

# Важнейшие результаты исследований, полученные в федеральном государственном бюджетном учреждении науки Пермском федеральном исследовательском центре Уральского отделения Российской академии наук в 2022 г.

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

1. Впервые предложено условие раздвойникового мартенситной структуры в ферросплавах с памятью формы в случае действия только магнитного поля, основанное на достижении массовым магнитным моментом критического значения. Впервые получены кривые намагничивания для монокристаллов и поликристаллов (изотропных и структурированных) ферросплавов с памятью формы на основе микроструктурного моделирования с учетом предложенного условия раздвойникового.

## Аннотация

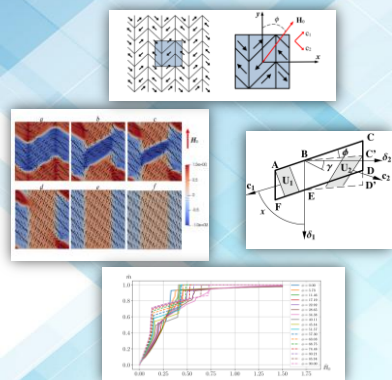
В ферромагнитных сплавах с памятью формы приложение напряжения и (или) внешнего магнитного поля в мартенситном состоянии приводит к возникновению существенных деформаций (до 6–10 %) при раздвойнивании мартенситной структуры. Для описания магнитодеформационного поведения в таких сплавах использовано микроструктурное моделирование. Предполагалось, что при приложении внешнего магнитного поля раздвойнивание происходит при достижении массовым магнитным моментом критического значения. Рассмотрены процессы намагничивания и возникновения структурной деформации раздвойникового в одиночном зерне при приложении внешнего магнитного поля под разными углами к осям анизотропии двойникованных вариантов и построены кривые намагничивания. На основе полученных результатов построены кривые намагничивания различных (изотропных и текстурно-ориентированных) поликристаллических образцов, а также найдены структурные деформации в таких образцах.

Rogovoy A.A., Stolbova O.S. Microstructural model of the behavior of a ferroalloy with shape memory in a magnetic field // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2022. – DOI: 10.1080/15376494.2022.2114046 [Q2, IF 4.03],

Rogovoy A.A., Stolbova O.S. Microstructural Modeling of the Magnetization Process in Ni<sub>2</sub>MnGa Alloy Polytwin Crystals // *Magnetochemistry*, 2022. – V. 8 – №8. – 78 – DOI: 10.3390/magnetochemistry8080078. [Q2, IF 3.336].

(Рук. д.ф.м.н. Роговой А.А., тел.: +7 (342) 237-84-59, e-mail: [rogovoy@icmm.ru](mailto:rogovoy@icmm.ru))

## Микроструктурное моделирование поведения монокристаллов и поликристаллов ферросплавов с памятью формы



Для описания магнито-индуцированной переориентации мартенситной структуры в ферросплавах с памятью формы впервые предложено условие раздвойникового в случае действия только магнитного поля, основанное на достижении массовым магнитным моментом критического значения.

На основе микроструктурного моделирования и предложенного условия раздвойникового впервые получены кривые намагничивания для монокристаллов и поликристаллов (изотропных и структурированных) таких ферросплавов.

Эффект магнито-индуцированной переориентации позволяет использовать ферросплавы с памятью формы в демпферах, приводах, датчиках.

Rogovoy A.A., Stolbova O.S. Microstructural model of the behavior of a ferroalloy with shape memory in a magnetic field // *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 2022. – DOI: 10.1080/15376494.2022.2114046 [Q2, IF 4.03]

Rogovoy A.A., Stolbova O.S. Microstructural Modeling of the Magnetization Process in Ni<sub>2</sub>MnGa Alloy Polytwin Crystals // *Magnetochemistry*, 2022. – V. 8 – №8. – 78 – DOI: 10.3390/magnetochemistry8080078. [Q2, IF 3.336]

2. Разработаны и применены искусственные нейросети в задачах анализа данных атомно-силовой микроскопии. Осуществлено вычислительное моделирование трехмерных задач индентирования упругого материала, под поверхностью которого содержится сферическое включение. Эти решения использованы для обучения искусственной нейросети. Практическим применением созданной нейросети является использование ее в алгоритмах эффективного моделирования работы атомно-силового микроскопа в задачах распознавания объектов под поверхностью мягкого связующего в композитном материале.

#### Аннотация

При анализе свойств эластомерных нанокомпозитов важным этапом является получение информации о структуре материала. Представляет интерес анализ особенностей расположения частиц наполнителя на небольшой глубине под поверхностью образца. Для расшифровки результатов исследований с помощью атомно-силовой микроскопии необходимо привлекать специальные математические модели и вычислительные программы. Важным элементом при этом является вычислительное моделирование процесса индентирования материала зондом атомно-силового микроскопа. Для получения нужной информации приходится решать нелинейные трехмерные задачи. Каждый расчет занимает несколько десятков часов.

Эффективным решением проблемы стало использование искусственного интеллекта, которое позволило сократить время вычисления до нескольких секунд. По данным ряда компьютерных экспериментов решения трехмерных задач «обучена» искусственная нейросеть. Созданная нейросеть позволяет за несколько секунд с высокой точностью предсказать нужную кривую индентирования мягкого упругого материала, содержащего на небольшой глубине жесткое включение.

(Рук. д.ф.м.н. Свистков А.Л., тел.: +7 (342) 237-83-98, e-mail: [svistkov@icmm.ru](mailto:svistkov@icmm.ru))

**Применение искусственных нейросетей в задачах анализа данных атомно-силовой микроскопии**



Архитектура пятислойной искусственной нейронной сети, используемой для получения кривых индентирования материала



Геометрия объектов в трехмерных задачах индентирования композитного материала, решение которых использованы для обучения нейросети

Разработан алгоритм, с помощью которого построена и «обучена» искусственная нейросеть.

Необходимость в построении такой сети возникла в связи с возникающими проблемами при анализе данных атомно-силовой микроскопии.

Программа представляет собой самообучающийся вычислительный алгоритм.

Практическим применением созданной нейросети является использование ее в алгоритмах эффективного моделирования работы атомно-силового микроскопа в задачах распознавания объектов под поверхностью мягкого связующего в композитном материале

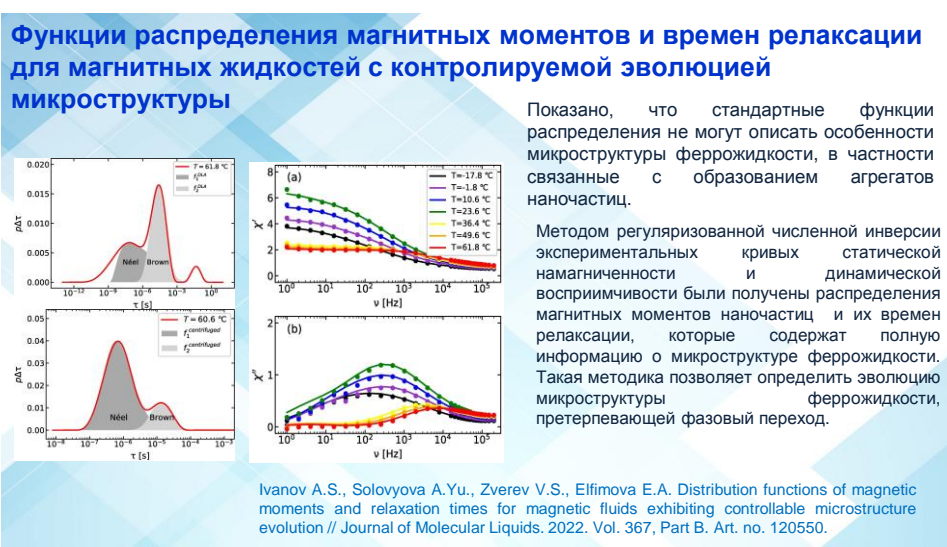
3. Для исследования связанного магнитного, структурного и механического отклика субмикронных магнитополимерных агрегатов на приложенное магнитное поле применено компьютерное моделирование методом крупнозернистой молекулярной динамики.

#### Аннотация

Добавление и встраивание магнитных наночастиц в коллоидные полимерные агрегаты порождает класс магнитополимерных систем — биосовместимых и управляемых частиц с потенциалом в медицинских приложениях. Несмотря на достаточно большой объём работ по синтезу данных объектов, теоретические и модельные представления об их строении и поведении развиты слабее, что сдерживает их активное практическое применение. Численное моделирование методами

молекулярной динамики в крупнозернистом (coarse-grained) представлении становится всё более актуальным и эффективным при исследовании мягких полимерных систем на малых масштабных уровнях. Данный подход был использован для получения новых сведений о типичном комплексном отклике на однородное магнитное поле в отдельной магнитополимерной частице в качестве отправной точки для изучения перспективных сценариев использования магнитно-структурного-механического поведения в задачах управляемой доставки лекарств. Схожая методология позволила построить модельные микроферрогелевые и магнитополимеросомные объекты и получить их итоговые конфигурации в отсутствии и в растущем магнитном поле. Выявлена зависимость итоговой конфигурации микрогеля от свойств сшивок и начального пространственного распределения магнитных наночастиц. Для магнитных полимеросом (или магниточувствительных везикул) проанализировано намагничивание и структурная перестройка подсистемы из наночастиц в случае несферической геометрии объекта, в том числе для сфероидальных и дискообразных частиц. Показано, что приложение однородного магнитного поля способно порождать области с неоднородной концентрацией наночастиц внутри полимерной мембраны.

(Рук. д.ф.-м.н. Райхер Ю.Л., тел.: +7 (342) 237-83-23, e-mail: [raikher@icmm.ru](mailto:raikher@icmm.ru))



4. Построена модель для описания деформаций кантилеверов из магнитоактивного эластомера смешанного состава.

#### Аннотация

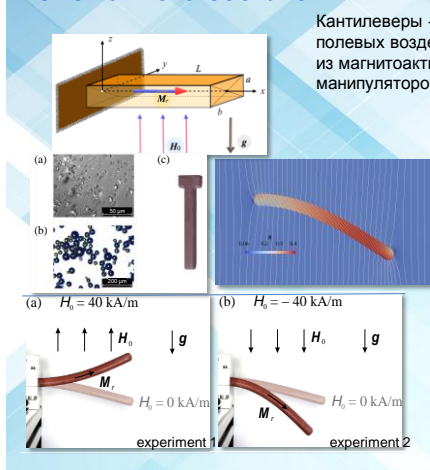
Кантилеверы – рабочие элементы многих типов датчиков механических и полевых воздействий. Помимо этих стандартных применений, кантилеверы из магнитоактивных эластомеров (МАЭ) уникально хороши в качестве манипуляторов в «мягкой роботике» (soft robotics).

Построена модель для описания, управляемого полем (т.е., дистанционно) изгиба кантилевера из МАЭ специального типа, где магнитный наполнитель представляет собой смесь микронных частиц двух существенно различных ферромагнетиков: магнитомягкого и магнитожёсткого. Это лишь недавно найденное сочетание позволяет настраивать начальный профиль элемента и его упругость, а при необходимости – изменять их (перепрограммировать), не заменяя сам кантилевер. Работоспособность модели подтверждена экспериментально на образцах кантилеверов состава: полидиметилсилоксан (матрца), карбонильное железо (магнитомягкая фаза), NdFeB (магнитожёсткая фаза) при вариации относительного содержания компонентов наполнителя.

Becker T.I., Stolbov O.V., Biller A.M., Borin D.Yu., Stolbova O.S., Zimmermann K., Raikher Yu. L. Shape-programmable cantilever made of a magnetoactive elastomer of mixed content // Smart Materials and Structures. 2022. V. 31. Art.no. 105021 (Open access) [WoS, Q1, IF 4.131]

(Рук. д.ф.-м.н. Райхер Ю.Л., тел.: +7 (342) 237-83-23, e-mail: [raikher@icmm.ru](mailto:raikher@icmm.ru))

## Управление изгибом кантилевера из магнитоактивного эластомера смешанного состава



Кантилеверы – рабочие элементы многих типов датчиков механических и полевых воздействий. Помимо этих стандартных применений, кантилеверы из магнитоактивных эластомеров (МАЭ) уникально хороши в качестве манипуляторов в «мягкой роботике» (soft robotics).

Построена модель для описания управляемого полем (т.е., дистанционно) изгиба кантилевера из МАЭ специального типа, где магнитный наполнитель представляет собой смесь микронных частиц двух существенно различных ферромагнетиков: магнитомягкого и магнито- жёсткого. Это лишь недавно найденное сочетание позволяет настраивать начальный профиль элемента и его упругость, а при необходимости – изменять их (перепрограммировать), не заменяя сам кантилевер. Работоспособность модели подтверждена экспериментом.

Becker T.I., Stolbov O.V., Biller A.M., Borin D.Yu., Stolbova O.S., Zimmermann K., Raikher Yu. L. Shape-programmable cantilever made of a magnetoactive elastomer of mixed content // Smart Materials and Structures. 2022. V. 31. Art.no. 105021 (Open access).

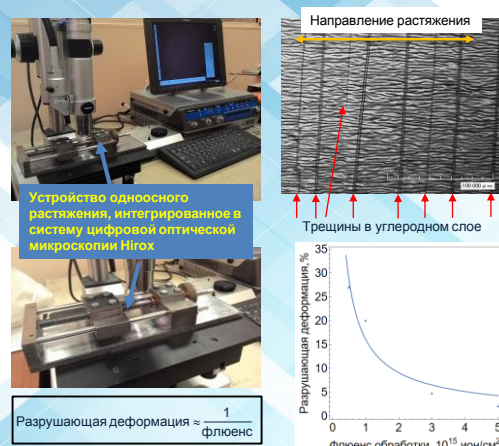
5. Получены зависимости прочностных характеристик углеродного слоя, сформированного на полиэтилене и на полиуретанах, от режимов ионно-плазменной обработки, при которых сформирован исследуемый слой.

### Аннотация

Метод ионно-плазменной обработки полимерных имплантатов позволяет сформировать биосовместимый углеродный слой на их поверхности. Для практического использования данного метода необходимо определить режимы работы установки, обеспечивающие образование углеродного слоя с оптимальными механическими свойствами. С помощью разработанного устройства одноосного растяжения, интегрированного в предметный столик цифровой системы оптической микроскопии, определены пороговые значения деформации, при которых разрушается углеродный слой на полиэтилене и полиуретанах. Установлено, что величина деформации, разрушающей углеродный слой, обратно пропорциональна дозе ионов, при которой он сформирован. Полученные результаты позволяют определить оптимальные режимы ионно-плазменной модификации поверхности полимерных имплантатов с учётом их деформированного состояния при эксплуатации.

(Рук. д.ф.м.н. Шардаков И.Н., тел.: +7 (342) 237-83-18, e-mail: [shardakov@icmm.ru](mailto:shardakov@icmm.ru))

## Прочностные характеристики углеродного покрытия



С помощью разработанного устройства одноосного растяжения, интегрированного в предметный столик цифровой системы оптической микроскопии, определены пороговые значения деформации, при которых разрушается углеродный слой, сформированный на полиэтилене и полиуретанах методом ионно-плазменной обработки.

Установлено, что величина разрушающей углеродный слой деформации обратно пропорциональна дозе ионов, при которой сформирован данный нанослой.

Практическая применимость полученных результатов связана с повышением биосовместимости полимерных имплантатов.

Shardakov I., Ivanov Y., Chudinov V., et al. Mechanical characteristics of the carbonized layer on the surface of polyethylene treated by the ion-plasma method // Procedia Structural Integrity. – 2022. – V. 37. – P.1065-1072.

6. Впервые предложено статистико-термодинамическое описание механического поведения ДНК с открытыми состояниями.

#### Аннотация

Изучение открытых состояний играет важную роль в понимании закономерностей биологической активности ДНК. В рамках исследования были рассмотрены понятие открытого состояния в ДНК и ассоциированного с ним параметра – вектор смещения нуклеотидов, обусловленный разрывом водородных связей. Путем осреднения векторов смещений нуклеотидов по ансамблю открытых состояний определена термодинамическая переменная, характеризующая его. Согласно статистической модели ДНК в приближении самосогласованного поля получен структурный параметр термализации системы. Показано, данный параметр характеризует «эффективную температуру» рассматриваемой системы и отражает статистическую автомодельность в поведении ансамбля открытых состояний. Проведено исследование процесса денатурации ДНК на основе сопоставления результатов моделирования мезоскопической модели и модели Пейрара-Бишопа-Доксуа, подтвердившее адекватность предлагаемой модели. Установлены закономерности «критичности» для различных диапазонов структурного параметра и предложены феноменологические представления свободной энергии. Продемонстрировано, что факторы, усиливающие эффект нелокальности участков ДНК, влияют на уменьшение числа открытых состояний.

Nikitiuk, A.S. Statistical thermodynamics of DNA with open states / A.S. Nikitiuk, Yu.V. Bayandin, O.B. Naimark // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2022. – V. 607. – P. 128-156. (WoS, Q1, IF 3.8)

(Рук. д.ф.м.н. Наймарк О.Б., тел.: +7 (342) 237-83-12, e-mail: [naimark@icmm.ru](mailto:naimark@icmm.ru))



7. Предложена математическая постановка и разработан алгоритм численной реализации задачи о собственных и вынужденных установившихся колебаниях smart-систем, представляющих собой упругие или вязкоупругие тела с включениями из упругих пьезоэлементов, к электродированным поверхностям которых подключены элементы электрических цепей. Продемонстрированы возможности этих задач для поиска параметров, обеспечивающих максимальные демпфирующие свойства моделируемых smart-систем при свободных и вынужденных колебаниях.

#### Аннотация

Исследуются smart-системы, представляющие собой кусочно-однородные тела, состоящие из упругих или вязкоупругих деформируемых элементов и упругих деформируемых пьезоэлементов, к электродированным поверхностям которых подключены внешние электрические цепи

различной архитектуры, состоящие из резистивных, ёмкостных и индуктивных элементов. Рассматриваются задачи о собственных и вынужденных установившихся колебаниях, для математической постановки которых предложены вариационные уравнения. Численная реализация выполнена на основе метода конечных элементов. Для построения конечно-элементного алгоритма используются авторские подпрограммы и возможности коммерческого пакета программ ANSYS. Разработанные алгоритмы используются для поиска параметров, в том числе параметров электрических цепей, обеспечивающих максимальные демпфирующие свойства моделируемых smart-систем при свободных и вынужденных колебаниях.

Показано, что параметры систем, найденные на основе предложенных алгоритмов, обеспечивают более высокие показатели демпфирования при свободных и вынужденных колебаниях, чем параметры, найденные при использовании общепринятых алгоритмов на основе различных вариантов передаточных функций.

(Рук. д.т.н. Матвеевко В.П., тел.: +7 (342) 237-84-61, e-mail: [mvp@icmm.ru](mailto:mvp@icmm.ru))

**Собственные и вынужденные колебания электро-вязкоупругих тел с внешними электрическими цепями**

$$\sum_{n=1}^N \int_{V_n} (\sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} + \rho_m \ddot{u}_i \delta u_i) dV + \int_{V_c} (\sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} - D_i \delta E_i + \rho_{ii} \delta u_i) dV - \int_{\Omega_s} \delta u_i P_i d\Omega - \int_{\Omega_p} q_i \delta \varphi d\Omega + \sum_{p=1}^{N_p} \frac{1}{L_p} \int_0^{t_p} (\varphi_i^{t_p} - \varphi_i^t) \delta \varphi dt dt + \sum_{q=1}^{N_q} \frac{1}{R_q} \int_0^{t_q} (\varphi_i^{t_q} - \varphi_i^t) \delta \varphi dt + \sum_{r=1}^{N_r} C_r (\varphi_i^{t_r} - \varphi_i^t) \delta \varphi = 0$$

Предложена математическая постановка и разработан алгоритм численной реализации задачи о собственных и вынужденных установившихся колебаниях smart-систем, представляющих собой упругие или вязкоупругие тела с включениями из упругих пьезоэлементов, к электродированным поверхностям которых подключены элементы электрических цепей.

Продемонстрированы возможности этих задач для поиска параметров, обеспечивающих максимальные демпфирующие свойства моделируемых smart-систем при свободных и вынужденных колебаниях.

Зависимости мнимой части комплексных собственных частот первой моды колебаний (цветная градиентная заливка) и моды колебаний электрического контура (серая заливка) для пластины

Matveenko, V., Iurlova, N., Oshmarin, D. et al. Analysis of dissipative properties of electro-viscoelastic bodies with shunting circuits on the basis of numerical modelling of natural vibrations. *Acta Mechanica* (2022). 16p. [WOS Q2]

8. Экспериментально и численно выявлен и изучен механизм подавления интенсивных течений жидкого металла вблизи локализованных токоподводов путем наложения слабого внешнего магнитного поля.

**Аннотация**

Исследованы течения жидкого металла, генерируемые в цилиндрической ячейке сильным электрическим током, текущим от центрального нижнего электрода к боковой стенке. В отсутствие внешнего магнитного поля течение обусловлено взаимодействием электрического тока с собственным магнитным полем (такие течения называют электровихревыми). Известно, что даже относительно слабая азимутальная сила (которая немедленно возникает при наложении вертикального внешнего магнитного поля) вызывает завихрение, которое полностью изменяет структуру потока.

В работе впервые изучены установившиеся режимы и проанализирована динамика переходных режимов, в процессе развития, которых энергия течения может на два порядка превосходить энергию установившегося течения. В рассматриваемой задаче особенности переходных режимов, приводящих к подавлению полоидального течения, связаны с тем, что область действия сил локализована в окрестности нижнего электродного электрода. Сценарий развития потока сильно зависит от соотношения электровихревых и азимутальных сил (успевает ли сформироваться полоидальный вихрь до появления заметного завихрения металла, или же вихрь преобладает с самого начала эволюции потока).

Frick P., Mandrykin S., Eltishchev V., Kolesnichenko I. Electro-vortex flows in a cylindrical cell under axial magnetic field // Journal of Fluid Mechanics. 2022. V.949, A20. doi:10.1017/jfm.2022.746 (Q1, IF=3.627).

(Рук. д.ф.м.н. Фрик П.Г., тел.: +7 (342) 237-83-22, e-mail: [frick@icmm.ru](mailto:frick@icmm.ru))



9. Проведено лабораторное моделирование процесса теплообмена в условиях плотной городской застройки г.Перми

#### Аннотация

Для формирования оптимальной городской структуры требуется минимизация областей с экстремальными температурами и сокращение интервалов времени с пиковыми значениями температуры. Проблема достаточно сложна, поскольку существуют различные факторы, которые могут оказывать существенное влияние на городской климат. Для решения данной проблемы используются различные подходы, имеющие свои особенности. Численное моделирование с достаточным пространственным разрешением требует очень больших вычислительных ресурсов, полномасштабные полевые измерения требуют развитой инфраструктуры и плотной сетки измерительных датчиков, спутниковые наблюдения также имеют серьезные ограничения.

Еще одним перспективным подходом является экспериментальное моделирование. Контролируемые, воспроизводимые лабораторные эксперименты в идеализированных условиях могут дать ценную информацию об основных, устойчивых особенностях процессов тепло- и массопереноса на городских масштабах.

В ходе выполнения работ получены результаты лабораторного моделирования процессов теплообмена в условиях идеализированного городского ландшафта. Основное внимание уделено временной зависимости температуры поверхности от плотности застройки и рельефа поверхности в процессе охлаждения поверхности. Были выявлены две стадии охлаждения, а именно: относительно короткий период быстрого охлаждения и длительный период релаксации. На основе корреляционного анализа было показано, что увеличение количества зданий оказывает существенное влияние на быструю стадию процесса охлаждения.

Evgrafova, A. Sukhanovskii. Impact of complex relief on heat transfer in urban area // Urban Climate, Volume 43, 2022, P.101177, ISSN 2212-0955. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101177>

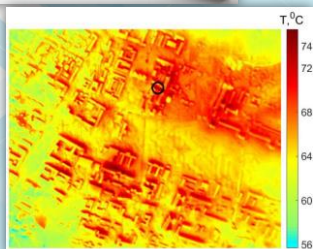
(Рук. д.ф.м.н. Сухановский А.Н., тел.: +7 (342) 237-83-94, e-mail: [san@icmm.ru](mailto:san@icmm.ru))

## Впервые проведено лабораторное моделирование процесса теплообмена в условиях плотной городской застройки г.Перми



Формирование оптимальной городской структуры требует минимизации областей с экстремальными температурами и сокращения интервалов времени с пиковыми значениями температуры

Лабораторное моделирование позволяет выделить базовые особенности процессов тепло- и массопереноса в условиях городской застройки.



Проведенные исследования выявили наличие двух выраженных стадий охлаждения городского рельефа в вечернее время. На основе корреляционного анализа показано, что увеличение количества зданий оказывает существенное влияние на быструю стадию процесса охлаждения.

A. Evgrafova, A. Sukhanovskii. Impact of complex relief on heat transfer in urban area // Urban Climate, Volume 43, 2022, P.101177, ISSN 2212-0955, <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101177>

10. Впервые исследована круговая поверхностная волна в цилиндрической магнитогидродинамической ячейке.

