

## **Важнейшие результаты научно-исследовательской деятельности в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы за 2019 г.**

1. Создана и проходит промышленное испытание на ПАО «Норникель» система кондиционирования глубоких горизонтов с разветвлёнными сетями горных выработок.

Впервые создана и проходит промышленное испытание на ПАО «Норникель» система кондиционирования глубоких горизонтов с разветвлёнными сетями горных выработок. Система включает в себя математическую модель расчета микроклиматических параметров воздуха в горных выработках глубоких рудников с учетом сжимаемости воздушной среды, влагообмена в рудничной атмосфере и техногенных источников тепловыделения. Разработанная модель позволяет прогнозировать микроклиматические параметры воздуха глубоких шахт и рудников, характеризующихся сложными и разветвленными сетями горных выработок, высокой температурой вмещающих пород и применением мощных горных машин.

2. Разработана и внедрена на ОАО «Беларуськалий» и ПАО «Акрон» система автоматизированного контроля безопасности строительства шахтных стволов методом замораживания.

Разработаны и внедрены на ОАО «Беларуськалий» и ПАО «Акрон» уникальные системы автоматизированного контроля безопасности строительства шахтных стволов методом замораживания, базирующиеся на использовании технологии оптоволоконной термометрии. Система осуществляет непрерывные измерения температуры по глубине контрольно-термических скважин и параметров работы замораживающей станции, обработку данных и их передачу на сервер в базу данных для хранения, а также математическую обработку и интерпретацию данных. Отличительной особенностью системы контроля является разработанный алгоритм, позволяющий восстанавливать температурное поле во всем породном массиве по данным инженерно-геологических изысканий и уточнять его актуальное состояние по данным измеренных температур в контрольно-термических скважинах. Для повышения точности и надёжности работы системы разработан дополнительный способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов, основанный на определении скорости и времени вступления сейсмоакустических сигналов, отраженных от ледопородного ограждения.

3. Доказана принципиальная возможность и обоснована технология отработки техногенного сильвинитового пласта, сформировавшего вследствие разрушения податливых междукамерных целиков, деформации и обрушения пород кровли.

Впервые в мировой практике камерной системы разработки калийных месторождений доказана принципиальная возможность повторной отработки техногенного сильвинитового пласта, сформировавшего вследствие разрушения податливых междукамерных целиков, деформации и обрушения пород кровли. Натурными и теоретическими исследованиями обоснована оптимальная схема отработки, основанная на проходке вторичных камер соосно первичным междукамерным целикам с удвоенным межосевым расстоянием. Предложенная технология позволяет существенно повысить извлечение промышленных запасов из недр и увеличит срок службы калийных предприятий без значительных капитальных затрат на разведку и подготовку новых участков.

4. Разработана и внедрена на ОАО «Беларуськалий» автоматизированная система аэрогазовой безопасности на калийных рудниках.

Разработана уникальная концепция системы аэрогазовой безопасности на калийных рудниках, основанная на совместном использовании данных измерений различных параметров воздуха в горных выработках в режиме реального времени и компьютерной модели вентиляционной сети рудника, позволяющей восстановить полное распределение

параметров воздуха во всем руднике, провести анализ полученных данных и смоделировать различные сценарии работы рудника и возможные аварийные ситуации в будущем. Проведены промышленные испытания системы аэрогазовой безопасности в условиях рудника ОАО «Беларуськалий». Показано, что система обеспечивает непрерывный мониторинг расхода воздуха и газового состава рудничной атмосферы в рабочей зоне, оповещение диспетчера рудника о выходе контролируемых параметров за пределы допустимых значений, изменение расхода подаваемого на проветривание воздуха по результатам мониторинга, а также надежно отрабатывает аварийные режимы проветривания.

5. Разработана и внедрена интеллектуальная система сейсмогеомеханического мониторинга состояния водозащитной толщи.

Для своевременного прогноза критического изменения напряженно-деформированного состояния подработанного массива и оперативного принятия необходимых мер по сохранению целостности разработана интеллектуальная система сейсмогеомеханического мониторинга состояния ВЗТ. Данная система применяется в условиях рудников Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ПАО «Уралкалий») и предусматривает проведение сейсморазведочных работ, режимных маркшейдерских наблюдений за оседаниями земной поверхности с последующим математическим моделированием состояния ВЗТ.

6. Разработан и запущен в эксплуатацию стенд для испытания МГД-насосов для работы с жидким натрием.

На основе решения задачи измерения объёмного расхода жидкого натрия при высокой температуре проведена подробная конструкторская проработка всех узлов нового устройства - расходомера жидкого натрия, проведена сборка головной части и электронного блока. Выполнены калибровочные эксперименты на натриевом стенде, а также подготовлена документация на устройство. Исследованы характеристики коаксиального электромагнитного насоса бегущего поля для жидкого металла. Определены зависимости производительности насоса от геометрических параметров МГД-канала и параметров питающего тока. Экспериментально исследованы характеристики производительности кондукционного насоса с ортогональными перегородками в зависимости от степени перекрытия канала ферромагнитными сердечниками. Разработана новая конструкция насоса и расходомера для жидкого натрия для Белоярской АЭС. Проведён полный цикл приемно-сдаточных испытаний и сдан заказчику первый из новой серии насосов для Белоярской АЭС.

7. Разработаны новые морозостойкие связующие на основе простых полиэфируретанмочевин для полимерных материалов, эксплуатируемых в районах Урала, Сибири и Крайнего Севера.

Впервые разработаны принципиально новые морозостойкие связующие на основе простых полиэфируретанмочевин для полимерных материалов, эксплуатируемых в районах Урала, Сибири и Крайнего Севера. Полученные связующие обладают не только высокой прочностью (35-45 МПа), но и высокой эластичностью при ультранизких температурах (не менее 100 % критических деформаций при растяжении при -70о С). Высокая морозостойкость новых материалов обеспечивается низкой температурой стеклования, регулируемой сочетанием дизайна полимерных цепей и действием сложноэфирных пластификаторов. Достигнутые преимущества новых связующих реализованы в термоэластопластах нового типа (с полиуретанмочевинной полимерной матрицей) и в эпоксиуретановых конструкционных клеях холодного отверждения.

8. Разработаны новые полимерные теплозащитные материалы.

