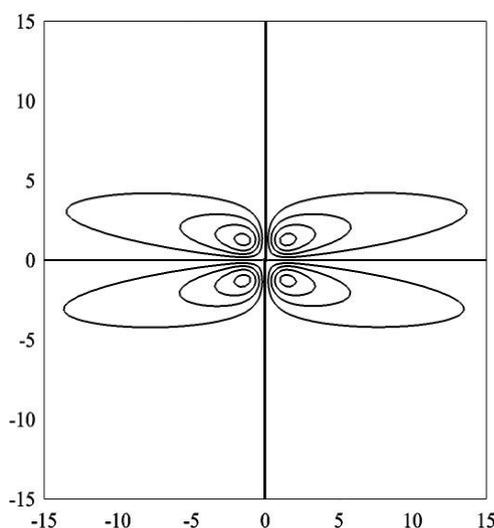


Рис. 28. Линии тока стационарного течения, полученные в рамках приближения Озеена для случая включения низкой теплопроводности, $Ra=10$

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

17. Влияние нерастворимого поверхностно-активного вещества на капиллярные колебания пузырька в жидкости (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Впервые теоретически и численно показана конкуренция двух мод колебаний газового пузырька в жидкости с ПАВ. В зависимости от значений упругости Гиббса система выбирает наименее быстро затухающее решение капиллярного либо «упругого» типов.

Настоящее исследование посвящено анализу капиллярных колебаний газового пузырька в жидкости с адсорбированным на поверхности нерастворимым поверхностно-активным веществом. Исследовано влияние упругости Гиббса, вязкостей жидкости и газа, а также сдвиговой и дилатационной поверхностных вязкостей на затухание свободных колебаний. Определены зависимости сдвига частоты и декремент затухания от параметров задачи (рис. 29).

В пределе малых вязкостей и пренебрежении поверхностной диффузией поверхностно-активного вещества получено упрощенное дисперсионное уравнение, включающее конечные параметры поверхностных вязкостей и упругости Гиббса. Из этого уравнения выявлены условия, при которых затухание капиллярных колебаний может происходить с малой частотой. Численные решения полного дисперсионного уравнения показывают, что для рассматриваемой конфигурации невозможен неосцилляционный режим.

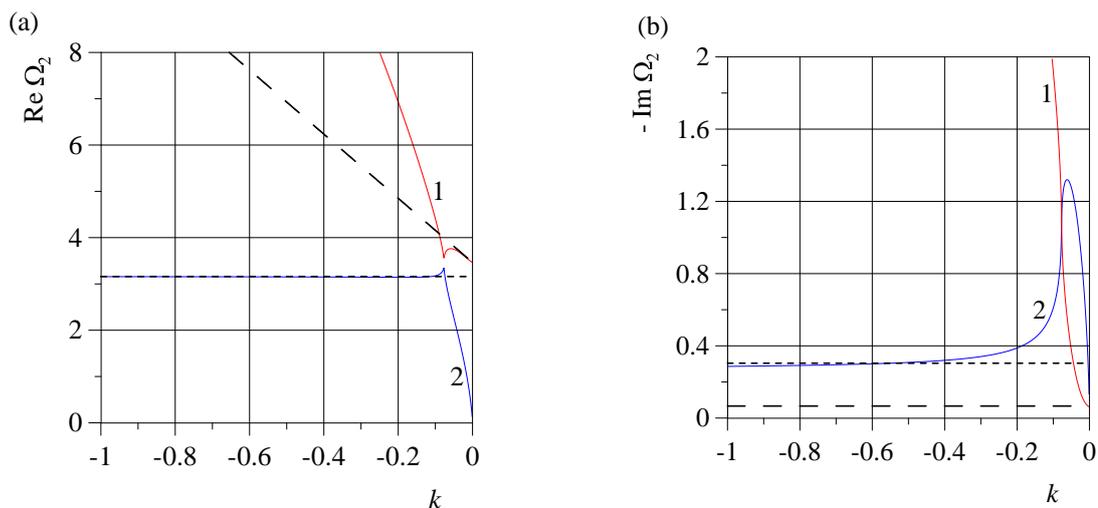


Рис. 29. Зависимости безразмерной собственной частоты и декремента затухания от параметра упругости Гиббса k для диссипативного параметра жидкости $\delta_1 = 1/300$.

Сплошные линии 1 и 2 - два разных решения

Обнаружена дополнительная мода, связанная с упругостью Гиббса, характеризующаяся низкой собственной частотой и декрементом затухания. Получены приближенные соотношения для комплексной собственной частоты колебаний пузырька в маловязкой жидкости в присутствии поверхностно-активного вещества, включая оценку вклада газа внутри пузырька в вязкую диссипацию.

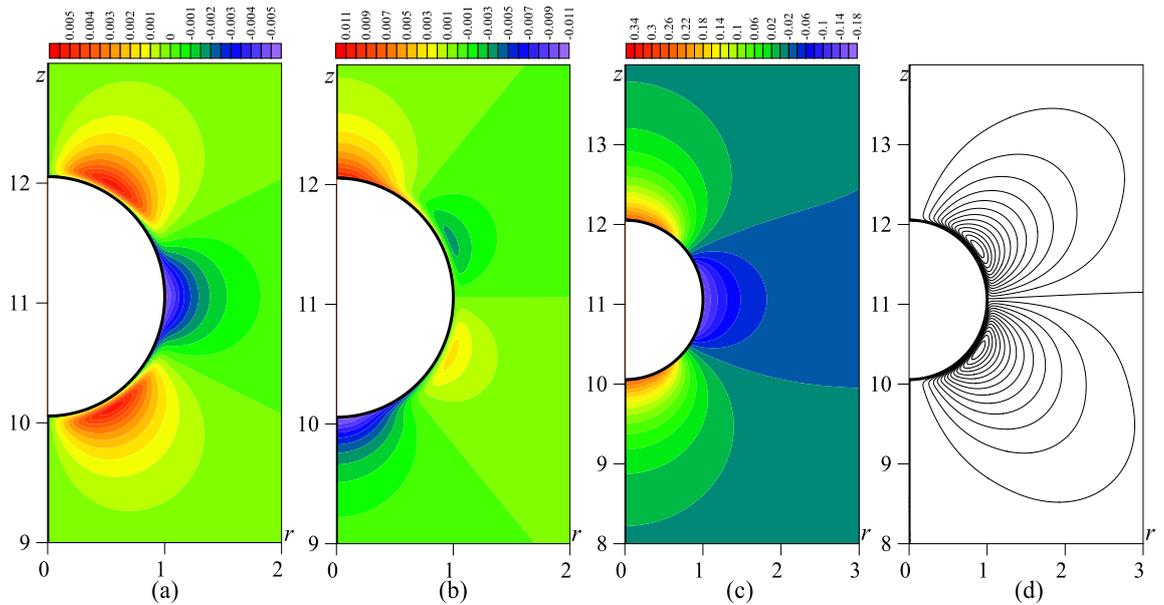


Рис. 30. Распределение радиальной (а) и аксиальной (б) компонент скорости, давления (с) и линий тока (д) при $t = 0,6$, когда форма поверхности близка к сферической. Диссипативный параметр жидкости $\delta_1 = 1/300$ и параметр упругости Гиббса $k = -1$

Предложен оригинальный лагранжево-эйлеров метод, который используется для проведения прямого численного моделирования (рис. 30) на основе полного нелинейного уравнения Навье-Стокса и естественных граничных условий на границе раздела, учитывающих сдвиговую и дилатационную вязкости. Численные данные о процессе затухания подтверждают результаты линейной теории.

Потенциальным применением полученных результатов может быть определение реологических характеристик поверхностей, покрытых поверхностно-активными веществами, что весьма важно для планирования экспериментальных исследований поведения жидкостей, содержащих пузырьки, путем измерения частоты и декремента затухания колебаний пузырьков, изменяющих свою форму.

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

18. Влияние гистерезиса краевого угла на колебания зажатого газового пузырька (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Изучаются вынужденные осесимметричные колебания зажатого газового пузырька под действием осциллирующего поля давления.

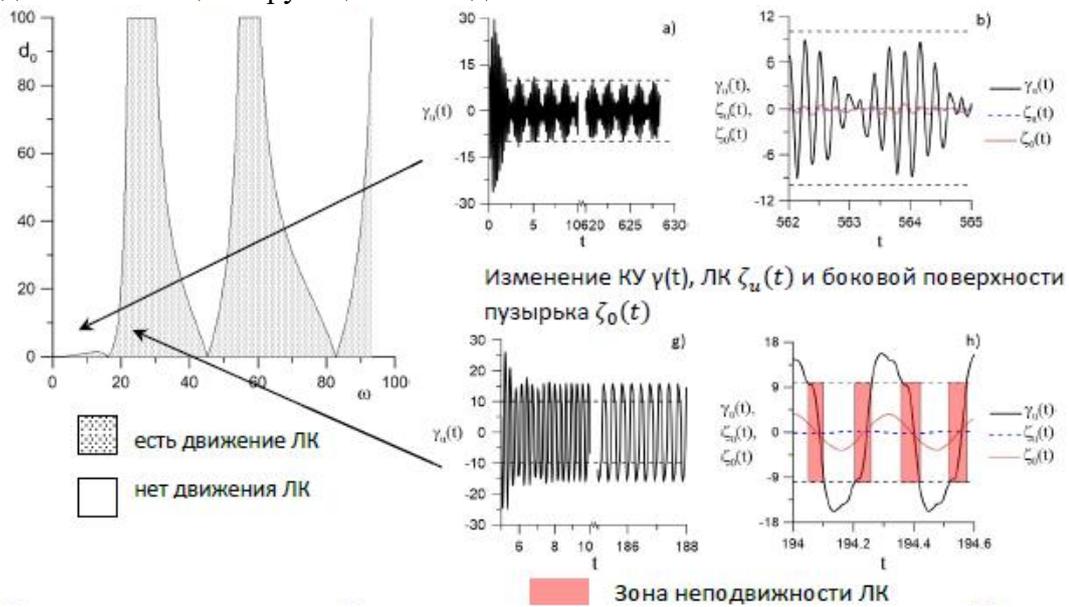


Рис. 31. Демонстрация существования трёх типов резонансов: линейного резонанса, двойного резонанса на границе смены режимов движения линии контакта и двойных резонансных колебаний только для сжимаемого пузырька

Применяются специфические граничные условия: скольжение контактной линии может реализоваться только при отклонении контактного угла, превышающем некоторое критическое значение. В результате может наблюдаться динамика прилипания-скольжения.

Показано существование трёх типов резонансов: линейного резонанса, двойного резонанса на границе смены режимов движения линии контакта и двойных резонансных колебаний только для сжимаемого пузырька (рис. 31). Кроме того, продемонстрировано явление нулевых главных частот собственных колебаний и отсутствие резонансного пика в этом случае. Предложена диаграммная техника, позволяющая определить параметр смачивания (рис. 32).

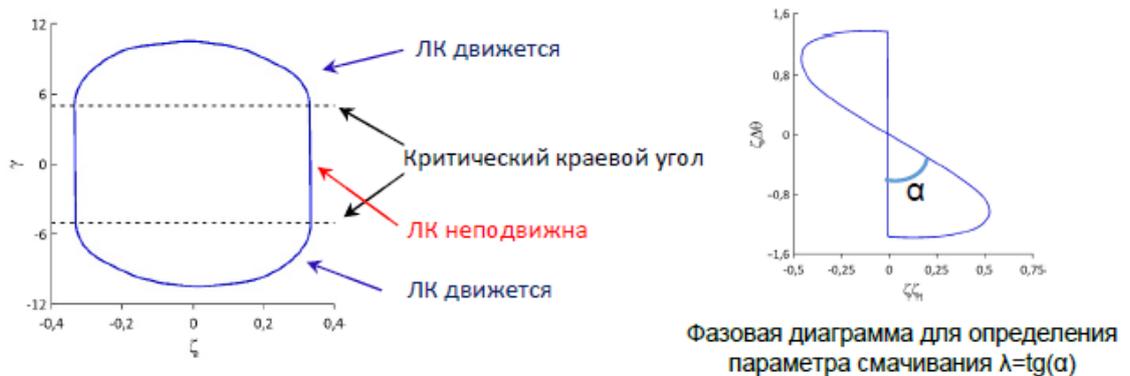


Рис. 32. Диаграммная техника, позволяющая определить параметр смачивания

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

19. Выявлены фундаментальные аспекты процессов разделения водонефтяных эмульсий в неоднородном высокочастотном электрическом поле (2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва).

Проведены исследования разделения водомасляных эмульсий в неоднородном высокочастотном электрическом поле, позволившие обосновать новые подходы в электродегидратации. Предложенный подход позволяет избавиться от ряда недостатков современных схем электродегидраторов, использующих постоянные однородные электрические поля, что существенно ограничивает эффективность их применения. В частности, показано отсутствие эффектов формирования капельных цепочек, приводящих к короткому замыканию, и эффектов обратного распада капель в полях большой напряженности. Проведен аналитический анализ, позволивший определить безразмерные параметры задачи, что открывает путь к оптимизации процесса разделения и проектированию нового типа электродегидраторов, базирующихся на использовании высокочастотного неоднородного электрического поля (рис. 33).

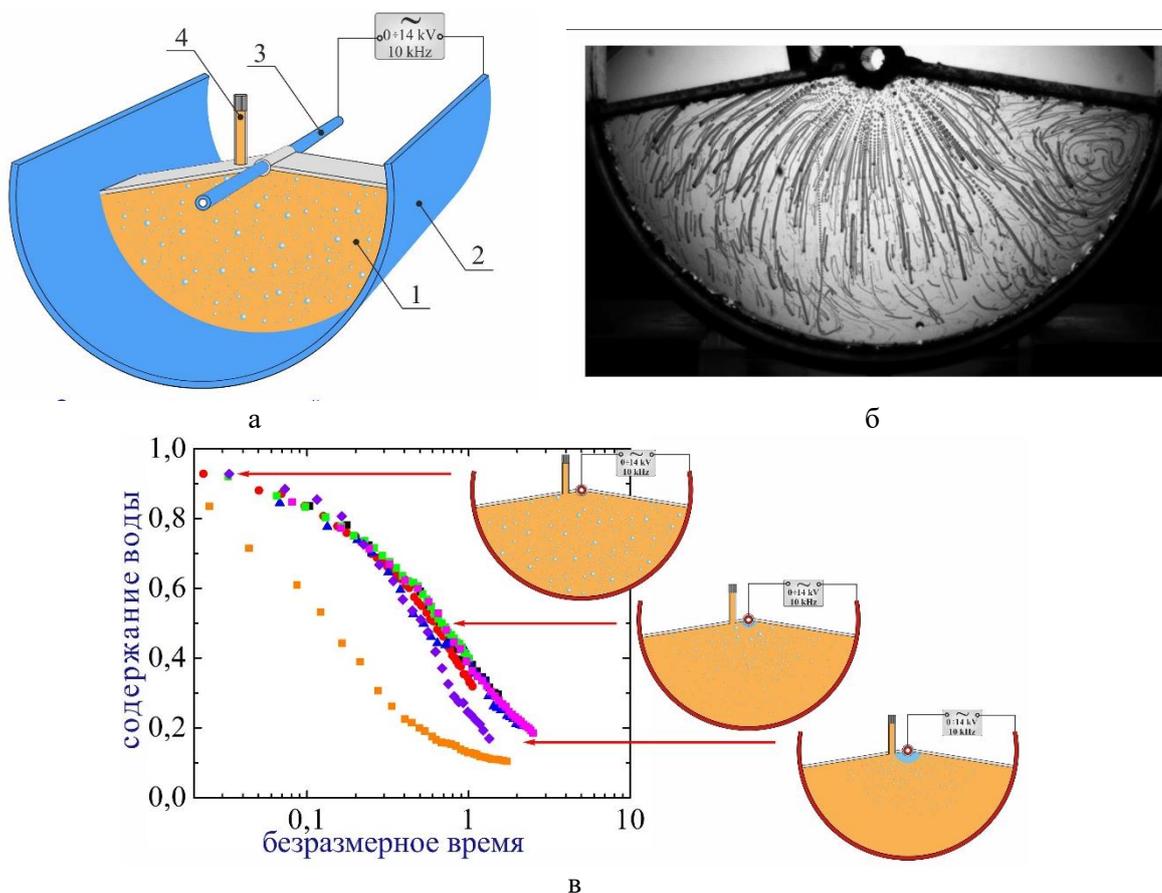


Рис. 33. (а) - схема экспериментальной установки, (б) – траектории капель воды при движении к центральному электроду, (в) – результаты экспериментов, объединенные единой зависимостью на графике безразмерного содержания воды в эмульсии как функция безразмерного времени

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

20. Разработана и развернута на пилотном объекте в г. Якутске система деформационного мониторинга (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).

Система деформационного мониторинга представляет собой программно-аппаратный комплекс, предназначенный для непрерывного контроля текущего технического состояния строительной конструкции. На основании анализа измеренных показаний фиксируются изменения деформированного состояния наблюдаемого объекта (рис. 34).

Система сбора данных работает круглосуточно, обмен информацией осуществляется как по локальной сети, так и через Интернет. Такая реализация системы позволяет спрогнозировать и предотвратить переход объекта наблюдения в аварийное состояние, которое может быть вызвано таянием грунтов криолитозоны. Система содержит в себе адаптированные к условиям низких температур датчики измерения относительных осадок сооружения, инклинометры, термометры, датчики контроля влажности и точки росы.