### Аннотация

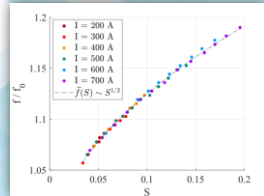
Экспериментально исследована круговая поверхностная волна (КПВ) низкотемпературного сплава галлия в неподвижной ячейке с центральным нижним электродом и верхним кольцевым электродом в условиях приложенного аксиального магнитного поля. Показано, что стационарный режим КПВ имеет место, если силовой параметр взаимодействия превышает некоторое критическое значение. Выше этого значения характерная частота КПВ, нормированная на собственную частоту азимутальной гравитационной волны в той же ячейке, примерно следует закону. Амплитуда колебаний поверхности также растет с увеличением воздействия. Измеренные профили скоростей показывают, что течение имеет сложную структуру, а расчеты распределения электромагнитной силы демонстрируют, что стационарность КПВ в рассматриваемой задаче обеспечивается эксцентричным моментом силы Лоренца. Полученные результаты могут иметь большую практическую значимость при разработке новых перспективных энергетических устройств, а именно, для контроля и обеспечения стабильности поверхностей жидких металлов в крупномасштабных технологических жидкометаллических устройствах, таких как жидкометаллические батареи.

Eltishchev V., Losev G., Kolesnichenko I., Frick P. Circular surface wave in a cylindrical MHD cell // Experiments in Fluids. – 2022. – V. 63 – №127. <https://doi.org/10.1007/s00348-022-03469-8> (WoS, Q2, JCI 0.71).

(Рук. к.ф.м.н. Колесниченко И.В., тел.: +7 (342) 237-83-81, e-mail: [kiv@icmm.ru](mailto:kiv@icmm.ru))



## Круговая поверхностная волна в цилиндрической магнитогидродинамической ячейке



Экспериментально исследована круговая поверхностная волна (КПВ) низкотемпературного сплава галлия в неподвижной ячейке с центральным нижним электродом и верхним кольцевым электродом в условиях приложенного аксиального магнитного поля.

Показано, что стационарный режим КПВ имеет место, если силовой параметр взаимодействия  $S$  превышает некоторое критическое значение. Выше этого значения характерная частота КПВ  $f$ , нормированная на собственную частоту азимутальной гравитационной волны  $f_0$  в той же ячейке, примерно следует закону  $f/f_0 \sim 1 + \sqrt{S}/2$ .

Практическое применение: контроль и обеспечение стабильности поверхностей жидких металлов в крупномасштабных технологических жидкометаллических устройствах, таких как жидкометаллические батареи.

Eltishchev V., Losev G., Kolesnichenko I., Frick P. Circular surface wave in a cylindrical MHD cell // Experiments in Fluids. – 2022. – V. 63 – №127. <https://doi.org/10.1007/s00348-022-03469-8> (WoS, Q2, JCI 0.71)

11. Исследована динамика слоя поверхностно-активного вещества в системах с конвективными течениями.

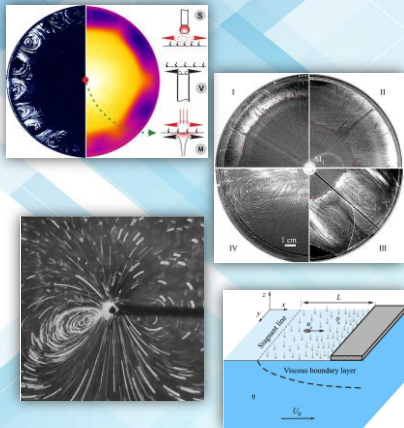
### Аннотация

Впервые проведено систематическое исследование динамики слоя поверхностно-активного вещества (ПАВ) в системах с конвективными течениями. Использование различных способов генерации течения и ПАВ с разными реологическими свойствами позволило обобщить результаты, в том числе и предыдущих исследователей, и разработать единый подход к описанию проблемы. Найден набор безразмерных параметров, полностью определяющих динамику слоя ПАВ и структуру течения под межфазной поверхностью. Впервые предложен непротиворечивый механизм формирования вихревых структур в адсорбированном слое, как результата неустойчивости механического равновесия слоя ПАВ при достижении критического потока импульса со стороны объемного потока. На основе анализа размерностей авторами предложен безразмерный параметр, величина которого зависит от реологических характеристик слоя сурфактанта и параметров течения и определяет порог развития неустойчивости. Описанный авторами механизм неустойчивости позволяет по-новому взглянуть на результаты некоторых экспериментальных исследований в межфазной гидродинамике. В частности, развитие неустойчивости способно объяснить т.н. парадокс Леонардо, заключающийся в спонтанном переходе траектории всплывающего пузырька от прямолинейной к спиральной. Данное явление, впервые описанное ещё в 16 веке Леонардо да Винчи, до сих пор не получило непротиворечивого объяснения.

Mizev A., Shmyrov A., Shmyrova A. On the shear-driven surfactant layer instability // Journal of Fluid Mechanics, 2022. – Vol.939. – art. No.A24. (Q1, IF 4.245)

(Рук. д.ф.м.н. Мизёв А.И., тел.: +7 (342) 237-83-14, e-mail: [alex\\_mizev@icmm.ru](mailto:alex_mizev@icmm.ru))

## Динамика слоя поверхностно-активного вещества в системах с конвективными течениями



Впервые проведено систематическое исследование динамики слоя поверхностно-активного вещества (ПАВ) в системах с конвективными течениями. Использование различных способов генерации течения и ПАВ с разными реологическими свойствами позволило обобщить результаты, в том числе и предыдущих исследователей, и разработать единый подход к описанию проблемы. Найден набор безразмерных параметров, полностью определяющих динамику слоя ПАВ и структуру течения под межфазной поверхностью.

Впервые предложен непротиворечивый механизм формирования вихревых структур в адсорбированном слое, как результата неустойчивости механического равновесия слоя ПАВ при достижении критического потока импульса со стороны объемного потока. Получен параметр подобия, отвечающий за развитие неустойчивости, и оценено его пороговое значение.

Mizev A., Shmyrov A., Shmyrova A. (2022) On the shear-driven surfactant layer instability. *Journal of Fluid Mechanics*, 939, A24. (Q1, IF 4.245)

12. Новый подход к инспектированию целостности обсадных колонн скважин. Предложен новый математический аппарат для инспектирования целостности обсадных колонн скважин современными приборами магнитометрии.

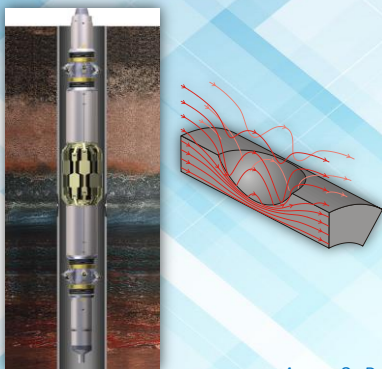
### Аннотация

Для промышленных приборов, осуществляющих инспектирование целостности обсадных труб на основе метода «утечки магнитного потока», новый математический аппарат протестирован на (а) синтетических данных численного моделирования, (б) данных калибровочных лабораторных измерений, (в) данных полевых измерений. Протестировано использование этого метода в сопряжении с другими методами неразрушающего мониторинга. Ежегодно нефтяная отрасль во всем мире тратит более \$60 млрд. на борьбу с коррозией, из которых около \$45 млрд. приходится на деятельность по разведке и обустройству нефтяных месторождений. Для проверки стальных труб используются неразрушающие методы контроля. Одним из основных таких методов является метод «утечки» магнитного потока. Изначально метод разрабатывался для мониторинга состояния трубопроводов и обсадных колонн скважин по добыче углеводородов, но для скважин захоронения CO<sub>2</sub> метод становится еще более востребован в связи с коррозионной агрессивностью водного раствора CO<sub>2</sub>.

Assous S., Dolmatova A.V., Goldobin D.S., Elkington P., Bacciarelli M. Wall Thickness Image Construction in Wellbore Casings using Data-Driven Inversion of Magnetic Flux Leakage // *GEOPHYSICS*. – 2022. – Vol. 87. – № 6. – P. D175–D187. (WoS Q1, IF 3.264)

(Рук. к.ф.м.н. Голдобин Д.С., тел.: +7 (342) 237-83-14, e-mail: [denis.goldobin@gmail.com](mailto:denis.goldobin@gmail.com))

## Новый подход к инспектированию целостности обсадных колонн скважин



Предложен новый математический аппарат для инспектирования целостности обсадных колонн скважин современными приборами магнитометрии.

Математический аппарат протестирован на синтетических данных численного моделирования, данных калибровочных лабораторных измерений, данных полевых измерений. Протестировано использование этого метода в сопряжении с другими методами неразрушающего мониторинга.

Изначально метод разрабатывался для мониторинга состояния трубопроводов и обсадных колонн скважин по добыче углеводородов, но для скважин захоронения CO<sub>2</sub> метод становится еще более востребован в связи с коррозионной агрессивностью водного раствора CO<sub>2</sub>.

Assous S., Dolmatova A.V., Goldobin D.S., Elkington P., Bacciarelli M. Wall Thickness Image Construction in Wellbore Casings using Data-Driven Inversion of Magnetic Flux Leakage // *GEOPHYSICS*. – 2022. – Vol. 87. – № 6. – P. D175–D187. [Q1, IF 3.3]

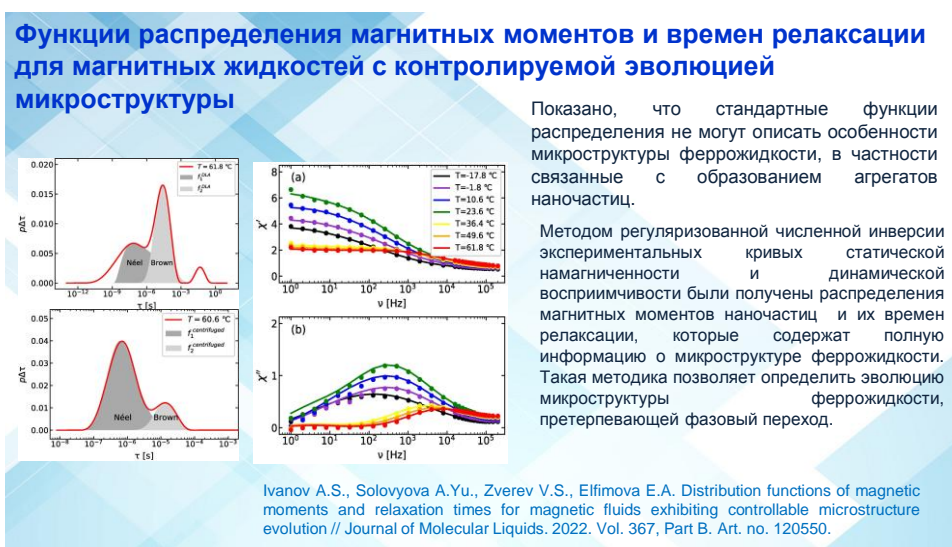
13. Предложена новая методика описания магнитогранулометрических свойств магнитных жидкостей с контролируемой эволюцией микроструктуры на основе функций распределения магнитных моментов и времен релаксации.

#### Аннотация

На основе экспериментальных и численных исследований лабораторных образцов магнитной жидкости, существенно отличающихся друг от друга по дисперсионному составу (гранулометрическому составу), предложена и обоснована новая методика описания их магнитогранулометрических свойств. Подход основан на анализе функций распределения магнитных моментов и их времен релаксации. Его можно использовать для определения магнитного отклика любой магнитной жидкости с произвольным гранулометрическим составом и произвольной микроструктурой, включая магнитные жидкости, испытывающие фазовый переход. Промежуточное представление функции не требуется. Показано, что априори стандартные функции распределения не могут описать особенности микроструктуры феррожидкости, в частности связанные с образованием агрегатов наночастиц. Распределения магнитных моментов и их времен релаксации получены путем регуляризованной численной инверсии экспериментальных кривых статической намагниченности и динамической восприимчивости. Эти распределения содержат полную информацию о микроструктуре феррожидкостей. Анализ кривых распределения показал температурно-зависимую эволюцию микроструктуры феррожидкости в отсутствие приложенного магнитного поля: образование или разрушение агрегатов частиц и изменение механизма релаксации магнитного момента в зависимости от температуры.

Ivanov A.S., Solovyova A.Yu., Zverev V.S., Elfimova E.A. Distribution functions of magnetic moments and relaxation times for magnetic fluids exhibiting controllable microstructure evolution // Journal of Molecular Liquids. 2022. Vol. 367, Part B. Art. no. 120550. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.120550> [WoS, Q1, IF 6.633]

(Рук. к.ф.-м.н. Иванов А.С., тел.: +7 (342) 237-83-25, e-mail: [lesnichiy@icmm.ru](mailto:lesnichiy@icmm.ru))



14. Ключевые результаты исследования термомагнитной конвекции феррожидкости в протяжённом замкнутом гидродинамическом контуре.

#### Аннотация

Получена информация об оптимальной, с точки зрения усиления теплообмена в магнитном поле, концентрации магнитных частиц в феррожидкости на керосиновой основе.

Для получения информации о влиянии магнитного поля и концентрации магнетитовых наночастиц на интенсивность конвективного теплопереноса проведены опыты с замкнутым

гидродинамическим контуром (конвективной петлёй). Контур был изготовлен из трубы круглого сечения и располагался в вертикальной плоскости. Отвод тепла осуществлялся со всей поверхности трубки путём её обдува термостатированным воздухом, без использования дополнительных теплообменников. Показано, что в диапазоне тепловых чисел Рэлея  $Ra = 103 - 104$  устанавливается режим развитого стационарного конвективного теплообмена. При этом вдоль контура наблюдается экспоненциальное распределение температуры. Измеренный в опытах показатель экспоненты использовался для получения информации о расходе жидкости через поперечное сечение канала и интегральном безразмерном осевом тепловом потоке – числе Нуссельта. Опыты проводились с четырьмя образцами феррожидкости типа «магнетит-керосин-олеиновая кислота» одинакового дисперсного состава и различных концентраций. В качестве контрольного образца использовался чистый осветительный керосин. Часть опытов проведена в нулевом магнитном поле (в режиме гравитационной конвекции), другая часть – в режиме смешанной (гравитационной и термомагнитной конвекции) при наложении градиентного магнитного поля с амплитудой напряжённости до 29 кА/м на нагреваемый участок контура. Результаты опытов представлялись в виде зависимостей числа Нуссельта от теплового числа Рэлея  $Nu = Nu(Ra)$ . Установлено, что в нулевом магнитном поле зависимость  $Nu(Ra)$  одинакова для керосина и всех образцов феррожидкостей. Таким образом, развитая гравитационная конвекция феррожидкости качественно не отличается от конвекции гомогенной жидкости. Включение магнитного поля инициировало термомагнитную конвекцию, которая усиливала теплообмен в три и более раза в зависимости от теплового числа Рэлея и концентрации частиц. Наибольшие абсолютные значения безразмерного интегрального осевого теплового потока наблюдаются в образцах с объёмной долей твёрдых частиц 4-6%.

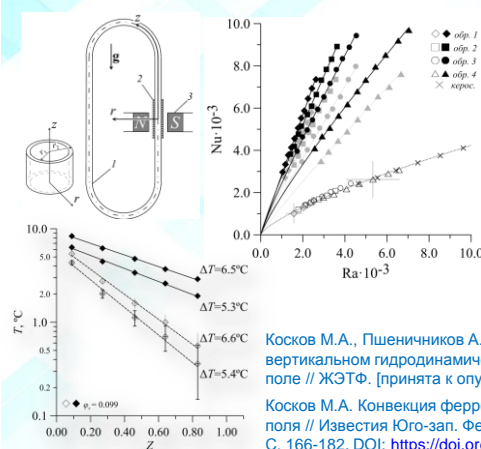
Косков М.А., Пшеничников А.Ф. Термомагнитная конвекция феррожидкости в вертикальном гидродинамическом контуре: интенсификация теплообмена в магнитном поле // ЖЭТФ [принята к опубликованию 9.08.2022].

Косков М.А. Конвекция феррожидкости в замкнутом контуре: анализ температурного поля // Известия Юго-зап. Фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2022. Т. 12, вып. 2. С. 166-182. doi: 10.21869/2223-1528-2022-12-2-166-182.

Косков М.А., Пшеничников А.Ф. Термомагнитная конвекция в замкнутом контуре. Влияние концентрации магнитной фазы / Сборник трудов XX Юб. Всерос. псковской научной конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям 13-16 сентября 2022 г // Изд-во ИГЭУ. 2022. С. 244-248. ISBN: 978-5-00062-520-0.

(Рук. д.ф.-м.н. Пшеничников А.Ф., тел.: +7 (342) 237-83-25, e-mail: [pschenichnikov@icmm.ru](mailto:pschenichnikov@icmm.ru))

### Исследование термомагнитной конвекции феррожидкости в протяжённом замкнутом гидродинамическом контуре



Экспериментально исследована термомагнитная конвекция в вертикальном гидродинамическом контуре.

Существенных различий развитой конвекции феррожидкости и гомогенной жидкости не выявлено.

Наложение градиентного магнитного поля дало рост интенсивности теплообмена в 2-4 раза.

В области концентраций 4-6% объёмной доли кристаллического магнетита, получены наибольшие абсолютные значения безразмерного интегрального осевого теплопотока – числа Нуссельта.

Косков М.А., Пшеничников А.Ф. Термомагнитная конвекция феррожидкости в вертикальном гидродинамическом контуре: интенсификация теплообмена в магнитном поле // ЖЭТФ. [принята к опубликованию 9.08.2022].

Косков М.А. Конвекция феррожидкости в замкнутом контуре: анализ температурного поля // Известия Юго-зап. Фед. ун-та. Сер.: Техника и технологии. 2022. Т. 12, вып. 2. С. 166-182. DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2022-12-2-166-182>.

15. Впервые экспериментально получены стационарные волны на свободной поверхности магнитной жидкости, возникающие от движущегося вдоль поверхности слоя точечного препятствия.

#### Аннотация

Впервые экспериментально получены стационарные волны на свободной поверхности магнитной жидкости, возникающие от движущегося вдоль поверхности слоя точечного препятствия. Экспериментально и теоретически получены зависимости угла раствора конуса стационарных волн от напряженности магнитного поля, направленного перпендикулярно к свободной поверхности слоя магнитной жидкости и продольно поверхности как вдоль, так и поперек направления движения препятствия.

В природе стационарные волны за препятствием наблюдаются в океанах при движении штормов и ураганов, атмосфере и на поверхности воды за движущимися объектами. Причиной образования стационарных волн за движущимся препятствием (или неподвижным препятствием в потоке жидкости) является дисперсия, т.е. зависимость фазовой и групповой скорости распространения волн от длины волны. В магнитных жидкостях дисперсионное уравнение определяется (кроме всех обычных для волн на свободной поверхности) напряженностью магнитного поля.

Однако на сегодняшний день отсутствуют как теоретические, так и экспериментальные данные о характере влияния магнитного поля на картину гравитационно-капиллярных стационарных волн, создаваемых движущимся препятствием, которые могут существенно отличаться во всех трех случаях ориентации магнитного поля относительно направления движения источника волн.

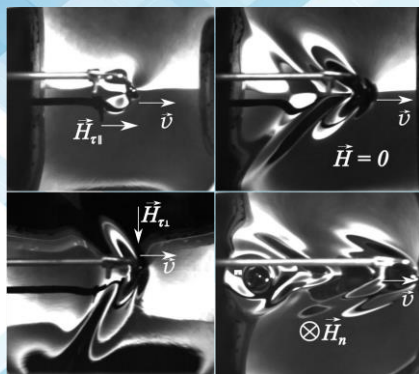
В представленной работе исследованы стационарные гравитационно-капиллярные волны, возникающие на свободной поверхности слоя магнитной жидкости от движущегося вдоль плоскости слоя точечного препятствия, в магнитном поле различной ориентации: нормальном к поверхности слоя и продольном поверхности как вдоль, так и поперек направления движения препятствия.

Проведенный линейный анализ и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы: рост напряженности вертикального магнитного поля приводит к сужению конуса стационарных волн и росту их амплитуды. Горизонтальное магнитное поле, параллельное скорости препятствия, расширяет конус стационарных волн и уменьшает их амплитуду, а при некоторых значениях полностью подавляет стационарные волны на поверхности магнитной жидкости. Горизонтальное магнитное поле, перпендикулярное скорости препятствия, также расширяет конус стационарных волн, но не влияет на их амплитуду.

Krakov M.S., Khokhryakova C.A., Kolesnichenko E.V. Wave patterns of stationary gravity–capillary waves from a moving obstacle in a magnetic fluid // Journal of Fluid Mechanics. – 2022. – Vol. 948. – Art. no. A17. DOI: <https://doi.org/10.1017/jfm.2022.691> (WoS, Q1, IF 4.245)

(Рук. к.ф.-м.н. Хохрякова К.А., тел.: +7 (342) 237-83-25, e-mail: [bca@icmm.ru](mailto:bca@icmm.ru))

#### **Стационарные волны на поверхности магнитной жидкости, возникающие при обтекании точечного препятствия**



Исследованы стационарные гравитационно-капиллярные волны, возникающие на свободной поверхности слоя магнитной жидкости (МЖ) от движущегося вдоль плоскости слоя точечного препятствия  $v$ , в магнитном поле различной ориентации: нормальном к поверхности слоя  $H_n$  и продольном поверхности  $H_{\parallel}$ , как вдоль  $H_n$ , так и поперек  $H_{\perp}$  направления движения препятствия.

Рост напряженности вертикального магнитного поля  $H_n$  приводит к сужению конуса стационарных волн и росту их амплитуды.

Горизонтальное магнитное поле, параллельное скорости препятствия  $H_{\parallel}$ , расширяет конус стационарных волн и уменьшает их амплитуду, а при некоторых значениях полностью подавляет стационарные волны на поверхности МЖ.

Горизонтальное магнитное поле, перпендикулярное скорости препятствия  $H_{\perp}$ , также расширяет конус стационарных волн, но не влияет на их амплитуду.

Krakov M.S., Khokhryakova C.A., Kolesnichenko E.V. Wave patterns of stationary gravity–capillary waves from a moving obstacle in a magnetic fluid // Journal of Fluid Mechanics. 2022. Vol. 948. A17. DOI: <https://doi.org/10.1017/jfm.2022.691>

16. Впервые рассмотрено влияние неоднородности подложек на динамику зажатой капли в вибрационном поле.

#### Аннотация

Предложена модель для исследования влияния неоднородностей поверхностей пластин, между которыми зажата капля жидкости. Внешние однородные вибрации возбуждают определённый набор гармоник. Например, поперечные к пластинам вибрации возбуждают нечетные гармоники осесимметричной моды, а продольные – четные гармоники трансляционной моды. Это можно увидеть исходя из анализа спектра и амплитудно-частотных характеристик. Если свойства пластин отличаются друг от друга, то это приводит к появлению в спектре гармоник другой четности и, соответственно, дополнительным резонансным пикам. Неоднородность поверхности приводит к возбуждению азимутальных мод, что также приводит к появлению нового резонансного отклика. Зная значения частот собственных колебаний для конкретной капли, можно определить соответствие резонансных частот гармоникам. Это позволяет, во-первых, определить одинаковыми ли являются поверхности пластин. Во-вторых, насколько однородными являются эти поверхности. В-третьих, возможно определение физических параметров поверхности или капли, например, параметра смачивания бесконтактным методом. Кроме того, возможно использовать данную систему как детектор вибраций.

Ryankova M. A., Alabuzhev A. A. Influence of the properties of the plate surface on the oscillations of the cramped drop // Phys. Fluids. – 2022. V. 34, 092015 (WoS, Q1, IF 4.98)

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))



17. Установлено, что при конвекции в наклонном пористом слое при любом угле наклона слоя продольные возмущения (трёхмерные) являются наиболее опасными.

#### Аннотация

Были исследованы возникновение и нелинейные режимы тепловой конвекции в наклонном пористом слое, насыщенном жидкостью. Слой находится в поле силы тяжести и подвержен строго вертикальному градиенту температуры. Эта проблема важна для геологических приложений. В первой части работы были численно методом конечных разностей исследованы двумерные нелинейные режимы конвекции, возникающие после потери устойчивости теплопроводного режима. Во второй части работы исследуется линейная устойчивость теплопроводного режима к трёхмерным возмущениям. Установлено, что при любом угле наклона слоя трёхмерные возмущения более опасны, чем двумерные, а наиболее опасные возмущения имеют форму продольных валов. Для угла наклона слоя волновое число критических возмущений равно нулю,

а при  $\neq 0$ . Численные расчеты методом конечных объемов в рамках полного трехмерного нелинейного подхода подтверждают выводы линейного анализа устойчивости.

T.P. Lyubimova, I.D. Muratov, I.S. Shubenkov. Onset and nonlinear regimes of convection in an inclined porous layer subject to a vertical temperature gradient // Phys. Fluids 34, 094114 (2022).

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

### Тепловая конвекция в наклонном слое пористой среды, насыщенной жидкостью, при вертикальном градиенте температуры



Исследованы возникновение и нелинейные режимы тепловой конвекции в наклонном пористом слое, насыщенном жидкостью. Слой находится в поле силы тяжести и подвержен строго вертикальному градиенту температуры. Установлено, что при любом угле наклона слоя продольные возмущения (трехмерные) являются наиболее опасными. Численные расчеты методом конечных объемов в рамках трехмерного нелинейного подхода подтверждают выводы линейного анализа устойчивости.