Разработаны новые полимерные теплозащитные материалы для изделий ракетно-космической техники, способные образовывать вспененный кокс – физический барьер между защищаемой поверхностью и тепловым потоком. В качестве коксо- и порообразующих наполнителей впервые применены каменноугольные пеки и нефтяная

коксующая добавка. Установлено, что данные компоненты позволяют снизить горючесть материала. Определены оптимальные соотношения компонентов полимерной матрицы и наполнителей, способствующих формированию устойчивого и прочного пенококса. Проведена работа по изучению поведения формирующихся структур (пенококса) при воздействии высоких температур. Установлена взаимосвязь структуры пенококса и его защитных свойств. Проведены испытания полученных материалов с применением аэродинамической установки. Установлено, что разработанные материалы по своим физическим, теплофизическим и теплозащитным свойствам не уступают существующим материалам.

9. Созданы водорастворимые полимерные нанокомпозиты серебра на основе сополимеров N-винилпирролидона с диаллилацетилгидразином и сульфоланметакрилатом.

Созданы водорастворимые полимерные нанокомпозиты серебра на основе сополимеров N-винилпирролидона с диаллилацетилгидразином и сульфоланметакрилатом. Методом сканирующей электронной микроскопии подтверждено формирование нанокомпозитов с узкодисперсным распределением наночастиц серебра в полимерной матрице и образование наночастиц сферической формы диаметром 12-14 нм. Новые сополимеры и нанокомпозиты на их основе нетоксичны и высокоэффективны в отношении опухолевых клеток рабдомиосаркомы RD и меланомы MS, причем их цитотоксический эффект сравним с камптотецином – алкалоидом с высокой противоопухолевой активностью. Нанокомпозит серебра и сополимера N-винилпирролидона с сульфоланметакрилатом полностью ингибирует бактериальный рост как грамположительных, так и грамотрицательных микроорганизмов. Полученные нанокомпозиты могут рассматриваться в качестве платформы для разработки новых водорастворимых лекарственных средств.

10. Разработана импортозамещающая полимерная противотурбулентная добавка, предназначенная для применения в буровых растворах при разработке нефтяных и газовых месторождений, как в обычных, так и в сложных горно-геологических условиях.

Разработана импортозамещающая полимерная противотурбулентная добавка, предназначенная для применения в буровых растворах при разработке нефтяных и газовых месторождений, как в обычных, так и в сложных горно-геологических условиях, а также в жидкостях гидроразрыва на водной основе. Использование разработанной противотурбулентной добавки на основе акрилатных терполимеров позволяет повысить энергоэффективность эксплуатации оборудования до 15-20 %, а также снизить техногенную нагрузку на окружающую среду в регионах добычи. Полимерная добавка обеспечивает повышение эффективности эксплуатации насосно-перекачивающего оборудования за счет снижения гидродинамического сопротивления течения водных растворов. Максимальная эффективность снижения гидродинамического сопротивления разработанным акрилатным терполимером достигает 70-75 % по сравнению с необработанной водой. В отличие от существующих разработок противотурбулентная полимерная добавка обладает повышенной термостойкостью до 140-160 °С, солестойкостью до 2300 °Ж и кислотостойкостью вплоть до pH 1,65. Сравнительные испытания разработанной добавки и лучших прямых иностранных аналогов (NalcoCompany, USA и Economypolymers&chemicals, USA) показали, что разработанная добавка в нормальных условиях показывает сопоставимые результаты по эффективности снижения гидродинамического сопротивления, а в условиях полиминеральной агрессии среды и термической агрессии до 140-160 °С значительно превосходит мировые аналоги по данному показателю.

11. Созданы биокатализаторы на основе иммобилизованных бактериальных клеток, обладающих ферментами гидролиза нитрилов.

Впервые созданы биокатализаторы на основе иммобилизованных бактериальных клеток, обладающих ферментами гидролиза нитрилов; разработаны методы выделения и

иммобилизации ферментов метаболизма нитрилов (нитрилгидратаз, нитрилаз и амидаз) для направленной трансформации и синтеза полезных интермедиатов и мономеров для синтеза полимерных продуктов.

Разработана биотехнологическая методика по утилизации коммерческих смесей ПХБ и очистки загрязненных почв с использованием природных штаммов аэробных бактерий.

Впервые разработана биотехнологическая методика по утилизации коммерческих смесей ПХБ и очистки загрязненных почв с использованием природных штаммов аэробных бактерий. Показано, что использование бактериальных культур обеспечивает разложение коммерческих смесей ПХБ торговых марок «Делор 103» и «Совол» при начальной концентрации 0.6 мг/мл (~ 1000ПДК) за 8 суток на 89,5 – 98,3% и на 87,5 – 99,1% соответственно.

12. Показана возможность получения игольчатого кокса, на основе нетипичного вида сырья – тяжелого газойля каталитического крекинга производства ООО «ЛУКОЙЛ ПНОС».

Впервые показана возможность получения высокомаржинального дефицитного продукта – игольчатого кокса, на основе нетипичного вида сырья – тяжелого газойля каталитического крекинга производства ООО «ЛУКОЙЛ ПНОС», который характеризуется низкой ароматичностью и высоким содержанием парафинов. Установлено, что термическая обработка данного сырья при температуре 400 – 420 °С позволяет повысить его ароматичность, а также коксуемость, при этом вязкость получаемого пека возрастает незначительно (температура размягчения пека остается ниже комнатной), что благоприятствует получению игольчатого кокса в промышленных условиях. На основе пеков, полученных из тяжелых газойлей производства ООО «ЛУКОЙЛ ПНОС», ООО «ЛУКОЙЛ ПНОС», а также из тяжелой смолы пиролиза производства ООО «СТАВРОЛЕН» была наработана партия непрокаленного игольчатого кокса, отвечающего по своим основным характеристикам (балл микроструктуры, действительная плотность) требованиям производителей графитированных электродов для электросталеплавания.

13. Разработан программный комплекс для исследования диффузного загрязнения поверхностных водных объектов крупными промышленными предприятиями.

Впервые, на примерах Соликамско-Березниковского и Кирово-Чепецкого промышленных узлов, исследованы особенности формирования диффузного загрязнения поверхностных водных объектов крупными промышленными комплексами и проанализированы различные сценарии проведения мероприятий, направленных на снижение такого загрязнения. С помощью трехмерного численного моделирования и полевых измерений показано, что техногенное диффузное загрязнение в значительной мере формируется фильтрационными разгрузками из крупномасштабных накопителей твердых и жидких технологических продуктов. Возможности перехода от диффузных источников загрязнения к декларируемым точечным источникам путем организации регулируемых водовыпусков лимитируются ассимилирующей емкостью водного объекта, а масштабы закачки в подземные горизонты ограничиваются тем, что ассимилирующая емкость подземных горизонтов является сложно контролируемым ресурсом одноразового использования. Таким образом, оптимальным способом снижения диффузного загрязнения является максимально полное хозяйственное использование рассматриваемых жидких или твердых отходов или их передислокация на территорию, где они могут оказывать минимальное воздействие на окружающую среду.