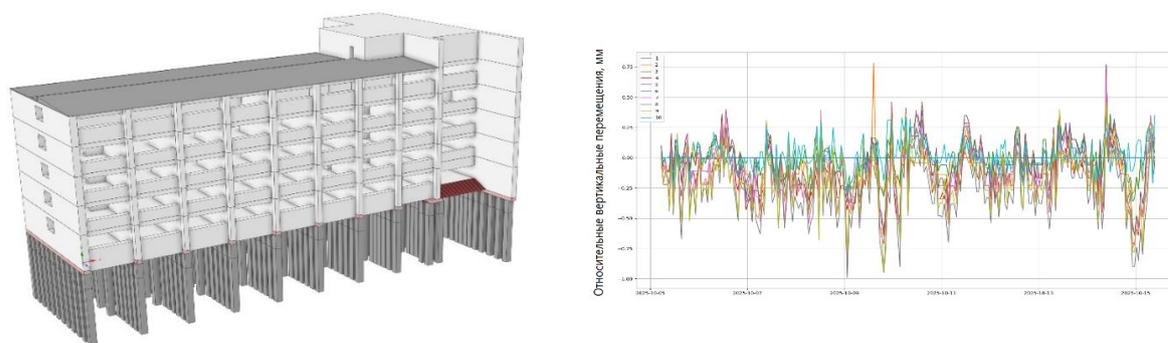


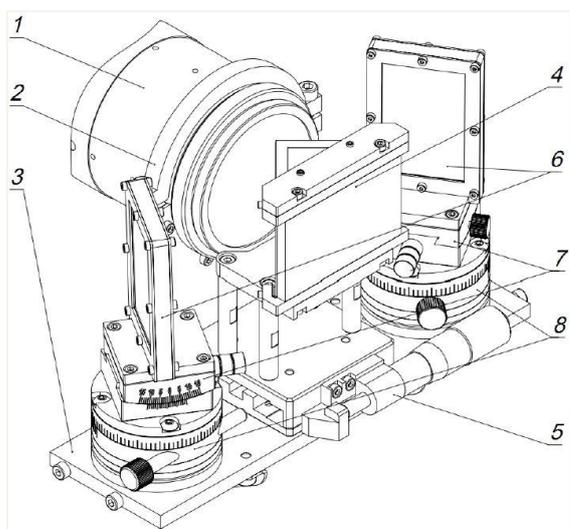
Рис. 34. (а) – модель 5-ти этажного здания, на котором развернута система деформационного мониторинга; (б) – результаты измерений относительных вертикальных перемещений здания в 10-ти контрольных точках.

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

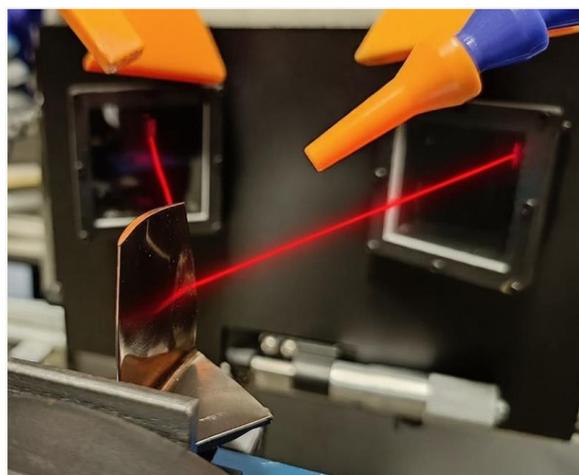
21. Разработана оптическая система для синхронной двусторонней лазерной ударной обработки тонкостенных лопаток ГТД (2.3.1.3. Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред).

Актуальной задачей в области авиадвигателестроения является упрочнение тонких кромок лопаток ГТД методом лазерной ударной обработки (ЛУО).

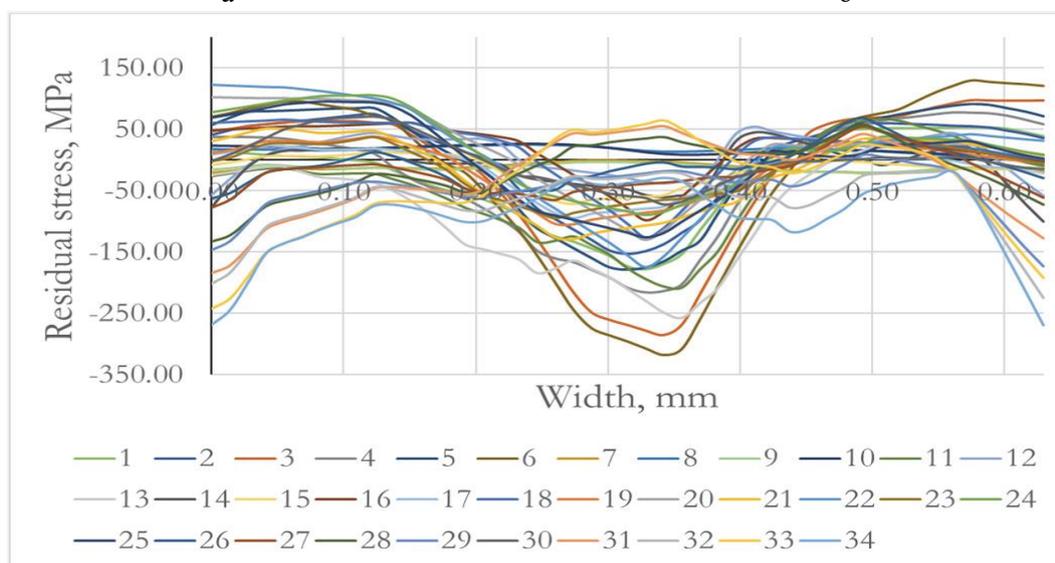
Традиционная односторонняя ЛУО приводит к деформациям и появлению растягивающих напряжений на поверхностях тонкостенных деталей, тогда как синхронная двусторонняя обработка обеспечивает взаимную компенсацию воздействий, предотвращает изгиб и создает равномерный слой сжимающих напряжений по контуру кромки.



а



б



в

Рис. 35. (а) внешний вид и основные узлы (вид без защитного кожуха): 1 – оптико-технологическая голова; 2 – хомут, 3 – платформа, 4 – призма на стойке, 5 – устройство линейной регулировки, 6 – зеркала, 7 – гониометры, 8 – поворотное устройство регулировки; (б) иллюстрация двустороннего лазерного удара по кромке лопатки; (в) график зависимости остаточных напряжений от глубины после различных режимов ЛУО (численный расчет)

В «ИМСС УрО РАН» реализована установка (рис. 35 (а), (б)), включающая оптическую голову и призму, разделяющие исходный лазерный луч на два пучка

с идентичными характеристиками для синхронного воздействия на противоположные поверхности детали.

Численное моделирование процесса двусторонней синхронной ЛУО кромки лопатки в разных режимах подтвердило эффективность данного способа. На рисунке 35 (в) представлены полученные расчетные профили остаточных напряжений по толщине кромки. Сформированная база данных позволила определить режимы, обеспечивающие оптимальное поле остаточных напряжений в области кромки лопатки.

(Институт механики сплошных сред УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

«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»)

прогнозирование выбросов окиси углерода дизельных двигателей горной техники с использованием нейросетевого подхода (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр).

На основе методов машинного обучения и символьной регрессии выявлены количественные закономерности формирования массового расхода выхлопных газов и концентрации окиси углерода при изменении режимов работы дизельной техники, эксплуатируемой в подземных горных выработках. Полученные зависимости позволяют корректно учитывать влияние турбонаддува, крутящего момента и рециркуляции отработавших газов. Выявлен важный для практики рудничной аэрологии результат о том, что давления турбонаддува и катализатора принципиально изменяют классическую связь между расходом выхлопа, частотой вращения и рабочим объемом двигателя (рис. 36).

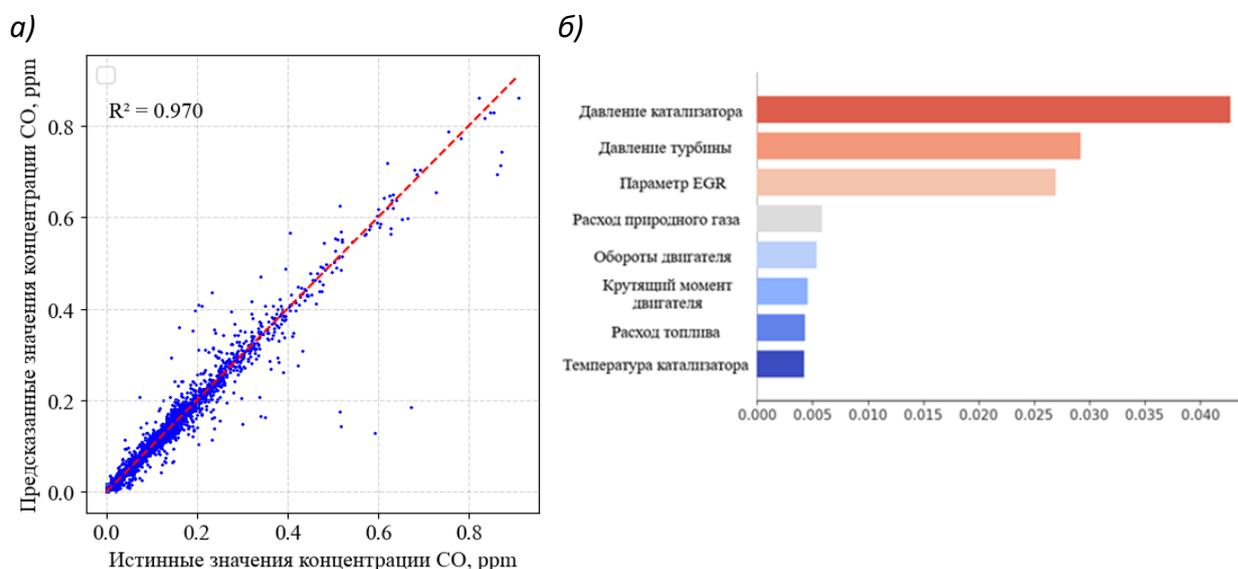


Рис. 36. Кривая верификации концентрации окиси углерода (а); анализ важности признаков нейронной сети для прогноза окиси углерода (б)

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН совместно с Институтом механики сплошных сред УрО РАН – филиалом ПФИЦ УрО РАН)

23. Упруго-вязкопластическая модель деформирования и разрушения соляных междукammerных целиков (2.3.7.1. Геомеханика, гидро- газо- и термодинамика горных пород; физико-химические свойства и разрушение геоматериалов).

Разработан подход к моделированию процессов деформирования соляных междукammerных целиков и вмещающих пород во времени с учётом их предельного состояния, основанный на упруго-вязкопластической модели среды и модификации метода проекции напряжений. Метод реализован для объёмного критерия пластичности и критерия Кулона-Мора в связке с вязкопластической моделью подобной закону Перича и позволяет адекватно отразить нарастание во времени деформаций междукammerных целиков, развитие зон разрушения вмещающих пород и может быть включён в методическую схему оценки долговременной безопасности горных работ на калийных рудниках (рис. 37).

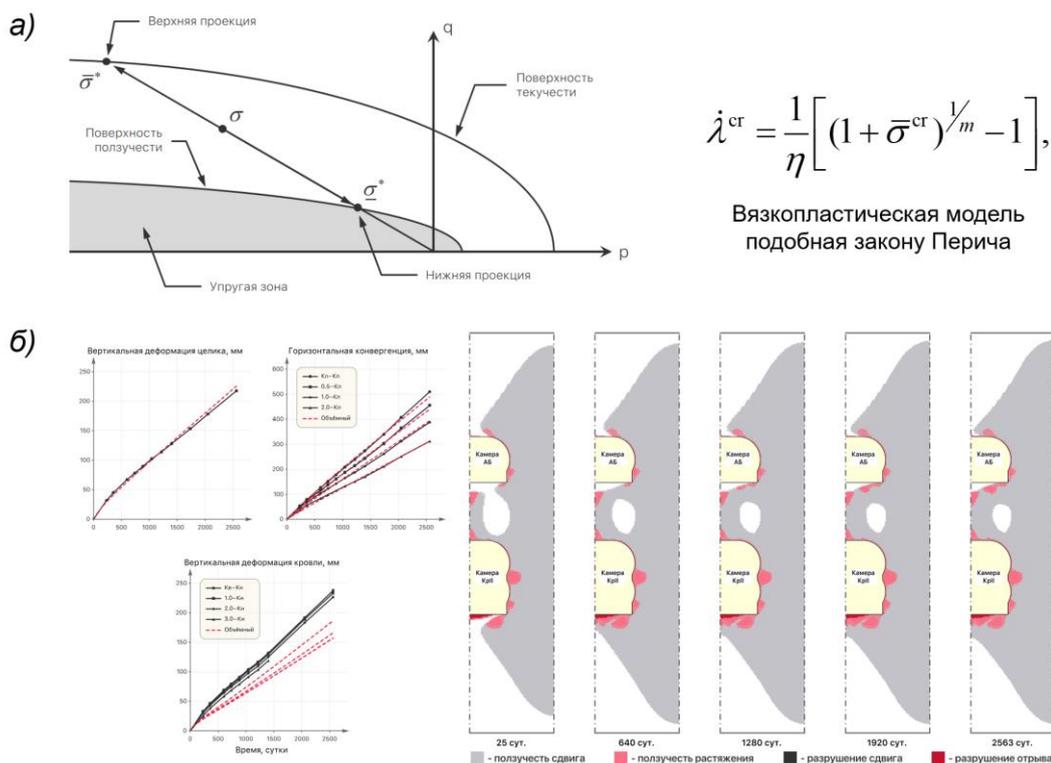


Рис. 37. Модифицированный метод проекции напряжений (а), результаты моделирования процесса ползучести в камерном блоке с использованием модифицированного метода проекции напряжений (б)

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

одель нестационарного водораспределения в системе противопожарных трубопроводов глубокого рудника (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр).

Предложена и верифицирована по данным натурных измерений численная модель нестационарного водораспределения в системе подземных пожарных трубопроводов глубокого рудника, особенностью которого является подача воды через несколько стволов. Введенный метод расчёта степени заполненности трубопроводов водой и алгоритм работы редукционного клапана позволили воспроизвести реальную цикличность опустошения и заполнения водой системы, а также выявить критические участки и периоды её работы (рис. 39). Модель обеспечивает достоверное описание динамических процессов, возникающих при работе запорной и регулирующей арматуры рудничных пожарных трубопроводов, и тем самым формирует основу для повышения управляемости и энергоэффективности шахтных систем водоснабжения.

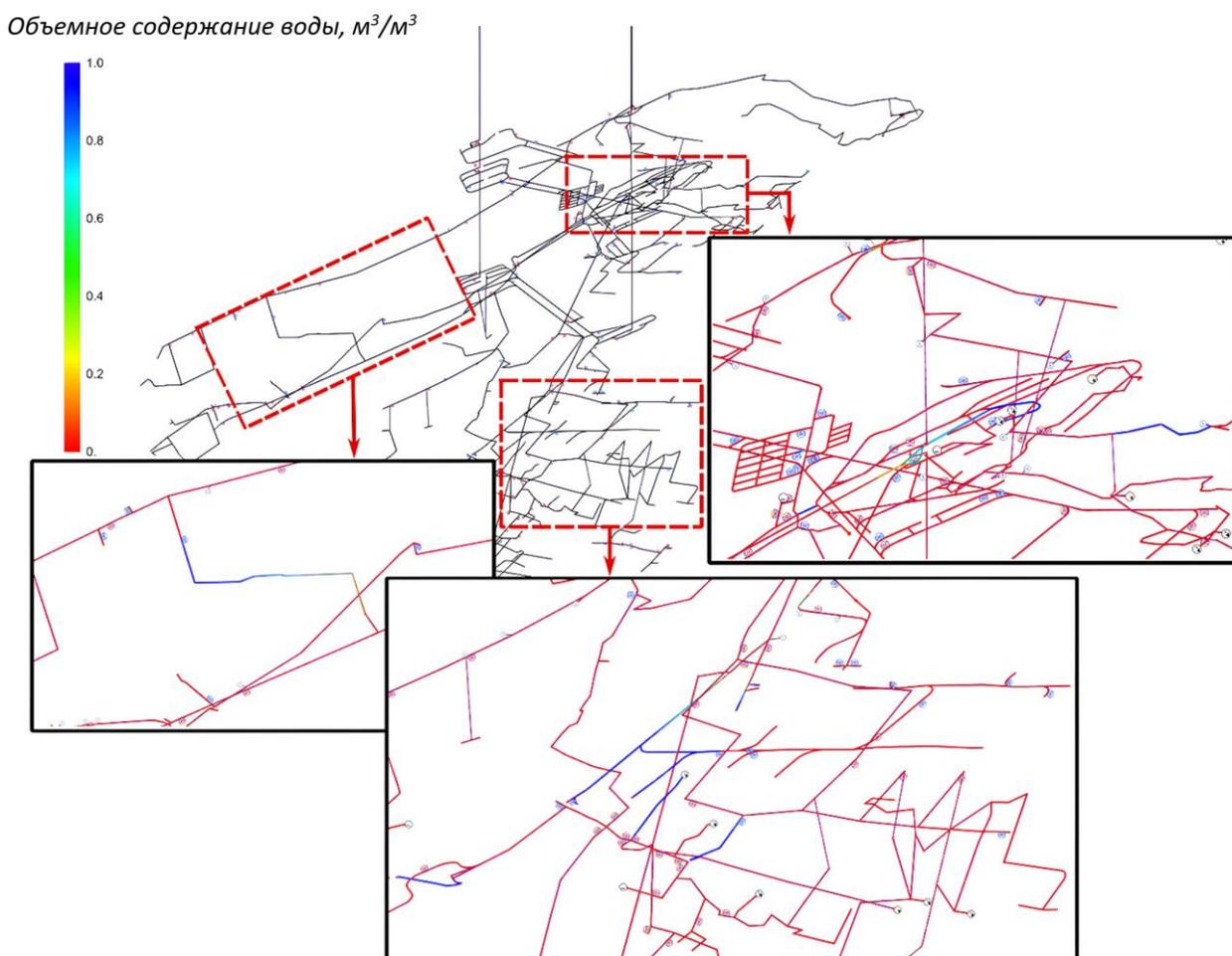


Рис. 39. Рассчитанное распределение степени заполненности водой пожарных трубопроводов подземного рудника

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

одель нестационарного проветривания тупиковой выработки калийного рудника с работающим комбайновым комплексом (2.3.7.3. Моделирование горнотехнических систем и процессов техногенного преобразования недр).