Результаты исследований важны для геологических приложений.

T. P. Lyubimova, I. D. Muratov, I. S. Shubenkov: "Onset and nonlinear regimes of convection in an inclined porous layer subject to a vertical temperature gradient" // Phys. Fluids 34, 094114 (2022). <https://doi.org/10.1063/5.0104575>

18. Впервые исследовано вытеснение одной жидкости другой, несмешиваемой с первой, в одиночном капилляре при воздействии высокочастотных продольных и поперечных вибраций.

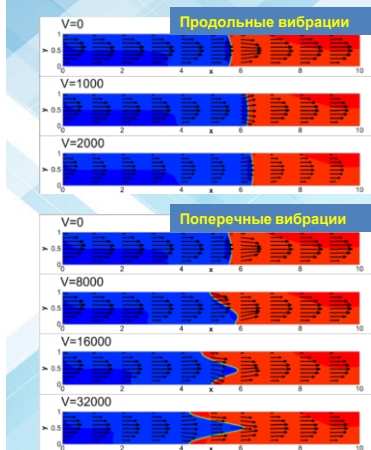
#### Аннотация

Динамику движения в пористой среде можно свести к рассмотрению динамики в одиночном капилляре, который рассматривается как единичный структурный элемент пористой матрицы. В случае рассмотрения вытеснения одной жидкости другой в пористой матрице динамика течения будет в значительной степени определяться капиллярными эффектами на границе двух фаз. Понимание механизмов управления вытеснения и способов влияния на капиллярные силы может быть использовано в такой практически важной области, как добыча углеводородов с помощью прокачки водой под давлением. Множество дополнительных факторов могут оказывать влияние на динамику в подобных системах, например, проходящие мимо поезда, удаленные землетрясения и др. Подобный тип влияний можно обобщенно представить в виде некоторого периодического вибрационного воздействия. В рамках теории фазового поля исследовалось влияние неакустических высокочастотных продольных и поперечных вибрации малой амплитуды на динамику вытеснения. Обнаружено, что вибрации стремятся деформировать границу раздела, ориентируя ее перпендикулярно направлению вибраций, что, в большинстве случаев, приводит к увеличению капиллярному давлению и замедлению течения.

A.Vorobev, S.Prokorev, T.Lyubimova. Liquid/liquid displacement in a vibrating capillary. Phil. Trans. R. Soc. A (IF 4.226, Q1) (принята к опубликованию).

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

## Влияние вибраций на динамику вытеснения в капилляре



Движение в пористой среде может быть исследовано на основе изучения движения в одиночном капилляре, рассматриваемом как единичный структурный элемент пористой матрицы. В случае вытеснения одной жидкости другой в пористой матрице динамика течения будет в значительной степени определяться капиллярными эффектами на границе двух фаз. В силу природных и технологических явлений в таких системах могут возникать колебания, существенно влияющие на динамику вытеснения.

В работе в рамках теории фазового поля исследовано влияние высокочастотных продольных и поперечных вибраций малой амплитуды на динамику вытеснения.

Обнаружено, что вибрации стремятся деформировать границу раздела, ориентируя ее перпендикулярно направлению вибраций, что, в большинстве случаев, приводит к увеличению капиллярного давления и замедлению течения. Данный результат может быть использован при добыче углеводородов путем прокачки водой под давлением.

A.Vorobev, S.Prokopen, T.Lyubimova. Liquid/liquid displacement in a vibrating capillary. Phil. Trans. R. Soc. A (IF 4.226, Q1) (принята к опубликованию).

19. Впервые проведено теоретическое и численное исследование развития двумерных и трёхмерных возмущений и анализ лагранжевой динамики частиц-трассеров для пространственно-периодических двумерных течений с прокачкой.

### Аннотация

Проведено численное исследование двумерного течения, вызванного внешней двоякопериодической силой и прокачкой. Для известного точного решения уравнений Навье-Стокса [1] применяется линейный анализ устойчивости с учетом как двумерных (2D), так и трехмерных (3D) возмущений. Определяющими безразмерными параметрами являются  $\lambda$ ,  $Re_x$ ,  $Re_y$ ,  $l_x$ ,  $l_y$ ,  $l_z$  амплитуда силы, расходу и длины ячеек периодичности в направлениях  $x$  и  $y$  и  $z$ . Точное решение претерпевает ряд структурных перестроек при изменении этих параметров. При  $\lambda = 0$  имеем течение на двумерном торе с числом вращения  $\rho = Re_x/Re_y$  с постоянной скоростью. С ростом  $\lambda$  линии тока искривляются, затем появляются две точки торможения. При дальнейшем росте  $\lambda$  развиваются «глобальные» и «локальные» структуры линий тока, последние образуют два вихря, и реализуется нетривиальная лагранжева динамика трассерных частиц с фрактальными спектрами мощности и ослаблением временных корреляций.

Анализ устойчивости описанного выше двумерного стационарного состояния к двумерным возмущениям был проведен в [2,3] и показал, что в квадратной ячейке периодичности основное состояние устойчиво даже при больших значениях амплитуд сил. Неустойчивость возникает только в вытянутых ячейках, когда длины сторон кратны периодам силы и может, в зависимости от параметров быть монотонной либо колебательной.

В ходе нелинейных расчётов Фурье-мод в пространстве параметров задачи получена, в частности, диаграмма состояний, организованная вокруг бифуркации Богданова-Такенса, в которой два собственных числа линеаризации около основного течения одновременно обращаются в нуль [3]. Лагранжева динамика пассивных частиц, переносимых нелинейными вторичными течениями, определяется отсутствием или наличием зависимости эйлеровского поля скорости от времени. Так, вторичные стационарные течения в результате повторяющихся медленных проходов частиц около точек застоя обладают теми же свойствами, что и основное течение: дальние временные корреляции, сингулярно-непрерывный Фурье-спектр скорости, аномальный перенос.

Если же вторичные течения в эйлеровом представлении периодичны по времени, то достаточно высокие амплитуды внешней силы приводят к разрушению в фазовом пространстве задачи вложенных друг в друга КАМ-торов, и к установлению хаотической адвекции («лагранжева хаоса») пассивных частиц. Проведён также анализ устойчивости к трехмерным возмущениям, с учётом возмущений с зависимостью как от горизонтальных координат  $x, y$ , как в [2], так и от вертикальной координаты  $z$ . Поскольку основное решение не зависит от  $z$ , их можно записать в виде нормальных возмущений, пропорциональных  $\exp(ikz)$ , а для их зависимости от  $x, y$  нужны



более общие функции типа Флоке. Известное для одномерных плоскопараллельных течений преобразование Сквайра, сводящее задачу устойчивости для трехмерных возмущений к двумерной, для двумерного основного течения, как правило, отсутствует. Таким образом, свойства устойчивости существенно отличаются от найденных ранее для двумерных возмущений [2].

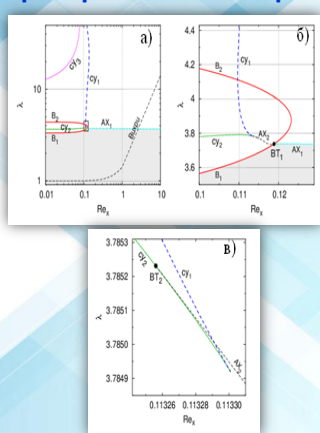
[1] M. Zaks, A. Pikovsky, J. Kurths. Steady viscous flow with fractal power spectrum. Physical Review Letters, 1996.77. 4338-4341.

[2] Wertgeim I. I., Zaks M.A., Sagitov R.V., Sharifulin A.N. Stability and nonlinear secondary modes of double-periodic flows with pumping//Journal of Physics: Conference Series, 1675 (2020) 012002. IOP Publishing. doi:10.1088/1742-6596/1675/1/012002

[3] Вертгейм И.И., Закс М.А., Сагитов Р.В., Шарифулин А.Н. Неустойчивости, бифуркации и нелинейная динамика в двумерных обобщениях течения Колмогорова // Изв. РАН. МЖГ. 2022. № 4. С. 11-25.

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

### Теоретическое и численное исследование развития двумерных и трёхмерных возмущений и лагранжевой динамики частиц в пространственно-периодических двумерных течениях с прокачкой



Анализ поведения двумерных возмущений семейства стационарных по времени пространственно-периодических плоских течений с прокачкой показал, что гидродинамическая неустойчивость возникает, когда длина хотя бы одной из сторон полости вмещает несколько периодов вынуждающей силы, и может, в зависимости от величин среднего расхода жидкости в двух перпендикулярных направлениях, быть монотонной либо колебательной. В пространстве параметров задачи диаграмма состояний организована вокруг бифуркации Богданова-Тakens, в которой два собственных числа линеаризации около основного течения одновременно обращаются в нуль. Лагранжева динамика пассивных частиц, переносимых нелинейными вторичными течениями, определяется отсутствием или наличием зависимости эйлеровского поля скорости от времени.

Вертгейм И.И., Закс М.А., Сагитов Р.В., Шарифулин А.Н. Неустойчивости, бифуркации и нелинейная динамика в двумерных обобщениях течения Колмогорова // Изв. РАН. МЖГ. 2022. № 4. С. 11-25.

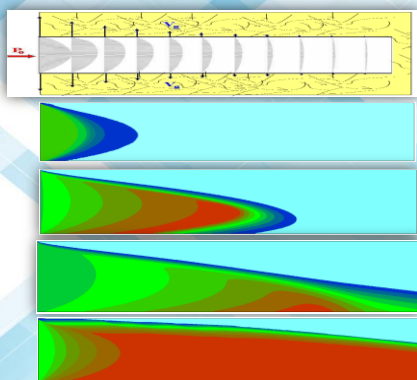
20. Разработана новая численная модель течения суспензии в плоской щели с оттоком дисперсионной фазы через пористые стенки и неоднородным распределением концентрации твёрдых частиц.

#### Аннотация

Одним из примеров течения дилатантной жидкости в канале с пористыми стенками является гидравлический разрыв пласта (ГРП). Гидравлический разрыв может быть определен как механический метод воздействия на продуктивный пласт, при котором порода разрывается по плоскостям минимальной прочности благодаря воздействию на пласт давления, создаваемого закачкой в пласт жидкости. В образованные трещины жидкостями разрыва транспортируется зернистый материал (проппант), закрепляющий трещины в раскрытом состоянии после снятия избыточного давления. В результатекратно повышается дебит добывающих скважин за счет увеличения фильтрационной поверхности скважины. Транспортировка проппанта является ключом к продуктивности скважины и зависит от многих факторов, включая реологию флюида и концентрацию проппанта. Предлагаемая модель построена на базе метода конечных элементов и объединяет в себе описание таких процессов, как течение смеси неньютоновской жидкости и твёрдых частиц в трубах и внутри трещины, перенос и осаждение твёрдых частиц, фильтрация жидкости в породу через поверхность трещины в окрестности скважины.

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

## Модель течения суспензии твердых частиц в канале с пористыми стенками



Построена численная модель течения суспензии в плоской щели с оттоком дисперсионной фазы через пористые стенки и неоднородным распределением концентрации твердых частиц. Такое течение реализуется, в частности, при гидравлическом разрыве пласта (ГРП).

Транспортировка твердых частиц (пропанта) по трещине разрыва является ключом к продуктивности скважины и зависит от многих факторов, включая реологию флюида и концентрацию пропанта.

Моделирование объединяет в себе описание таких процессов, как течение смеси неньютоновской жидкости и твердых частиц в трубах и внутри трещины, перенос и осаждение твердых частиц, фильтрация жидкости в окружающую породу.

21. Предложена математическая модель эволюции размера водорастворимых аэрозольных частиц, учитывающая изменение размера нерастворенного ядра частицы.

### Аннотация

Построена математическая модель, позволяющая описать кинетику взаимодействия водорастворимой однородной и химически нейтральной аэрозольной частицы с влажным воздухом на всех этапах ее гигроскопического роста/уменьшения размера. Благодаря учету зависимости активности воды от концентрации растворенной части частицы и введению дополнительного уравнения для эволюции нерастворенного ядра удалось избежать искусственного разделения этапов растворения частицы с нерастворенным ядром и без него. На основе предложенной модели проведено моделирование различных сценариев изменения состояния частицы в зависимости от ее начальной степени растворения и относительной влажности окружающей среды. Показано, что предсказания предложенной в работе модели качественно и количественно согласуются с экспериментальными данными о эволюции размера частиц хлорида натрия в режимах увлажнения и высушивания, а также с результатами измерений размеров частиц в равновесном состоянии при увеличении и уменьшении относительной влажности воздуха.

Кузнецова, Ю. Л. Эволюция размера растворимой аэрозольной частицы во влажном воздухе / Ю. Л. Кузнецова // Вычислительная механика сплошных сред. – 2022. – Т. 15. – № 1. – С. 31-44. – DOI 10.7242/1999-6691/2022.15.1.3. – EDN JLBVRK

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

## Математическая модель эволюции размера водорастворимых аэрозольных частиц

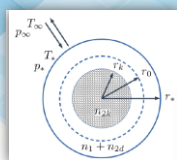
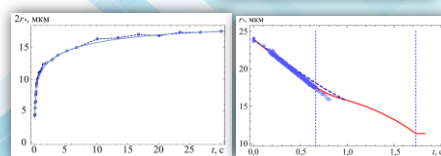
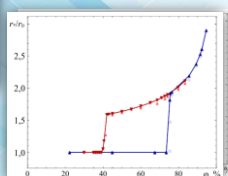


Схема модели и сравнение результатов предсказания модели с экспериментальными данными



Построена математическая модель, позволяющая описать кинетику взаимодействия водорастворимой однородной и химически нейтральной аэрозольной частицы с влажным воздухом на всех этапах гигроскопического роста/уменьшения ее размера.

На основе предложенной модели проведено моделирование различных сценариев изменения состояния частицы в зависимости от начальной степени ее растворения и относительной влажности окружающей среды.

Предсказания предложенной в работе модели качественно и количественно подтверждаются экспериментальными данными об эволюции размера частиц хлорида натрия.

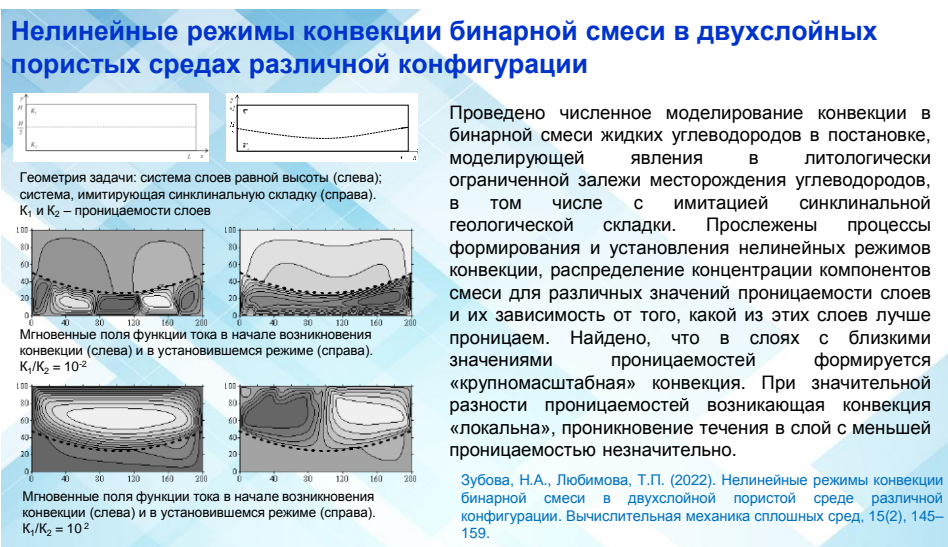
Кузнецова, Ю. Л. Эволюция размера растворимой аэрозольной частицы во влажном воздухе / Ю. Л. Кузнецова // Вычислительная механика сплошных сред. – 2022. – Т. 15. – № 1. – С. 31-44.

22. Проведено численное моделирование конвекции в бинарной смеси жидких углеводородов в постановке, позволяющей интерпретировать задачу как простую модель литологически ограниченной залежи месторождения углеводородов, в том числе с имитацией синклинальной геологической складки.

#### Аннотация

Проведено численное моделирование возникновения конвекции и ее нелинейных режимов в бинарной смеси жидких углеводородов, заключенной в двухслойной пористой среде. Состав смеси, тепловые условия и геометрия позволяют интерпретировать задачу как простую модель литологически ограниченной залежи месторождения углеводородов. Расчетная область представляет собой вытянутый в горизонтальном направлении прямоугольник, разделенный на два слоя. В одном из рассмотренных случаев эти слои равной высоты, а в другом – разной, так как граница раздела слоев имеет форму дуги окружности, обращенной выпуклостью вниз, что имитирует синклинальную геологическую складку. Слои обладают равной пористостью, но разной проницаемостью. В области существует геотермальный градиент со средним значением температуры, характерным для глубины 2 000 м, что соответствует средней глубине залегания нефти. Найдено, что в слоях с близкими значениями устанавливается стационарный режим течения при любой из конфигураций границы раздела, а также формируется «крупномасштабная» конвекция. При значительной разности проницаемостей возникающая конвекция «локальна», могут наблюдаться либо квазипериодические колебания сложной формы, либо нерегулярные колебания. При этом проникновение течения в слой с меньшей проницаемостью незначительно. Зубова, Н.А., Любимова, Т.П. (2022). Нелинейные режимы конвекции бинарной смеси в двухслойной пористой среде различной конфигурации. Вычислительная механика сплошных сред, 15(2), 145–159. <https://doi.org/10.7242/1999-6691/2022.15.2.11>

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))



23. Предложено обобщение формулы Ламба, позволяющее в рамках простого выражения учесть диссипацию в погранслое вязкого газа и повысить тем самым точность метода «левитирующей» капли.

#### Аннотация

Рассмотрены малоамплитудные капиллярные колебания капли жидкости, имеющей в равновесии сферическую форму, которая помещена в объем неподвижного легкого газа. В приближении малой вязкости сред, а также при условии, что среды сильно отличаются по своей плотности, найдена поправка к собственной частоте и оценен коэффициент вязкого затухания. Выводы

теории, полученные аналитически, были проверены в численных расчетах, выполненных для капель воды либо ртути в воздухе.

Показано, что вклады вязкости и инерции газа в вещественную частоту свободных колебаний системы являются незначительными. Что касается коэффициента затухания, то вязкость газа дает вклад, определяемый корнем квадратным из его кинематической вязкости, которым зачастую уже нельзя пренебрегать. Рассчитанный относительно линейного по вязкости вклада жидкости, последний увеличивается как корень четвертой степени из размера капли. Для примера он составляет порядка десяти процентов для капли воды в воздухе диаметром пять миллиметров. Для такой же по размеру капли ртути относительная величина вклада достигает пяти процентов.

Полученные результаты необходимы для улучшения метода «левитирующей» капли, который является разновидностью динамического метода капиллярных волн, применяемого для бесконтактного измерения коэффициентов вязкости и поверхностного натяжения.

Предложено обобщение формулы Ламба для расчета вязкости жидкости, куда помимо декремента затухания квадрупольной моды и размера капли входят плотность и вязкость газа, а также собственная частота системы. Расчет же коэффициента поверхностного натяжения может осуществляться по формуле Рэлея, которая, как оказывается, не требует настоящей коррекции. Коновалов В.В. Влияние вязкости окружающего воздуха на точность измерения свойств жидкости в левитирующей капле // Вычислительная механика сплошных сред. Принята к опубликованию. (Scopus, Q3, IF 0.4).

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))



24. Для задачи о совместном влиянии электрического поля и нормальных вибраций на неустойчивость основного состояния обнаружен эффект расщепления резонансной моды неустойчивости две или три моды при некоторых значениях параметров.

#### Аннотация

Была исследована неустойчивость основного состояния для системы двух жидких диэлектриков конечной толщин. В основном состоянии жидкие диэлектрики разделены плоской горизонтальной границей раздела. Обнаружено, что нормальные вибрации увеличивают критическое значение напряженности электрического поля для случая коротковолновой (волновое число в точке минимума нейтральной кривой ненулевое) электрической моды неустойчивости (неустойчивость Тонкса-Френкеля). Для длинноволновой (волновое число в точке минимума нейтральной кривой нулевое) электрической неустойчивости вибрации увеличивают кривизну нейтральной кривой (зависимость напряженности электрического поля от волнового числа). Т.е. вибрации подавляют электрическую моду неустойчивости.

В случае же резонансных мод неустойчивости показано, что электрическое поле для некоторых частот вибраций и значений напряженности электрического поля может приводить к расщеплению субгармонической резонансной моды на две или три моды.

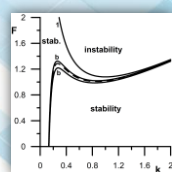
Подобный же эффект был обнаружен чуть ранее для совместного влияния электрического поля и нормальных вибраций устойчивость основного состояния жидкого слоя со свободной границей.

Так как электрическое поле используют для разбрызгивания жидкостей, то это означает, что нормальные вибрации можно использовать для воздействия на данный процесс.

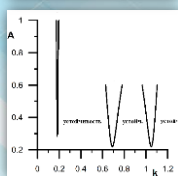
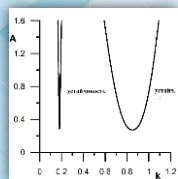
Sadilov E.S. Joint influence of electric field and vibrations on the instability of fluid dielectric layer with free boundary. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1809. P. 012027 [Q4, IF 0.482]

(Рук. д.ф.м.н. Любимова Т.П., тел.: +7 (342) 239-66-46, e-mail: [lubimova@psu.ru](mailto:lubimova@psu.ru))

### Совместное влияние электрического поля и нормальных вибраций на неустойчивость системы, состоящей из двух жидких слоев



Зависимость параметра F от волнового числа k



Зависимости амплитуды вибраций A резонансной моды от волнового числа k (2 случая)

Для системы двух жидких диэлектриков обнаружено, что вибрации подавляют электрическую моду неустойчивости (неустойчивость Тонкса-Френкеля). Для резонансных мод неустойчивости показано, что электрическое поле для некоторых частот и значений напряженности вибраций может приводить к расщеплению субгармонической резонансной моды на две или три моды.

Поскольку электрическое поле применяется для разбрызгивания жидкостей, то это вибрации можно использовать для воздействия на данный процесс.

Sadilov E.S. Joint influence of electric field and vibrations on the instability of fluid dielectric layer with free boundary. Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1809. P. 012027 [Q4, IF 0.482]

25. Предложена и реализована модификация численного метода функции уровней для эффективного решения задач динамики многофазных сред.

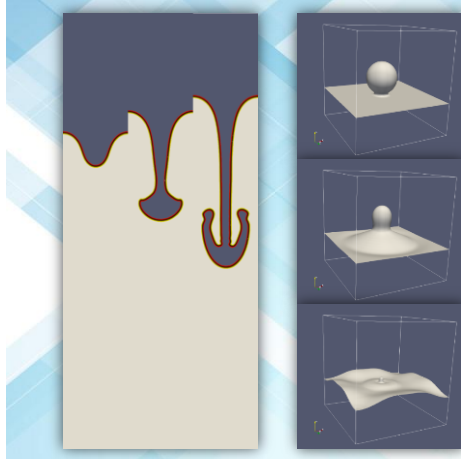
#### Аннотация

Задачи исследования течений в жидких многофазных средах имеют большое теоретическое и практическое значение. К числу факторов, существенно осложняющих проведение численного моделирования, являются большие межфазные скачки плотности и вязкости, а также высокий коэффициент поверхностного натяжения. Для эффективного решения данной проблемы предложена математическая модель и конкретная реализация численной схемы.

Применяемая математическая модель основана на решении уравнений Навье-Стокса для многофазных течений в несжимаемой среде методом функции уровня (level set method). В модели произведен учет капиллярных, термокапиллярных и гравитационных эффектов в условиях больших градиентов физических свойств сред.

Предложенная численная реализация основана на дискретизации уравнений Навье-Стокса в формулировке скорость-давление и дистанционной функции методом конечных объемов на полностью разнесенной регулярной ортогональной сетке. Применение метода конечных объемов позволяет построить консервативную схему решения для минимизации влияния погрешностей самих численных методов и их конкретной реализации. Для обеспечения устойчивости численной схемы решения уравнения конвективного переноса импульса применена разностная схема против потока со стабилизацией (ENO). В численной реализации метода функции уровня предложена новая консервативная схема дискретизации дистанционной функции, обеспечивающая повышение устойчивости метода в условиях указанных осложняющих факторов. Разработанная реализация обеспечивает эффективное проведение вычислений на параллельных системах с распределенной памятью. Разработанный и реализованный метод успешно применен для решения ряда задач динамики многофазных сред.

### Модификация метода функции уровней для эффективного численного решения задач динамики многофазных сред



Задачи исследования течений в многофазных средах имеют большое теоретическое и практическое значение.

К числу факторов, существенно осложняющих проведение численного моделирования, относятся большие межфазные скачки плотности и вязкости, а также высокий коэффициент поверхностного натяжения.