14. Для снижения фитотоксичности почвы, загрязненной нефтепродуктами и солями тяжелых металлов получены очищенные препараты синтезируемых родококками трегалолипидных биосурфактантов с высокой эмульгирующей, солюбилизующей и биологической активностью.

Получены новые фундаментальные данные об экологической роли актинобактерий рода *Rhodococcus* в детоксикации эмерджентных загрязнителей, в частности фармполлютантов группы НПВС (нестероидных противовоспалительных средств) –



ибупрофена и диклофенака. Оптимизированы условия процесса биодеструкции ибупрофена клетками *Rhodococcus cerastii* ИЭГМ 1243, обеспечивающее 90%-ное разложение фармполлютанта в течение 4 сут, идентифицированы основные продукты окисления, включающие гидроксильированные и декарбоксилированные производные. Выявлены механизмы и пути окислительной биотрансформации диклофенака натрия, определены клеточная локализация и характер ингибирования соответствующих оксидаз у *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 346. Все исследования базируются на использовании биоресурсов уникальной и единственной в мире Региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов (акроним коллекции ИЭГМ, <http://www.iegmc01.ru>). Коллекция ИЭГМ признана Уникальной научной установкой, имеет статус ЦКП и входит в Национальный реестр объектов научной инфраструктуры РФ. Коллекция – член Всемирной Федерации коллекций культур.

15. Предложены новые экстракционные реагенты для извлечения меди(II) в присутствии цветных металлов из серноокислых растворов.

Впервые гидразиды  $\beta$ -разветвленных третичных карбоновых кислот Versatic фракции C15 – C19 (ГВИК 1519) предложены в качестве экстракционного реагента для извлечения меди(II) в присутствии цветных металлов из серноокислых растворов, моделирующих растворы выщелачивания при гидрометаллургической переработке окисленных, бедных медных руд, техногенных отходов. ГВИК 1519 хорошо совместимы с углеводородными растворителями и модификаторами, устойчивы к гидролизу и окислению в циклах экстракция-реэкстракция. Емкость органической фазы по меди(II) составляет 13,2 г/л (у промышленного экстрагента LIX 984N – 7 г/л). Отличием ГВИК 1519 от LIX 984N является возможность их применения для селективного извлечения меди(II) в присутствии железа(III), никеля(II), кобальта(II), цинка(II) в более кислых средах, при  $pH < 1$  (что может быть использовано для переработки вторичного медьсодержащего сырья (цементная медь, сплавы на основе меди)), а также отсутствие необходимости предварительного окисления ионов железа(II).

16. Разработана и проходит опытные испытания на базе «Пермского НИИСХ» технология переработки шламовых отходов и использования их, в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия для зерновых культур и картофеля.

Разработана и проходит опытные испытания на базе Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала ПФИЦ УрО РАН технология переработки глинисто-солевых отходов K-Mg руд (шламов) и использования их, в качестве комплексных удобрений пролонгированного действия для зерновых культур и картофеля. Технология обеспечивает утилизацию отходов калийного производства и получение удобрений, содержащих питательные (K, Mg, Ca), мелиорирующие компоненты (глина, доломит) и комплекс микроэлементов

Среди других научных результатов, полученных филиалами ПФИЦ УрО РАН, можно выделить следующие.

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

Программа фундаментальных исследований государственных академий наук (далее – ПФНИ) 023: Механика деформирования и разрушения материалов, сред, изделий, конструкций, сооружений и триботехнических систем при механических нагрузках, воздействии физических полей и химически активных сред.

# 1. Моделирование стрикционного эффекта в магнитоактивных эластомерах (МАЭ), наполненных смесью высоко- и низко-коэрцитивных частиц.

## Аннотация

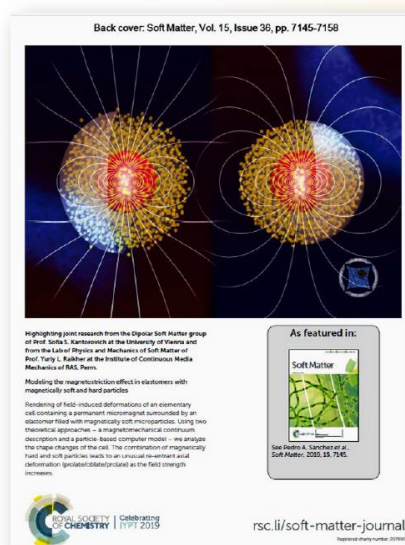
Магнитоактивные эластомерные композиты, наполненные смесью высоко-коэрцитивных (магнитотвёрдых, МТ) и низко-коэрцитивных (магнитомягких, ММ) микрочастиц – очень новый подкласс материалов этой группы. В таких МАЭ частицы МТ фазы создают внутреннее мелкомасштабно поле, намагничивающее их ММ окружение, даже в отсутствие внешнего. В отличие от «классических» МАЭ, здесь воздействие на МТ фазу позволяет эффективно изменять реологию материала.



## Моделирование стрикционного эффекта в магнитоактивных эластомерах (МАЭ), наполненных смесью высоко- и низко-коэрцитивных частиц

- ✓ В таких МАЭ микрочастицы высоко-коэрцитивной (магнитотвёрдой, МТ) фазы, являясь источниками локальных полей, намагничивают окружающие их низко-коэрцитивные (магнитомягкие, ММ) частицы даже в отсутствие внешнего поля.
- ✓ Магнитомеханика этих систем много богаче «классических» МАЭ, наполненных только ММ частицами. Например, изменяя состояние намагниченности МТ фазы, можно «настраивать» реологию таких образцов.
- ✓ Теория МАЭ смешанного состава — «горячая тема», сейчас в мире идёт создание её основ.
- ✓ Взяв за модель структурного элемента МТ частицу в окружении ММ частиц, мы рассчитали деформацию при намагничивании (стрикция), используя два альтернативных подхода: мезо- и макроscopicу. Показали: базовое сходство, частные различия, предсказали возвратный стрикционный эффект.

P.A. Sánchez, O.V. Stolbov, S.S. Kantorovich, Yu.L. Raikher // Soft Matter. 2019. Vol. 15. P. 7145. — Q1.