Разработана и валидирована по экспериментальным данным численная модель нестационарного проветривания тупиковой выработки калийного рудника с работающим комбайновым комплексом. Адаптация и применение метода динамических сеток позволило воспроизвести фактическую динамику концентраций газа и микроклиматических параметров в исследуемой горной выработке с учетом влияния дискретных технологических процессов — циклов включения/выключения вентиляторов охлаждения проходческого комбайна и траектории движения самоходного вагона (см. рис. 40).

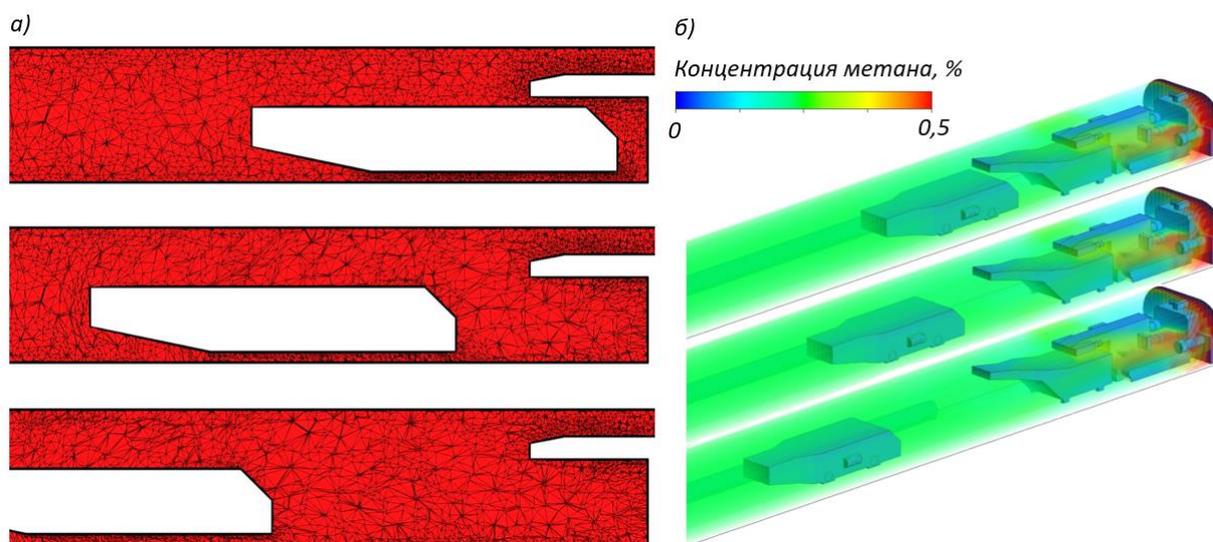


Рис. 40. Динамическое перестроение сетки в процессе моделирования (а) поля концентрации метана в тупиковой выработке с комбайновым комплексом Урал 20-Р в различные моменты времени (б)

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

27. Методика контроля напряженного состояния элементов камерной системы разработки с использованием скважинных датчиков нагрузки (2.3.7.1. Геомеханика, гидро- газо- и термодинамика горных пород; физико-химические свойства и разрушение геоматериалов).

Разработана конструкция скважинного датчика измерения напряжений, оснащенная модулем on-line регистрации данных, и предложена методика его использования для оценки изменения напряжений в квазипластичных породах при ведении горных работ. Методика позволяет реализовать мониторинг напряженного состояния элементов камерной системы разработки в режиме реального времени. Получаемая информация является определяющей при оценке устойчивых размеров междуканнерных целиков, сроков их службы и последующей оптимизации извлечения полезного ископаемого из недр (рис. 41).

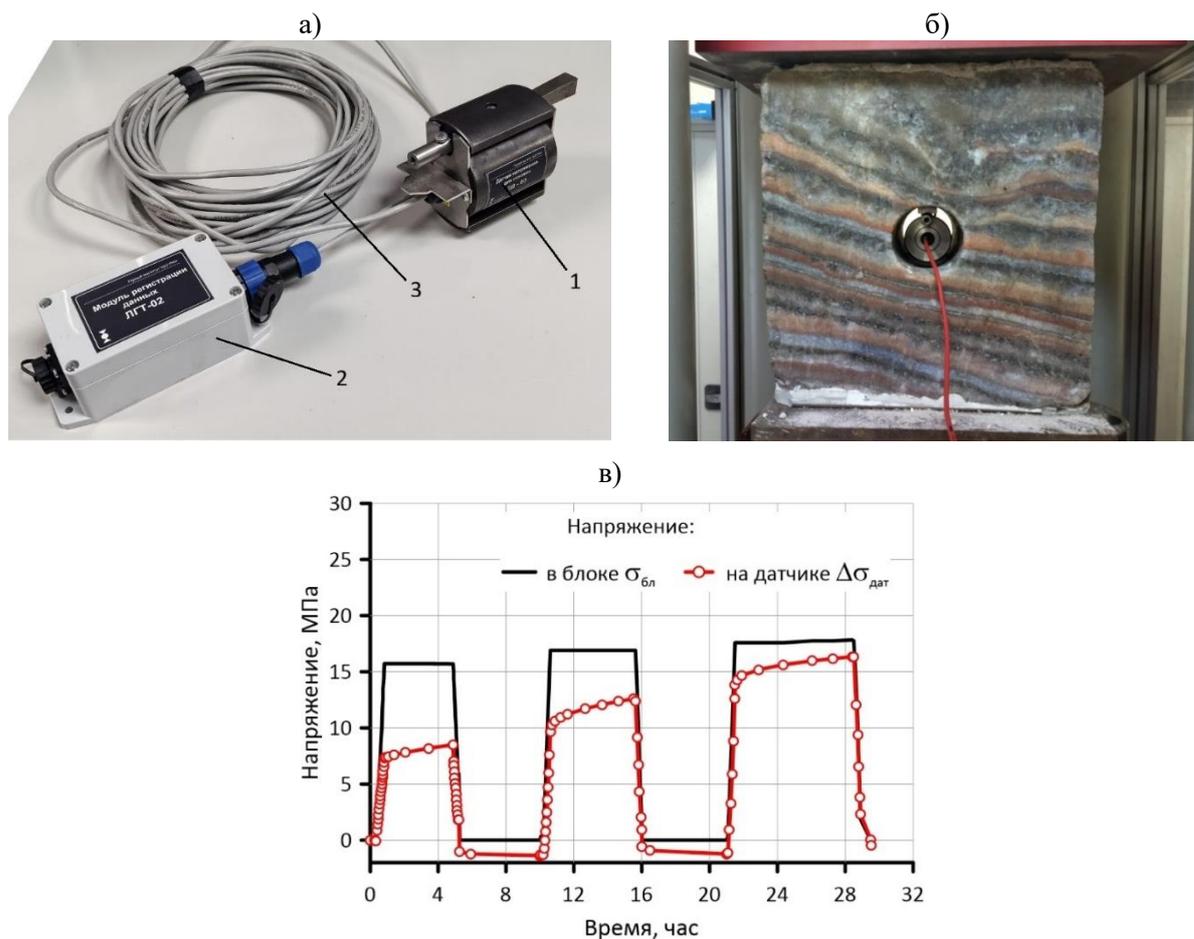


Рис. 41. Стендовые испытания датчика напряжений в породном блоке, нагружаемом с помощью гидравлического пресса: а – общий вид разработанного оборудования (1 – датчик напряжений; 2 – модуль регистрации данных; 3 – кабель); б – фото проведения эксперимента; в – результаты ступенчатого нагружения блока

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

28. Способ сейсмоакустического прогноза неоднородностей породного массива из забоя горной выработки (2.3.7.4. Методы мониторинга опасных техногенных процессов; безопасного ведения горных работ).

Для выявления акустически контрастных физико-геологических неоднородностей породного массива вокруг забоя горных выработок разработан способ сейсмоакустической локализации отражающих объектов в горизонтальной плоскости, реализуемый в идеологии суммирования по общей глубинной точке с использованием малоапертурной приемной расстановки. На результатах полноволнового моделирования и целого ряда практических экспериментов показана возможность использования для этих целей поперечных волн вертикальной поляризации. Разработан алгоритм подавления отраженных волн, пришедших из нецелевых областей пространства. Проведены полевые испытания на контрольных объектах в реальных условиях соляных шахт (рис. 42).

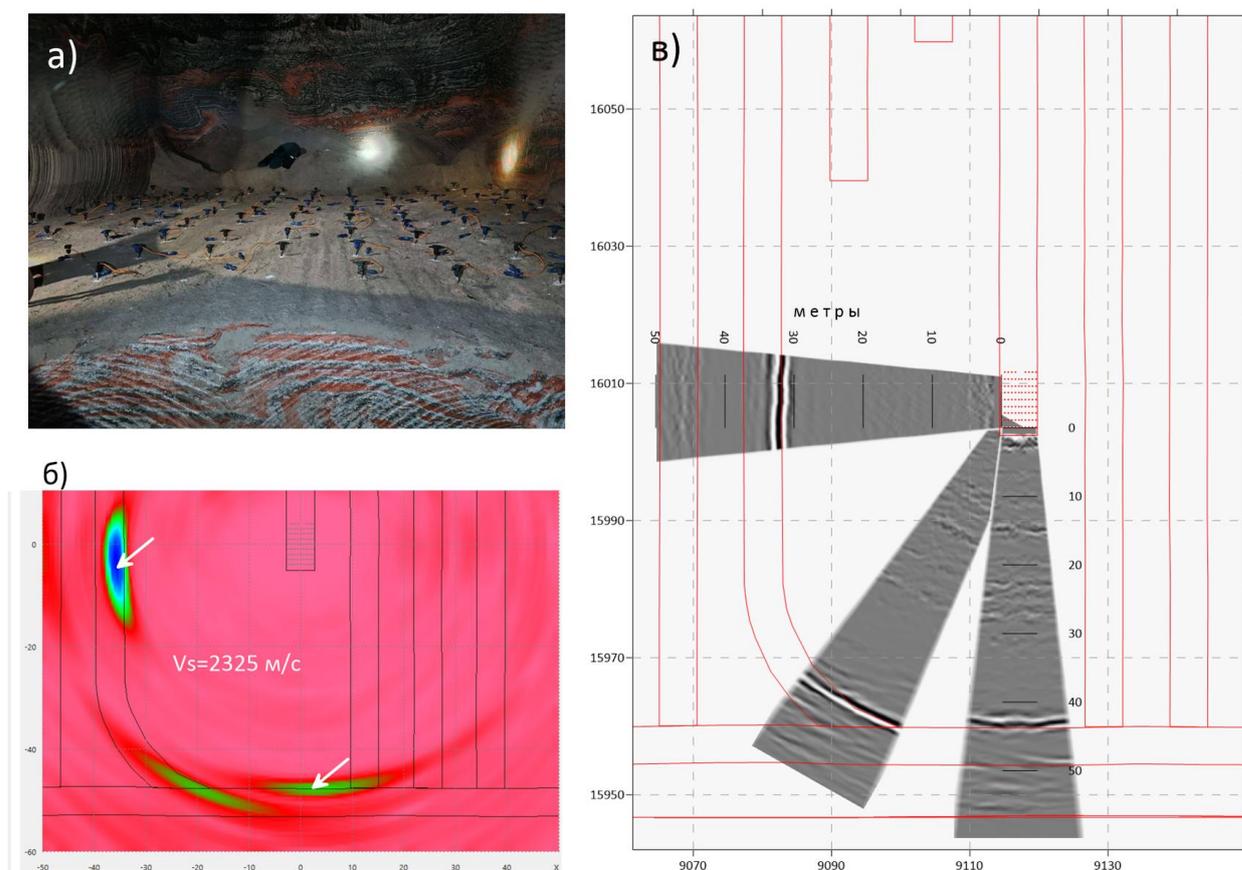


Рис. 42. Опробование способа сейсмоакустической локализации в натуральных условиях: а – расстановка геофонов в забое выработки, б – отражение контрольных объектов в результатах миграции Кирхгофа, в – отражение контрольных объектов на разрезах ОГТ

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

29. Модель накопления годового слоя соляной толщи Верхнекамского месторождения на различных стадиях галогенеза (2.3.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли).

Установлено, что соленакопление на всем протяжении происходило в стабильном мономиктическом гидродинамическом режиме, характеризующемся усадкой солей в весенне-летний период на дне бассейна (друзовидный и друзовидно-шестоватый перистый галитит, друзовидный и древовидный карналлитит), а в осенне-зимний период – во всей толще воды (кумулятивные галит, сильвин, карналлит, зернистые корочки карналлита, рис. 43).

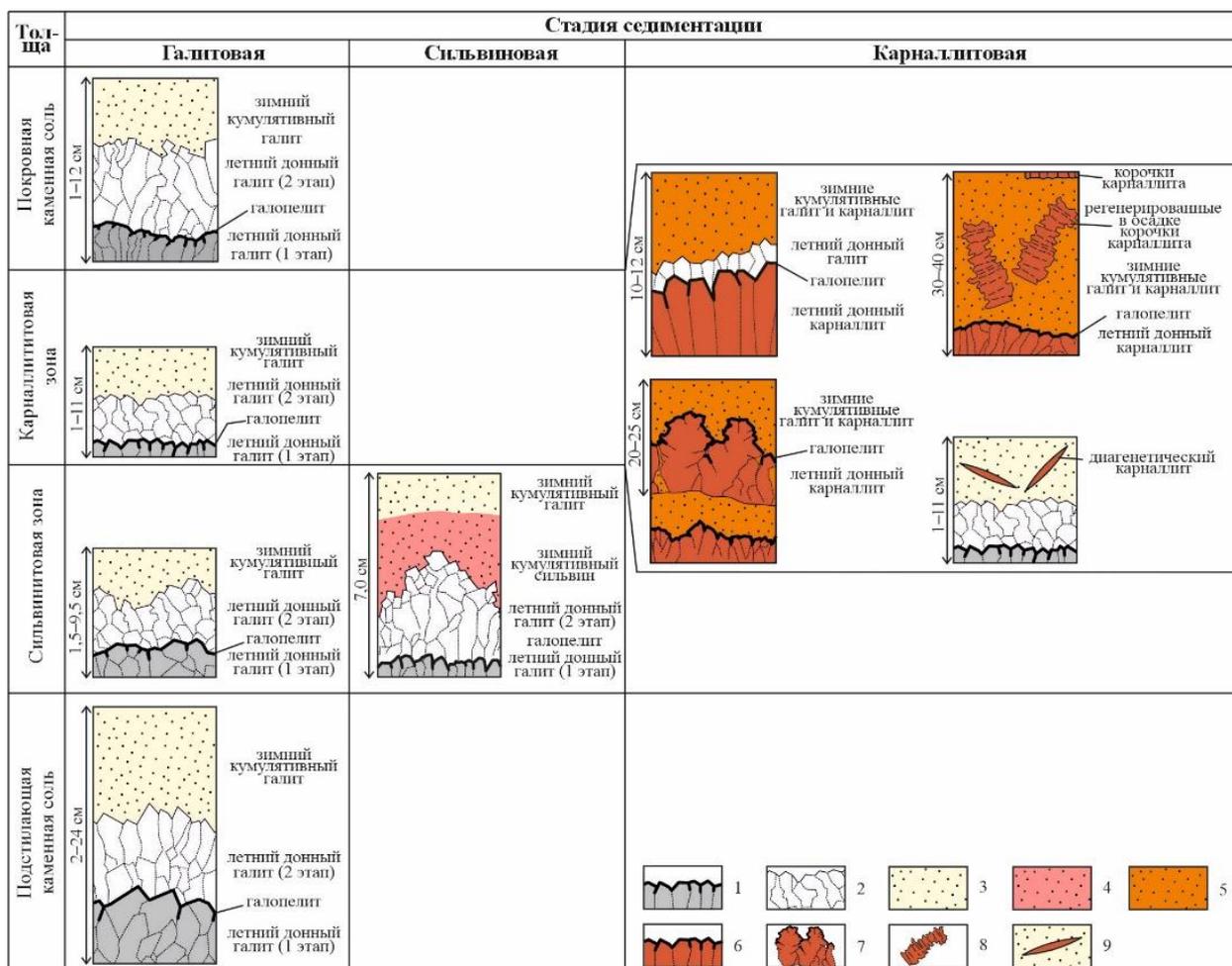


Рис. 43. Модель накопления годового слоя из различных частей соляной толщи Верхнекамского месторождения на различных стадиях галогенеза: 1–3 – каменная соль (1 – серая перистая, 2 – белая перистая, 3 – зернистая); 4 – зернистый сильвинит; 5 – зернистый галит-карналлитовый агрегат; 6 – друзовидный карналлитит; 7 – древовидные (расщепленные) кристаллы карналлита; 8 – зернистые корочки; 9 – пластинчатые индивиды карналлита в зернистом галитите

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

30. Закономерности формирования в приповерхностном газовом фоне аномалий, отражающих поступление миграционных компонентов из нижележащей части разреза (2.3.11.1. Гидрология, гидрохимия и экологическое состояние вод суши).