Для эффективного решения данной проблемы предложена модификация метода функции уровня, основанная на новой консервативной схеме дискретизации дистанционной функции, обеспечивающей повышение устойчивости метода в условиях указанных осложняющих факторов.

26. Впервые показано, при заборе воды из природных водных объектов для питьевых нужд при наличии устойчивой плотностной стратификации водных масс возникают когерентные структуры, определяемые минерализациями, плотностями водных масс и скоростями течений.

#### Аннотация

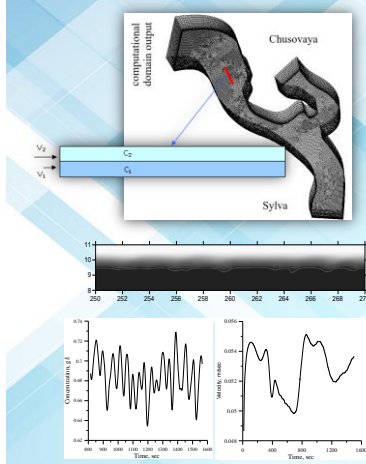
При организации селективного отбора воды из водного объекта, характеризующегося существенной вертикальной стратификацией водных масс, необходимо учитывать возможные когерентные структуры, возникающие на границе, раздела водных масс. Эти структуры могут существенно затруднить селективный отбор. Данная проблема в первую очередь возникает при организации селективного отбора воды с использованием донных барьеров.

Выбор оптимальной высоты донного барьера, отсекающего забор воды из придонных слоев, является весьма ответственной задачей. Как правило, его устанавливают на высоте расположения слоя плотностного скачка. Однако при этом, как показали выполненные исследования, необходимо также учитывать интенсивность когерентных структур, возникающих на границе раздела водных масс.

Показано, что данные вихревые структуры приводят к колебаниям минерализации воды в пространстве и к образованию волновой структуры. Показано, что период и пространственный масштаб данных вихревых структур зависят от соотношения скоростей потоков и различия минерализаций водных, а соответственно и плотности рассматриваемых водных масс. Период колебаний прямо пропорционален отношению скоростей потоков при стабильности остальных рассматриваемых параметрах.

T.P. Lyubimova, A.P. Lepikhin, Ya.N. Parshakova, A.V. Bogomolov. Coherent Structures at the Interface between Water Masses of Confluent Rivers. *Water (Switzerland)*, 2022, 14, 1308 <https://doi.org/10.3390/w14081308> (WoS, Q2, IF 3.53)

## Когерентные структуры на границе раздела водных масс сливающихся рек



Обнаружено, что в процессе забора воды для питьевых нужд при наличии устойчивой плотностной стратификации водных масс в природных водных объектах возникают когерентные структуры, определяемые минерализациями, плотностями водных масс и скоростями течений.

Найдено, что эти вихревые структуры приводят к колебаниям минерализации воды в пространстве и к образованию волновой структуры.

Пространственный масштаб данных вихревых структур зависит от соотношения скоростей потоков и различия минерализаций, а соответственно и плотностей рассматриваемых водных масс. Период колебаний прямо пропорционален отношению скоростей потоков при стабильности остальных рассматриваемых параметров.

T.P. Lyubimova, A.P. Lepikhin, Ya.N. Parshakova, A.V. Bogomolov. Coherent Structures at the Interface between Water Masses of Confluent Rivers. *Water (Switzerland)*, 2022, 14, 1308 (WoS, Q2, IF 3.53)

27. Экспериментальное и теоретическое исследование реологического поведения неньютоновских сред (растворов вязкоупругих ПАВ) при квазистатическом и динамическом нагружениях. Впервые разработана реологическая модель растворов вязкоупругих ПАВ, применяемых в качестве пропантоудерживающей жидкости для гидроразрыва пласта (ГРП) с целью повышения нефтеотдачи, в том числе, с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа.

### Аннотация

Исследованы реологическое поведение жидкости на основе вязкоупругого ПАВ марки Д (тип 70-100, производства АО "Полиэкс") в широком диапазоне скоростей деформирования [1,2] и реологические свойства сурфогеля с добавлением расклинивающего наполнителя – пропанта, с целью предотвращения смыкания образовавшейся трещины. Установлено, что жидкость на основе вязкоупругого ПАВ имеет стабильные реологические свойства на всём интервале скоростей деформирования в том числе с добавлением пропанта в концентрации до 20 % [2]. Динамические эксперименты по нагружению дистиллированной воды, жидкостей на основе гуара и сурфактанта проводились в условиях электровзрыва проволоки. Установлено, что исследуемые жидкости проявляют псевдопластические (неньютоновские) свойства, когда сдвиговая вязкость уменьшается с увеличением скорости деформации на фронте волны сжатия (при давлениях 30-40 МПа). Также определены значения откольной прочности, которые могут быть учтены при образовании кавитационных пузырей в возможных зонах разрежения в процессах ГРП. Высокоскоростная съемка позволила обнаружить колебания жидкости вокруг частиц пропанта при прохождении волны сжатия, которые обусловлены вязкоупругими свойствами жидкости.

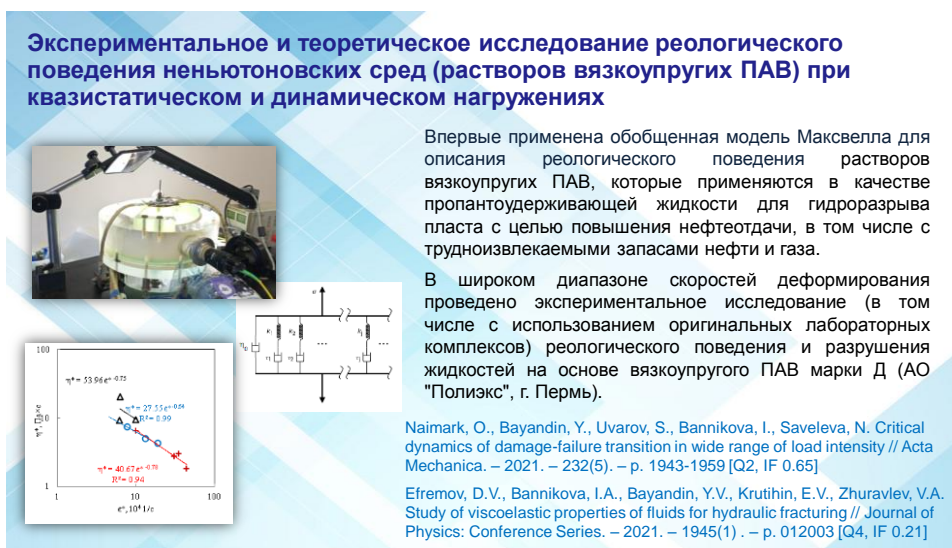
Практическое использование результатов проекта обусловлено необходимостью в проведении численных расчётов процессов гидроразрыва пласта с применением пропантоносущих вязкоупругих жидкостей (раствора ПАВ) с целью обеспечения эффективной нефтеотдачи скважин. Исследования проводятся в сотрудничестве с компанией АО "Полиэкс", которая специализируется в разработке химических технологий и реагентов для текущего и капитального ремонта скважин, а также для процессов добычи и транспорта нефти и газа [3].

Ефремов Д.В., Банникова И.А., Баяндин Ю.В., Крутихин Е.В., Журавлев В.А. Экспериментальное исследование реологических свойств жидкостей для гидроразрыва пласта // Вестник Пермского университета. Серия: Физика. – 2020. – №. 4. – С. 69-77. DOI: 10.17072/1994-3598-2020-4-69-77

Efremov D V, Bannikova I A, Bayandin Yu V, Krutihin E V, Zhuravlev V A. Study of Viscoelastic Properties of Fluids for Hydraulic Fracturing. *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – V.1945. – №1. – P. 012003. DOI: 10.1088/1742-6596/1945/1/012003

Баяндин Ю., Уваров С., Савельева Н., Банникова И., Ледон Д., Ефремов Д., Крутихин Е., Журавлев В. Экспериментальное и теоретическое исследование реологических свойств неньютоновских сред (растворов вязкоупругих ПАВ) при квазистатическом и динамическом нагружениях //

**Экспериментальное и теоретическое исследование реологического поведения неньютоновских сред (растворов вязкоупругих ПАВ) при квазистатическом и динамическом нагружениях**



Впервые применена обобщенная модель Максвелла для описания реологического поведения растворов вязкоупругих ПАВ, которые применяются в качестве пропантоудерживающей жидкости для гидроразрыва пласта с целью повышения нефтеотдачи, в том числе с трудноизвлекаемыми запасами нефти и газа.

В широком диапазоне скоростей деформирования проведено экспериментальное исследование (в том числе с использованием оригинальных лабораторных комплексов) реологического поведения и разрушения жидкостей на основе вязкоупругого ПАВ марки Д (АО "Полиэкс", г. Пермь).

Naimark, O., Bayandin, Y., Uvarov, S., Bannikova, I., Saveleva, N. Critical dynamics of damage-failure transition in wide range of load intensity // Acta Mechanica. – 2021. – 232(5). – p. 1943-1959 [Q2, IF 0.65]

Efremov, D.V., Bannikova, I.A., Bayandin, Y.V., Krutihin, E.V., Zhuravlev, V.A. Study of viscoelastic properties of fluids for hydraulic fracturing // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – 1945(1). – p. 012003 [Q4, IF 0.21]

**«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»)**

28. Проведены опытно-конструкторские испытания системы контроля направления движения комбайна на калийном руднике.

**Аннотация**

В 2022 году была смонтирована уникальная автономная система навигации для добычного комбайна Урал 20-Р. В ходе испытаний была проведена наладка и юстировка системы в части курсовой навигации и ориентации комбайна по крену и тангажу. Первая проходка в автономном режиме была осуществлена на калийном руднике по транспортному и конвейерному штрекам и составила 300 м, при этом отклонение от проектных осей выработок на пройденных участках с использованием системы навигации комбайна составило несколько сантиметров (при нормативном отклонении не более 0,2 м). Данная работа стала основой для последующего развития навигации добычного комбайна и перехода к полностью безлюдной выемке калийных ископаемых.

(Рук.: д.ф.м.н. Пантелеев И.А., тел.: +7 (342) 237-83-17, e-mail: [pia@icmm.ru](mailto:pia@icmm.ru), к.т.н. Кормщиков Д.С., тел.: +7 (912) 580-15-53, e-mail: [dkormshchikov@gmail.com](mailto:dkormshchikov@gmail.com))



### Проведены опытно-конструкторские испытания системы контроля направления движения комбайна на калийном руднике



Движение комбайнового комплекса с установленной системой навигации по выработке калийного рудника

В 2022 году была смонтирована уникальная автономная система навигации для добычного комбайна.

В ходе испытаний была проведена наладка и юстировка системы в части курсовой навигации и ориентации комбайна по крену и тангажу.

Первая проходка в автономном режиме была осуществлена на калийном руднике по транспортному и конвейерному штрекам и составила 300 м, при этом отклонение от проектных осей выработки не превысило нормативных 20 см.

### 29. Система онлайн-мониторинга породного массива с помощью распределенной оптоволоконной системы регистрации акустических колебаний

#### Аннотация

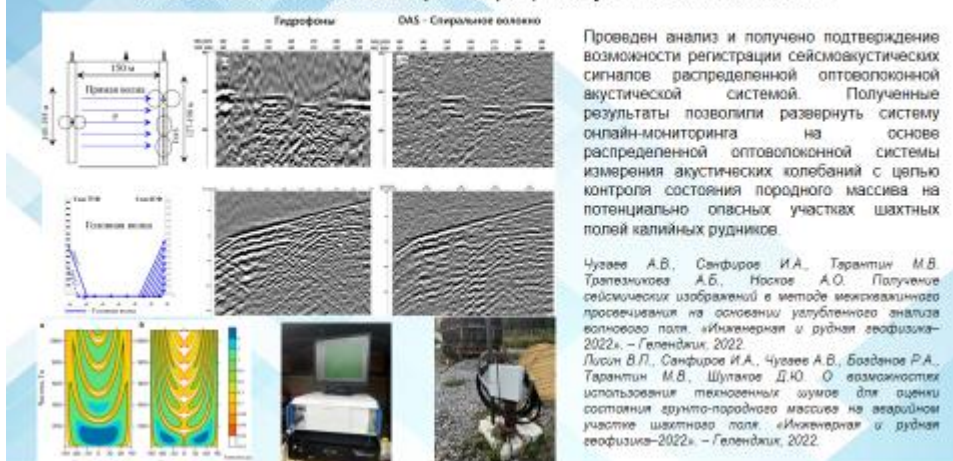
Проведен анализ и получено подтверждение возможности регистрации сейсмоакустических сигналов распределенной оптоволоконной акустической системой. Полученные результаты позволили развернуть систему онлайн-мониторинга на основе распределенной оптоволоконной системы измерения акустических колебаний с целью контроля состояния породного массива на потенциально опасных участках шахтных полей калийных рудников.

Чугаев А.В., Санфиоров И.А., Тарантин М.В. Трапезникова А.Б., Носков А.О. Получение сейсмических изображений в методе межскважинного просвечивания на основании углубленного анализа волнового поля. «Инженерная и рудная геофизика–2022». – Геленджик, 2022.

Лисин В.П., Санфиоров И.А., Чугаев А.В., Богданов Р.А., Тарантин М.В., Шулаков Д.Ю. О возможностях использования техногенных шумов для оценки состояния грунто-породного массива на аварийном участке шахтного поля. «Инженерная и рудная геофизика–2022». – Геленджик, 2022.

(Рук.: д.т.н. Санфиоров И.А., тел.: +7 (342) 216-10-73, e-mail: [sanf@mi-perm.ru](mailto:sanf@mi-perm.ru))

### Система онлайн-мониторинга породного массива с помощью распределенной оптоволоконной системы регистрации акустических колебаний



30. Установлен механизм формирования вертикальной гидрохимической стратификации водной массы, препятствующей бесперебойному функционированию технических водозаборов промышленного района

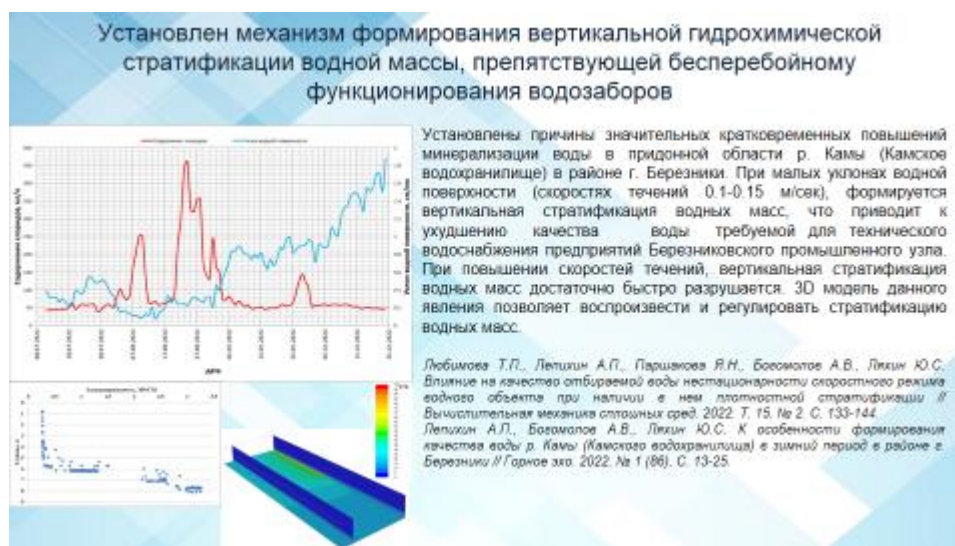
#### Аннотация

Установлены причины значительных кратковременных повышений минерализации воды в придонной области р. Камы (Камское водохранилище) в районе г. Березники. При малых уклонах водной поверхности (скоростях течений 0.1-0.15 м/сек), формируется вертикальная стратификация водных масс, что приводит к ухудшению качества воды, требуемой для технического водоснабжения предприятий Березниковского промышленного узла. При повышении скоростей течений, вертикальная стратификация водных масс достаточно быстро разрушается. 3D модель данного явления позволяет воспроизвести и регулировать стратификацию водных масс.

Любимова Т.П., Лепихин А.П., Паршакова Я.Н., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С. Влияние на качество отбираемой воды нестационарности скоростного режима водного объекта при наличии в нем плотностной стратификации // Вычислительная механика сплошных сред. 2022. Т. 15. № 2. С. 133-144.

Лепихин А.П., Богомолов А.В., Ляхин Ю.С. К особенностям формирования качества воды р. Камы (Камского водохранилища) в зимний период в районе г. Березники // Горное эхо. 2022. № 1 (86). С. 13-25.

(Рук.: д.г.н. Лепихин А.П., тел.: +7 (342) 216-90-49, e-mail: [lepihin49@mail.ru](mailto:lepihin49@mail.ru))



31. Методика прогнозирования процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями

#### Аннотация

Разработана и верифицирована методика математического моделирования динамики оседания земной поверхности в процессе движения фронта очистных работ при отработке калийных руд длинными забоями.

Показана возможность достижения соответствия между расчетными оседаниями и натурными наблюдениями за сдвижением земной поверхности на основе учета фактической скорости движения забоя лавы и вариации свойств обрушенных пород.

Барях А.А., Девятков С.Ю., Денкевич Э.В. Математическое моделирование развития процесса сдвижения при отработке калийных руд длинными очистными забоями // Записки Горного института, 2022 (принята в печать), Scopus Q1

(Рук.: д.т.н., академик РАН Барях А.А., тел.: +7 (342) 216-09-48, e-mail: [bar@mi-perm.ru](mailto:bar@mi-perm.ru))



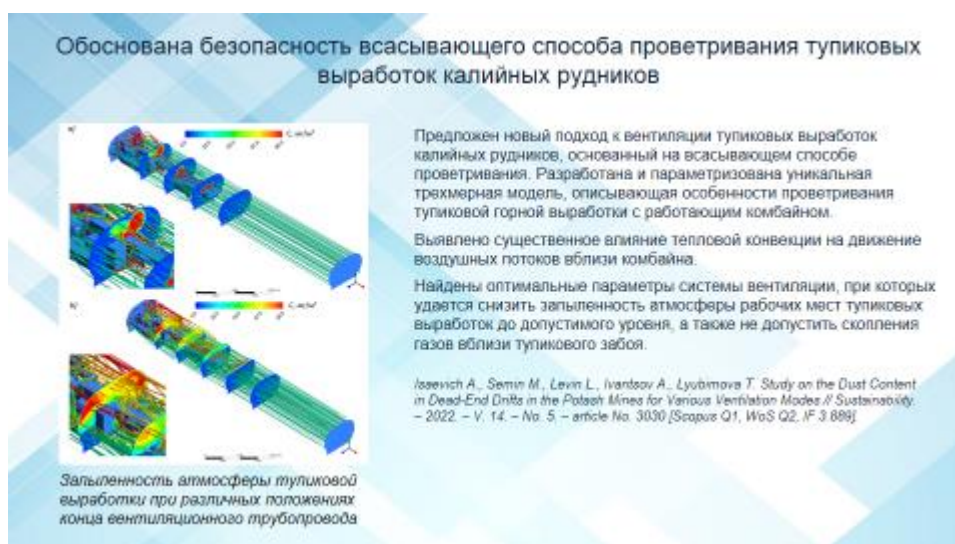
32. Обоснована безопасность всасывающего способа проветривания тупиковых выработок калийных рудников

Аннотация

Предложен новый подход к вентиляции тупиковых выработок калийных рудников, основанный на всасывающем способе проветривания. Совместно с Институтом механики сплошных сред УрО РАН разработана и параметризована уникальная трехмерная модель, описывающая особенности проветривания тупиковой горной выработки с работающим комбайном. Выявлено существенное влияние тепловой конвекции на движение воздушных потоков вблизи комбайна. Найдены оптимальные параметры системы вентиляции, при которых удастся снизить запыленность атмосферы рабочих мест тупиковых выработок до допустимого уровня, а также не допустить скопления газов вблизи тупикового забоя.

Isaevich A., Semin M., Levin L., Ivantsov A., Lyubimova T. Study on the Dust Content in Dead-End Drifts in the Potash Mines for Various Ventilation Modes // Sustainability. – 2022. – V. 14. – No. 5. – article No. 3030 (Scopus Q1, WoS Q2, IF 3.889).

(Рук.: д.т.н., чл.-корр. РАН Левин Л.Ю., тел.: +7 (342) 216-09-69, e-mail: [aerolog\\_lev@mail.ru](mailto:aerolog_lev@mail.ru))



33. Разработана и параметрически обеспечена многофакторная модель, связывающая сейсмическую активность с горнотехническими условиями на рудниках Верхнекамского месторождения

### Аннотация

Установлено наличие тесной корреляционной связи между горнотехническими параметрами и микросейсмической активностью в горных выработках.

Разработана и параметрически обоснована многофакторная математическая модель, позволяющая прогнозировать выделение сейсмической энергии на основании совокупности данных о характеристиках горных работ.

Данная модель используется для прогнозирования динамики сейсмической активности и корректировки планов горных работ.

Злобина, Т. В. Апробация метода прогноза сейсмической активности для Верхнекамского месторождения калийных солей / Т. В. Злобина, Р. А. Дягилев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 4. – С. 56-66. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2022\_4\_0\_56. – EDN EADAPS.

(Рук.: д.т.н., проф. Санфиров И.А., тел.: +7 (342)216-10-73, e-mail: [sanf@mi-perm.ru](mailto:sanf@mi-perm.ru))



34. Выявлен механизм мобилизации, миграции и разгрузки газонасыщенных рассолов вдоль линейных зон, приуроченных к синклиналим перегибам в соляной толще Верхнекамского месторождения

### Аннотация

Показано, что в процессе складчатости газонасыщенные рассолы мобилизуются из многочисленных мелких структур типа pop-up или kink bands пласта КрIII, мигрируют через пласт КрII, вызывая вынос хлорида натрия и разгружаются в глинистых прослоях кровли пласта КрII.

Установлено, что рассолы, поступавшие в пласт КрII были обогащены легкими углеводородами (СН<sub>4</sub>, С<sub>2</sub>Н<sub>6</sub>, С<sub>3</sub>Н<sub>8</sub>). В процессе формирования жилы проявилась дифференциация газов, обусловленная избирательной сорбцией азота, углеводородов и углекислого газа сильвином и глинистым материалом на ранней стадии и азота галитом на поздней.

Чайковский И.И., Иванов О.В., Бубнова М.В., Федоров Т.В. О природе, составе и газоносности эпигенетической минерализации в соляной толще Верхнекамского месторождения (на примере Усольского рудника) // Литосфера (в печати)

(Рук.: д.г.-м.н. Чайковский И.И., тел.: +7 (342) 216-39-00, e-mail: [ilya@mi-perm.ru](mailto:ilya@mi-perm.ru))



35. Закономерности распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей при двойном техногенном воздействии

Аннотация

Впервые установлены закономерности распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей при двойном техногенном воздействии. Распределения газодинамических характеристик в породах кровли и почвы горных выработок на Старобинском месторождении калийных солей позволяет оценить газодинамическую опасность при проходке подготовительных выработок. Разработаны и внедрены рекомендации по параметрам профилактических мероприятий для обеспечения безопасного ведения подготовительных горных работ в условиях техногенного воздействия на Старобинском месторождении калийных солей.

The Static Analysis of the Gas Content and the Gas-Dynamic Characteristics at the Second Potash Bed in the Starobinsk Potassium Salts Deposit/Sergey S. Andreyko, Natalya Litvinovskaya, Artem Papulov and Tamara Lyalina // Fluids 2022, 7(8), 278; doi:10.3390/fluids7080278.

(Рук.: д.т.н., чл.-корр. РАН Левин Л.Ю., тел.: +7 (342) 216-09-69, e-mail: [aerolog\\_lev@mail.ru](mailto:aerolog_lev@mail.ru))



36. Методика обоснования оптимальных технологий очистки кислотного шахтного дренажа

Аннотация

С использованием расчетных значений фактической кислотности и сведений об объемах изливов шахтных вод, разгружающихся через заброшенные горные выработки и родники в бассейне р. Косьва (Кизеловский угольный бассейн), обоснованы возможность и условия применения систем пассивной очистки кислотного шахтного дренажа, характеризующихся минимальной стоимостью строительства и эксплуатации.

Фетисова Н.Ф. Кислотность и щелочность шахтных вод как ключевые показатели для планирования систем очистки // Горное эхо, 2022, № 2 (87). С. 32-38. - DOI:10.7242/echo.2022.2.5 (Рук.: к.г.-м.н., доц. Бачурин Б.А., тел.: +7 (342) 216-09-86, e-mail: [bba@mi-perm.ru](mailto:bba@mi-perm.ru))



37. Выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести при высокоточных гравиметрических работах

#### Аннотация

Проведена серия вычислительных экспериментов, целью которых являлся выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести. Установлено, что различия трансформант для «плоской» и «сферической» моделей составляют около 3–5%, для «эллипсоидальных» и «сферической» моделей не превышают 0.05%. В роли «эллипсоидальных» моделей выступали общеземные эллипсоиды WGS-84, ПЗ-90.11 и референц-эллипсоид Красовского. Отмечаются заметное влияние краевых эффектов и целесообразность использования при расчетах сферы В.В. Каврайского, применяющейся в аэронавигации и являющейся «квазиэллипсоидальным» приближением формы нашей планеты. Установлено, что трансформации гравитационного поля с высокой точностью можно реализовать на основе представлений о шарообразной форме Земли.