Редакция SM анонсировала эту работу на обложке выпуска

В мире, изучение МАЭ смешанного состава – «горячий» тренд, но создание теории таких композитов находится лишь в самом начале. В развитие темы мы изучили эффект магнитострикции (деформация, вызванная намагничиванием). Для этого использована модель структурного элемента: один МТ-центр, окружённый «роем» ММ частиц.

Задача решена в мезоскопической и макроscopicкой постановках, эти описания очень различны. Сравнение результатов обнаружило их фундаментальную близость. В частности, оба подхода предсказывают возвратный магнитострикционный эффект: удлинение / сжатие / удлинение при изменении величины (но не направления !) приложенного поля.

Работа выполнена в сотрудничестве с научной группой Dipolar Soft Matter из Университета Вены (Австрия).

P.A. Sanchez, O.V. Stolbov, S.S. Kantorovich, Yu.L. Raikher, Modeling the magnetostriction effect in elastomers with magnetically soft and hard particles // Soft Matter **15** (2019) 7145–7158 – Q1 (IF=3.399).

Анонс о публикации работы выбран Редакцией для представления на обложке журнала. (Рук.: д.ф.м.н. Райхер Юрий Львович, тел.: (342) 237-83-23, e-mail: raikher@icmm.ru).

2. Получены универсальные соотношения, описывающие связь скорости усталостной трещины и диссипацию энергии в её вершине при сложных условиях нагружения.

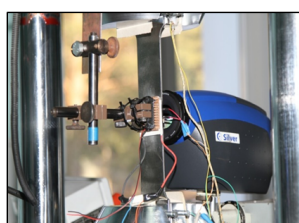
## Аннотация

Экспериментально исследованы процессы диссипации энергии в металлах при зарождении и распространении усталостных трещин. Впервые экспериментально получены два характерных режима диссипации энергии при устойчивом режиме распространения усталостных трещин в поликристаллических металлах.



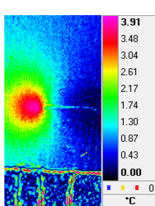
**Получены феноменологические соотношения, описывающие связь скорости усталостной трещины и диссипацию энергии в её вершине при сложных условиях нагружения**

Экспериментально исследованы процессы диссипации энергии в металлах при зарождении и распространении усталостных трещин при двусосном нагружении. Впервые экспериментально получены два характерных режима диссипации энергии при устойчивом режиме распространения усталостных трещин в поликристаллических металлах. Предложена связь режимов диссипации энергии с механизмами разрушения, подтверждённая по результатам кластерного анализа сигналов акустической эмиссии. Разработана термодинамическая модель, описывающая баланс энергии в вершине трещины и предложены феноменологические соотношения, описывающие связь скорости распространения усталостных трещин и величину диссипированной энергии при произвольных режимах нагружения. Полученные соотношения позволяют разработать эффективные контактные (с использованием методики измерения мощности потока тепла, Патент 2475542) и бесконтактные (на основе анализа D-mode температурного сигнала) методы прогноза долговечности металлических деталей и конструкций.



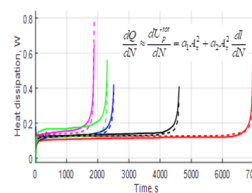
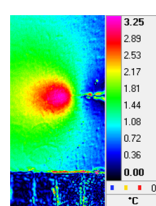
Экспериментальная установка для исследования процессов диссипации энергии в вершине трещины

Титан Grade 2



Распределение температуры в вершине усталостной трещины

Сталь 304L



Характерные зависимости диссипации тепла в вершине усталостной трещины в условиях одноосного и двусосного нагружения

Vshivkov A., Iziumova A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental and theoretical study of heat dissipation at fatigue crack tip under biaxial loading // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. –2019. – V.103. – P.102308. (WoS Q1)

Vshivkov A.N., Iziumova A.Y., Pantelev I.A., Ilinykh A.V., Wildemann V.E., Plekhov O.A. The study of a fatigue crack propagation in titanium Grade 2 using analysis of energy dissipation and acoustic emission data// Engineering Fracture Mechanics. – 2019. – V.210. – P.312-319. (WoS Q1)

Предложена связь режимов диссипации энергии с механизмами разрушения, подтверждённая по результатам кластерного анализа сигналов акустической эмиссии. Разработана термодинамическая модель, описывающая баланс энергии в вершине трещины и предложены аппроксимационные соотношения, описывающие связь скорости распространения усталостных трещин и величину диссипированной энергии при произвольных режимах нагружения. Полученные соотношения позволяют разработать эффективные контактные (с использованием методики измерения мощности потока тепла, Патент 2475542) и бесконтактные (на основе анализа D-mode температурного сигнала) методы прогноза долговечности металлических деталей и конструкций.

Vshivkov A., Iziumova A., Zakharov A., Shlyannikov V., Plekhov O. The experimental and theoretical study of heat dissipation at fatigue crack tip under biaxial loading // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. –2019. – V.103. – P.102308.

Vshivkov A.N., Iziumova A.Y., Pantelev I.A., Ilinykh A.V., Wildemann V.E., Plekhov O.A. The study of a fatigue crack propagation in titanium Grade 2 using analysis of energy dissipation and acoustic emission data// Engineering Fracture Mechanics. – 2019. – V.210. – P.312-319.

(Рук.: д.ф.м.н. Плехов Олег Анатольевич., тел.: (342) 237-83-21, e-mail: poa@icmm.ru).

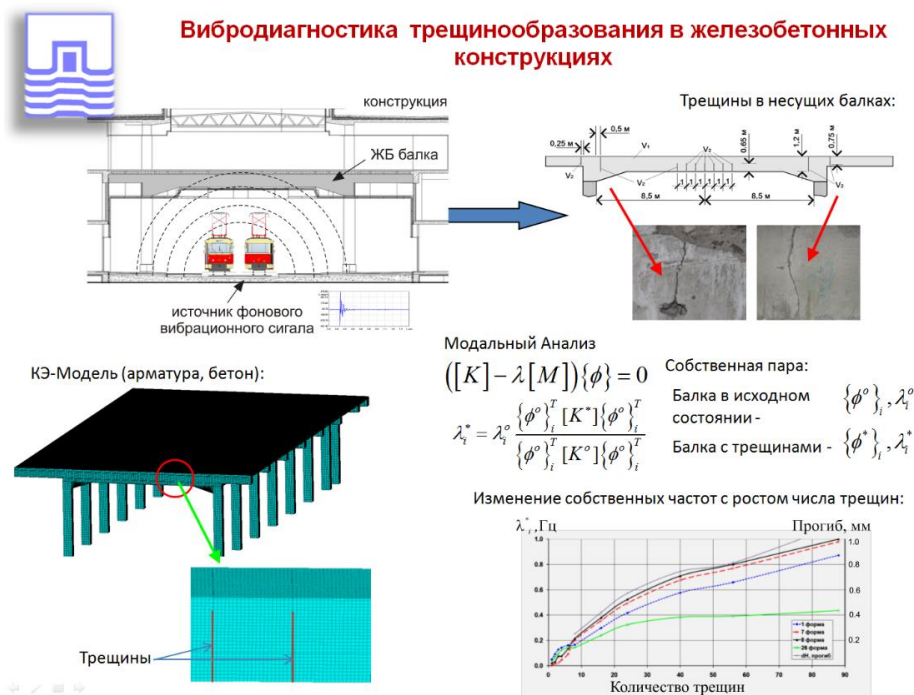
3. Разработан новый вариант вибродиагностики процесса трещинообразования в железобетонных строительных и инженерных конструкциях.