Установлено, что в условиях калийных месторождений деформация породного массива сопровождается высвобождением связанных газов и их последующим перераспределением в надсолевой части разреза. В пределах геодинамически активных зон преобладающими механизмами миграции газов является пульсационный адвекционный массоперенос пузырьков газов в сухих трещинах и их всплытие в водоносных толщах и в трещинах, заполненных водой. Интенсивность поступления углеводородных газов в приповерхностную часть разреза позволяет контролировать характер происходящих в породном массиве деформационных процессов, определяющих степень флюидопроницаемости зон природно-техногенной трещиноватости (рис. 44).

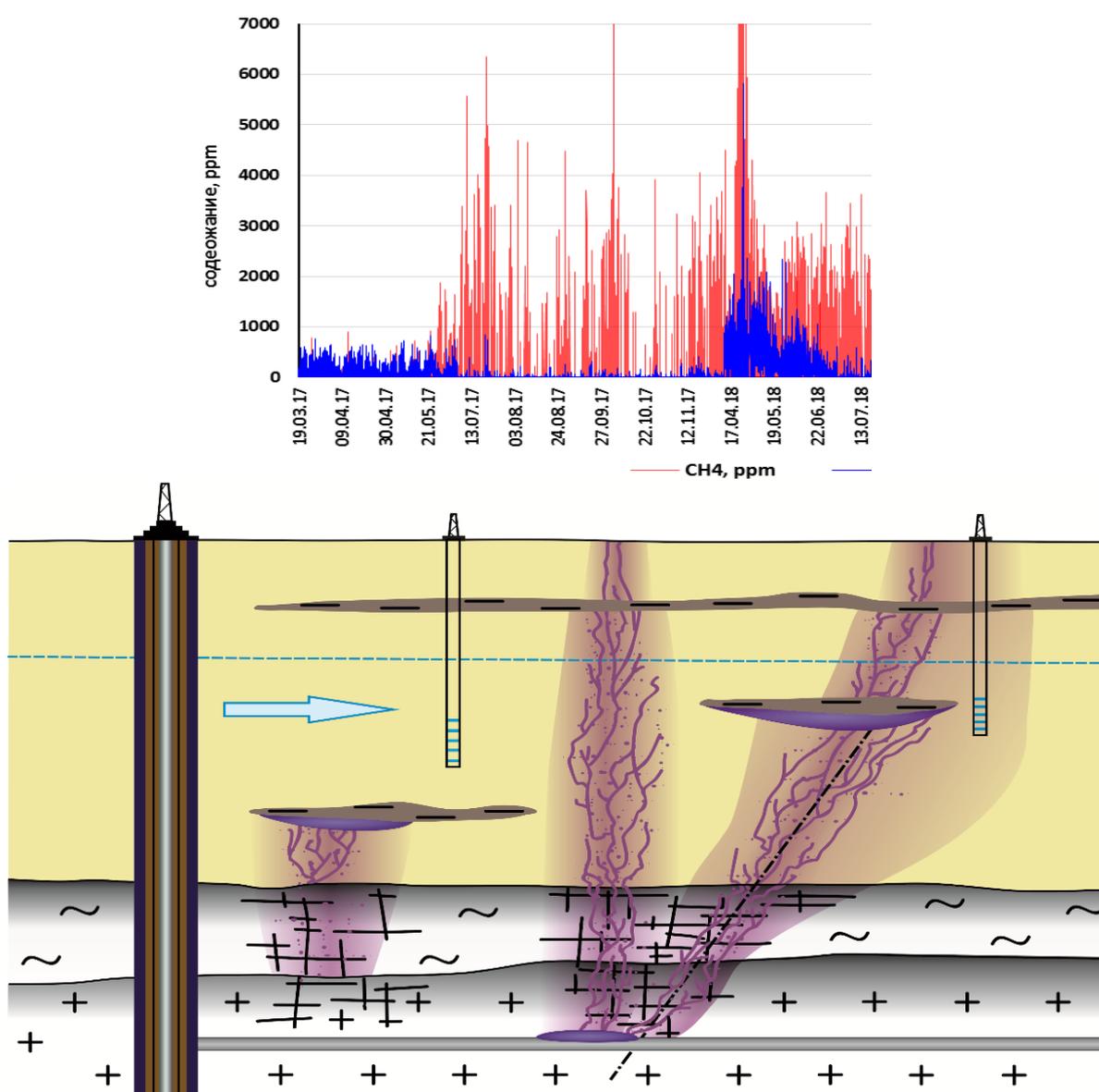


Рис. 44. Характер миграции газа в надсолевой части разреза Верхнекамского Месторождения

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

31. Гравиметрический контроль состояния аварийных участков Верхнекамского месторождения солей (2.3.1.4. Геофизические методы поисков и разведки полезных ископаемых).

Выявление природных и техногенных зон изменения плотности в подработанном массиве по данным гравиметрического мониторинга позволяет конкретизировать форму и место проявления техногенных деформаций в пространстве подработанной толщи и прогнозировать участки опасных геологических процессов и контролировать процесс ликвидации аварий (рис. 45), что повышает безопасность эксплуатации Верхнекамского месторождения.

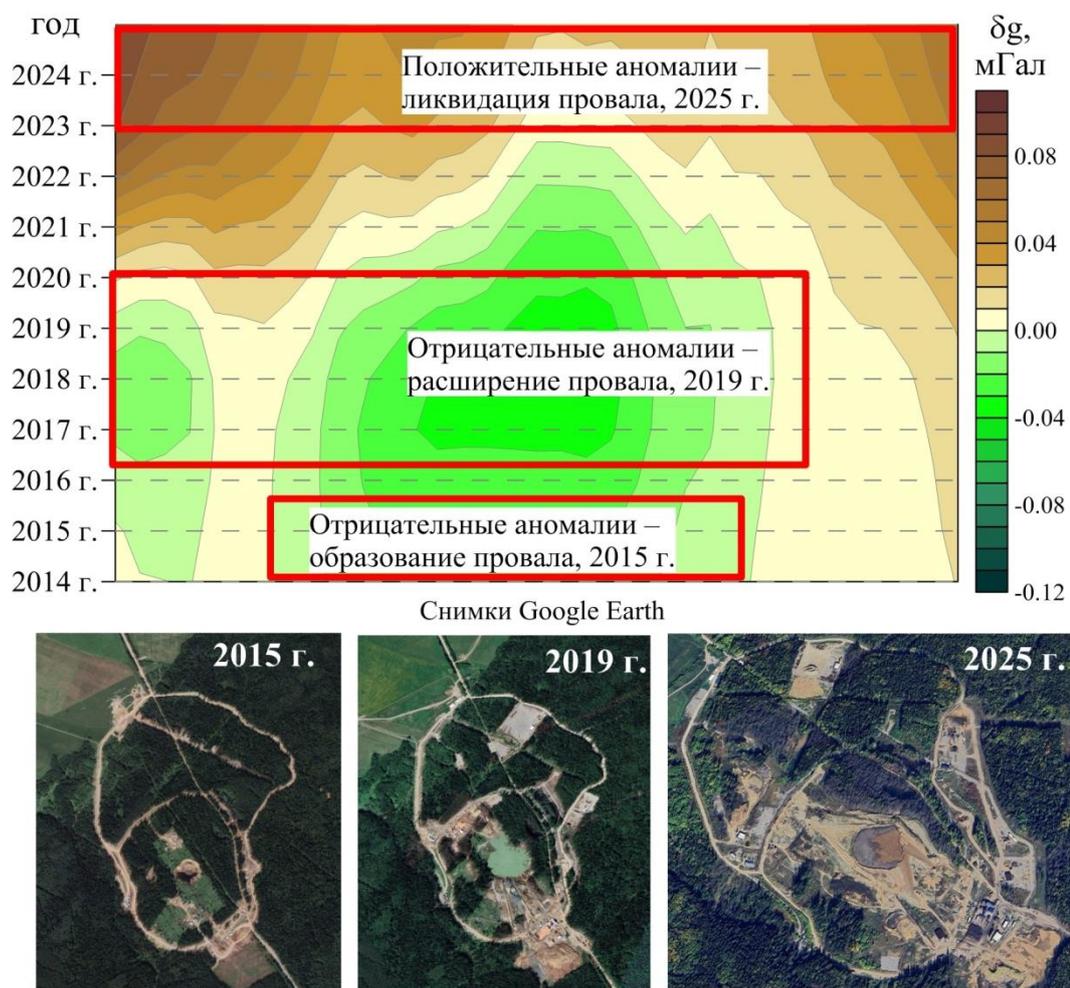


Рис. 45. Изменения гравитационного поля относительно 2014 г.

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

32. Методика калибровки сейсмометрического оборудования с использованием эталонного прибора в условиях высокого уровня фоновых сейсмических помех (2.3.1.5. Сейсмология и методы сейсмической томографии).

Активное использование сейсмоприемников в различных отраслях требует высокой точности и надежности их показаний. Достоверность данных, получаемых с помощью этих приборов, становится критически важной для своевременного выявления и предотвращения возможных повреждений и аварий. С целью уточнения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) приборов была разработана и практически опробована методика относительной калибровки с помощью эталонного прибора. Установлено, что фактическая АЧХ сейсмометров, находящихся в длительной эксплуатации, может значительно отличаться от паспортных значений (рис. 46). Также показана необходимость учета собственного уровня шумов сейсмометров, даже при проведении измерений в условиях высокого уровня фоновых микросейсм (например, в центре мегаполиса).

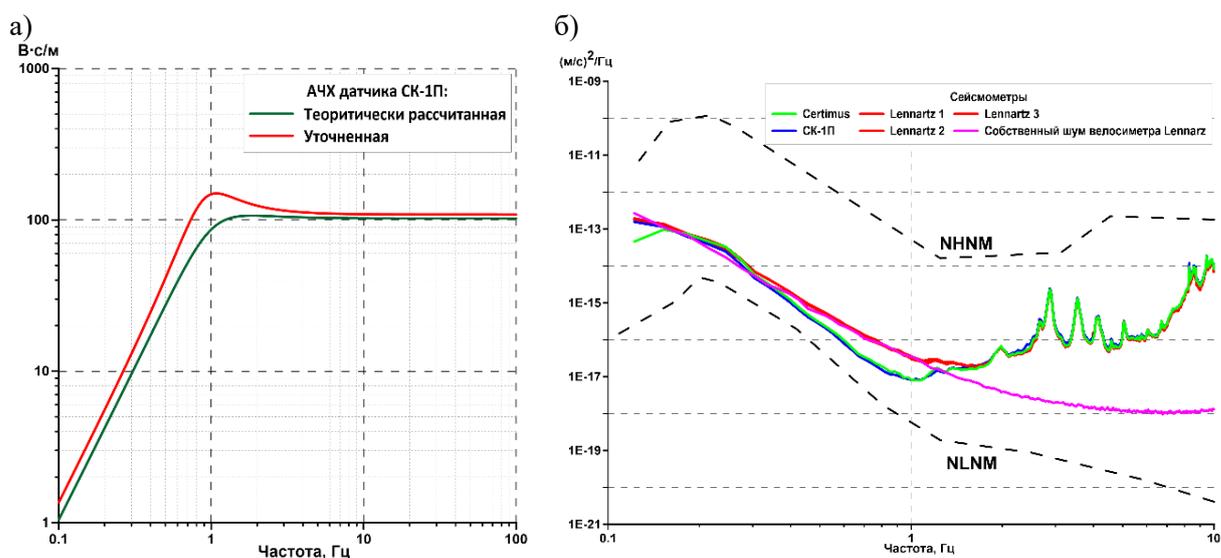


Рис. 46. Теоретически рассчитанная и экспериментально уточненная АЧХ велосиметра СК-1П (а), Уровень собственных шумов датчика Lennartz в соотношении с уровнем микросейсм (б)

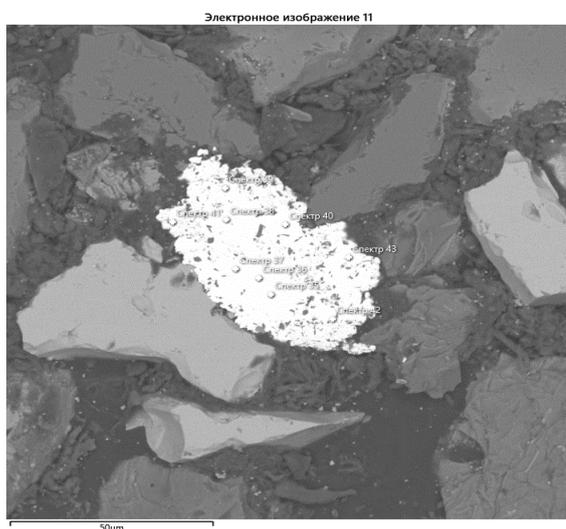
Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

33. Хлоридные технологии в переработке руд месторождения Сухой Лог (2.3.7.2 Комплексная, технологически эффективная и экологически безопасная добыча, обогащение и глубокая переработка минерального сырья).

В рудах месторождения Сухой Лог (углеродистые сланцы), наряду с золото-сульфидной минерализацией, установлено наличие органического вещества (ОВ) близкого по составу и генезису ОВ соляных пород ВКМС, а также связь с ним золота в виде органических соединений, формирующего отдельную ассоциацию.

После шихтования руды с NaCl и высокотемпературного обжига, в огарке установлено наличие техногенного (самородного) Au. Преобразованию подвергались, как исходные минеральные обособления золота, так и органические соединения. Обжиг в восстановительных условиях преобразует соединения золота в самородное (техногенное) Au в виде обособлений, содержащих до 99% Au и примеси (Ag, Fe, S, O).

При обжиге в окислительно-восстановительных условиях формируются обособления, содержащие 100% золота (рис.47). Присутствие в отдельных анализах кремния и кислорода связано с дефектами полировки, поэтому попадание зонда на углубление в поверхности шлифа показывает их наличие (шлифпорошок-карбид кремния) (рис. 48).



Результаты рентгеноспектрального микроанализа в точках на участке (зерно б)

№	O	Si	Au	Сумма

Рис. 47. Образец 6 СВ. Обособление золота в образце с указанием точек анализа

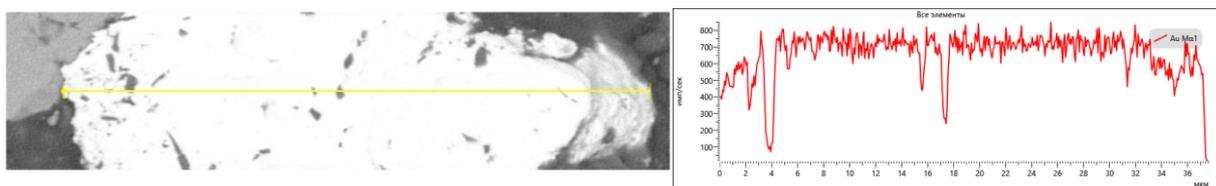


Рис. 48. Профиль сканирования вдоль длинной оси зерна.

Отрицательные пики характеризуют впадины в шлифе. Абсолютно чистое зерно

Применение хлоридных технологий в переработке руд месторождения Сухой Лог, представленных углеродистыми сланцами, имеет несколько ключевых достоинств:

- упрощение технологии переработки руды и отсутствие экологически вредных отходов;
- получение практически аффинированного золота в конце передела;
- возможность пересмотра ресурсов золота, связанного с углеродистыми сланцами месторождения Сухой Лог.

Горный институт УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

«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»)

34. Подходы к трансформации цикла А тритерпеноидов (1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин).

Разработаны альтернативные подходы к трансформации цикла А тритерпеновой молекулы, исходя из 1,10-секотритерпеноидов с фрагментом 2-циано-3,10-дикетона. Показано, что в результате регио- и стереоселективной гетероциклизации 3,10-дикетона в кислых условиях вместо ожидаемого А-циклического фуранотерпеноида по реакции Паалы–Кнорра образуется 2*S*-цианопиран-3-он, структура которого подтверждена с помощью двумерных корреляционных спектров ЯМР. В условиях основного катализа протекает региоселективная внутримолекулярная циклизация 3,10-дикетона с формированием фрагмента непредельного β-кетонитрила в пятичленном цикле А (рис. 49).

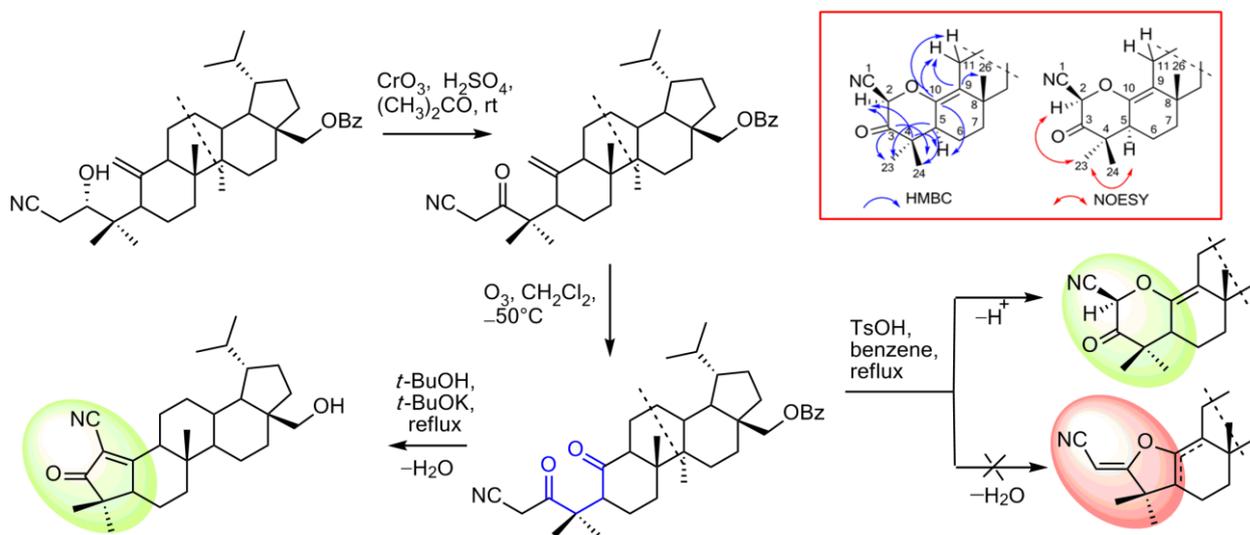


Рис. 49. Внутримолекулярные циклизации 1,10-секотритерпенового 1,4-дикетона

(Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

35. Расчетная оценка срока службы технологически важных эластомеров полиуретанового типа при повышенных температурах (1.4.1.4 Новые полимерные, композитные, нано- и сверхтвердые материалы).