Долгаль А.С., Костицын В.И., Пугин А.В., Хохлова В.В. Выбор модели Земли для трансформации аномалий силы тяжести в процессе региональных исследований // Геофизика. 2022. № 5. С. 6–12. [RSCI]

(Рук.: д.г.-м.н. Бычков С.Г., тел.: +7 (342) 216-10-08, e-mail: [bsg@mi-perm.ru](mailto:bsg@mi-perm.ru))



38. Определены изотопно-геохимические особенности формирования состава подземных вод в нижнепермских отложениях карстовых районов Среднего Предуралья

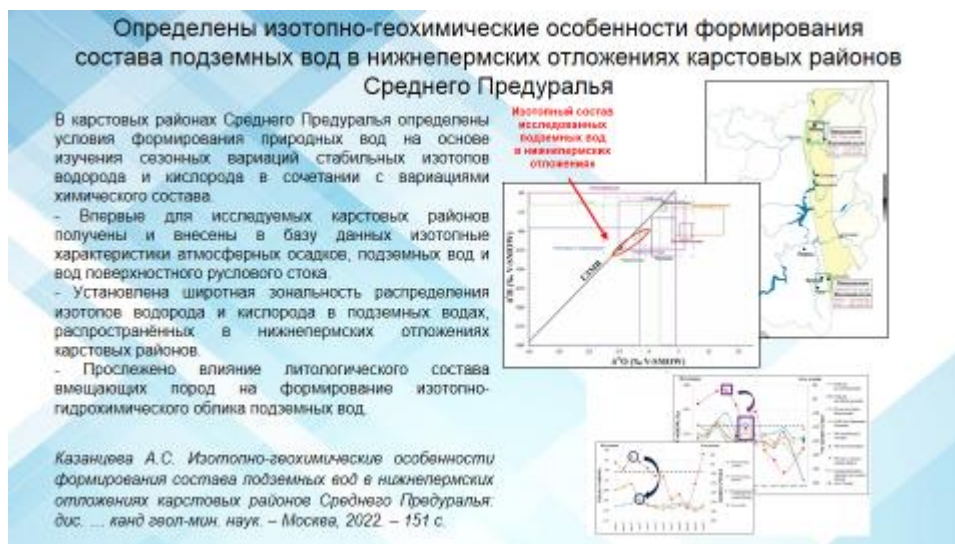
**Аннотация**

В карстовых районах Среднего Предуралья определены условия формирования природных вод на основе изучения сезонных вариаций стабильных изотопов водорода и кислорода в сочетании с вариациями химического состава.

- Впервые для исследуемых карстовых районов получены и внесены в базу данных изотопные характеристики атмосферных осадков, подземных вод и вод поверхностного руслового стока.
- Установлена широтная зональность распределения изотопов водорода и кислорода в подземных водах, распространённых в нижнепермских отложениях карстовых районов.
- Прослежено влияние литологического состава вмещающих пород на формирование изотопно-гидрохимического облика подземных вод.

Казанцева А.С. Изотопно-геохимические особенности формирования состава подземных вод в нижнепермских отложениях карстовых районов Среднего Предуралья: дис. канд геол-мин. наук. – Москва, 2022. – 151 с.

(Рук.: д.г.-м.н. Чайковский И.И., тел.: +7 (342) 216-39-00, e-mail: [ilya@mi-perm.ru](mailto:ilya@mi-perm.ru))



39. Разработана комплексная методика оценки нарушенных зон в окрестности капитальных и подготовительных выработок

## Аннотация

Впервые разработана комплексная методика оценки нарушенных зон в окрестности капитальных и подготовительных выработок на основе измерения величины напряжений, модуля деформации и параметров акустической эмиссии (АЭ) пород приконтурного массива. Размеры нарушенных зон в окрестности подземных выработок, пройденных в осадочном массиве, коррелируют с пониженными относительно фона значениями напряжений и модуля деформации, а также с повышенными значениями интенсивности АЭ в приконтурных породах. На основе информации о размерах нарушенных зон в приконтурном массиве осуществляется выбор и обоснование способов охраны и крепления подземных выработок.

Поспелов Д.А., Токсаров В.Н., Бельтюков Н.Л. Методика оценки модуля деформации пород в приконтурном массиве с использованием скважинного гидродомкрата // Горное эхо, № 1, 2022 г., с. 51-57.

Бельтюков Н.Л. Оценка состояния пород вокруг подготовительной выработки в соляном массиве // Горное эхо, № 3, 2021 г., с. 30-34.

(Рук.: д.т.н., акад. РАН Барях А.А., тел.: +7 (342) 216-09-48, e-mail: [bar@mi-perm.ru](mailto:bar@mi-perm.ru))



**«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»)**

40. Двухстадийный способ модификации поверхности углеродного волокна наночастицами бемита для перспективных проводящих полимерных композитов. Впервые использован двухстадийный способ модификации поверхности углеродного волокна наночастицами бемита  $AlOON$ , использующегося в качестве компонента перспективных проводящих полимерных композитов с несколькими межфазными границами.

## Аннотация

Разработан новый способ модификации поверхности углеродного волокна, использующегося в качестве компонента перспективных проводящих полимерных композитов с несколькими межфазными границами, наночастицами бемита  $AlOON$ . Ключевым условием улучшения механических свойств композиционных полимерных материалов, содержащих углеродные волокна, является межфазное взаимодействие между волокном и полимерной матрицей, поэтому модификация поверхности углеродного волокна перед его использованием в качестве функциональных наполнителей в композитах очень важна. Совершенствование способов модификации углеродных волокон приводит не только к улучшению межфазного взаимодействия



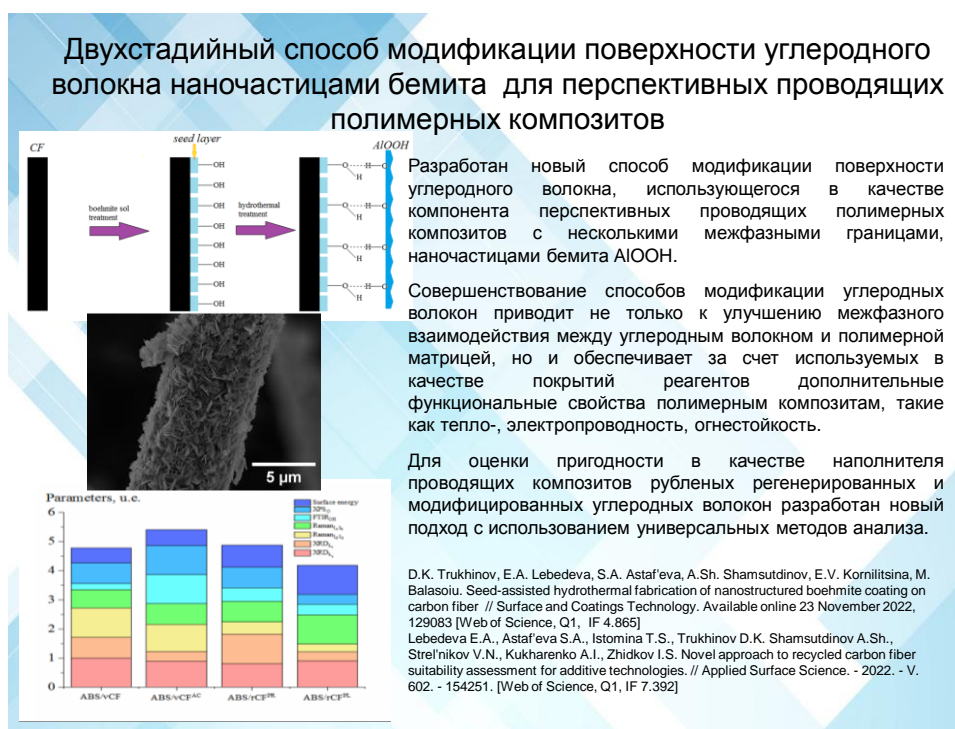
между углеродным волокном и полимерной матрицей, но и обеспечивает за счет используемых в качестве покрытий реагентов дополнительные функциональные свойства полимерным композитам, такие как тепло-, электропроводность, огнестойкость и другие. Двухстадийное покрытие бемитом углеродных волокон приводит к росту прочности образца АБС пластика в 1,5 раза.

Для оценки пригодности рубленого, регенерированного и модифицированного углеродного волокна в качестве наполнителя проводящих композитов разработан новый подход с использованием универсальных методов анализа, который применим к технологиям регенерации углеродных волокон, включающих в себя значительное предварительное измельчение углепластиков. Применение данного подхода может быть особенно актуально при длине углеродного волокна менее 10 мм в качестве альтернативы протоколу испытаний на прочность одиночного волокна, использование которого ограничено длиной волокна.

D.K. Trukhinov, E.A. Lebedeva, S.A. Astaf'eva, A.Sh. Shamsutdinov, E.V. Kornilitsina, M. Balasoii. Seed-assisted hydrothermal fabrication of nanostructured boehmite coating on carbon fiber // *Surface and Coatings Technology*. Available online 23 November 2022, 129083 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2022.129083> (Web of Science, Scopus Q1, IF 4.865)

Lebedeva E.A., Astaf'eva S.A., Istomina T.S., Trukhinov D.K. Shamsutdinov A.Sh., Strel'nikov V.N., Kukhareenko A.I., Zhidkov I.S. Novel approach to recycled carbon fiber suitability assessment for additive technologies. // *Applied Surface Science*. 15 November 2022. V. 602. 154251 <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2022.154251>. (Web of Science, Scopus Q1), IF 7.392.

(Рук.: к.т.н. Астафьева С.А. тел.: +7 (342) 237-82-75, e-mail: [astafeva.s@itcras.ru](mailto:astafeva.s@itcras.ru))



41. Комплексный супергидрофобный функциональный наполнитель для огнетушащего порошкового состава комбинированного газогенерирующего воздействия. Разработан комплексный супергидрофобный функциональный наполнитель на основе нано- и микродисперсных сферических частиц диоксида кремния, позволяющий реализовать совместное применение в огнетушащем порошковом составе смеси из тушащих компонентов на основе фосфорно-аммонийных солей и кристаллогидратов (струвит).

#### Аннотация

Разработан одностадийный метод синтеза гидрофобного диоксида кремния для его применения в качестве функциональных наполнителей, предотвращающих возникновение непосредственных

точечных контактов между отдельными частицами кристаллогидратов, их срастание и дальнейшую перекристаллизацию частиц огнетушащих порошковых составов. Установлено, что определяющим фактором, влияющим на реологические свойства огнетушащих порошковых составов, является равномерность распределения функционального наполнителя на поверхности частиц тушащего компонента. Показано, что использование в качестве функционального наполнителя сферических частиц диоксид кремния с размером ~30 нм позволяет получить составы, демонстрирующие свободно текучие свойства. Доказано, что использование в составе огнетушащего порошка струвита и разработанного функционального наполнителя позволяет дополнительно увеличить отвод энергии из зоны горения и повысить газогенерацию, тем самым улучшить пожаротушащую эффективность состава не менее чем в 1,5–2 раза в сравнении с аналогичными огнетушащими порошками газогенерирующего действия.

Shamsutdinov A.S., Kondrashova N.B., Valtsifer I.V, Bormashenko E., Huo Y., Saenko E.V, Pyankova A.V, Valtsifer V.A. Manufacturing, Properties, and Application of Nanosized Superhydrophobic Spherical Silicon Dioxide Particles as a Functional Additive to Fire Extinguishing Powders // Ind. Eng. Chem. Res. American Chemical Society – 2021. – V. 60. – № 32. – P. 11905–11914. Q2

P'yankova A. V, Kondrashova N.B., Val'tsifer I. V, Shamsutdinov A.S., Bormashenko E.Y. Synthesis and Thermal Behavior of a Struvite-Based Fine Powder Fire-Extinguishing Agent // Inorg. Mater. –2021. – V. 57. – № 10. – P. 1083–1091.

(Рук.: д.х.н., проф. Вальцифер В.А. тел.: +7 (342) 237-82-50, e-mail: [valtsifer@yandex.ru](mailto:valtsifer@yandex.ru))

**Комплексный супергидрофобный функциональный наполнитель для огнетушащего порошкового состава комбинированного газогенерирующего воздействия**



Разработан одностадийный метод синтеза гидрофобного диоксида кремния для его применения в качестве функциональных наполнителей, предотвращающих срастание и перекристаллизацию частиц огнетушащих порошковых составов на основе кристаллогидратов (струвит).

Использование в качестве функционального наполнителя сферических частиц диоксид кремния с размером ~30 нм позволяет получить огнетушащие порошковые составы, демонстрирующие свободно текучие свойства.

Использование в составе огнетушащего порошка струвита и разработанного функционального наполнителя позволяет дополнительно увеличить отвод энергии из зоны горения и повысить газогенерацию, тем самым улучшить пожаротушащую эффективность состава не менее чем в 1,5 – 2 раза в сравнении с аналогичными огнетушащими порошками газогенерирующего действия.

Shamsutdinov A.S., Kondrashova N.B., Valtsifer I.V, Bormashenko E., Huo Y., Saenko E.V, Pyankova A.V, Valtsifer V.A. Manufacturing, Properties, and Application of Nanosized Superhydrophobic Spherical Silicon Dioxide Particles as a Functional Additive to Fire Extinguishing Powders // Ind. Eng. Chem. Res. American Chemical Society – 2021. – V. 60. – № 32. – P. 11905–11914. Q2

P'yankova A. V, Kondrashova N.B., Val'tsifer I. V, Shamsutdinov A.S., Bormashenko E.Y. Synthesis and Thermal Behavior of a Struvite-Based Fine Powder Fire-Extinguishing Agent // Inorg. Mater. –2021. – V. 57. – № 10. – P. 1083–1091.

42. Термостойкие сополимеры малеимида и аллилмалеимида с алкилметакрилатами. Впервые синтезированы термостойкие сополимеры малеимида и аллилмалеимида с метилметакрилатом и аллилметакрилатом.

#### Аннотация

Изучена радикальная сополимеризация малеимида и аллилмалеимида с метилметакрилатом и аллилметакрилатом в массе и растворе метанола в присутствии радикальных инициаторов. Исследованы кинетические закономерности реакций, определены относительные активности мономеров. Термические исследования показали, что все сополимеры стабильны до 290°C. Природа сомономеров обуславливает различную термическую деструкцию сополимеров. Действительно, деструкция сополимеров аллилмалеимида происходит при более высоких температурах, чем деструкция сополимеров малеимида. Исследования, проведенные сопряженным методом ТГА в сочетании с ИК, дали подробную информацию о структуре полимеров и термическом разложении. Были определены летучие продукты, расщепление основной цепи и боковых звеньев, и на основе результатов был предложен механизм деградации.

Gorbunova M., Oshchepkova T., Istomina T., Strelnikov V. Thermal degradation behavior of maleimide-methacrylate copolymers bearing pendant allyl groups. *Polym. Degrad. Stab.* 2022. V. 199. 109913. (Q1) (IF 5.03) <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2022.109913>

(Рук.: д.х.н. Горбунова М.Н. тел.: +7 (342) 237-82-66, e-mail: [mngorb@yandex.ru](mailto:mngorb@yandex.ru))



43. Механизм преодоления полусинтетическим тритерпеноидом лекарственной устойчивости раковых клеток. Впервые синтезирован олеанановый тритерпеноид (ОТ), вызывающий гибель раковых клеток и их лекарственно устойчивых вариантов.

#### Аннотация

Синтезирован олеанановый тритерпеноид (ОТ), цитотоксичный в отношении родительских раковых клеток (IC<sub>50</sub> 0,45-0,53 мкМ) и их доксорубин (Dox) устойчивых субклонов (IC<sub>50</sub> 0,45-1,24 мкМ), активно экспрессирующих транспортный белок Р-гликопротеин (Р-gp). Методы молекулярного докинга и ОТ-ПЦР, тест выброса родамина и синергетический тест с Dox свидетельствуют, что ОТ не относится к ингибиторам или субстратам Р-gp, но способствует снижению уровня экспрессии генов ABC-транспортеров в родительских раковых клетках. Оценка апоптотической активности, клеточного цикла, деполяризации митохондриальных мембран (ΨМ), активных форм кислорода (АФК) и активности каспаз клеток, обработанных ОТ, показала, что механизм токсического действия ОТ связан с активацией внешнего или внутреннего пути апоптотической гибели клеток родительской или Dox-чувствительной линий, соответственно.

Moiseeva, N.; Eroshenko, D.; Laletina, L.; Rybalkina, E.; Susova, O.; Karamysheva, A.; Tolmacheva, I.; Nazarov, M.; Grishko, V. The molecular mechanism of oleanane aldehyde-β-enone to overcome drug resistance in cancer cells. *Biology*, 2022. In review (Q1) (IF 5.168)

(Рук.: к.х.н., доцент Гришко В.В. тел.: +7 (342) 237-82-65, e-mail: [grishko.v@itcras.ru](mailto:grishko.v@itcras.ru))

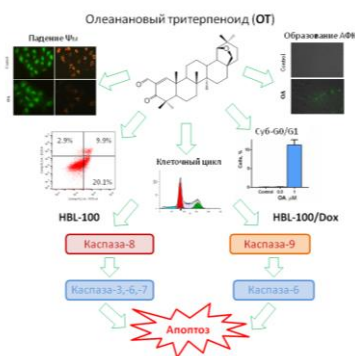
## Механизм преодоления полусинтетическим тритерпеноидом лекарственной устойчивости раковых клеток

Синтезирован олеанановый тритерпеноид (ОТ), цитотоксичный в отношении родительских раковых клеток ( $IC_{50}$  0,45-0,53 мкМ) и их доксорубин (Dox) устойчивых субклонов ( $IC_{50}$  0,45-1,24 мкМ), активно экспрессирующих транспортный белок Р-гликопротеин (Р-gp).

Методы молекулярного докинга и ОТ-ПЦР, тест выброса родамина и синергетический тест с Dox свидетельствуют, что ОТ не относится к ингибиторам или субстратам Р-gp, но способствует снижению уровня экспрессии генов ABC-транспортеров в родительских раковых клетках.

Оценка апоптотической активности, клеточного цикла, деполаризации митохондриальных мембран ( $\Psi_m$ ), активных форм кислорода (АФК) и активности каспаз клеток, обработанных ОТ, показала, что механизм токсического действия ОТ связан с активацией внешнего или внутреннего пути апоптотической гибели клеток родительской или Dox-чувствительной линий, соответственно.

Moiseeva, N.; Eroshenko, D.; Laletina, L.; Rybalkina, E.; Susova, O.; Karamysheva, A.; Tolmacheva, I.; Nazarov, M.; Grishko, V. The molecular mechanism of oleanane aldehyde- $\beta$ -one to overcome drug resistance in cancer cells. *Biology*, 2022. In review (Q1) (IF 5.168)



44. Новые олигоаминные отвердители для полиуретанов. Впервые получены новые олигоаминные отвердители для полиуретанов типа олигоэфирдиаминов на основе простых олигоэфиров

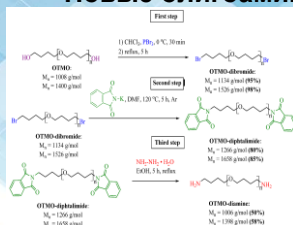
Впервые разработан трехстадийный метод синтеза олигоэфирдиаминов разной молекулярной массы на основе олиготетраметилеоксиддиолов через последовательное образование олигоэфирдибромида и олигоэфирфталимида. Проведена оптимизация условий лимитирующей заключительной стадии гидразинолиза олигоэфирдифталимида. Показано, что при мольном соотношении олигоэфирдифталимида и гидразин гидрата 1:8 реализуется выход конечного продукта 84 %. Новые олигоамины позволяют получать эластомеры с контролируемой степенью кристалличности для материалов с памятью формы. Указанные эластомеры относятся к морозостойким материалам, которые можно использовать в экстремальных условиях Крайнего Севера, т.к. их температура стеклования ниже  $-60$  °C.

Slobodinyuk A.I., Strelnikov V.N., Elchisheva N.V., Kiselkov D.M., Slobodinyuk D.G. Synthesis and Study of Physical and Mechanical Properties of Urethane-Containing Elastomers Based on Epoxyurethane Oligomers with Controlled Crystallinity // *Polymers*. – 2022. – V. 14. – №. 11. – Article ID 2136. [WoS, Q1, IF 4.967].

Slobodinyuk A.I., Strelnikov V.N., Senichev V.Y., Slobodinyuk D.G. Preparation, Structure and Properties of Urethane-Containing Elastomers Based on Epoxy Terminal Oligomers // *Polymers*. – 2022. – V. 14. – №. 3. – Article ID 524. [WoS, Q1, IF 4.967].

(Рук.: к.т.н. Сеничев В.Ю. тел.: +7 (342) 237-82-74, e-mail: [senichev85@yandex.ru](mailto:senichev85@yandex.ru))

## Новые олигоаминные отвердители для полиуретанов



Впервые разработан трехстадийный метод синтеза олигоэфирдиаминов разной молекулярной массы на основе олиготетраметилеоксиддиолов через последовательное образование олигоэфирдибромида и олигоэфирфталимида.

Новые олигоамины позволяют получать полиуретановые эластомеры на основе олигоуретанэпоксидов с температурой стеклования  $-60...-70^\circ C$  и контролируемой степенью кристалличности. Полученные эластомеры могут быть использованы как морозостойкие материалы для Крайнего Севера и материалы с памятью формы.

Slobodinyuk A.I., Strelnikov V.N., Elchisheva N.V., Kiselkov D.M., Slobodinyuk D.G. Synthesis and Study of Physical and Mechanical Properties of Urethane-Containing Elastomers Based on Epoxyurethane Oligomers with Controlled Crystallinity // *Polymers*. – 2022. – V. 14. – №. 11. – Article ID 2136. [WoS, Q1, IF 4.967].

Slobodinyuk A.I., Strelnikov V.N., Senichev V.Y., Slobodinyuk D.G. Preparation, Structure and Properties of Urethane-Containing Elastomers Based on Epoxy Terminal Oligomers // *Polymers*. – 2022. – V. 14. – №. 3. – Article ID 524. [WoS, Q1, IF 4.967].

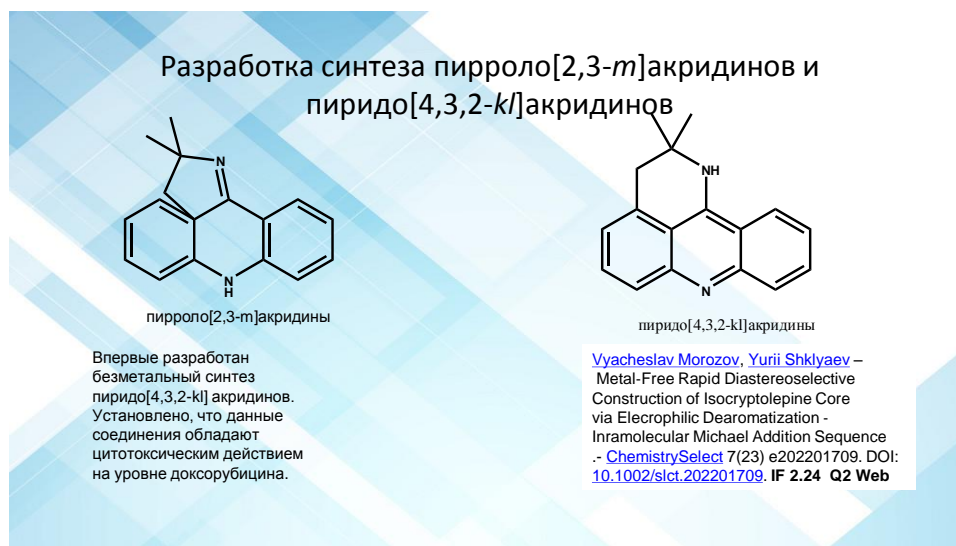
45. Разработка синтеза пирроло[2,3-*m*]акридинов и пиридо[4,3,2-*kl*]акридинов. Впервые разработан безметалльный синтез пирроло[2,3-]акридинов с высокой хемоселективностью.

#### Аннотация

Разработан трёхкомпонентный синтез пирроло[2,3-]акридинов за счёт домино-реакций внутримолекулярной ипсо-деароматизации и внутримолекулярной реакции аза-Михаэля. Модификация метода приводит к получению пиридо[4,3,2-*kl*]акридинов, обладающих цитотоксическим действием на уровне широко применяемого при лечении онкологических заболеваний антибиотика доксорубина.

Vyacheslav Morozov, Yurii Shklyaev - Metal-Free Rapid Diastereoselective Construction of Isocryptolepine Core via Electrophilic Dearomatization - Intramolecular Michael Addition Sequence. - *ChemistrySelect* 7(23) e202201709. DOI: 10.1002/slct.202201709. IF 2.24 Q2 Web

(Рук.: д.х.н., проф. Шкляев Ю.В. тел.: +7 (342) 237-82-89, e-mail: [yushka@newmail.ru](mailto:yushka@newmail.ru))



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

46. Адаптивный ответ бактериальных клеток на воздействие экополлютантов. Секвенированы полные геномы 35 биотехнологически ценных штаммов актинобактерий и выявлены механизмы формирования устойчивости и компенсаторных реакций актинобактерий на негативное воздействие загрязнителей.