## Аннотация

Разработан новый вариант вибродиагностики, который в рамках автоматизированной системы деформационного мониторинга в онлайн-режиме позволяет регистрировать процесс трещинообразования в строительных и инженерных конструкциях из железобетона. Суть метода базируется на известном факте зависимости изменения спектра собственных частот конструкции от нарушения целостности конструкции в процессе трещинообразования. Достоинством предлагаемого варианта является то что он позволяет осуществлять регистрацию не только факта процесса трещинообразования, но и также

место положения (локацию) этого процесса в железобетонной конструкции и его интенсивность.

Это достоинство достигается за счет специального расположения вибродатчиков по элементам конструкции, которое определяется на основе результатов численных экспериментов с математической моделью описывающей динамический деформационный отклик на внешнее воздействие. В частности показано, что в качестве внешнего воздействия можно использовать вибрационный внешний фон. Этот фон может быть обусловлен каким-либо технологическим оборудованием, транспортом, ветровой нагрузкой и другими источниками.



(Рук.: д.ф.м.н. Шардаков Игорь Николаевич, тел.: (342) 237-83-18, e-mail: shardakov@icmm.ru).

4. Сформулирована математическая модель пластического деформирования и разрушения анизотропной листовой стали в процессах холодной листовой штамповки.

#### Аннотация

Сформулирована математическая модель пластического деформирования и разрушения анизотропной листовой стали в процессах холодной листовой штамповки. Предложены и реализованы оригинальные методики идентификации а) пластических свойств материала при больших деформациях и б) предельных свойств материала с использованием технологического процесса в качестве экспериментального оборудования, в) больших упругих деформаций полиуретана для штамповки полиуретаном.



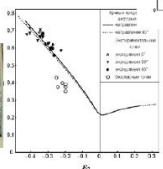
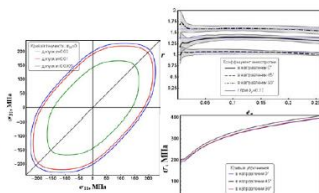
Разработана численная модель, с помощью которой рассчитаны новые эффективные технологические операции производства тонкостенных изделий для Лысьвенского завода эмалированной посуды и Лысьвенского завода бытовой техники, исключая дефекты локализации деформации, разрушения и гофрообразования.

### Модель пластичности и разрушения анизотропной листовой стали, ее экспериментальная аттестация и применение для проектирования технологий многоэтапной холодной штамповки тонкостенных сосудов

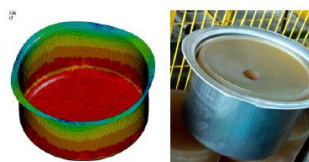
Проблемы качества изделия и экономичности технологии



Модель и ее экспериментальная аттестация



Расчет штамповки, вытяжки и раздачи полиуретаном



Фестоны и зоны утонения стенки, этап I (штамповка)

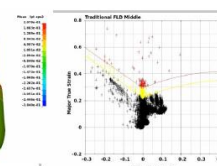
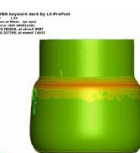


Диаграмма состояния материала, этап IV (раздача)

Адамов А.А., Келлер И.Э., Петухов Д.С. Экспериментальная идентификация законов пластичности и разрушения малоуглеродистой листовой стали для моделирования холодной штамповки // Проблемы прочности и пластичности. - 2019. - Т.81. - № 2. - С. 202-211.

(Рук.: д.ф.м.н. Келлер Илья Эрнстович, тел.: (342) 237-84-59, e-mail: kie@icmm.ru).

5. Предложен подход к трактовке диффузии и вязкости в связанной системе, в которой процессы диффузии химически реагирующих компонент сопровождаются вязкоупругими деформациями среды и эволюцией микроструктуры.

#### Аннотация

Предложен подход к трактовке диффузии и вязкости в связанной системе, в которой процессы диффузии химически реагирующих компонент сопровождаются вязкоупругими деформациями среды и эволюцией микроструктуры. В рамках данного подхода появляется задача на собственные значения, дающая спектр времен релаксации, зависящих от длины волны возмущения. Асимптотические пределы этих значений при исчезающе малых и неограниченно больших длинах волн соответствуют коэффициентам диффузии либо вязкости компонент соответствующих собственных векторов.

Обнаружено термодинамически возможное различие полученных коэффициентов диффузии в связанной системе от коэффициента самодиффузии компонент до 20 порядков, способное объяснить значительное ускорение диффузии при интенсивных механических нагрузках.



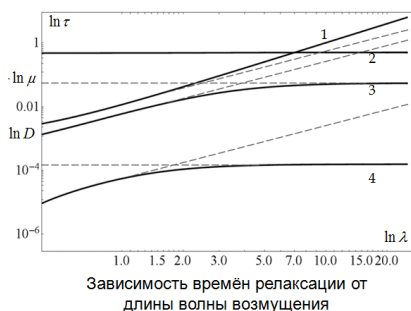
### Диффузия и вязкость в системе связанных механохемодиффузионных процессов, сопровождаемых эволюцией микроструктуры

Рассматривается модельная задача релаксации возмущений однородного стационарного решения системы нелинейных уравнений диффузии и химической реакции в трёхкомпонентной вязкоупругой среде с изменяющейся микроструктурой

$$\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{L}\mathbf{u}, \quad \mathbf{u} = (c_A, c_B, \sigma, h)$$