Впервые получены сопоставимые данные по термическому и термоокислительному старению литевых полиэфируретановых эластомеров на основе простых и сложных олигоэфиров, имеющих наибольший объем производства в России. Определены зависимости основных физико-механических характеристик, полученных при 25 °С и 90 °С, от времени выдержки при различных температурах в диапазоне 90÷120 °С (рис. 50). С помощью метода ускоренных тепловых испытаний определены прогнозируемые сроки службы четырех типов эластомеров в различных температурных условиях. Установлено, что срок службы всех исследованных материалов в тропическом климате превышает 40 лет, а в условиях горячих цехов (60÷90 °С) 6-10 месяцев в зависимости от строения полимерной цепи и наличия в составе стабилизатора химической стойкости. Полученные результаты также могут быть использованы для оценки применимости исследованных и подобных материалов для конкретных условий эксплуатации.

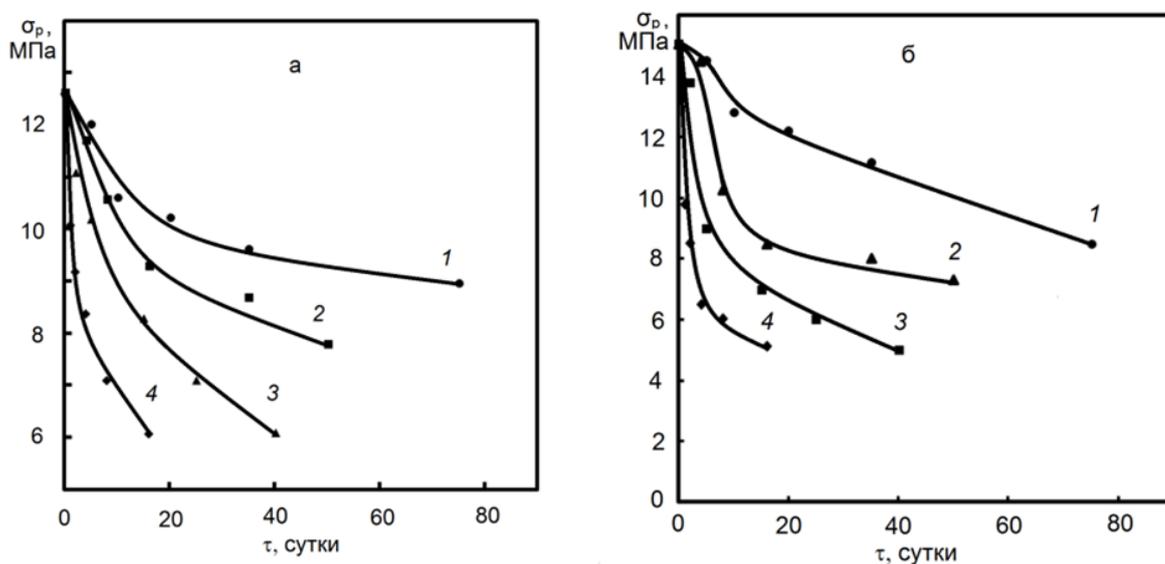


Рис. 50. График зависимости прочности при растяжении образцов эластомеров СКУ-ПФЛ (а) на основе полиоксибутилендиола (полифурита) и СКУ-7Л (б) на основе сложного олигоэфира Пб при 90 °С от времени выдержки при повышенной температуре (1 – 90 °С, 2 – 100 °С, 3 – 110 °С, 4 – 120 °С)

(Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

36. Азосоединения – новые собиратели для сульфидных минералов цветных металлов (1.4.3.1. Физико-химические основы новых экологически безопасных и безотходных технологий для разделения и извлечения стратегически важных металлов).

Впервые азосоединения сульфаниловой, 3- и 4-аминобензойной кислот, азосоставляющими в которых являются фенол, 1-нафтол, п-крезол, исследованы в качестве собирателей для флотации сульфидных руд цветных металлов (ЦМ). Установлена высокая скорость сорбции соединений на халькопирите. Найдено, что адсорбция протекает по химическому механизму. Рассчитаны константы и параметры уравнений, описывающих изотермы адсорбции, на основании которых сделан вывод, что степень адсорбции определяется, прежде всего, количеством ароматических колец в азосоставляющей; при замене карбоксильной группы на сульфогруппу – значительно повышается. Показано, что для флотации сульфидных руд ЦМ предпочтительно применение композиций реагентов с промышленным собирателем бутилксантогенатом калия (рис. 51, рис. 52).

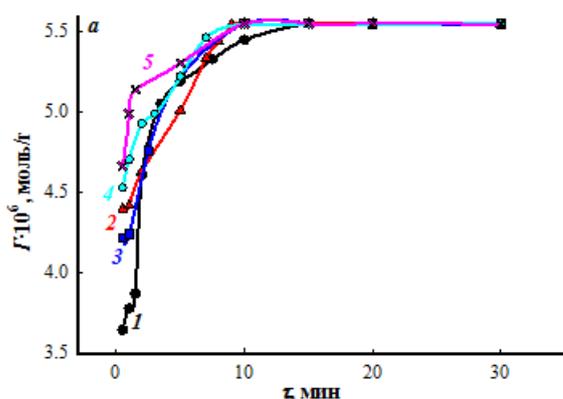


Рис. 51. Кинетические кривые сорбции 4-(1-нафтилазо)нафтола-1 на халькопирите.
T, К: 1 – 296, 2 – 299, 3 – 302, 4 – 305, 5 – 315

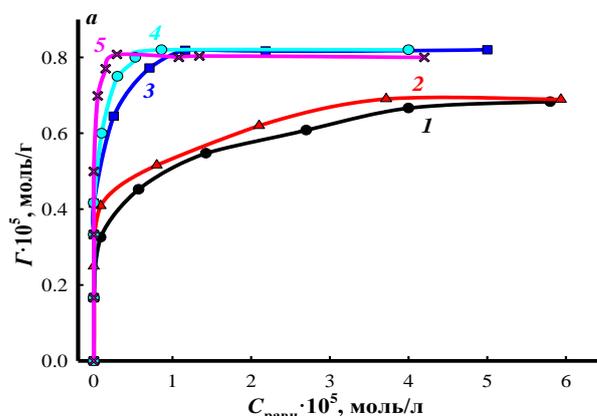


Рис. 52. Изотермы сорбции 4-(1-нафтилазо)нафтола-1 на халькопирите.
T, К: 1 – 296, 2 – 299, 3 – 302, 4 – 305, 5 – 315

(Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

37. Гибридные порошковые материалы $\text{AgI-MeI}_x\text{-SiO}_2$ – эффективные осадкообразующие реагенты (1.4.2.3 Физико-химические основы синтеза функциональных материалов для различных областей современной техники).

Впервые синтезированы осадкообразующие порошковые материалы $\text{AgI-MeI}_x\text{-SiO}_2$, представляющие собой неорганические композиты, в которых матрицей для нанокристаллов иодидов металла и иодида серебра является мезопористый мезофазный диоксид кремния с различной структурой и геометрией порового пространства. Синтезированные реагенты обладают высокой эффективностью в широком температурном интервале от $-40\text{ }^\circ\text{C}$ до $+20\text{ }^\circ\text{C}$, что значительно повышает управляемость опасными метеорологическими явлениями (град, туман и т.д.) и антропогенными катастрофами (лесные и сельскохозяйственные пожары). Доказано, что структура мезопористого диоксида кремния не влияет на рост и морфологию нанокристаллов иодидов металлов (рис. 53).

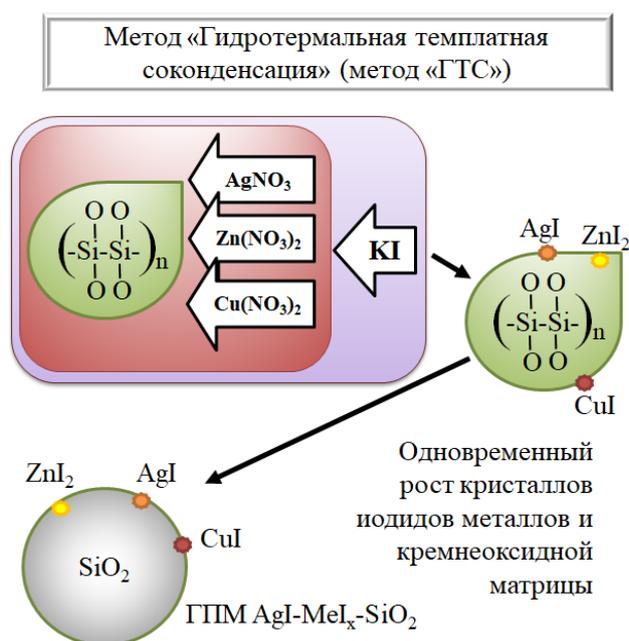


Рис. 53. Схематическое отображение процесса гидротермальной темплатной соконденсации

(Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

38. Гуанидиниевые сополимеры, наполненные наночастицами серебра, как скаффолды для разработки новых лекарственных средств для противоопухолевой терапии (1.4.5.1 Создание инновационных лекарственных средств и вакцин)

Методом свободнорадикальной полимеризации получены сополимеры 2,2-диаллил-1,1,3,3-тетраэтилгуанидинийхлорида с N-винилпирролидоном, винилацетатом и метакриловой кислотой. Сополимеры были наполнены наночастицами серебра, и исследованы цитотоксические свойства синтезированных наноконкомпозитов. Показано, что наноконкомпозиты обладают селективной цитотоксической активностью в отношении линий раковых клеток. Они вызывают заметное дозозависимое усиление клеточного апоптоза клеток A549 и могут рассматриваться в качестве скаффолдов для разработки новых лекарственных средств для комплексной терапии злокачественных новообразований. Детальное изучение физико-химических аспектов взаимодействия липосом с наноконкомпозитами позволяет понять механизм действия композитных материалов, приближая тем самым к возможности их практического применения (рис. 54).

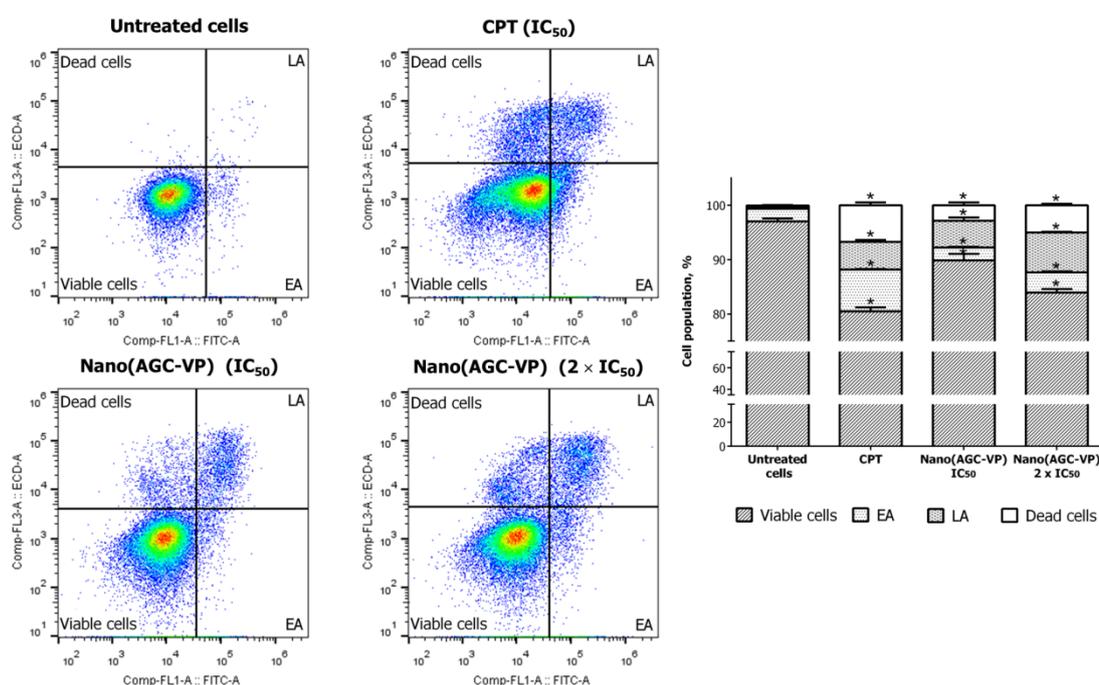


Рис. 54. Типичные точечные диаграммы (слева) и гистограммы суммарных результатов (справа) для клеток A549, окрашенных Annexin V FITC и PI. EA – ранний апоптоз, LA – поздний апоптоз. Звездочки обозначают значимое различие ($p < 0,05$) по сравнению с необработанным контролем.

(Институт технической химии УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

«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»)

39. Стресс-толерантные бактерии синтезируют насыщенные липидами и полисахаридами экзополимерные вещества для защиты от токсичных углеводов (1.6.3.1. Разнообразие микроорганизмов).

Исследована способность к биосинтезу экзополимерных веществ у 47 штаммов непатогенных стресс-толерантных бактерий-деструкторов ксенобиотиков. Определено содержание в полученных экзополимерах основных компонентов: углеводов, липидов, белков и нуклеиновых кислот. Получены насыщенные липидами (16–72 мг/л) экзополимерные вещества с концентрацией углеводов от 1 до 58 мг/л и низким содержанием белков и нуклеиновых кислот (рис. 55). Установлено, что в присутствии *n*-гексана и дизельного топлива происходит высвобождение клеточно-связанных β -полисахаридов в матрикс биопленки. Это позволяет бактериям адаптироваться и усваивать токсичные углеводороды. Идентифицированы гены биосинтеза экзополимерных веществ. Обнаружены две гликозилтрансферазы, присутствие которых необходимо для усиленной продукции бактериальных экзополимеров.

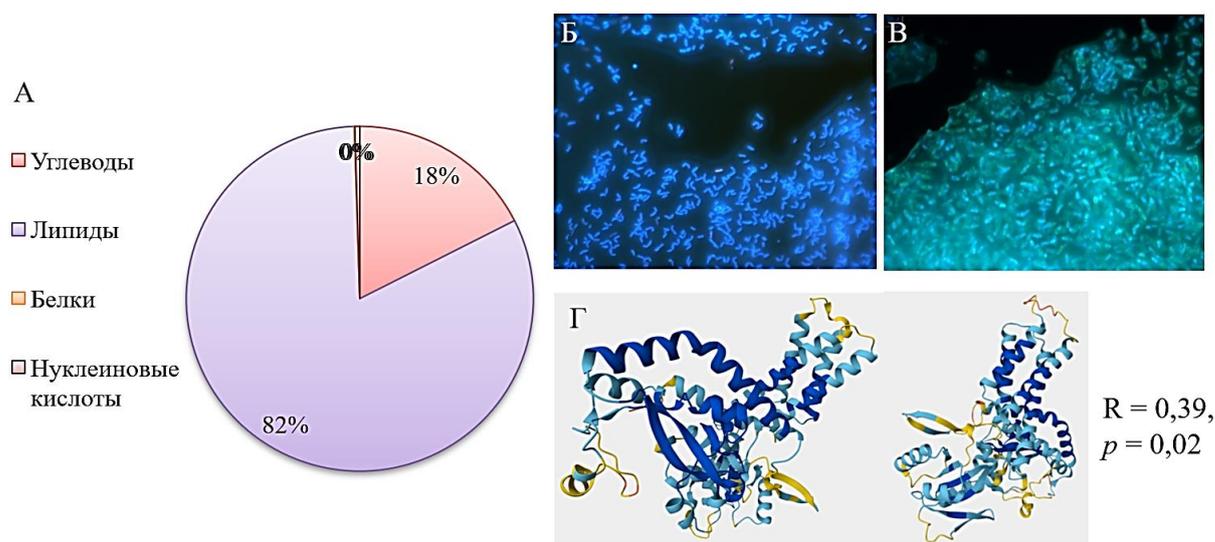


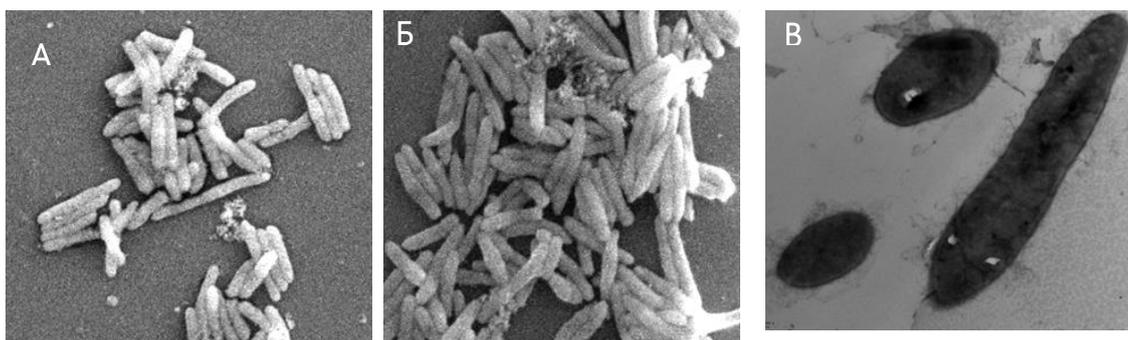
Рис. 55. Характеристика экзополимерных веществ, синтезируемых непатогенными стресс-толерантными бактериями-деструкторами ксенобиотиков А – состав экзополимеров. Б, В – флуоресцентная микроскопия биопленок с окрашиванием β -полисахаридов калькофлуором белым в присутствии нетоксичного *n*-гексадекана (Б) и токсичного *n*-гексана (В), ув. $\times 1000$. Г – гликозилтрансферазы, участвующие в биосинтезе экзополимерных веществ, и корреляция с продукцией экзополимеров

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

40. Серия иммобилизованных биокаталитических систем с высокой операционной стабильностью для биоконверсии и биодеструкции фармполлютантов (1.6.3.1. Разнообразие микроорганизмов).