#### Аннотация

По итогам секвенирования 32 геномов актинобактерий экологически значимых таксонов представлена сводная характеристика универсальных реакций, участвующих в обезвреживании высокоопасных экополлютантов: продукция ферментов с широкой субстратной специфичностью; сверхсинтез веществ протекторного действия; повышение сродства поверхности клеток к гидрофобным повреждающим агентам; морфометрические искажения (в том числе средних размеров вегетативных клеток, относительной площади и рельефа клеточной поверхности, etc.); изменение интегральных физико-химических показателей клеток (дзета-потенциала etc.). Знания о механизмах формирования устойчивости и компенсаторных реакциях актинобактерий на негативное воздействие загрязнителей необходимы для того, чтобы целенаправленно применять их в разработках по биоремедиации биотопов, загрязненных стойкими экотоксикантами, или биотрансформации сложных гидрофобных соединений с целью получения целевых метаболитов.

Ivshina I.B., Bazhutin G.A., Tyan S., Polygalov M.A., Subbotina M.D., Tyumina E.A. Cellular modifications of rhodococci exposed to separate and combined effects of pharmaceutical pollutants // *Microorganisms*. 2022. 10:1101.

Ivshina I., Bazhutin G., Tyumina E. Rhodococcus strains as a good biotool for neutralizing pharmaceutical pollutants and obtaining therapeutically valuable products: Through the past into the future // *Frontiers in Microbiology*. 2022. 13:967127.

Патент РФ № 2784816. Способ биодegradации дегидроабетиновой кислоты. Иванова К.М., Гришко В.В. Ившина И.Б. Приоритет изобретения 22.02.2022. Зарегистр. в Госреестре изобр. РФ 29.11.2022. Бюл. 34. Патентообладатель: ПФИЦ УрО РАН.

(Рук.: акад. РАН Ившина И.Б., тел. +7(342)280-81-14, e-mail: [ivshina@iegm.ru](mailto:ivshina@iegm.ru))



47. Бактерии-продуценты эктоина ризосферы растений, произрастающих на техногенной засоленной почве. Изучены сообщества бактерий ризосферы растений видов марь красная (*Chenopodium rubrum* L.) и бескильница расставленная (*Puccinellia distans* (Jacq.) Parl.), произрастающих на техногенной почве (Technosol) вблизи солеотвала предприятия ПАО “Уралкалий” (г. Соликамск, Пермский край).

#### Аннотация

Обнаружено, что подавляющее большинство бактерий в изученной почве способно к синтезу эктоина. Установлено, что концентрация эктоина, как и численность бактерий-продуцентов, больше в ризосфере, чем в почве без растений. Концентрация эктоина в ризосфере мари красной составляла  $167.4 \pm 9.8$  мкмоль/кг, в ризосфере бескильницы расставленной –  $92.9 \pm 14.1$  мкмоль/кг, в почве без растений –  $23.9 \pm 8.4$  мкмоль/кг. Выделенные бактерии-продуценты эктоина из ризосферы мари красной принадлежали к родам *Halomonas*, *Bacillus*, *Photobacterium*, *Planomicrobium*, *Salegentibacter*, *Microbacterium*, *Marinobacter*, из ризосферы бескильницы расставленной – относились к родам *Pseudomonas*, *Halomonas*, *Rhodococcus*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, из почвы без растений – к родам *Halomonas*, *Dietzia*, *Bacillus*, *Salinibacterium*. Показано стимулирующее влияние на рост корня проростков в условиях солевого стресса штаммов: *Halomonas* sp. МК 2-1, *Pseudomonas* sp. BR 19-12, *Dietzia* sp. РМК 9, способных к продукции эктоина. Полученные данные указывают на существование положительного воздействия ризосферных бактериальных сообществ на растения в условиях засоления вследствие продукции эктоина и могут быть использованы для создания биотехнологий, повышающих продуктивность растений, произрастающих на засоленных почвах.

Назаров А.В., Ананьина Л.Н., Горбунов А.А., Пьянкова А.А. Бактерии-продуценты эктоина ризосферы растений, произрастающих на техногенной засоленной почве // *Почвоведение*. 2022. 8: 1000. (ядро РИНЦ)

(перевод) Nazarov A. V., Anan'ina L. N., Gorbunov A. A., Pyankova A. A. Bacteria Producing Ectoine in the Rhizosphere of Plants Growing on Technogenic Saline Soil // Eurasian Soil Science. 2022. 55: 1074. (Scopus Q2)

(Рук.: к.б.н. Назаров А.В., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [nazarov@iegm.ru](mailto:nazarov@iegm.ru))

**Бактерии-продуценты эктоина ризосферы растений, произрастающих на техногенной засоленной почве**

CN1CC[C@@H](C(=O)O)N1

Эктоин – осмопротектор бактерий, обладает антистрессовым действием на клетки и ткани, стабилизирует клеточные элементы и биополимеры, благодаря чему находит применение в медицине, косметологии и биотехнологии.



Установлено, что бактерии в прикорневой зоне растений продуцируют эктоин, который в условиях техногенного засоления почвы улучшает рост растений.

Исследования ризосферных бактерий, продуцирующих эктоин, и роль данного соединения в повышении солеустойчивости растений способствуют пониманию принципов функционирования микробно-растительных ассоциаций в условиях засоления и потенциально могут быть основой для создания биотехнологий, повышающих продуктивность растений, произрастающих на засоленных почвах.

Nazarov A. V., Anan'ina L. N., Gorbunov A. A., Pyankova A. A. Bacteria producing ectoine in the rhizosphere of plants growing on technogenic saline soil // *Eurasian Soil Science*. 2022. 55: 1074. (Scopus Q2)

48. Биотрансформация растительных терпеноидов актинобактериями в условиях индукции наночастицами никеля. Впервые обоснована эффективность индукции наночастицами никеля процесса биотрансформации растительных терпеноидов для получения биоактивных соединений.

#### Аннотация

Биокаталитические процессы получения энантиомерных чистых соединений на основе актинобактерий технологически перспективны, что обусловлено их хемо- и стереоселективностью, спецификой многоцелевых оксигеназных ферментных систем, широким кругом метаболизируемых субстратов, отсутствием побочных реакций и многочисленных стадий, а также устойчивой активностью в экстремальных условиях среды. На основе биоресурсов Региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов (УНУ/ЦКП 73559/480868) отобраны бактериальные штаммы для направленной биотрансформации растительных терпеноидов. В результате окислительной трансформации монотерпеновых спиртов получены новые производные с потенциальной противоопухолевой активностью, которые могут применяться в качестве стимуляторов дыхания и агентов профилактики онкологических заболеваний. Обоснована эффективность индукции бактериальных клеток субингибиторными концентрациями наночастиц никеля для усиления их биотрансформирующей активности. Разработан способ бактериальной конверсии монотерпеноидов, перспективный для синтеза фармакологически активных соединений на основе доступного растительного сырья и подана заявка на выдачу Патента Российской Федерации.

Kuyukina M.S., Glebov G.G., Ivshina, I.B. Effects of nickel nanoparticles on Rhodococcus cell surface morphology and nanomechanical properties // *Nanomaterials*. 2022. 12 (6): 951. [Q1, IF 6.2]

Заявка на выдачу Патента РФ № 2022126789 от 14.10.2022. Способ биотрансформации растительного монотерпеноида для получения новых биоактивных соединений. Ившина И.Б., Лучникова Н.А., Мальцева П.Ю. и др. Заявители: ПФИЦ УрО РАН, НИОХ СО РАН, ПГНИУ.

(Рук.: акад. РАН Ившина И.Б., тел. +7(342)280-81-14, e-mail: [ivshina@iegm.ru](mailto:ivshina@iegm.ru))



49. Теоретическим исследованием установлено, что коронавирус 2019 года SARS-CoV-2 способен поражать Т-лимфоциты, подобно вирусу иммунодефицита человека, и именно с этим эффектом могут быть связаны тяжесть течения инфекции и устойчивость к терапии.

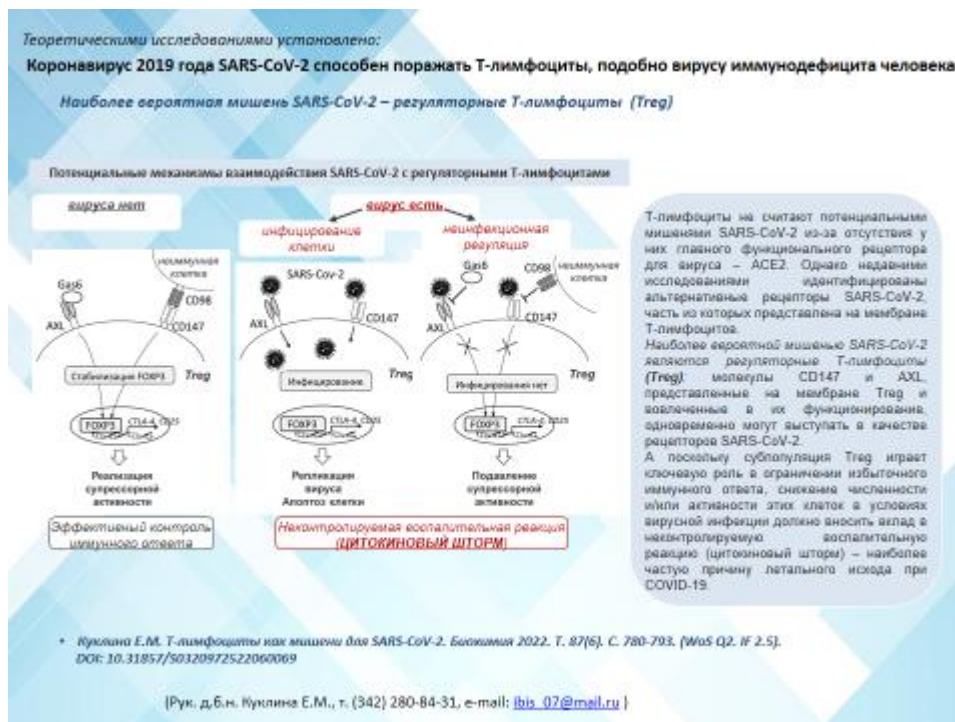
#### Аннотация

Т-лимфоциты ранее не рассматривались в качестве потенциальных мишеней SARS-CoV-2 из-за отсутствия у них главного функционального рецептора для вируса – ангиотензин I-превращающего фермента 2 (ACE2). Однако недавние исследования позволили идентифицировать альтернативные рецепторы SARS-CoV-2, часть из которых представлена на мембране Т-лимфоцитов, и информация о наличии и уровне экспрессии таких рецепторов на конкретных Т-клеточных субпопуляциях позволяет прогнозировать уязвимость тех или иных звеньев иммунной системы. Наиболее вероятной мишенью SARS-CoV-2 являются регуляторные Т-лимфоциты (Treg): молекулы CD147 и AXL, представленные на мембране Treg и вовлеченные в их функционирование, одновременно могут выступать в качестве рецепторов SARS-CoV-2. А поскольку субпопуляция Treg играет ключевую роль в ограничении избыточного иммунного ответа, снижение численности и/или активности этих клеток в условиях вирусной инфекции должно вносить вклад в неконтролируемую воспалительную реакцию (цитокиновый шторм) – наиболее частую причину летального исхода при COVID-19.

Куклина Е.М. Т-лимфоциты как мишени для SARS-CoV-2. *Биохимия* 2022. Т. 87(6). С. 780-793. (WoS Q2. IF 2.5). DOI: 10.31857/S0320972522060069

(Рук.: д.б.н. Куклина Е.М., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [ibis\\_07@mail.ru](mailto:ibis_07@mail.ru))



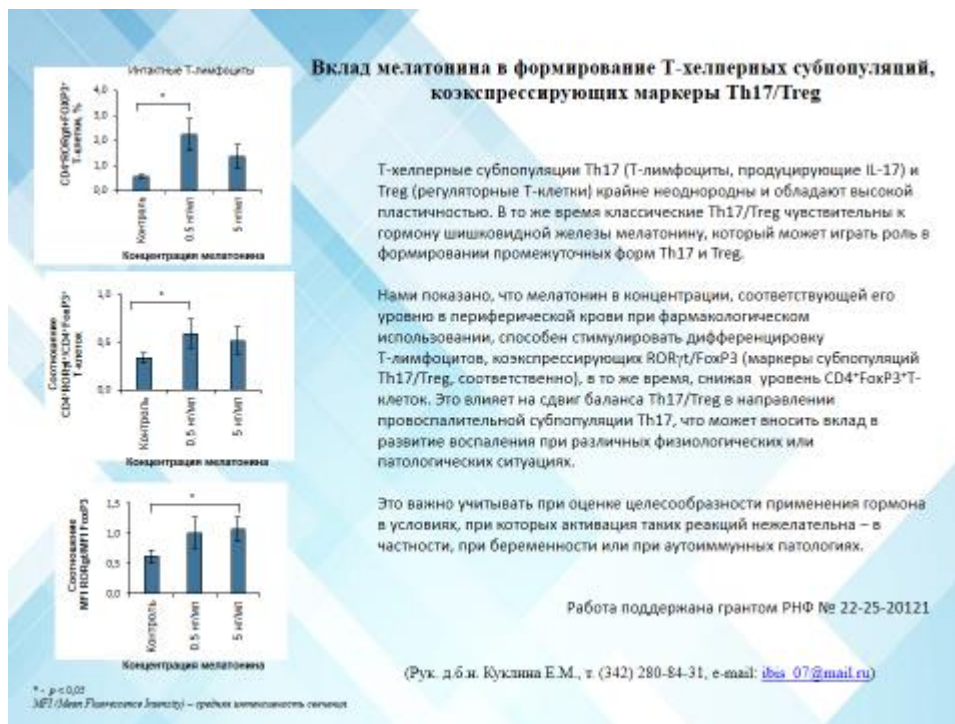


50. Определены эффекты экзогенного мелатонина в отношении классических Т-хелперных субпопуляций Th17 и Treg, а также клеток, коэкспрессирующих маркеры Th17/Treg.

#### Аннотация

Гормон шишковидной железы мелатонин обладает широким спектром функций, в том числе способностью эффективно регулировать активность клеток иммунной системы, в частности, Т-хелперов, продуцирующих IL-17 (Th17), и регуляторных Т-клеток (Treg). Обе субпопуляции экспрессируют рецепторы для мелатонина: мембранные (MT1/MT2) и внутриклеточный (RORα), и находятся под непосредственным контролем гормона. Th17 играют важную роль в защите организма от экстраклеточных патогенов, в развитии воспаления, в том числе – аутоиммунного, Treg, выполняя реципрокные функции, участвуют в предупреждении развития аутоиммунных, аллергических процессов, реакций отторжения трансплантата. Однако данные субпопуляции крайне неоднородны и обладают высокой пластичностью, и именно неклассические варианты Th17/Treg играют ведущую роль в патогенезе различных заболеваний. Поскольку классические Т-хелперных субпопуляции Th17/Treg чувствительны к мелатонину, мы оценивали роль гормона в формировании промежуточных форм Th17 и Treg. Показано, что мелатонин в концентрации, соответствующей его уровню в периферической крови при фармакологическом использовании, способен стимулировать дифференцировку Т-лимфоцитов, коэкспрессирующих RORα/t/FoxP3 (маркеры субпопуляций Th17/Treg, соответственно), в то же время, снижая уровень CD4+FoxP3+Т-клеток. Это влияет на сдвиг баланса Th17/Treg в направлении субпопуляции Th17, что может вносить вклад в развитие воспаления при различных физиологических или патологических ситуациях. Это важно учитывать при оценке целесообразности применения гормона в условиях, при которых активация таких реакций нежелательна – в частности, при беременности или при аутоиммунных патологиях.

(Рук.: д.б.н. Куклина Е.М., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [ibis\\_07@mail.ru](mailto:ibis_07@mail.ru))



51. Впервые проведено комплексное изучение раннего ответа родительских и мутантных бактерий *E. coli*, растущих с разной скоростью, на действие антибиотика цiproфлоксацина с использованием системы электрохимических сенсоров, биохимических методов и микробиологических тестов.

#### Аннотация

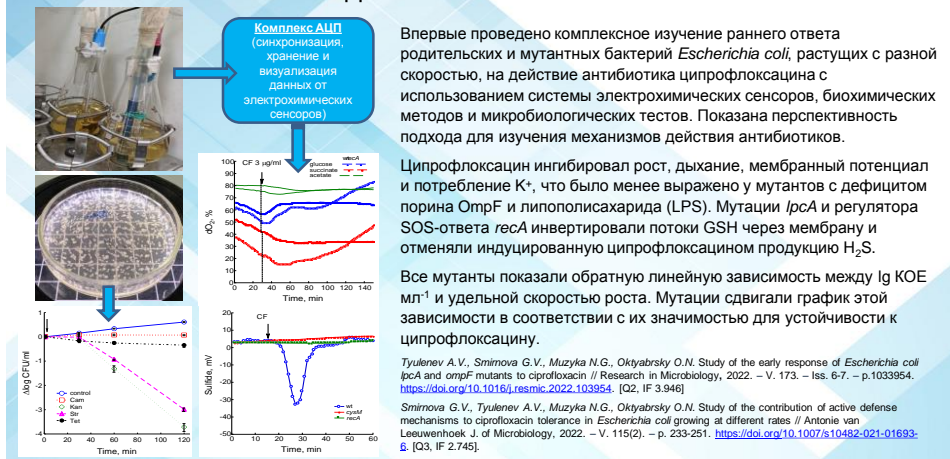
С использованием комплекса для “real-time” мониторинга физиологических параметров бактериальных культур, включающего электрохимические сенсоры pH, Eh, pO<sub>2</sub>, K<sup>+</sup> и сульфида, а также набора физиолого-биохимических и микробиологических методов и генно-инженерных штаммов *E. coli* изучена ранняя реакция бактерий, растущих на разных субстратах, на действие антибиотика цiproфлоксацина. Цiproфлоксацин ингибировал рост, дыхание, мембранный потенциал и потребление K<sup>+</sup>, что было менее выражено у мутантов с дефицитом порина OmpF и липополисахарида (LPS) по сравнению с родителем. У этих мутантов замедлялось поступление цiproфлоксацина в клетки, что приводило к пролонгированию роста и сдвигало оптимальную бактерицидную концентрацию в сторону более высоких значений. Мутации *lpcA* и регулятора SOS-ответа *gcsA* инвертировали потоки GSH через мембрану и отменяли индуцированную цiproфлоксацином продукцию H<sub>2</sub>S. Все изученные мутанты показали обратную линейную зависимость между lg КОЕ мл<sup>-1</sup> и удельной скоростью роста. Мутации сдвигали график этой зависимости относительно родительского штамма в соответствии с их значимостью для толерантности к цiproфлоксацину. Полученные данные показывают, что применение комплексного подхода, включающего “real-time” мониторинг физиологических параметров, открывает новые перспективы для изучения механизмов действия антибиотиков на бактерии.

Tyulenev A.V., Smirnova G.V., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N. Study of the early response of *Escherichia coli* *lpcA* and *ompF* mutants to ciprofloxacin // *Research in Microbiology*, 2022. – V. 173. – Iss. 6-7. – p.1033954. <https://doi.org/10.1016/j.resmic.2022.103954>. [Q2, IF 3.946]

Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Muzyka N.G., Oktyabrsky O.N. Study of the contribution of active defense mechanisms to ciprofloxacin tolerance in *Escherichia coli* growing at different rates // *Antonie van Leeuwenhoek J. of Microbiology*, 2022. – V. 115(2). – p. 233-251. <https://doi.org/10.1007/s10482-021-01693-6>. [Q3, IF 2.745].

(Рук.: д.б.н. Октябрьский О.Н., тел. +7(342) 212-20-86, e-mail: [oktyabr@iegm.ru](mailto:oktyabr@iegm.ru))

## Комплексный подход при изучении раннего ответа бактерий на действие антибиотиков



52. Впервые получены данные о распространенности вирулент-ассоциированных генов, а также встречаемости гибридных и гетеропатогенных штаммов *Escherichia coli*, циркулирующих среди здоровых животных на сельскохозяйственных предприятиях Европейской части России (Пермский край).

### Аннотация

Крупный рогатый скот является резервуаром патогенных и потенциально патогенных *E. coli*, которые могут представлять угрозу для здоровья людей и животных. Кроме того, продуктивные животные являются основной ареной возникновения бактериальной антибиотикоустойчивости и появления штаммов с множественной резистентностью, так как на сельское хозяйство приходится до 70% потребления противомикробных препаратов. Оценена встречаемость двадцати двух генов, ассоциированных с вирулентностью, кодирующих токсины, адгезины, протектины, белки систем поглощения железа и белок, специфический для UPEC, а также распространенность антибиотикоустойчивости и генов бета-лактамаз различных типов среди штаммов *E. coli*, выделенных от здорового крупного рогатого скота на предприятиях промышленного животноводства и частных фермерских хозяйствах Пермского края. Показано, что эшерихии, циркулирующие среди животных, характеризовались высоким гетеропатогенным потенциалом. Чаще всего встречались представители *E. coli*, содержащие три (20,4%), четыре (14,3%), пять (20,4%) и шесть (16,3%) генов, и даже имеющих семь и более генов (10%). Всего по сочетанию генов, ассоциированных с вирулентностью, выявлено сорок пять вариантов их комбинаций. В рассматриваемой популяции эшерихий были распространены представители диареогенной *E. coli* (DEC), в том числе, энтеротоксигенные (ETEC) и продуцирующие шига-подобные токсины *E. coli* (STEC), которые могут стать причиной острых кишечных инфекций, а также внекишечной патогенной *E. coli* (ExPEC), обуславливающие внекишечные инфекции человека и животных. Кроме того, были обнаружены гибридные экovarы, сочетающие гены, ассоциированные с разными патотипами *E. coli*. Фенотипом множественной лекарственной устойчивости обладали более трети культур, при этом они имели и высокий патогенный потенциал. Полученные данные служат для оценки эпизоотической ситуации и являются основой для формирования системы мониторинга колибактериоза на сельскохозяйственных предприятиях.

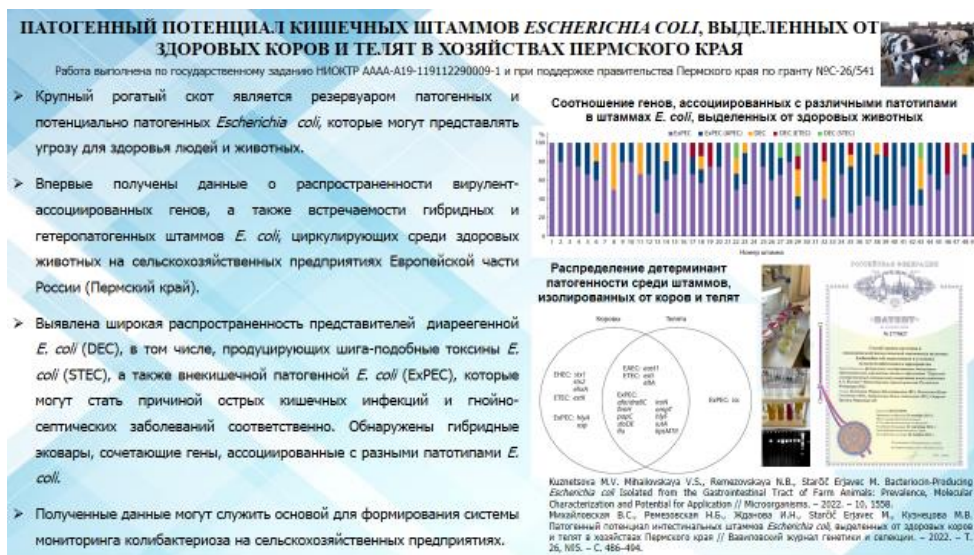
Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР АААА-А19-119112290009-1 и при поддержке правительства Пермского края по гранту №С-26/541.

Kuznetsova M.V. Mihailovskaya V.S., Remezovskaya N.B., Starčič Erjavec M. Bacteriocin-Producing *Escherichia coli* Isolated from the Gastrointestinal Tract of Farm Animals: Prevalence, Molecular Characterization and Potential for Application // Microorganisms. – 2022. – 10, 1558. <https://doi.org/10.3390/> (Scopus Q2, IF=4,13).

Михайловская В.С., Ремезовская Н.Б., Жданова И.Н., Starčič Erjavec M., Кузнецова М.В. Патогенный потенциал интестинальных штаммов *Escherichia coli*, выделенных от здоровых коров и телят в хозяйствах Пермского края // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2022. – Т. 26, №5. – С. 486–494. doi: 10.18699/VJGB-22-59 (Scopus Q3, Web of Science)

Кузнецова М.В., Поспелова Ю.С., Артамонова О.А., Starčič Erjavec M. Способ оценки патотипа и эпидемической/эпизоотической значимости штаммов *Escherichia coli*, выделенных в условиях сельскохозяйственного предприятия // Патент РФ RU № 2779827 С1 от 13.09.22, заявка № 2021134849 от 26.11.2021. Опубликовано 13.09.2022, Бюл. № 26.