где  $L$  – линейный дифференциальный оператор по  $x$ ,  
 $c_A, c_B, c_{AB}$  – концентрации,  $h$  – плотность микроструктуры,  
 $\sigma$  – напряжение

Зависимость времени релаксации возмущений  $\tau$  от длины волны  $\lambda$  сводится к задаче на собственные значения, дающей **четыре ветви**  $\tau_i(\lambda)$  и соответствующие собственные векторы  $\mathbf{u}_i$



<p>Диффузия в связанной системе соответствует наклонным асимптотикам</p> $\frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 \mathbf{u}_i}{\partial x^2}$ <p><math>D_i</math> – собственное значение</p>	<p>Вязкость в связанной системе соответствует горизонтальным асимптотикам</p> $\frac{\partial \mathbf{u}_i}{\partial t} = -\mu_i \mathbf{u}_i$ <p><math>\mu_i</math> – собственное значение</p>
<p>Коэффициент медленной диффузии <math>kT \gg GV_m</math></p> $0 < \frac{D_{slow}}{D_A} < \frac{4}{3} \frac{GV_m}{kT}$	<p>Коэффициент быстрой диффузии <math>kT \ll GV_m</math></p> $4 \frac{GV_m}{kT} \frac{V_A \phi_A^0}{3V_m} < \frac{D_{fast}}{D_A} < 4 \frac{GV_m}{kT}$

Термодинамически возможное различие  $D_{fast}$  и  $D_A$  до 20 порядков способно объяснить значительное ускорение диффузии при интенсивных механических воздействиях

(Рук.: д.ф.м.н. Келлер Илья Эрнстович, тел.: (342) 237-84-59, e-mail: kie@icmm.ru).

6. Предложена новая модель взаимодействия зонда атомно-силового микроскопа с мягким упругим материалом.

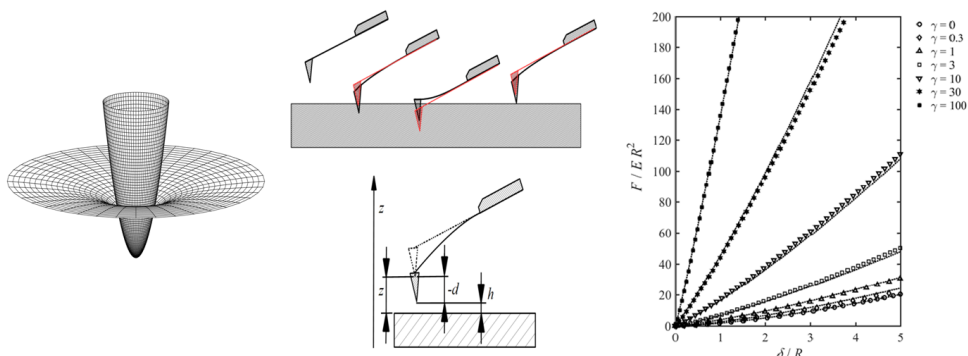
#### Аннотация

Наноиндентирование мягких материалов с помощью атомно-силового микроскопа (полимеров в высокоэластичном состоянии, биологических тканей) имеет ряд



### Предложена новая модель взаимодействия зонда атомно-силового микроскопа с мягким упругим материалом

Модель учитывает конечные деформации упругого материала, межмолекулярное взаимодействие зонда с образцом, капиллярные силы, возникающие при увеличении площади границы раздела фаз исследуемый упругий материал – окружающая воздушная среда. Установлено, что затраты на увеличение межфазной границы упругий материал – окружающая воздушная среда могут существенно изменить кривую наноиндентирования. Показано, что большая часть скачка зонда, возникающего при его движении в сторону исследуемого мягкого упругого материала, происходит внутри образца после касания зондом его поверхности.



принципиальных особенностей. Необходимо учитывать нелинейные свойства исследуемой среды, конечные деформации материала, межмолекулярное взаимодействие зонда с образцом, капиллярные силы, возникающие при увеличении площади границы раздела фаз исследуемый упругий материал — окружающая воздушная среда. Предложена необходимая для этого новая математическая модель. Важным ее элементом является учет совершаемой работы на границе мягкий упругий материал — воздух.

Установлено, что затраты на увеличение межфазной границы упругий материал — окружающая воздушная среда могут существенно изменить кривую наноиндентирования. Показано, что большая часть скачка зонда, возникающего при его движении в сторону исследуемого материала, происходит не по воздуху, а внутри образца после касания зондом его поверхности.

(Рук.: д.ф.м.н. Свистков Александр Львович, тел.: (342) 237-83-98, e-mail: svistkov@icmm.ru).

7. Оригинальные данные широкодиапазонных экспериментов по динамике локализованных пластических сдвигов в сплавах и жидкостях позволили подтвердить теоретический результат авторов об автомодельных закономерностях развития турбулентности при многомасштабном взаимодействии локализованных сдвигов и связь с установленным типом критических явлений в средах с дефектами — структурно-скейлинговыми переходами.

#### Аннотация

Оригинальные широкодиапазонные эксперименты по исследованию автомодельных закономерностей развития локализованных неустойчивостей в сплаве AlMg и жидкостях (вода, глицерин) подтвердили сценарий развития турбулентности при формировании и взаимодействии локализованных сдвигов. Построением функции плотности вероятности показано соответствие флуктуаций момента в классическом тесте Кармана в диапазоне полностью развитой турбулентности (числа Рейнольдса  $10^5$ - $10^9$ ) флуктуациям напряжения пластического в сплаве AlMg, проявляющего эффект Портевена-Ле Шателье. Сопоставление оригинальных данных по структуре ударно-волновых фронтов в жидкостях и твердых телах подтвердило автомодельный (степенной) характер нарастания волнового фронта, обусловленный развитием пластических сдвигов.

Предложено объяснение перехода от инерционного к диссипативному интервалу развития турбулентности существованием двух критических точек при структурно-скейлинговых переходах и формированием коллективных мод ансамблей дефектов: автосолитонных,

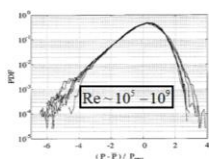
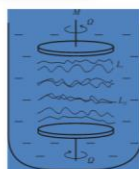


### Многомасштабные неустойчивости пластического сдвига как механизм турбулентности в конденсированных средах

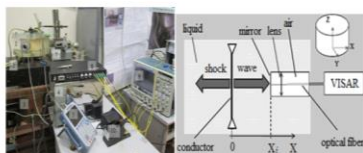
#### Автомодельность волновых фронтов в жидкости

На основе вейвлет разложения сигналов лазерного Допплеровского флоуметра и ЭКГ построен уточненный метод определения скорости распространения пульсовой волны, которая косвенным образом определяет жесткость сосудистой стенки артерий.