В результате проведенного подбора оптимальных носителей бактериальных клеток получены стабильные иммобилизованные биокатализаторы процессов деградации ибупрофена и мелоксикама, пригодные для очистки сточных вод от фармацевтических ингредиентов.

Получены новые фундаментальные данные об экологической роли бактерий рода *Rhodococcus* и *Gordonia* в детоксикации опасных эмерджентных загрязнителей – поступающих в открытые экосистемы лекарственных препаратов. Оптимизированы условия процесса биодеструкции фармполлютантов, выявлены механизмы и пути их окислительной биотрансформации, идентифицированы основные продукты окисления, определены клеточная локализация и характер индуцирования соответствующих оксидаз (рис. 56). По результатам биоинформатического анализа секвенированных геномов активных штаммов-биодеструкторов ибупрофена и мелоксикама выявлены белки, участвующие в связывании, выведении и окислительно-восстановительной трансформации экотоксикантов. На основе исследования ответных реакций природных бактерий на воздействие фармэкопеллютантов разработан и запатентован способ биодегradации мелоксикама с использованием клеток *Rhodococcus rhodochrous*. Проведенные исследования важны для понимания «поведения» фармпрепаратов в различных компонентах природной среды и создания «зелёных» технологий очистки сточных вод фармацевтических предприятий, а также разработки экологически безопасных способов обезвреживания и утилизации опасных фармотходов.



А, Б – сканирующая, В – просвечивающая электронная

Рис. 56. Изображения клеток *R. cerastii* ИЭГМ 1243, выращенных в условиях МПБ в отсутствии (А) и в присутствии (Б, В) ибупрофена

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

41. Бактериальная деструкция как метод нивелирования токсических эффектов бифенила и его ди-замещенных производных на организм млекопитающих (1.6.3.1. Разнообразие микроорганизмов, 1.6.10.7. Механизмы врожденного и адаптивного иммунитета).

Впервые показано, что бифенил и его ди-замещенные конгенеры (3,4-дихлорбифенил и моногидрокси-моноклорбифенилы) обладают иммунотоксическим и гепатотоксическим эффектом. Поступление данных соединений с пищей угнетает гуморальный иммунитет (снижение активности антителогенеза на 12.2–22.4%) и вызывает хронический гепатит у мышей (рис. 57).

Аэробный бактериальный штамм *Rhodococcus* sp. FG1 разлагает бифенил, 3,4-дихлорбифенил и моногидрокси-моноклорбифенилы на 100%, 97.05% и 99.25% за 14 суток соответственно, что приводит к существенному снижению негативного влияния данных соединений на организм млекопитающих.

Анализ рисков показал, что через 7 суток биодegradации значение НИ для бифенила составляет 0.95, а для ПХБ 12 становится в 33 раза ниже начального уровня риска. Пероральное поступление продуктов биодegradации в организм мышей не вызывает иммунотоксических эффектов, а негативные проявления в клетках печени значительно снижаются.

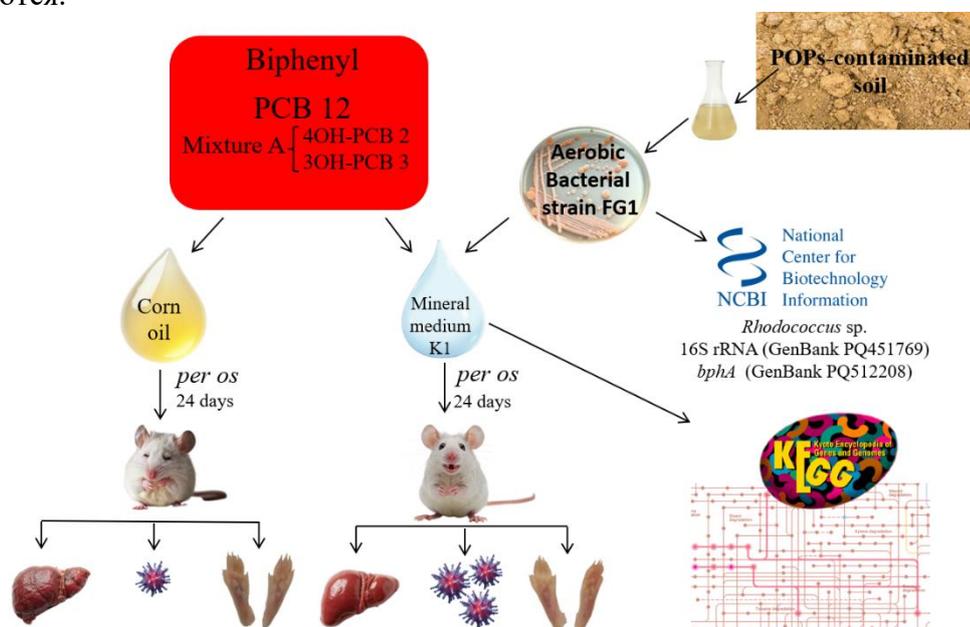


Рис. 57. Общая схема нейтрализации негативных эффектов бифенила и его дизамещенных производных под действием штамма *Rhodococcus* sp. FG1

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

42. Галотолерантные бактерии нового рода *Crystallibacter* gen. nov. семейства *Micrococcaceae* (класс *Actinomycetes*) (1.6.3.1. Разнообразие микроорганизмов).

Валидно описаны род (*Crystallibacter* gen. nov.) и два вида (*Crystallibacter permensis* sp. nov. и *Crystallibacter degradans* sp. nov.) бактерий, выделенных из района разработок Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (Пермский край).

Типовые штаммы видов *Crystallibacter permensis* и *Crystallibacter degradans* являются активными деструкторами стойких органических загрязнителей – полициклических ароматических углеводородов и эфиров фталевой кислоты (рис. 58).

Проведено полногеномное секвенирование штаммов с последующей аннотацией генома и описанием генов (оперонов), контролирующих деструкцию токсичных поллютантов.

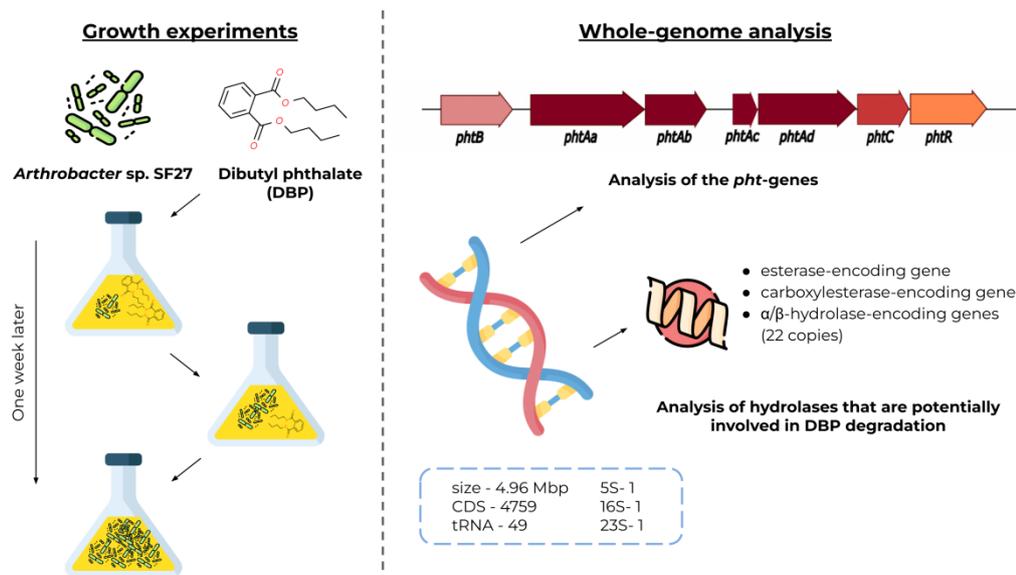


Рис. 58. Деструкция дибутилфталата штаммом *Crystallibacter degradans* SF27^T, аннотация генома и описание генов/оперонов, контролирующих деструкцию дибутилфталата

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

43. Усиление антибиопленочного действия углеродных наноматериалов инфракрасным лазером (1.6.6.3. Идентификация и описание новых метаболических путей у микроорганизмов и новых биологически активных метаболитов и ферментов с биотехнологическим потенциалом).

Разработан способ снижения уровня формирования бактериальных биопленок на поверхностях; доказано синергическое антибиопленочное действие производных графена и излучения ИК лазера (1270 нм).

Углеродные наночастицы, в том числе производные графена, являются перспективными материалами, усиливающими фототермальное действие инфракрасного лазера (ИК лазера). Нами было установлено, что 3-х минутное облучение инокулята *Escherichia coli* ИК лазером с длиной волны 1270 нм в присутствии восстановленного оксида графена снижало биомассу формирующихся биопленок на 92% (рис. 59). В облученных клетках зрелых биопленок без наночастиц содержание АТФ снижалось на 37%, а при сочетании лазерного облучения с оксидом графена и его восстановленной формой – на 90 и 99,6% соответственно. Установлено, что в культуральной среде производные графена инициируют общую стрессовую реакцию в бактериальных клетках (повышение уровня экспрессии гена *proS*), но не активируют экспрессию генов регулона защиты от окислительного стресса (*soxRS*). Повреждение бактериальных клеток при облучении ИК лазером в присутствии производных графена в среде не связано с окислительным стрессом, а является следствием термального воздействия и вызывает неспецифический стресс. Производные графена, особенно его восстановленный оксид, в сочетании с облучением лазером в ИК диапазоне являются эффективным средством эрадикации как зрелых, так и формирующихся биопленок грамотрицательных бактерий.

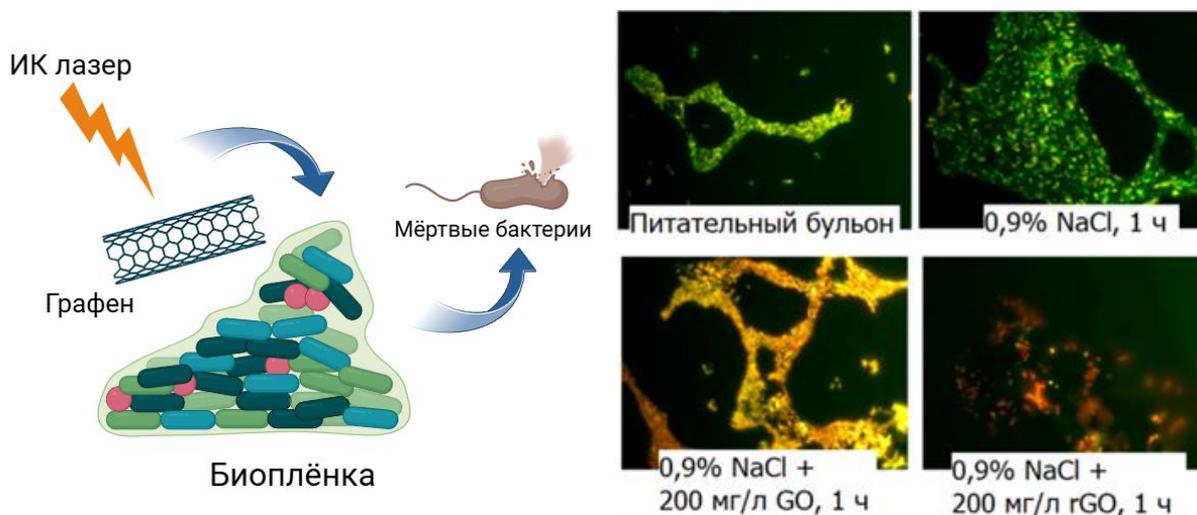


Рис. 59. Совместное влияние ИК лазера и производных графена на биопленки *E. coli*

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

44. Чувствительность к биоцидам на основе хлоргексидина бактерий группы ESCAPE. Распространенность генов эффлюксных насосов (3.4.3.7. Молекулярные механизмы толерантности, персистенции и резистентности бактерий к противомикробным препаратам).

Широкое использование дезинфицирующих средств и антисептиков привело к появлению нозокомиальных патогенов со сниженной чувствительностью к биоцидам. Изучено действие 0,05% раствора хлоргексидина (СНХ) и биоцидной композиции S7 на основе СНХ (0,07%) и бензалкония хлорида (0,055%) на бактериальные клетки *S. aureus*, *K. pneumoniae*, *P. aeruginosa* и *E. coli*, в нескольких моделях: в планктоне, в сформированной биопленке, на различных типах поверхности. Оба биоцида были более эффективны в отношении грамположительных (*S. aureus*), чем грамотрицательных бактерий. Наиболее устойчивыми оказались штаммы *P. aeruginosa*. Биоцид S7 был эффективнее стандартного раствора хлоргексидина во всех моделях (рис. 60). Бактерицидный эффект S7 в отношении прикрепленных к поверхности (кафель, пластик) бактерий наблюдался через 10 минут, тогда как бактерицидный эффект СНХ – через 30 минут. Обнаружено, что среди клинических штаммов *E. coli* и *K. pneumoniae* распространены гены эффлюксных насосов *qacEΔ1* и *qacE*, у *P. aeruginosa* чаще детектировался *texB*, у *S. aureus* – *norA*, *norB*, *merA*, *mdeA* и *sepA*. Широкая распространенность генов эффлюксных насосов и транспортеров, ассоциированных с выбросом антисептиков и дезинфектантов, показывает потенциальную угрозу снижения чувствительности бактерий к биоцидам в будущем.

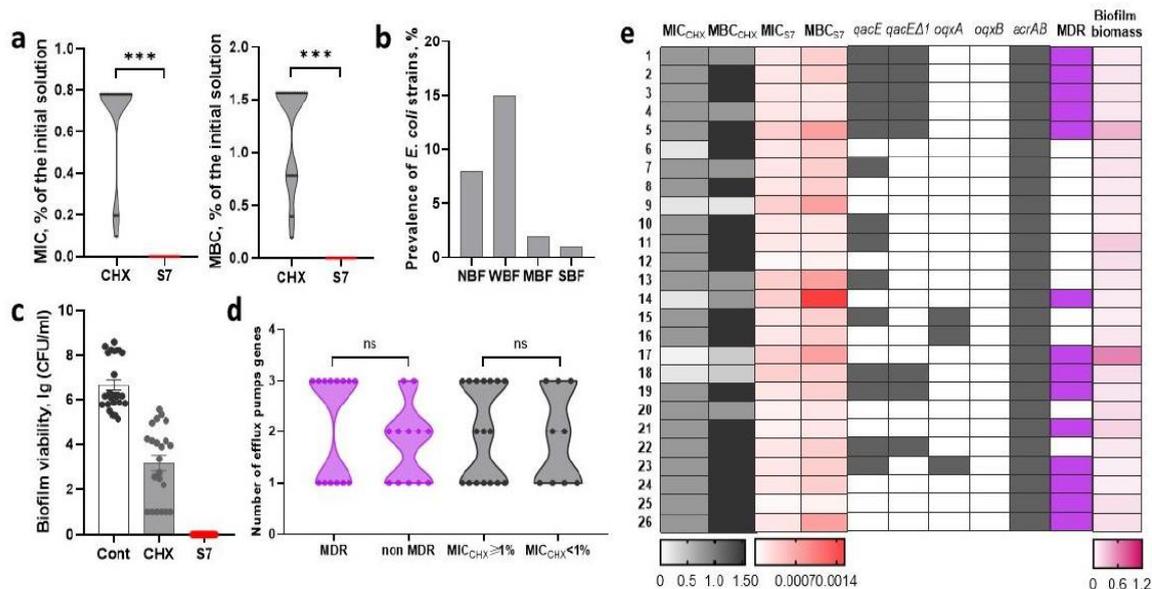


Рис. 60. Чувствительность штаммов *E. coli* к СНХ и биоцидной композиции S7

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

45. Голодание и антибиотики изменяют уровни низкомолекулярных тиолов у *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* и *Mycobacterium smegmatis* (1.6.6.3. Идентификация и описание новых метаболических путей у микроорганизмов и новых биологически активных метаболитов и ферментов с биотехнологическим потенциалом).

Перепрограммирование метаболизма при стрессовом ответе бактерий на действие неблагоприятных факторов среды может сопровождаться накоплением продуктов, представляющих потенциальную опасность. К их числу относится цистеин, избыток которого в аэробных условиях становится источником активных форм кислорода. Причиной повышения внутриклеточной концентрации цистеина при стрессах, по-видимому, служит резкое замедление роста и синтеза белка, являющегося главным потребителем цистеина. Впервые показано, что истощение аммония в среде повышает концентрацию цистеина в клетках *E. coli*, *B. subtilis* и *M. smegmatis*. Уровень внутриклеточного цистеина также возрастал при действии антибиотиков хлорамфеникола и ципрофлоксацина. Последующее снижение содержания цистеина в цитоплазме достигалось за счет активации механизмов его гомеостаза: экспорта излишков в среду, деградации с образованием H_2S и включения в глутатион у *E. coli* или в микотиол у *M. smegmatis* (рис. 61). Полученные данные показывают, что индукция механизмов гомеостаза цистеина у бактерий может быть частью универсального стрессового ответа.