(Рук.: д.м.н. Кузнецова М.В., тел.: +7 (342) 212-44-76, e-mail: [mar@iegm.ru](mailto:mar@iegm.ru))



53. Впервые получены данные об эффективности конъюгативной передачи в клинические уропатогенные штаммы *Escherichia coli* с учетом свойств клеток реципиента, а также внешних факторов и условий передачи.

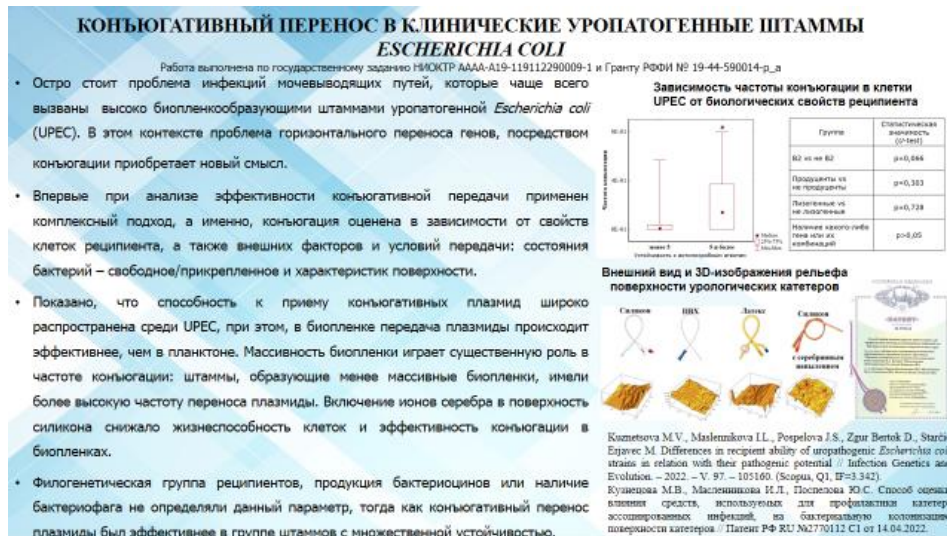
#### Аннотация

Впервые при анализе эффективности конъюгативной передачи применен комплексный подход, а именно, конъюгация оценена в зависимости от свойств клеток реципиента, а также внешних факторов и условий передачи: состояния бактерий – свободное/прикрепленное, физико-химических характеристик поверхности. Показано, что способность к приему конъюгативных плазмид широко распространена среди клинических штаммов *E. coli*, при этом, в условиях формирования биопленки передача плазмиды происходит значительно эффективнее. Массивность биопленки играет существенную роль в частоте конъюгации, а именно, штаммы, образующие менее массивные биопленки, имели более высокую частоту переноса плазмиды. Выявлено, что фимбриальные адгезины в большей степени определяли бактериальную адгезию и биопленкообразование, чем афимбриальные. Филогенетическая группа реципиентов, продукция бактериоцинов или наличие бактериофага не определяли данный параметр, тогда как конъюгативный перенос плазмиды был эффективнее в группе штаммов с множественной устойчивостью. Подтверждена эффективность применения напыления ионов серебра на поверхность катетера для снижения контаминации, выживаемости и коммуникации клеток, так как включение ионов серебра в поверхность силикона снижало жизнеспособность клеток и эффективность конъюгации в зрелых биопленках. Сделано заключение, что использование серебряного покрытия может быть одним из методов профилактики катетер-ассоциированных инфекций мочевыводящих путей, способствующих снижению распространения антибиотикорезистентности уропатогенов.

Kuznetsova M.V., Maslennikova I.L., Pospelova J.S., Zgur Bertok D., Starčič Erjavec M. Differences in recipient ability of uropathogenic *Escherichia coli* strains in relation with their pathogenic potential // *Infection Genetics and Evolution*. – 2022. – V. 97. – 105160. (Scopus, Q1, IF=3.342).

Кузнецова М.В., Масленникова И.Л., Поспелова Ю.С. Способ оценки влияния средств, используемых для профилактики катетер-ассоциированных инфекций, на бактериальную колонизацию поверхности катетеров // Патент РФ RU №2770112 C1 от 14.04.2022, заявка №2021120614 от 12.07.2021. Опубликовано 14.04.2022, Бюл. № 11.

(Рук.: д.м.н. Кузнецова М.В., тел.: +7 (342) 212-44-76, e-mail: [mar@iegm.ru](mailto:mar@iegm.ru))



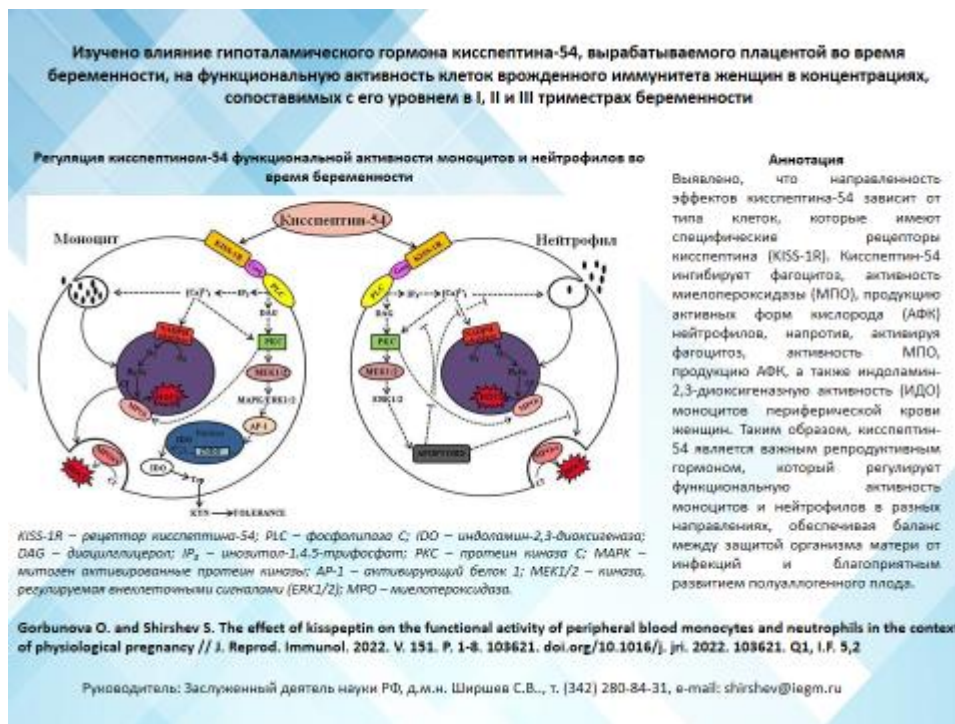
54. Изучено влияние гипоталамического гормона кисспептина-54, вырабатываемого плацентой во время беременности, на функциональную активность клеток врожденного иммунитета женщин в концентрациях, сопоставимых с его уровнем в I, II и III триместрах беременности.

**Аннотация**

Выявлено, что направленность эффектов кисспептина-54 зависит от типа клеток, которые имеют специфические рецепторы кисспептина (KISS-1R). Кисспептин-54 ингибирует фагоцитоз, активность миелопероксидазы (МПО), продукцию активных форм кислорода (АФК) нейтрофилов, напротив, активируя фагоцитоз, активность МПО, продукцию АФК, а также индоламин-2,3-диоксигеназную активность (ИДО) моноцитов периферической крови женщин. Таким образом, кисспептин-54 является важным репродуктивным гормоном, который регулирует функциональную активность моноцитов и нейтрофилов в разных направлениях, обеспечивая баланс между защитой организма матери от инфекций и благоприятным развитием полуаллогенного плода.

Gorbunova O. and Shirshv S. The effect of kisspeptin on the functional activity of peripheral blood monocytes and neutrophils in the context of physiological pregnancy // *J. Reprod. Immunol.* 2022. V. 151. P. 1-8. 103621. (WoS Q1. IF 5.2) doi.org/10.1016/j. jri. 2022. 103621.

(Рук.: д.м.н. Ширшев С.В., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [shirshv@iegm.ru](mailto:shirshv@iegm.ru))



55. Сконструированный штамм *E. coli* ЖР не оказывает вредного воздействия на здоровье бройлеров и может быть эффективным пробиотиком для профилактики колибактериоза у бройлеров.

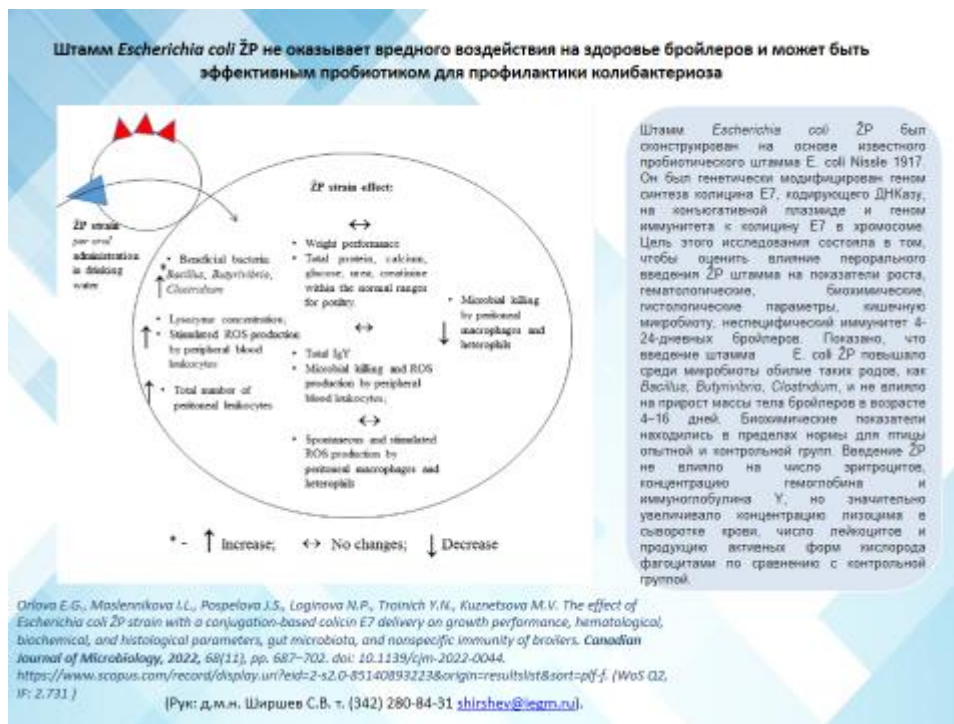
**Аннотация**

Штамм *Escherichia coli* ЖР был сконструирован на основе известного пробиотического штамма *E. coli* Nissle 1917. Он был генетически модифицирован геном синтеза колицина E7, кодирующего ДНКазу, на конъюгативной плазмиде и геном иммунитета к колицину E7 в хромосоме. Цель этого исследования состояла в том, чтобы оценить влияние перорального введения ЖР штамма ( $5 \times 10^8$  или  $5 \times 10^{10}$  КОЕ на птицу) на показатели роста, гематологические, биохимические, гистологические параметры, кишечную микробиоту, неспецифический иммунитет 4-24-дневных бройлеров. Показано, что введение штамма *E. coli* ЖР повышало среди микробиоты обилие таких родов, как *Vacillus*, *Butyrivibrio*, *Clostridium*, и не влияло на прирост массы тела бройлеров в возрасте 4–16 дней. Биохимические показатели находились в пределах нормы для птицы опытной и контрольной групп. Введение ЖР не влияло на число эритроцитов, концентрацию гемоглобина и иммуноглобулина Y, но значительно увеличивало концентрацию лизоцима в сыворотке крови, число лейкоцитов и продукцию активных форм кислорода фагоцитами по сравнению с контрольной группой. Таким образом, *E. coli* ЖР не оказывал вредного воздействия на здоровье бройлеров и может быть эффективным пробиотиком для профилактики колибактериоза бройлеров.

Orlova E.G., Maslennikova I.L., Pospelova J.S., Loginova N.P., Troinich Y.N., Kuznetsova M.V. The effect of *Escherichia coli* ЖР strain with a conjugation-based colicin E7 delivery on growth performance, hematological, biochemical, and histological parameters, gut microbiota, and nonspecific immunity of broilers. *Canadian Journal of Microbiology*, 2022, 68(11), pp. 687–702. (WoS Q2, IF: 2.731)

doi: 10.1139/cjm-2022-0044. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85140893223&origin=resultslist&sort=plf-f>

(Рук.: д.м.н. Ширшев С.В., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [shirshov@iegm.ru](mailto:shirshov@iegm.ru))



56. Впервые выявлены нарушения метаболизма делящихся CD4+ Т-клеток памяти у ВИЧ-инфицированных больных с низкой эффективностью восстановления иммунной системы на фоне антиретровирусной терапии.

#### Аннотация

Метаболизм определяет многие аспекты функционирования иммунных клеток, в том числе их способность к делению. В результате исследований периферической крови иммунологических неответчиков – ВИЧ-позитивных больных, у которых CD4+ Т-лимфоциты по неизвестной причине не делятся и не участвуют в восстановлении иммунной системы – нами были впервые установлены множественные нарушения метаболизма CD4+ Т-клеток памяти. Показано, что в лимфоцитах этих пациентов митохондрии характеризуются сниженными показателями окислительного фосфорилирования. Более того, в CD4+ Т-клетках памяти иммунологических неответчиков выявлены признаки нарушения регуляции аэробного гликолиза. Следует отметить, что основная часть метаболических изменений обнаружена нами в активированных/делящихся CD4+ Т-клетках памяти, для которых также продемонстрирована высокая склонность к апоптозу. Нарушение метаболизма CD4+ Т-клеток памяти может быть причиной гибели делящихся лимфоцитов и, как следствие, лежать в основе развития иммунологического неответа на антиретровирусную терапию. Коррекция метаболических нарушений CD4+ Т-клеток памяти может стать новым подходом к терапии ВИЧ-инфекции.

Korolevskaya LB, Saidakova EV, Shmagel NG, Shmagel KV. Assessment of Mitochondrial Condition in CD4+ and CD8+ T Cells from Healthy Subjects // *Cell and Tissue Biology*. – 2022. – Vol. 16, No. 5. – P.470–477. DOI: 10.1134/S1990519X22050054 (Scopus, Q4, IF 0,365).

Saidakova EV, Korolevskaya LB, Shmagel KV. Memory CD4+ T-cells in HIV-Infected Immunological Nonresponders are Prone to Apoptosis when Cycling // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – 2022. – in press (Scopus, Q4; IF 0,595).

Власова В.В., Сайдакова Е.В., Королевская Л.Б., Шмагель Н.Г., Шмагель К.В. Особенности метаболизма наивных CD4+ Т-лимфоцитов и CD4+ Т-клеток памяти в покое и при пролиферации // *Acta Biomedica Scientifica*. – 2022. – принято в печать (Scopus, Q4, IF 0,233).

(Рук.: д.м.н. Сайдакова Е.В., тел. +7(342) 280-83-34, e-mail: [radimira@list.ru](mailto:radimira@list.ru))



57. Впервые показано, что продукты кишечных бактерий ВИЧ-инфицированных пациентов вызывают нарушение состояния митохондрий и гибель CD4+ Т-лимфоцитов.

**Аннотация**

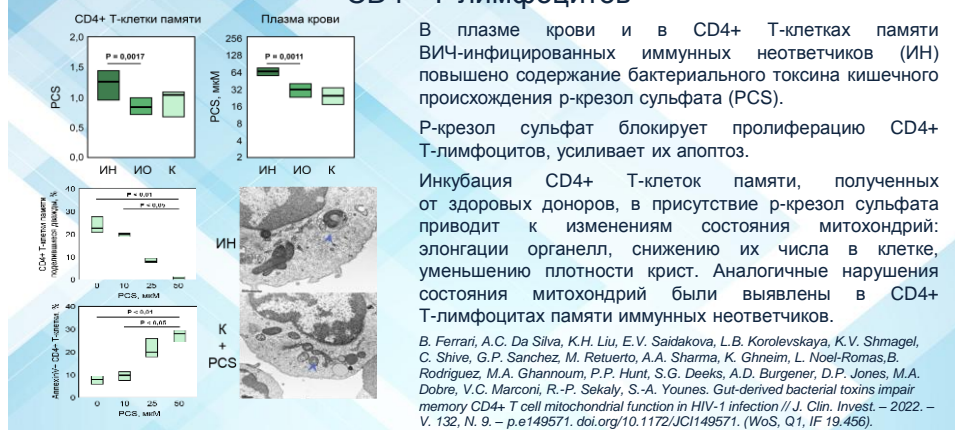
У части ВИЧ-инфицированных пациентов, несмотря на подавление репликации вируса на фоне приема антиретровирусных препаратов, не происходит эффективного восстановления численности периферических CD4+ Т-лимфоцитов. У таких больных, называемых иммунными неответчиками, по сравнению с субъектами, отвечающими на терапию приростом числа CD4+ Т-клеток, нарушено разнообразие кишечной микрофлоры и усилен выход микробных продуктов из поврежденного кишечника. Нами впервые показано, что в плазме крови и в CD4+ Т-клетках памяти иммунных неответчиков повышено содержание бактериального токсина кишечного происхождения р-крезол сульфата. Выявлена обратная корреляционная зависимость между числом CD4+ Т-лимфоцитов и уровнем р-крезол сульфата в плазме крови. В экспериментах *in vitro* установлено, что р-крезол сульфат блокирует пролиферацию CD4+ Т-лимфоцитов, усиливает их апоптоз, снижает экспрессию митохондриальных белков. Кроме того, обнаружено, что инкубация CD4+ Т-клеток памяти, полученных от здоровых доноров, в присутствии р-крезол сульфата приводит к изменениям состояния митохондрий: элонгации органелл, снижению их числа в клетке, уменьшению плотности крист. Важно, что аналогичные нарушения состояния митохондрий были выявлены в CD4+ Т-лимфоцитах памяти иммунных неответчиков.

B. Ferrari, A.C. Da Silva, K.H. Liu, E.V. Saidakova, L.B. Korolevskaya, K.V. Shmagel, C. Shive, G.P. Sanchez, M. Retuerto, A.A. Sharma, K. Ghneim, L. Noel-Romas, B. Rodriguez, M.A. Ghannoum, P.P. Hunt, S.G. Deeks, A.D. Burgener, D.P. Jones, M.A. Dobre, V.C. Marconi, R.-P. Sekaly, S.-A. Younes. Gut-derived bacterial toxins impair memory CD4+ T cell mitochondrial function in HIV-1 infection // *J. Clin. Invest.* – 2022. – V. 132, N. 9. – p.e149571. doi.org/10.1172/JCI149571. (WoS, Q1, IF 19.456).

(Рук.: д.м.н. Шмагель К.В., тел.: +7 (342) 280-83-34, e-mail: [shmagel@iegm.ru](mailto:shmagel@iegm.ru))



## Продукты кишечных бактерий ВИЧ-инфицированных пациентов вызывают нарушение состояния митохондрий и гибель CD4+ Т-лимфоцитов



В плазме крови и в CD4+ Т-клетках памяти ВИЧ-инфицированных иммунных неответчиков (ИН) повышено содержание бактериального токсина кишечного происхождения р-крезол сульфата (PCS).

Р-крезол сульфат блокирует пролиферацию CD4+ Т-лимфоцитов, усиливает их апоптоз.

Инкубация CD4+ Т-клеток памяти, полученных от здоровых доноров, в присутствии р-крезол сульфата приводит к изменениям состояния митохондрий: элонгации органелл, снижению их числа в клетке, уменьшению плотности крист. Аналогичные нарушения состояния митохондрий были выявлены в CD4+ Т-лимфоцитах памяти иммунных неответчиков.

B. Ferrari, A.C. Da Silva, K.H. Liu, E.V. Saidakova, L.B. Korolevskaya, K.V. Shmagel, C. Shive, G.P. Sanchez, M. Retuerto, A.A. Sharma, K. Gheim, L. Noel-Romas, B. Rodriguez, M.A. Ghannoum, P.P. Hunt, S.G. Deeks, A.D. Burgener, D.P. Jones, M.A. Dobre, V.C. Marconi, R.-P. Sekaly, S.-A. Younes. Gut-derived bacterial toxins impair memory CD4+ T cell mitochondrial function in HIV-1 infection // *J. Clin. Invest.* – 2022. – V. 132, N. 9. – p.e149571. doi.org/10.1172/JCI149571. (WoS, Q1, IF 19.456).

58. Впервые показано влияние функционализации углеродных нанотрубок на биопленкообразование бактерий окружающей среды, играющих значительную роль в процессах биодеградации токсичных веществ.

### Аннотация

Увеличение объемов производства углеродных нанотрубок - относительно нового материала с уникальными свойствами, неизбежно приводит к их попаданию в окружающую среду. Изучено влияние этих наноматериалов, функционализированных различными группами (-COOH, -OH, -NH<sub>2</sub>, октадециламином) на биопленкообразование бактерий активного ила и актинобактерий почвенной среды. Установлено, что ни один из исследуемых типов углеродных нанотрубок не приводит к полному ингибированию биопленкообразования бактерий, при этом грамотрицательные бактерии более восприимчивы к действию углеродных нанотрубок, а метаболическую активность клеток в большей степени подавляют карбоксилированные и гидрофильные многостенные и одностенные углеродные нанотрубки. Многостенные углеродные нанотрубки без функционализации не оказывают сильного отрицательного воздействия на метаболизм. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможном использовании функционализированных углеродных нанотрубок либо в качестве антимикробных агентов, либо как носителей для клеток биотехнологически значимых бактерий (грант РФФИ «р\_НОЦ\_Пермский край 20-44-596002»).

Maksimova Y., Bykova Y., Maksimov A. Functionalization of Multi-Walled Carbon Nanotubes Changes Their Antibiofilm and Probiofilm Effects on Environmental Bacteria // *Microorganisms*, 2022, 10, 1627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081627> (WoS, Q2, IF 5.143),

Maksimova Yu.G., Bykova Ya.E., Zorina A.S., Nikulin S.M., and Maksimov A.Yu. Effect of Pristine Multi-Walled Carbon Nanotubes on Formation and Degradation of Bacterial Biofilms // *Microbiology*, 2022, Vol. 91, No. 4, pp. 454–462. DOI: 10.1134/S0026261722100861 (WoS, IF 2.238).

(Рук.: д.б.н. Максимова Ю.Г., тел.: +7 (342) 12-44-76, e-mail: [maks@iegm.ru](mailto:maks@iegm.ru))

## Изучение взаимодействия углеродных нанотрубок с бактериальными биопленками с целью оценки антимикробного потенциала наноматериалов



Углеродные нанотрубки

Бактериальные биопленки

Многостенные и одностенные немодифицированные и функционализированные углеродные нанотрубки не ингибировали формирование биопленок бактерий, в ряде случаев даже усиливая биопленкообразование. При этом грамотрицательные бактерии более восприимчивы к действию углеродных нанотрубок, а метаболическую активность клеток в большей степени подавляют карбоксилированные углеродные нанотрубки. Многостенные углеродные нанотрубки без функционализации не оказывают сильного отрицательного воздействия на метаболизм бактериальных клеток.  
(грант РФФИ 20-44-596002)

- Maksimova Y., Bykova Y., Maksimov A. Functionalization of Multi-Walled Carbon Nanotubes Changes Their Antibiofilm and Probiofilm Effects on Environmental Bacteria // *Microorganisms*, 2022, 10, 1627. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081627> (WoS, Q2, IF 5.143),
- Maksimova Yu.G., Bykova Ya.E., Zorina A.S., Nikulin S.M., and Maksimov A.Yu. Effect of Pristine Multi-Walled Carbon Nanotubes on Formation and Degradation of Bacterial Biofilms // *Microbiology*, 2022, Vol. 91, No. 4, pp. 454–462. DOI: 10.1134/S0026261722100861 (WoS, IF 2.238).

59. Впервые установлены механизмы влияния гипоксии при врожденных пороках сердца у детей на дифференцировку тимоцитов.