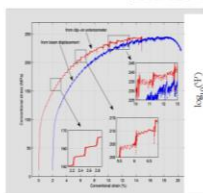
Жесткость сосудистой стенки является предиктором развития заболеваний сердечно-сосудистой системы.



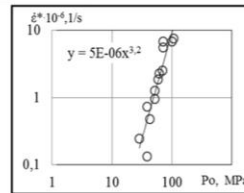
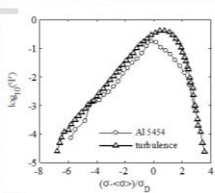
Bramwell S.T., et al., *Universality of rare fluctuations in turbulence and critical phenomena* // Nature, 1998, v.396, p.554.



Экспериментальный комплекс. Схема измерения



Неустойчивость пластического сдвига в сплаве AlMg. Универсальность PDF



Степенная асимптотика вязкости при ударно-волновом нагружении жидкости (дистиллированная вода)

определяющих автомодельность инерционного интервала, и диссипативных структур обострения, определяющих переход в диссипативный интервал.

(Рук.: д.ф.м.н. Наймарк Олег Борисович, тел.: (342) 237-83-12, e-mail: naimark@icmm.ru).

ПФНИ 022: Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва

8. Исследованы процессы осаждения и закупорки микроканала при прокачке через него мелкодисперсной примеси. В частности, показано, что учет отрыва и проскальзывания значительно увеличивает время закупорки микроканала. Получены границы применимости линейного закона сорбции.

#### Аннотация

Численно исследованы задачи об осаждении частиц примеси на стенках канала при прокачке смеси малой концентрации для различных условий прилипания/отрыва частиц, а также при условии, что возможно проскальзывание частиц вдоль стенки.

Получены оценки сил межчастичного взаимодействия, а также взаимодействия частиц со стенкой и потоком. Учет взаимодействия частиц с потоком производился в приближении Стокса. Кроме этого для частиц рассматриваемого размера необходимо учитывать случайные столкновения, вызванные диффузией. Если частицы приближаются к стенке на расстояние порядка своего размера, то при столкновении со стенкой происходит слипание под действием сил Ван-дер-Ваальса. Слипание частиц со стенкой приводит к изменению формы стенок, что в свою очередь приведет к изменению течения в канале. Возникающие при этом на стенках канала вязкие нормальные напряжения могут привести к отрыву частицы.

Также рассмотрен случай, когда частиц могут скользить вдоль стенки под действием тангенциального напряжения. В результате получено, что при небольшой концентрации (меньше 1%) засорения канала не происходит, концентрация осевших частиц колеблется с практически постоянной амплитудой. При увеличении начальной концентрации значительное время выполняется линейный закон сорбции, затем возникают колебания количества осевших частиц с растущей амплитудой, что в итоге приводит к засорению канала. Еще большее увеличение начальной концентрации примеси приводит к быстрой закупорке канала. Изменение критического значения продольной компоненты напряжений (обеспечивающих силу трения покоя) напрямую не влияет на факт закупорки канала, однако в результате проскальзывания частиц вдоль стенки накопление осевших частиц происходит медленнее, а формы стенок канала становятся более гладкими. Таким образом, показано, что учет возможности отрыва (десорбции частиц) увеличивает время, при котором справедлив линейный закон сорбции, при этом коэффициент линейной сорбции уменьшается.

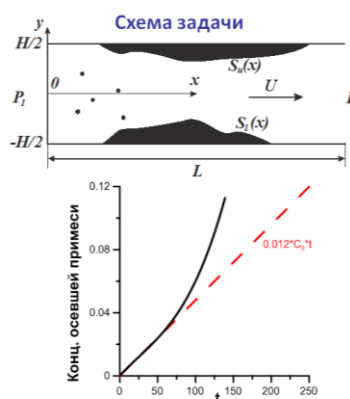
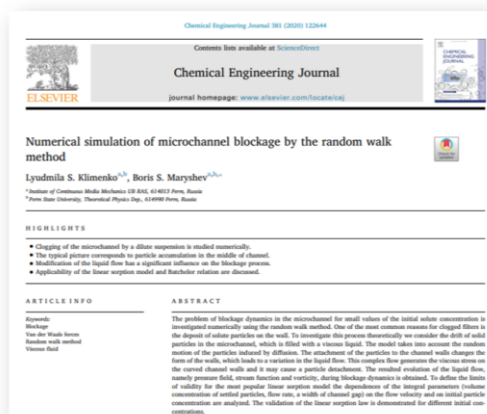
L.S. Klimenko, B.S. Maryshev, *Numerical simulation of microchannel blockage by the random walk method*, Chemical Engineering Journal 381, 122644 (2020). [IF WoS 2018: 8.355, квартиль Q1].





## Моделирование процесса осаждения примеси и закупорки микроканала

Исследованы процессы осаждения и закупорки микроканала при прокатке через него мелкодисперсной примеси. В частности, показано, что учет отрыва и проскальзывания значительно увеличивает время закупорки микроканала. Получены границы применимости линейного закона сорбции.



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

9. На основе методов цифровой интерферометрии и современных компьютерных методов обработки изображений предложен и аппаратно реализован модернизированный метод капиллярных волн.

### Аннотация

Предложен и аппаратно реализован модифицированный метод капиллярных волн, оставшийся практически без изменений последние несколько десятков лет. Существующие ограничения метода, связанные со способами генерации волн и регистрации их характеристик, а также требование большого количества жидкости для проведения измерений, делают проблематичным его применение в научных исследованиях. Предложен принципиально новый бесконтактный метод генерации капиллярных волн за счет создания локальных колебаний давления вблизи межфазной поверхности. Использование цифровой интерферометрии позволяет получать трехмерный профиль волны с высокой, до 1 нм, точностью, а также вычитать паразитные искажения поверхности, связанные с менисковыми эффектами и наличием внешних вибрационных воздействий. Последнее обстоятельство существенно упрощает требования к проведению измерений, исключая необходимость создания дорогостоящего виброзащитного основания.

Авторами разработан алгоритм обработки изображений и программное обеспечение, позволяющие вычислять пространственно-временные характеристики капиллярной волны. Отличительные особенности нового подхода, бесконтактный способ генерации волн в широком частотном диапазоне и малый объем жидкости, 100 мкл, необходимый для проведения измерений, делают его идеальным инструментом для изучения термодинамических и реологических характеристик межфазных поверхностей в физико-химических и биофизических приложениях. Метод успешно протестирован на ряде известных поверхностно-активных веществ и легочном сурфактанте.