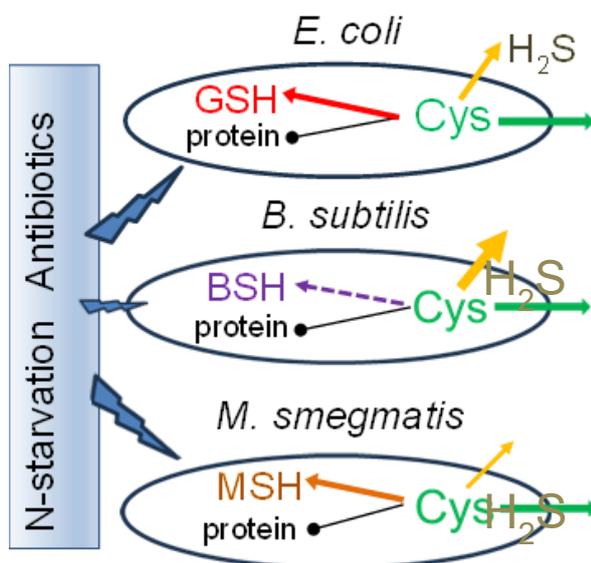


Рис. 61. Голодание по азоту и действие антибиотиков хлорамфеникола и ципрофлоксацина ингибирует синтез белка, вызывает повышение внутриклеточного цистеина и индуцирует продукцию H_2S , экспорт цистеина в среду и его включение в глутатион и микотиол

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

46. Роль биосинтеза полиаминов в адаптации бактерий к действию антибиотиков (1.6.6.3. Идентификация и описание новых метаболических путей у микроорганизмов и новых биологически активных метаболитов и ферментов с биотехнологическим потенциалом).

Разработан новый метод оценки эффективности аккумуляции в бактериальных клетках антибиотиков, проникающих через клеточную оболочку непориновым путем.

С помощью разработанного метода показано, что нарушение в бактериальных клетках процесса биосинтеза кадаверина в результате потери лизиндекарбоксилазной активности приводит к изменению свойств клеточной оболочки, повышению аккумуляции антибиотика и усилению его бактерицидного действия (рис. 62).

Таким образом, лизиндекарбоксилазы, катализирующие биосинтез кадаверина, потенциально могут послужить мишенью для разработки новых антибактериальных соединений.

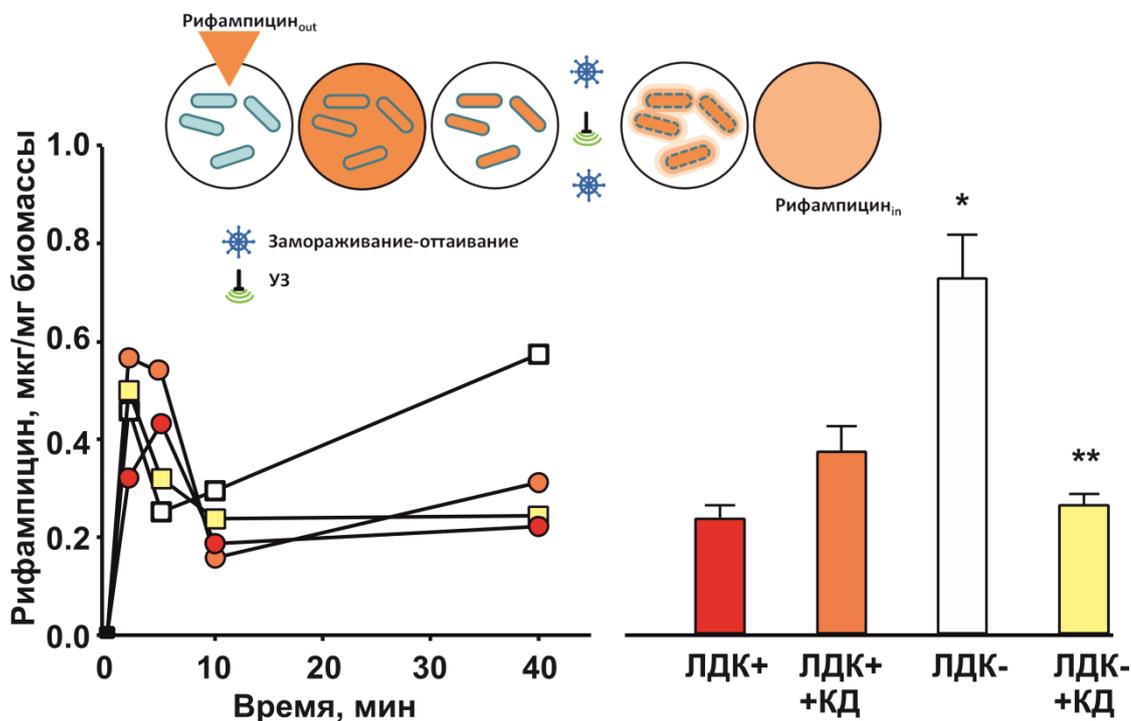


Рис. 62. Влияние кадаверина на накопление рифампицина в клетках *Escherichia coli*.
ЛДК+ – штамм, имеющий лизиндекарбоксилазы, ЛДК- – штамм, лишенный лизиндекарбоксилаз, +КД – добавка кадаверина в среду

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

47. Регуляция баланса TREG/TH17 NK-клетками, предварительно обработанными эстриолом и бактериальными клетками, при рассеянном склерозе (1.6.10.7. Механизмы врожденного и адаптивного иммунитета).

Изучено влияние гормона беременности эстриола (E₃) и бактериальных штаммов на способность NK-клеток модулировать уровни регуляторных Т-лимфоцитов (Treg) и продуцирующих IL-17 (Th17) у пациентов с рассеянным склерозом (РС) и здоровых доноров (рис. 63). Также исследовали фенотип NK-клеток и продукцию цитокинов в совместных культурах с CD4⁺ лимфоцитами после инкубации с гормоном и бактериальными клетками. Обработка NK-клеток данными факторами стимулировала образование Treg и ингибировала развитие Th17. После 24 ч цитотоксичность NK-клеток, а также продукция IL-2 и IFN-γ были ингибированы, в то время как секреция IL-10 увеличилась. Это сопровождалось повышением IL-6 и TNF-α. Через трое суток NK-клетки продемонстрировали повышенную экспрессию IL-10 и сниженную экспрессию IL-17. Примечательно, что клетки от пациентов с РС были более чувствительны к этому регуляторному влиянию, чем клетки от здоровых доноров.

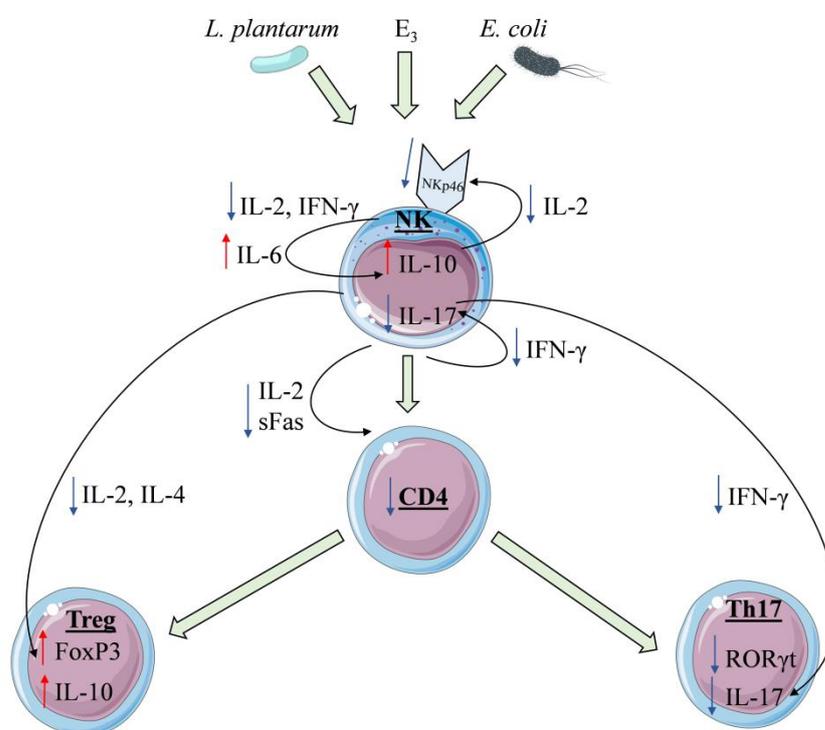


Рис. 63. Схема регуляции баланса Treg/Th17 NK-клетками, предварительно обработанными гормоном беременности E₃ и бактериальными штаммами у здоровых доноров и больных рассеянным склерозом

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

48. Биопленки уропатогенной *Escherichia coli*: воздействие антибиотиков и взаимодействие с нейтрофилами человека (1.6.6.5. Молекулярные механизмы взаимодействия микро- и макроорганизмов).

Показано, что минимальная концентрация эрадикации уропатогенной *E. coli* из биопленки (МВЕС) была выше минимальной бактерицидной концентрации (МВС) в планктоне для всех антибиотиков.

Субингибиторная концентрация цiproфлоксацина и левофлоксацина умеренно ингибировала рост планктона, при этом стимулировала увеличение биомассы биопленки уропатогенной *E. coli* (а) (рис. 64). Более высокие концентрации антибиотика (0,016 мг/л) приводили к образованию удлиненных нитевидных клеток бактерий (б).

Бактерии биопленки уропатогенной *E. coli* DL82 снижали жизнеспособность нейтрофилов, вызывая их некроз. Присутствие цiproфлоксацина во время формирования биопленки в концентрациях, предшествующих ингибиторным (0.002-0.004 мг/л), принципиально не влияло на взаимодействие бактерий с нейтрофилами (г).

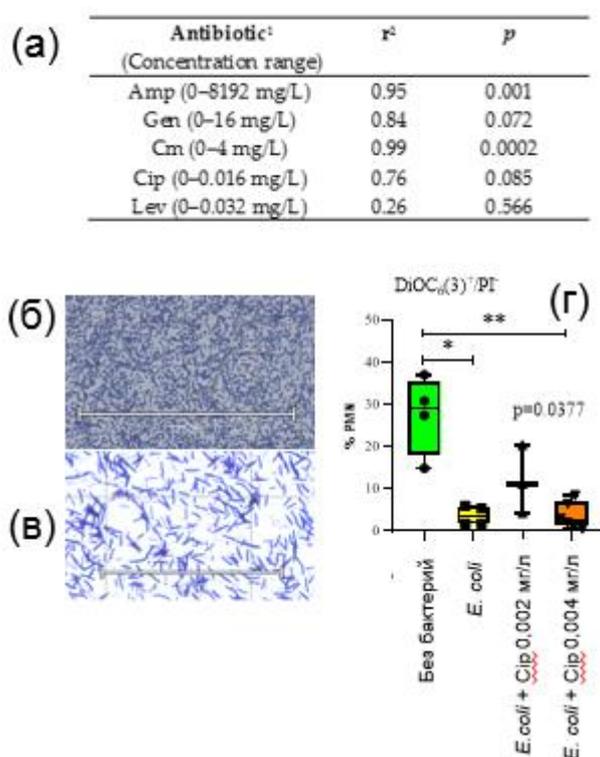


Рис. 64. Корреляционный анализ формирования планктонных и биопленочных культур уропатогенной *E. coli* DL82 на фоне антибиотиков (а); морфология *E. coli* в биопленках без/с Cip (0,016 мг/л) (б/в, соответственно); жизнеспособность нейтрофилов при действии бактериальных клеток (г). Amp – ампициллин, Gen – гентамицин, Cm – хлорамфеникол, Cip – цiproфлоксацин, Lev – левофлоксацин

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

49. Влияние наночастиц пегилированного оксида графена на цитокиновый профиль моноцитов крови человека *in vitro* (1.6.10.6. Клетки иммунной системы).

Учитывая тот факт, что графен обладает уникальными свойствами и активно исследуется в биомедицинском аспекте, исследовалась реакция моноцитов человека на совместное культивирование с пегилированными (линейными или разветвленными) наночастицами оксида графена (GO). В частности, изучались как мелкие (P-GOs, 100-200 нм), так и более крупные (P-GOb, 1-5 мкм) частицы в концентрациях 5, 25 и 50 мкг/мл. Моноциты человека (CD14+) были культивированы с наночастицами в течение 72 часов, после чего оценивали цитокиновый профиль (рис. 65). Результаты показали, что наночастицы P-GOs/P-GOb в высоких концентрациях 25 и 50 мкг/мл усиливали высвобождение различных цитокинов, включая провоспалительные, противовоспалительные, регуляторные и факторы роста. Однако, наночастицы в модификации BP-GOs (размер 100-200 нм, покрытые разветвленным ПЭГ) оказали минимальное влияние на профили цитокинов. Эти результаты свидетельствуют о том, что именно эта модификация наночастиц может быть перспективна для создания фармакологических препаратов на основе графена.

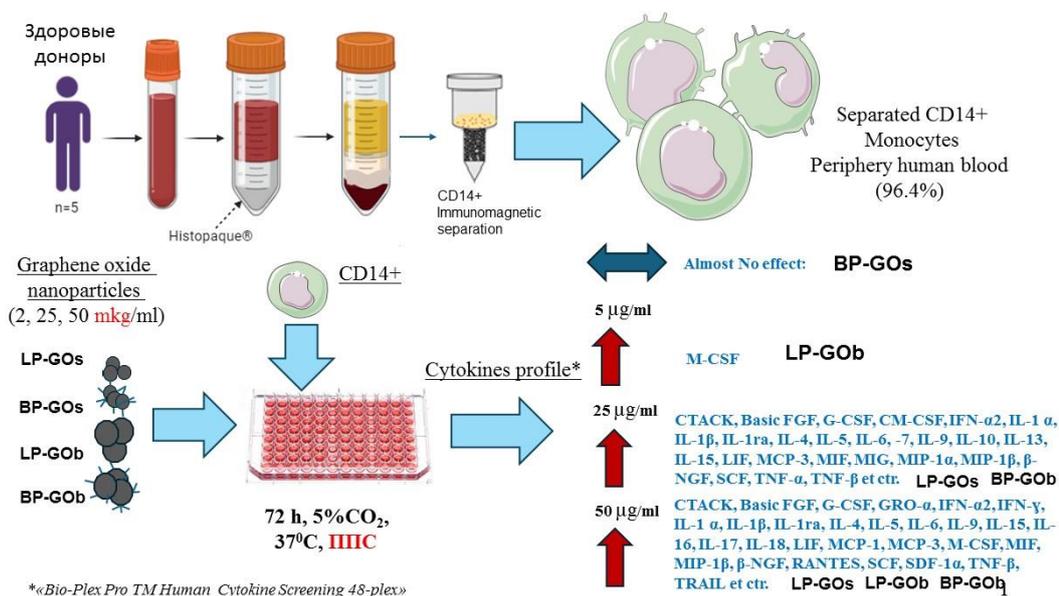


Рис. 65. Влияние наночастиц пегилированного оксида графена на цитокиновый профиль моноцитов крови человека *in vitro*

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

50. Эрадикация вируса гепатита С приводит к снижению уровня экспрессии ингибиторных рецепторов, связанных с истощением, на CD4+ Т-клетках ВИЧ-инфицированных иммунологических неответчиков на антиретровирусную терапию (1.6.10.6. Клетки иммунной системы).

Хроническая инфекция вирусом гепатита С (ВГС) у людей, живущих с ВИЧ, ассоциирована с высоким риском иммунологического неответа на антиретровирусную терапию. Этот феномен связывают со стойким иммунодефицитом, персистирующей иммунной активацией, системным воспалением и функциональным истощением Т-лимфоцитов. Мы впервые изучили, может ли успешная эрадикация ВГС с помощью противовирусных препаратов прямого действия (ПППД) улучшить иммунологические параметры у иммунокомпрометированных лиц (рис. 66). Результаты показали, что, несмотря на устранение ВГС, у иммунологических неответчиков сохраняется низкая численность CD4+ Т-клеток, дефицит наивных CD4+ Т-лимфоцитов, а также повышенные уровни иммунной активации, патологической пролиферации и системного воспаления. При этом впервые зафиксированы позитивные изменения в состоянии Т-клеток ВИЧ-инфицированных больных после эрадикации ВГС. Важнейшим стало значимое снижение количества ингибиторных рецепторов PD-1 и TIGIT на CD4+ Т-лимфоцитах у пациентов после терапии ПППД. Плотность экспрессии ингибиторных рецепторов на поверхности клеток достигала значений, сопоставимых с группой здоровых доноров без ВИЧ- и ВГС-инфекций. Полученные данные указывают на то, что эрадикация ВГС, даже не приводя к быстрому количественному восстановлению пула CD4+ клеток, способна уменьшить степень их функционального истощения. Снижение экспрессии PD-1 и TIGIT свидетельствует о частичном восстановлении функционального потенциала CD4+ Т-лимфоцитов, что создает предпосылки для разработки стратегий иммунной реабилитации пациентов с ВИЧ/ВГС коинфекцией.

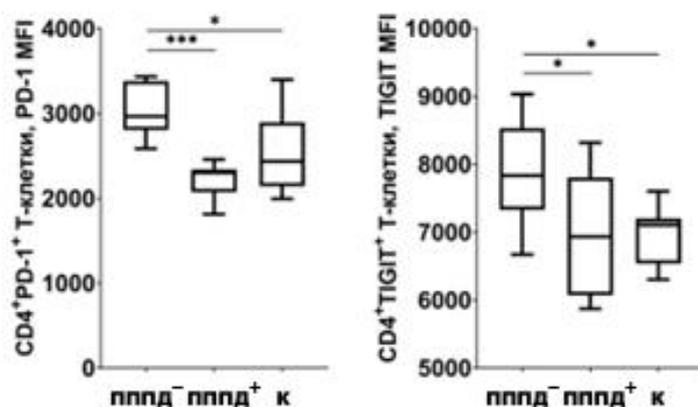


Рис. 66. Снижение плотности экспрессии PD-1 и TIGIT на CD4+ Т-клетках иммунологических неответчиков, прошедших терапию противовирусными препаратами прямого действия (ПППД) К – здоровый контроль; MFI – средняя интенсивность флуоресценции. * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,001$ (ANOVA, тест Тьюки)

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

51. Поиск органических молекул – стимуляторов роста микроводорослей (1.6.12.5. Экобиотехнологии).