### Аннотация

Врожденные пороки сердца являются наиболее часто встречающейся аномалией развития у детей и сопровождаются нарушениями функций тимуса. Врожденные пороки сердца отягощаются гипоксией и дисфункциями иммунитета. В результате проведенных исследований установлено, что развитие в условиях гипоксии влияет на тимическую дифференцировку лимфоцитов, затрагивая взаимодействие с плазмациитоидными дендритными клетками тимуса, что результируется в повышении устойчивости тимоцитов к апоптозу, изменениями в созревании CD4<sup>+</sup>-Т-лимфоцитов, и угнетении формирования естественных регуляторных Т-клеток (nTreg), основной функцией которых является защита от аутоиммунных процессов. Таким образом, полученные результаты объясняют механизмы формирования дисфункций иммунитета у детей с врожденными пороками сердца и важны для совершенствования методов их коррекции

Orlova E, Loginova O, Loginova N, Shekhmametyev R, Shirshv S. The Hypoxia Affects the Main Thymocyte Subset Distributions in Congenital Heart Diseases. *Turk J Immunol* 2022;10(2):102-114 (Scopus Q4, IF=0,6) [TJI\\_10\\_2\\_102\\_114.pdf](https://journalagent.com) (journalagent.com)

(Рук.: д.б.н. Орлова Е.Г., тел.: +7 (342) 280-84-31, e-mail: [orlova\\_katy@mail.ru](mailto:orlova_katy@mail.ru))

Впервые установлены механизмы влияния гипоксии при врожденных пороках сердца у детей на дифференцировку тимоцитов



Гипоксия при врожденных пороках сердца влияет на дифференцировку тимоцитов

Плазмациитоидные дендритные клетки тимуса

CD4<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup> тимоциты

- повышает устойчивость тимоцитов к апоптозу
- изменяет дифференцировку Т регуляторных клеток
- усиливает дифференцировку CD4<sup>+</sup>CD8<sup>+</sup>

Аннотация

Врожденные пороки сердца являются наиболее часто встречающейся аномалией развития у детей и сопровождаются нарушениями функций тимуса. Врожденные пороки сердца отягощаются гипоксией и дисфункциями иммунитета. В результате проведенных исследований установлено, что развитие в условиях гипоксии влияет на тимическую дифференцировку лимфоцитов, затрагивая взаимодействие с плазмациитоидными дендритными клетками тимуса, что результируется в повышении устойчивости тимоцитов к апоптозу, изменениями в созревании CD4<sup>+</sup>-Т-лимфоцитов, и угнетении формирования естественных регуляторных Т-клеток (nTreg), основной функцией которых является защита от аутоиммунных процессов. Таким образом, полученные результаты объясняют механизмы формирования дисфункций иммунитета у детей с врожденными пороками сердца и важны для совершенствования методов их коррекции

Orlova E, Loginova O, Loginova N, Shekhmametyev R, Shirshv S. The Hypoxia Affects the Main Thymocyte Subset Distributions in Congenital Heart Diseases. *Turkish J Immunol* 2022;10(2):102-114 (Scopus Q4, IF=0,6) [TJI\\_10\\_2\\_102\\_114.pdf](https://journalagent.com) (journalagent.com)

Рук. д.б.н. Орлова Е.Г., т. (342) 280-84-31, e-mail: [orlova\\_katy@mail.ru](mailto:orlova_katy@mail.ru)

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

60. Научно обоснованная технология возделывания левзеи сафлоровидной на семена.

Аннотация

Левзея сафлоровидная является новым для условий Предуралья уникальным кормовым растением: сочетает высокую продуктивность с высоким качеством, обладает долголетием, повышает иммунный статус сельскохозяйственных животных и птицы, плодородие почвы. Интродукция любой сельскохозяйственной культуры невозможна без решения вопросов семеноводства. Элементы технологии возделывания левзеи на семена (способы посева, нормы высева) сотрудники лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ изучали в течение 2017-2022 годов. Установлено, что при широкорядном способе посева культура в среднем формирует урожайность 374 кг/га семян, что на 59 кг выше рядового. Норма высева 0,4 млн. всхожих семян на гектар при широкорядном способе посева обеспечила наибольшую урожайность семян – 1336 кг. В опылении семян активно участвуют медоносная пчела, шмели и другие насекомые.

В настоящее время прорабатывается вопрос реализации научно-технического проекта, который позволит разработать и реализовать индустриальную технологию получения семян и витаминно-травяной муки из ряда культур, содержащих биологически активные вещества.

Авдеев Н.В., Майсак Г.П. Анализ массы семян для оценки семенной продуктивности и однородности агропопуляции на примере левзеи сафлоровидной (*rhaponticum carthamoides* (willd.) Ijjin.) // Пермский аграрный вестник. 2021. № 2 (34). С. 14-23.

Майсак Г.П., Матолинец Д.А. Семенная продуктивность левзеи сафлоровидной в условиях Пермского Края // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 32-35.

Матолинец Д.А., Соловьёва М.А., Матолинец Н.Н. Влияние приемов возделывания на накопление экдстероидов в левзее сафлоровидной (*rhaponticum carthamoides* (willd.) Ijjin) // Пермский аграрный вестник. 2020. № 4 (32). С. 49-59.

(Рук.: к.с.-х.н. Майсак Г.П., тел.: +7 (342) 297-70-70, e-mail: [korm.pro2015@yandex.ru](mailto:korm.pro2015@yandex.ru))

Научно обоснованная технология возделывания левзеи сафлоровидной на семена. Левзея сафлоровидная является новым для условий Предуралья уникальным кормовым растением. Изучение возделывания левзеи на семена (способы посева, нормы высева) сотрудники лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ проводили в течение 2017-2022 годов.

За время проведения исследований опубликованы: 1 статья в системе Scopus, 5 статей в RSCI, 1 статья в ВАК.

Руководитель: к.с.-х.н., Г.П. Майсак, e-mail: [korm.pro2015@yandex.ru](mailto:korm.pro2015@yandex.ru)



В настоящее время прорабатывается вопрос реализации научно-технического проекта, который позволит разработать и реализовать индустриальную технологию получения семян и витаминно-травяной муки из ряда культур, содержащих биологически активные вещества.

61. Исследование свойств воздушной среды, контактирующей с природными калийными солями, и ее влияния на сохранность семенного картофеля в период хранения.

#### Аннотация

Природные калийно-магниевые соли обладают целым рядом специфических свойств, например, способностью продуцировать легкие аэроионы за счет воздействия молекул воздуха с катионами калия и натрия, что может приводить к формированию в замкнутом пространстве воздушной среды, обладающей бактерицидными свойствами.

В рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» в лаборатории агротехнологий Пермского НИИСХ – филиале ПФИЦ УрО РАН проведены исследования влияния воздушной среды, контактирующей с природными калийными солями, на хранение семенного картофеля.

Исследования оценки возможности и степени влияния природных солей на процессы хранения картофеля в моделях картофелехранилищ проводили в период с 2019 по 2022 годы. Рассматривали различные варианты применения солей. В частности, изучали воздействие насыпной поверхности калийной соли, проводили исследования по насыщению атмосферы моделей хранилища аэроионами при прохождении воздуха через солефильтры с закладкой кусковым сильвинитом (режим работы 6 ч/сутки) и специальными формами («таблетками»), состоящими из прессованного сильвинита (режим работы 3 и 6 ч/сутки).

Изучение вопроса показало, что по комплексу показателей наиболее эффективным при хранении семенного картофеля оказалось использование соляного фильтра (таблетки, 3 ч/сутки). Применение технологии хранения картофеля, основанное на использовании систем искусственной вентиляции со встроенными соляными фильтрами, заполненные прессованными формами из сильвинита с максимальным содержанием KCl, возможно в любых типовых картофелехранилищах. Широкое внедрение данной технологии позволит значительно снизить потери урожай семенного картофеля в период хранения.

A. Shalimov, A. Isaevich, K. Korlyakov A. Maksimov. The suppression of potato pathogens development during storage period as influenced by air medium, contacting with natural potassium salts. Agriculture & Forestry, 2019. Vol. 65. Issue 4: 55-66. DOI: 10.17707/AgricultForest.65.4.06

A. G. Isaevich, A. Y. Maksimov, K. N. Korlyakov, D. A. Pospelov, L. G. Tsema, A. L. Latypova, N. V. Zubov. The use of potassium salts unique properties for suppression of potato pathogens during storage period. //AGRIFOR International Journal, Volume 6. Issue No. 3, 2021. pp. 57-65.

(Рук.: к.с.-х.н. Цёма Л.Г., тел.: +7 (342) 297-70-70, e-mail: [labkartof@mail.ru](mailto:labkartof@mail.ru))

*Проведена оценка возможности использования и степени влияния природных калийных солей на процессы хранения картофеля в моделях картофелехранилищ. По комплексу показателей наиболее эффективным при хранении семенного картофеля оказалось использование соляного фильтра (таблетки, 3 ч/сутки). Работа проведена в рамках подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства картофеля в Российской Федерации» в лаборатории агротехнологий Пермского НИИСХ.*

По теме исследований опубликовано 2 статьи в Scopus.

Руководитель: к.с.-х.н. Цёма Л.Г., e-mail: [labkartof@mail.ru](mailto:labkartof@mail.ru)



В настоящее время прорабатывается вопрос реализации научно-технического проекта, который позволит разработать и реализовать промышленную технологию получения семян и витаминно-травяной муки из ряда культур, содержащих биологически активные вещества.

62. Изучение перспективных и адаптивных к почвенно-климатическим условиям Пермского края сортов картофеля различных групп спелости, сочетающие урожайность и устойчивость к болезням

#### Аннотация

Для любого хозяйства первый и определяющий этап в производстве картофеля - правильный подбор сортов с учетом длительности периода созревания, цели производства, почвенных условий, климатических особенностей региона и собственных экономических возможностей. Многие российские сорта картофеля выгодно отличаются от зарубежных аналогов по уровню их адаптивности к условиям выращивания, устойчивости к болезням, биохимическому составу, определяющих, как известно, стабильные показатели столовых качеств клубней. В 2019-2021 гг. в лаборатории агротехнологий Пермского НИИСХ было проведено экологическое испытание 28 сортов отечественной селекции различных групп спелости. За три года исследований по урожайности и хозяйственно-ценным признакам выделились 15 сортов. В группе ранних сортов большая урожайность получена у сортов Удача (стандарт) – 27,7 т/га с товарностью 89 % и Гулливер (27,8 т/га, 92 %). По биохимическим показателям качества клубней и дегустационной оценке выделился сорт Регги - содержание сухого вещества – 20,2%, крахмала – 15,0%, дегустационная оценка- 4,0 балла. У сортов среднеранней группы спелости по урожайности выделился сорт Ариэль. Урожайность составила 31,6 т/га, что на 9,0 т/га выше стандарта Невский, товарность 97%. По содержанию крахмала и сухого вещества выделился сорт Самба – 17,6 и 21,0%, соответственно. В среднеспелой группе все изучаемые сорта по урожайности превзошли стандарт Луговской на 9,4-11,6 т/га. Наибольшая урожайность получена у сорта Краса Мещеры – 32,6 т/га с товарностью 87 %. У данного сорта отмечено высокое содержание крахмала (16,1%) и сухого вещества (18,6 %), получена максимальная дегустационная оценка.

По результатам исследований опубликовано руководство по использованию сортов для руководителей и специалистов сельскохозяйственного производства, занимающихся производством картофеля.

Цёма Л.Г., Латыпова А.Л. Руководство по использованию в условиях Пермского края перспективных сортов картофеля различных групп скороспелости, сочетающих урожайность 20-25 т/га с комплексом хозяйственно-ценных свойств// Издательство «ОТ и ДО». 2022 г.

Цёма Л.Г., Латыпова А.Л. Перспективные сорта картофеля для возделывания в условиях Пермского края // Пермский аграрный вестник. №3 (39) 2022. С. 39-45.

(Рук.: к.с.-х.н. Корляков К.Н., тел.: +7 (342) 297-70-70, e-mail: [korlyakovkn@rambler.ru](mailto:korlyakovkn@rambler.ru))

Изучение перспективных и адаптивных к почвенно-климатическим условиям Пермского края сортов картофеля различных групп спелости, сочетающие урожайность и устойчивость к болезням.  
Было проведено экологическое испытание 28 сортов отечественной селекции различных групп спелости. За три года исследований по урожайности и хозяйственно-ценным признакам выделились 15 сортов.

По результатам исследований опубликовано руководство по использованию сортов для руководителей и специалистов сельскохозяйственного производства, занимающихся производством картофеля.

Руководитель: к.с.-х.н. Корляков К.Н., e-mail: [korlyakovkn@rambler.ru](mailto:korlyakovkn@rambler.ru)



**«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»)**

63. Завершен проект по изучению нематериального культурного наследия народов России

Аннотация

2022 год объявлен Годом культурного наследия народов России. В рамках программы Министерства культуры РФ, Институт гуманитарных исследований ПФИЦ УрО РАН провел 6 полевых экспедиционных исследований в регионах России по выявлению и изучению объектов нематериального культурного наследия народов России (Пермский край, Свердловская область, Челябинская область, Калининградская область, Республика Марий Эл, Республика Татарстан). Материалы экспедиций размещены в федеральном каталоге объектов нематериального культурного наследия народов России.

Черных А.В. Фольклорные собрания и архивы: проблемы сохранения и перспективы развития // Традиционная культура. – 2022. – Т. 23. № 2. С. 13-24.

(Рук.: чл.-корр РАН Черных А.В., тел.: +7 (909) 118-52-52, e-mail: [atschernych@yandex.ru](mailto:atschernych@yandex.ru))



64. Завершен международный исследовательский проект «Болгары Урала и Сибири в XX-XXI веках: история, культура, идентичность», поддержанный РФФИ и реализуемый совместно с Институтом этнологии и фольклористики БАН.

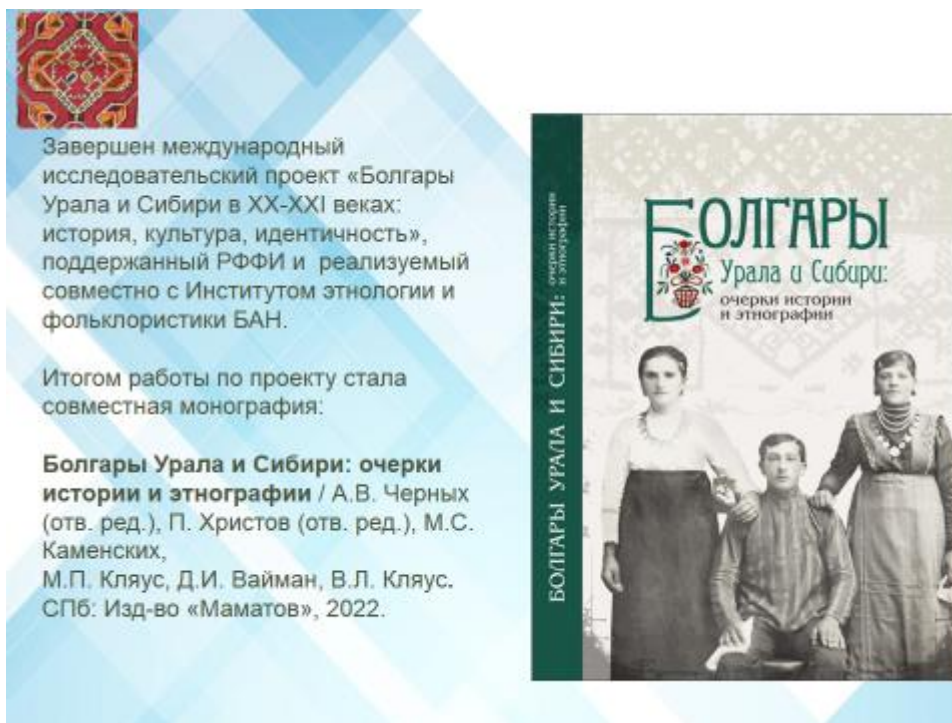
Аннотация

В течение трех лет российско-болгарский научный коллектив изучал различные аспекты и особенности миграции и расселения болгар в регионах России. По итогам проекта подготовлено свыше 20 научных статей в российских и болгарских журналах, организована и проведена научная конференция (ноябрь 2021 года). Итогом проекта стало издание монографии «Болгары Урала и Сибири: очерки истории и этнографии». В книге на основе архивных, опубликованных в печати и полученных в результате полевых исследований этнографических источников рассматриваются особенности формирования и этнокультурные процессы в болгарском сообществе Урала и Сибири на протяжении конца XIX – начала XXI в. В монографии, подготовленной российскими и болгарскими исследователями, рассмотрены особенности миграций и этапы формирования

болгарского сообщества региона, особенности расселения и численности, этнических процессов и функционирование современных общественных институтов, специфика проявления идентичности в настоящее время. Издание предназначено для специалистов в области истории и этнографии, культурной антропологии, а также для всех, кто интересуется историей и этнографией.

Болгары Урала и Сибири: очерки истории и этнографии / А.В. Черных (отв. ред.), П. Христов (отв. ред.), М.С. Каменских, М.П. Кляус, Д.И. Вайман, В.Л. Кляус. СПб: Изд-во «Маматов», 2022.

(Рук.: чл.-корр РАН Черных А.В., тел.: +7 (909) 118-52-52, e-mail: [atschernych@yandex.ru](mailto:atschernych@yandex.ru))



65. Обосновано своеобразие изделий прикамского средневекового ювелирного центра

#### Аннотация

Завершено исследование двух категорий прикамских ювелирных изделий – ножен и звездчатых подвесок. Поскольку обе категории представляют собой сложные в конструктивном плане изделия, при исследовании использован комплекс разнообразных археологических и естественнонаучных методов. Впервые определен материал основы ножен (береза, кость), разными методами проанализирован металл, где в основе выявлено высокое содержание серебра, в позолоте зафиксирована ртуть, что свидетельствует о ее нанесении путем амальгамирования, определен материал вставок (янтарь прибалтийского происхождения, смола). Археологическими методами проанализированы особенности технологии производства обеих категорий, выделены технологические и стилистические особенности, сделан вывод об их местном производстве. Любопытным открытием стало доказательство того, что в составе звездчатых подвесок ювелирами X-XI вв. были использованы элементы изделий гуннского полихромного стиля, относящиеся к гораздо более раннему времени и полученные с Кавказа.

Подосёнова Ю.А., Крыласова Н.Б., Данич А.В. Деревянные ножны с металлическими обкладками в средневековом Пермском Предуралье // Поволжская археология, 2022 г., № 2 С.71-88. <https://doi.org/10.24852/pa2022.2.40.72.88> Q1, RSCI

Крыласова Н.Б., Подосёнова Ю.А. Звездчатые подвески из Пермского Предуралья (или вторая жизнь изделий в гуннском полихромном стиле) // Археология, этнография и антропология Евразии. Том 50, № 4, 2022. С.95-102. doi:10.17746/1563-0102. Q1, RSCI

(Рек.: Крыласова Н. Б., тел.: +7 (922) 244-18-91, e-mail: [n.krylasova@mail.ru](mailto:n.krylasova@mail.ru))

## ПРИКАМСКИЙ СРЕДНЕВЕКОВЫЙ ЮВЕЛИРНЫЙ ЦЕНТР



66. Разработан инструментарий измерения исторической специфики российских регионов, который позволяет исследовать ее влияние на кроссрегиональную гетерогенность политических процессов в современных политиях.

### Аннотация

Инструментарий для измерения исторической специфики регионов представляет собой композитный разновзвешенный индекс – «Индекс специфики политической истории» (ИСПИ), основанный на фиксации исторической специфики регионов по нескольким параметрам: входила ли территория региона (в дальнейшем – регион) в состав исторического ядра России; имел ли регион собственную государственность до вхождения в состав того, как вошел в состав Московского Русского государства / Российской империи; выходил ли регион из состава России и длительное время находился в составе другого государства; являлась ли территория региона центром «ядром» антибольшевистской государственности в период Гражданской войны 1918–1922 гг.; обладал ли центр современного субъекта РФ «столичным статусом» (центр губернии, области и т.п.) до 1917 г.

Данный инструментарий был протестирован на сравнительном large-N анализе всех регионов России (по состоянию до 4 октября 2022 г.), а его предварительная версия, базировавшаяся на подходе Р. Фитъяра (индекс исторического суверенитета или «historical sovereignty index») – на анализе 313 регионов европейских стран.

Исследование показало, что историческая специфика регионов имеет существенное объяснительное значение в качестве фактора кроссрегиональной гетерогенности политических процессов в современных политиях. В России ИСПИ обнаруживает статистически значимые корреляции с такими характеристиками, как сила регионалистских движений в начале 1990-х гг. и специфика партийно-электорального ландшафта регионов в 2000-е гг. В европейских странах историческая специфика региона (наряду с географической и социокультурной) оказывает статистически значимое влияние на электоральные успехи регионалистских политических партий. Кириянов И.К., Панов П.В. Регионалистские проекты в неэтнических регионах России: акторы, легитимация, эффективность // Полис. Политические исследования. 2022. № 1. С. 67–85. DOI:10.17976/2022.01.07.

Панов П.В. Регионалистские партии в странах Европы: факторы успеха // Вестник Пермского университета. Политология. 2022. № 3. С. 5–14. DOI:10.17072/2218-1067-2022-3-5-14



Кириянов И.К., Панов П.В. Историческая специфика регионов России: инструментарий для анализа гетерогенности политического пространства // Вестник Пермского университета. Политология. 2022. № 4 (в печати).

(Рук.: д.и.н. Кириянов И.К., тел.: +7 (902) 472-97-23, e-mail: [ikiryanov@yandex.ru](mailto:ikiryanov@yandex.ru), д.полит.н. Панов П.В., e-mail: [panov.petr@gmail.com](mailto:panov.petr@gmail.com))



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

67. Был разработан комбинированный метод непрерывного мониторинга состояния сложных конструкций, устройств, объектов инфраструктуры и транспортных средств.

### Аннотация:

За счет усовершенствованной технологии обработки сигнала метод позволяет стабилизировать показания сенсоров в экстремальных условиях и увеличить дальность их работы. Предполагается, что новый подход позволит улучшить защиту сооружений и повысить эффективность спасательных операций. Подход предполагает внедрение в объект сети на основе протяженного оптоволоконного сенсора, который непрерывно передает в систему данные о состоянии конструкции. Точность показаний датчика была увеличена за счет совместного применения корреляционных алгоритмов и методов искусственного интеллекта в условиях, создающих помехи (которые могут образовываться во время сильных пожаров, землетрясений и других экстремальных ситуациях, когда оптоволокно близко к разрушению). При корректном подборе параметров обработки и эффективном обучении в будущем планируется увеличение дальности работы сенсора на километры и даже десятки километров. Работа опубликована в журнале *Sensors*. В ней подробно описана возможность повышения точности обнаружения бриллюэновского сдвига частоты (БСЧ) в распределенных волоконно-оптических датчиках за счет отдельного и совместного использования различных алгоритмов нахождения спектрального максимума: аппроксимацией лоренцевской функцией (LCF, включая алгоритм Левенберга-Марквардта (LM), метод обратной корреляции (BWC) и алгоритма машинного обучения (обобщенной линейной модели, GLM).

Исследование проводилось на реальных спектрах с последующим добавлением экстремальных цифровых шумов. Точность и правильность методов LM и BWC изучались путем изменения

отношения сигнал-шум (SNR) и путем включения метода GLM в этапы обработки. Установлено, что последовательное применение методов дает выигрыш в точности определения температуры датчика от десятых долей до нескольких градусов Цельсия (или МГц по шкале БСЧ), что проявляется при отношениях сигнал/шум в пределах от 0 до 20 дБ. Также было обнаружено, что двойная обработка (BWC + GLM) более эффективна при положительных значениях SNR (в дБ): она дает выигрыш в точности измерения БСЧ около 0,4 °С (428 кГц или 9,3 микрострейн); для BWC + GLM разница в точности между одиночной и двойной обработкой для SNR ниже 2,6 дБ составляет около 1,5 °С (1,6 МГц или 35 микрострейн). В этом случае двойная обработка более эффективна для всех SNR. В работе также приняли участие исследователи Университета Кебангсаан и Университета Тенага Насиональ (Малайзия).

(Рук.: к.т.н. Константинов Ю.А., тел.: +7 (912) 882-58-61, e-mail: [konstantinov.y@permisc.ru](mailto:konstantinov.y@permisc.ru))



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

68. С помощью принципиально новых подходов на основе механобиологии увеличены показатели эффективности биодеградации сложных органических соединений. Впервые для интенсификации биодеградации ксенобиотиков использованы механобиологические подходы, которые включают в себя исследование структурных и механических свойств клеток и надклеточных образований (агрегаты, биопленки), оценку степени их влияния на процесс биодеградации, направленное изменение механобиологических характеристик биодеструкторов.

**Аннотация**

На основании данных об ультраструктурных, наномеханических и адгезивных свойствах (степень шероховатости и площадь клеточной поверхности, объем, соотношение площади к объему, упругость, усиление синтеза липидных внеклеточных веществ, повышение сродства к гидрофобным соединениям, способность к агрегации) клеток бактерий- деструкторов сложных органических соединений подобраны биодеструкторы и условия, обеспечивающие полную деградацию токсичного отхода целлюлозно-бумажной промышленности – дегидроабиетиновой кислоты в высоких (500–3000 мг/л) концентрациях в течение 3–25 сут. Использование нестандартного приема на основе 3D- клиностагирования (метод моделирования эффектов микрогравитации) для интенсификации биопленкообразования позволило получить плотные биопленки бактерий-деструкторов нефтяных углеводородов, устойчивые к воздействию

токсичных углеводородов и их смесей (н-гексан, дизельное топливо) и перспективные для использования при биодegradации углеводородных загрязнителей.

Иванова К.М., Гришко В.В., Ившина И.Б. Высокоэффективная биодеструкция экотоксичной дегидроабиединовой кислоты нерастущими клетками *Rhodococcus rhodochrous* ИЭГМ 107 // Микробиология. – 2022 – Т. 92, №4. – С. 419–432.

(Рук.: д.б.н. А.В. Криворучко, тел.: +7 (342) 280-81-14, e-mail: [nast@iegm.ru](mailto:nast@iegm.ru))