Хлорелла обыкновенная (*Chlorella vulgaris*) — одноклеточная микроводоросль с широкими промышленными применениями, являющаяся ценным источником биологически активных соединений, включая белки, пигменты и липиды. В настоящем исследовании исследован потенциал серии ангулярных 6/6/5/6-аннелированных пирролидин-2,3-дионов — структурно сложных малых молекул, сходных с алкалоидами и 13(14→8)абео-стероидами, — в качестве новых стимуляторов роста *C. vulgaris* (рис. 67).

Были выявлены молекулы, стимулирующие накопление в клетках *C. vulgaris* пигментов, использующихся в пищевой и косметической промышленности.

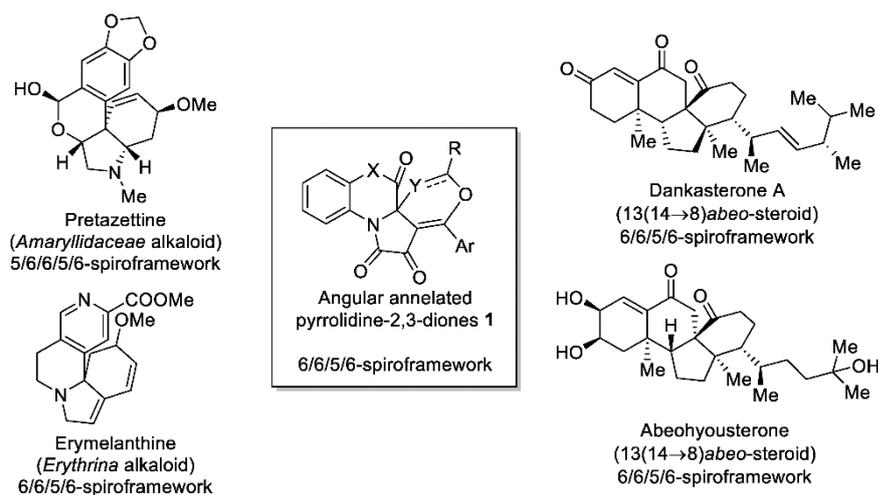


Рис. 67. Ангулярные 6/6/5/6-аннелированные пирролидин-2,3-дионы 1 и их структурные аналоги (алкалоиды и абео-стероиды)

(Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

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

52. Приемы основной обработки почвы и применения гербицидов с использованием геоинформационных систем (ГИС) в технологии возделывания яровой пшеницы в Среднем Предуралье (4.1.1.1. Оптимизация сельскохозяйственного природопользования, оценка земель, структура агротехнологий и адаптивно-ландшафтных систем земледелия нового поколения).

Зерно яровой пшеницы широко используется на продовольственные, кормовые и технические цели. Площадь яровой пшеницы в Пермском крае в 2024 году составила 92,2 тыс. гектаров, или 45,6% в структуре посева зерновых культур, при средней урожайности зерна 1,36 т/га, с вариацией урожайности за последние пять лет 1,16-1,88 т/га, что объясняется преобладанием малоплодородных тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почв. Помимо бедных почв, остро стоит проблема борьбы с сорной растительностью в посевах зерновых культур, потери от сорных растений могут достигать более 20% от потенциального урожая зерна. Динамичное насыщение технологиями цифрового земледелия приёмов полевой агротехники, остаётся стратегической задачей современного агропродовольственного комплекса регионов страны. В существующую агротехнику всё активнее внедряются цифровые технологии с использованием геоинформационных систем и элементов точного земледелия, которые оптимизируют агрономические решения и экономят хозяйственно–технические ресурсы. По результатам исследований, проведенных в 2022-2025 гг., для получения стабильной урожайности (не ниже 3,5-3,6 т/га) зерна яровой пшеницы рекомендуется в условиях Среднем Предуралье применять разноглубинную (дифференцированную) отвальную вспашку почвы с регулируемой глубиной (от 14 до 24 см) плугом ПЛН-3-35, или выровненную отвальную вспашку оборотным плугом KUNN MULTI-MASTER 113 NSH на 20-22 см, в сочетании с дифференцированным внесением баковой смеси гербицидов Алсион (ВДГ) 10 г/га + Балерина (СЭ) 0,25 л/га в фазе кущения яровой пшеницы, в рекомендуемой производителем дозе по экономическому порогу вредоносности (ЭПВ) сорного компонента (рис. 68). Разноглубинный способ основной обработки почвы и дифференцированное опрыскивание гербицидом по ЭПВ с использованием ГИС-технологий обеспечил рентабельность 42%.



Рис. 68. Обработка почвы дисковой бороной

(Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН)

53. Критерии антропогенной трансформации фосфатного режима дерново-подзолистой почвы Предуралья (4.1.2.2. Индикаторы изменений свойств почв под воздействием природных и антропогенных факторов, новые системы управления плодородием почв в динамических условиях внешней среды).

Проведены комплексные исследования фосфатного режима целинной и пахотной дерново-подзолистой почвы Предуралья (рис. 69, 70). Определено влияние длительного экстенсивного использования пашни (без применения удобрений), применения органических и минеральных удобрений на изменение общего содержания фосфора в почве и его минеральных, органических и наиболее доступных для растений подвижных соединений, разработаны критерии антропогенной трансформации, предложены приёмы по оптимизации фосфатного режима почвы. Установлено, что экстенсивное возделывание сельскохозяйственных культур (35-50 лет) привело к уменьшению в почве общих запасов фосфора, его минеральных и органических соединений в слое 0-40 см (на 7-33 %), запасов подвижных (наиболее доступных для растений) соединений фосфора в метровом слое почвы (на 18 %). Определено, что применение суперфосфата в дозе 60 кг д.в. /га и выше ((NPK)₆₀₋₁₅₀, N₉₀₋₁₂₀P₆₀K₆₀) (под зерновые культуры и картофель), навоза (насыщенность 10 т/га в год и выше), использование органоминеральной системы удобрения (навоз 5 т/га в год и выше + NPK эквивалентно навозу), осадков городских сточных вод (насыщенность 5,7 т/га в год) по фону (NPK)₆₀ на дерново-подзолистой почве Предуралья обеспечивают бездефицитный или положительный баланс по фосфору при возделывании культур в восьмипольных парозернопропашном, парозернотравяном севооборотах и как минимум поддержание запасов общего фосфора в почве на уровне целинного аналога или их существенный рост. Показано, что фосфорные удобрения увеличивают количество минеральных и подвижных соединений фосфора в почве, азотные и калийные удобрения способствуют накоплению органических соединений фосфора. Длительное использование органической системы удобрения предпочтительней, чем минеральной или органоминеральной, т.к. здесь наблюдается минимальное влияние на перемещение фосфора по профилю почвы.

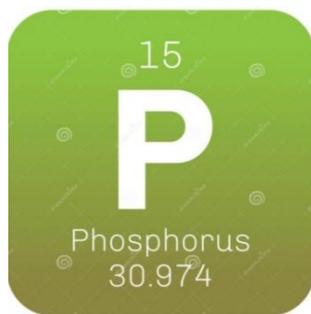


Рис. 69. Суперфосфат



Рис. 70. Опытное поле Пермского НИИСХ

(Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН)

54. Способ ультрафиолетового облучения растений (4.4.1.2. Энергоресурсосберегающие экологически безопасные машинные технологии, автоматизированная и роботизированная техника, искусственный интеллект и цифровые системы для производства высококачественной сельскохозяйственной продукции).

В 2025 году лабораторией агробиофотоники был разработан способ ультрафиолетового облучения растений и подана заявка на патент на изобретение. В отличие от известных аналогов предложенная методика предполагает использование строго дозированного импульсного облучения в средневолновом диапазоне (УФ-В, 280 нм) с параметрами: мощность 2 Вт, частота широтно-импульсной модуляции 100 Гц, продолжительность экспозиции 60 секунд при ежедневном применении в течение 14 суток. Такое направленное воздействие позволяет стимулировать физиологические процессы (повышение содержания фотосинтетических пигментов, интенсивности фотосинтеза и накопления сухого вещества), не вызывая окислительного стресса у растений. Способ предназначен для использования в растениеводстве защищенного грунта: в тепличных хозяйствах, овощеводстве, гидро- и аэропонике. Экспериментальные исследования на модели земляники садовой (*Fragaria × ananassa*) сорта Бриана показали статистически значимое повышение физиолого-биохимических показателей: интенсивность фотосинтеза увеличилась на 13%, содержание сухого вещества возросло на 6% (рис. 71). Принципиально важным аспектом является отсутствие окислительного стресса, что подтверждено анализом уровня малонового диальдегида.



Рис. 71. Земляника садовая

(Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН)

«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»)

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

Завершена программа научных исследований нематериального этнокультурного достояния народов России (рис. 72). В результате трехлетних исследований определены подходы к трактовке концепта «нематериальное этнокультурное достояние» в отечественной и мировой практике, проанализирована государственная политика и опыт в сфере российского и регионального законодательства в сфере НЭД; проанализированы проблемы и методы актуализации объектов НЭД, выявлены наиболее успешные практики и кейсы; проведены полевые исследования с целью изучения нематериального культурного наследия народов России в 26 субъектах страны, разработана и апробирована методика фиксации объектов НЭД; определены критерии и подходы к НЭД в условиях города и диаспоральных сообществ, предложены попытки решения дискуссионных вопросов.

Полученные результаты актуальны для деятельности в сфере нематериального этнокультурного достояния на федеральном и региональном уровнях, для выстраивания политики и системы работы с НЭД, взаимодействия общественных институтов, учреждений науки и культуры при работе с нематериальным этнокультурным достоянием, развитию региональных брендов и укреплению имиджа территорий, содействуют укреплению региональной и общероссийской идентичности



Рис. 72. Обложка книги *Нематериальное этнокультурное достояние: концепции и практики* / авт. коллектив: М. С. Каменских, О. Э. Добжанская, В. Е. Добровольская [и др.]; под ред. А. В. Черных; Ин-т гуманитар. исслед. УрО РАН, Гос. рос. дом народ. творчества им. В. Д. Поленова. – С.-Петербург: Маматов, 2025. – 392 с. ISBN 978-5-91076-301-6

56. Исследования серебряных изделий Баяновского могильника ломоватовской археологической культуры (6.1.3.14. Этнокультурное многообразие средневековой Евразии в археологическом освещении).

На основе анализа серии серебряных изделий Баяновского могильника (239 экз.) (рис. 73) определено, в них доминируют сплавы с высоким содержанием серебра (80-98,4%). Низкая проба (68,2%) зафиксирована в импортном наборном поясе венгерского облика. Преобладают высокопробные сплавы, легированные медью или медью и свинцом, характерные для изделий ломоватовской культуры: височные украшения, подвески-всадники, ножны, перстни-«колпачки», погребальные маски. Менее представлены вещи из высокопробного сплава, легированного свинцовой латунью – импортные серьги и перстни салтовского типа, нетипичная подвеска-всадник. Изделия из серебра, легированного латунью, многокомпонентной латунью, свинцово-оловянной бронзой, единичны и являются привозными. Исследование серебряных изделий Баяновского могильника подтвердило замеченную ранее особенность: при изготовлении изделий сложной конструкции металлические сплавы варьировали в зависимости от назначения конструктивного элемента. Так, кольца-дужки височных украшений, шинки перстней сделаны из сплава с пробой ниже, чем у других конструктивных элементов (серебро, легированное медью и свинцом или свинцовой латунью), эти сплавы прочнее, не тускнеют, что, очевидно, определяло их выбор. Результаты указывают на высокий профессиональный уровень местных ювелиров.



Рис. 73. Примеры серебряных изделий Баяновского могильника

57. Сценарии реформирования регионального административно-территориального деления в современном мире (5.4.1.6 – Взаимосвязи глобальных и региональных социальных, политических и идеологических процессов).

Кросс-национальный сравнительный анализ реформ административно-территориального деления в 147 странах мира за последние три десятилетия (таблица 1) показал, что мотивы подобных преобразований основываются как на рациональных расчетах центральной власти (управленческая мотивация), так и на взаимодействии политических акторов разных уровней (регионалистская мотивация). При этом установлено, что наиболее частым сценарием является создание новых регионов в рамках уже существующего административно-территориального деления, а наиболее редкими – сценарии радикальных реформ, направленные либо на ликвидацию регионального уровня, либо на его создание. Статистические тесты свидетельствуют о том, что обе мотивации имеют место не только в отдельных эмпирических случаях, но могут рассматриваться и как общие тенденции, характерные для стран мира в целом.

Таблица 1.

Группировка стран по сценариям реформирования регионального АД в 1991-2021 гг.

Сценарии реформ АД	Нет реформ	Ликвидация регионального уровня	Создание регионального уровня	Радикальная трансформация регионального уровня	Создание новых регионов	Ликвидация некоторых регионов
Количество стран	45	4	4	22	58	9
Примеры	Аргентина Австралия Австрия Бельгия Бразилия	Коста-Рика Эстония Литва Португалия	Армения Азербайджан Грузия Босния и Герцеговина	Албания Болгария Хорватия Дания Эфиопия	Алжир Канада Чили Индия Лаос	Франция Гамбия Норвегия Пакистан Швеция

Институт гуманитарных исследований УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)

58. Пермский край в годы Великой Отечественной войны (6.1.5.5. СССР в Великой Отечественной войне (1941 - 1945 годы) и роль Великой Победы).

Изучение военной истории проводится в нескольких направлениях, обусловленных спецификой региона. Поскольку Пермский край – тыловой регион, сюда в годы войны были эвакуированы десятки предприятий из западных и южных регионов страны, развернута масштабная сеть эвакуационных госпиталей.

Ведутся научные исследования в области истории создания и роли в жизни и экономике города Перми предприятий военно-промышленного комплекса. Подготовлены исторические справки об истории 17 предприятий различных отраслей от порохового производства до авиадвигателестроения, представлены биографии выдающихся руководителей, конструкторов и инженеров. Очерки составлены на основе опубликованных материалов, а также архивных источников, причем некоторые из них впервые вводятся в научный оборот. Особое внимание уделено биографическим исследованиям участников Великой Отечественной войны – жителям Коми-Пермяцкого округа Пермского края (рис. 74). Опубликовано более 1000 биографических справок, также буклет с биографическими справками Героев Советского Союза, полных кавалеров орденов Славы, героев России – уроженцев Коми-Пермяцкого округа. Кроме того, подобраны документы о деятельности предприятий, учреждений и организаций Коми-Пермяцкого округа в условиях военного времени.

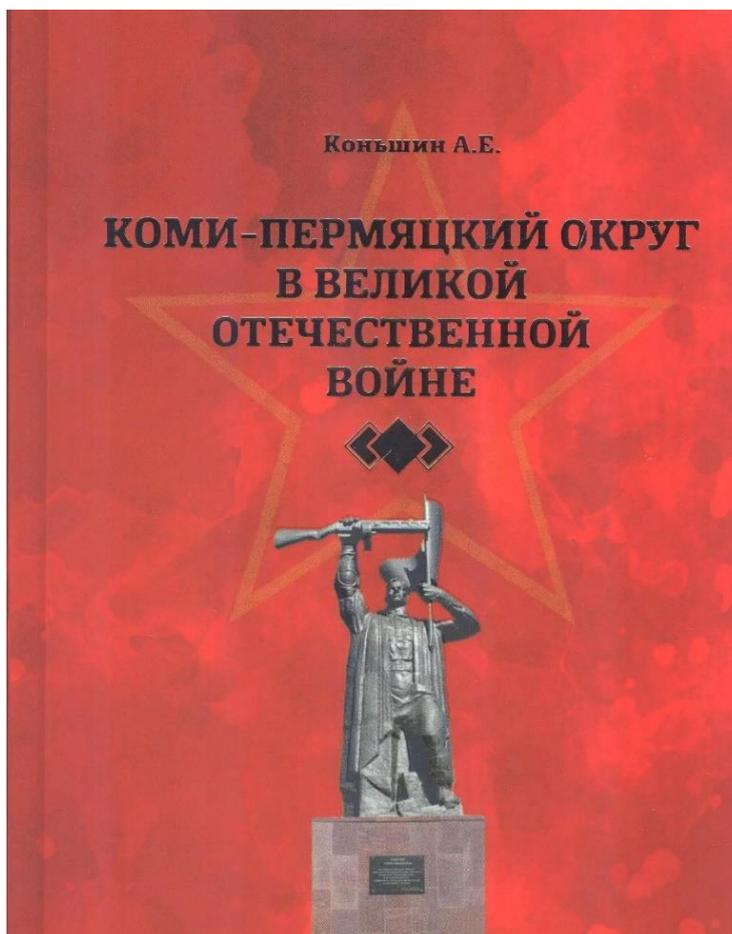


Рис. 74. Обложка книги Коньшин А. Е. *Коми-Пермяцкий округ в Великой Отечественной войне: энциклопедический справочник* / А. Е. Коньшин; Агентство по делам архивов Перм. края; УрО РАН, Перм. федер. исслед. центр, Ин-т гуманитар. исследований; Коми-Пермяц. окр. гос. архив. - Пермь; Кудымкар, 2025. – 548 с.: ил.; фот.

Институт гуманитарных исследований УрО РАН – филиал ПФИЦ УрО РАН)