Shmyrov A., Mizev A., Shmyrova A., Mizeva I. Capillary wave method: an alternative approach to wave excitation and to wave profile reconstruction // *Physics of Fluids*. 2019. No. 31. Vol. 1. P. 012101–8.



### Развитие метода капиллярных волн для физико-химических и биофизических приложений

На основе методов цифровой интерферометрии и современных компьютерных методов обработки изображений предложен и аппаратно реализован модернизированный метод капиллярных волн. Отличительные особенности нового подхода, бесконтактный способ генерации волн и малый объем жидкости, необходимый для проведения измерений, делают его идеальным инструментом для изучения термодинамических и реологических характеристик межфазных поверхностей в физико-химических и биофизических приложениях. Метод успешно протестирован на ряде известных поверхностно-активных веществ и легочном сурфактанте.

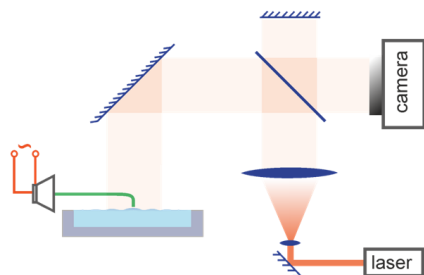
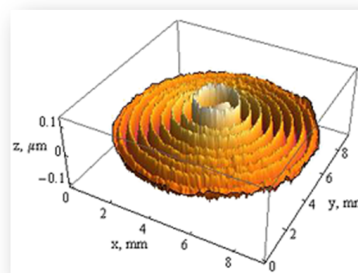


Схема интерферометра



3D профиль капиллярной волны

Shmyrov A., Mizev A., Shmyrova A., Mizeva I. Capillary wave method: an alternative approach to wave excitation and to wave profile reconstruction // Physics of Fluids. 2019. Q1, IF – 2.627

(Рук.: к.ф.м.н. Мизёва Ирина Андреевна, тел.:(342) 237-83-94, e-mail: mizeva@icmm.ru).

10. Исследована неустойчивость Релея-Тейлора в системах смешивающихся жидкостей

#### Аннотация

С помощью метода фазового поля исследована неустойчивость Релея-Тейлора двух смешивающихся жидкостей. Обнаружено, что темпы развития неустойчивости Рэлея-Тейлора выше для смеси с большей разностью плотности. Развитие неустойчивости замедляется вязкими и капиллярными силами. Влияние диффузии на ранних стадиях эволюции бинарной системы в первую очередь проявляется через ее влияние на толщину границы раздела и, следовательно, на коэффициент поверхностного натяжения.

В частности, найдено, что развитие неустойчивости при более высоких числах Пекле происходит даже медленнее из-за более сильного растяжения границы раздела, что в конечном итоге ограничивает рост гидродинамических мод. Увеличение числа Пекле и уменьшение начальной толщины границы приводят к сходимости результатов к классическим кривым, полученным для случая несмешивающихся бесконечно тонких межфазных границ.



### Неустойчивость Релея-Тейлора с помощью метода фазового поля

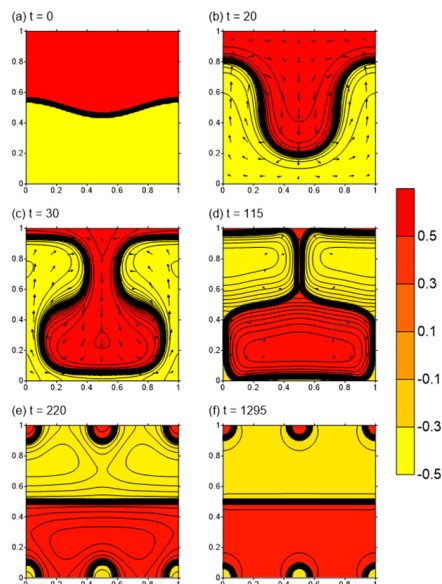
С помощью метода фазового поля была исследована неустойчивость Релея-Тейлора двух смешивающихся жидкостей.

Обнаружено, что:

- темпы роста для развития неустойчивости Рэлея-Тейлора выше для смеси с большей разностью плотностей;
- развитие неустойчивости замедляется вязкими и капиллярными силами;
- влияние диффузии на развитие ранней стадии эволюции бинарной системы в первую очередь проявляется через ее влияние на толщину границы раздела и, следовательно, на коэффициент поверхностного натяжения.

В частности, обнаружено, что развитие неустойчивости при более высоких числах Пекле происходит даже медленнее из-за более сильного растяжения границы раздела, что в конечном итоге ограничивает рост гидродинамических мод. Увеличение числа Пекле и уменьшение начальной толщины границы приводят к сходимости результатов к классическим кривым, полученным для случая несмешивающихся бесконечно тонких межфазных границ.

T. Lyubimova, A. Vorobev, S. Prokopen, Rayleigh-Taylor instability of a miscible interface in a confined domain. *Physics of Fluids* (2019), 31(1), 014104



Временная эволюция полей концентрации и скорости. Красным цветом обозначена более тяжелая жидкость.

(Рук.: д.ф.м.н. Любимова Татьяна Петровна, тел.: (342) 239-66-46, e-mail: lubimova@psu.ru).

11. Исследованы особенности конвективного теплообмена от локализованного источника тепла.

#### Аннотация

Теплообмен от локализованных источников тепла является важной проблемой в связи с огромным количеством природных явлений и инженерных приложений. Примерами таких источников тепла являются мегаполисы, крупные пожары, теплообменные системы, электронные компоненты. В данной работе проведено экспериментальное исследование конвективного теплопереноса от локализованного источника тепла для высоких значений числа Рэлея. Основное внимание было уделено влиянию вторичных течений в пограничном слое на интенсивность теплообмена.

Получена зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея. Предложена физическая интерпретация полученных результатов.

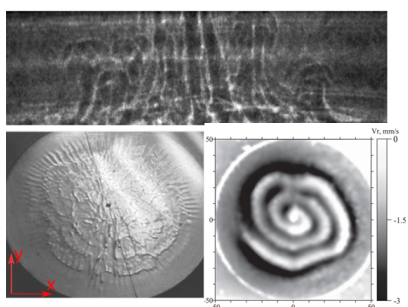
A. Evgrafova, A. Sukhanovskii. Specifics of heat flux from localized heater in a cylindrical layer // International Journal of Heat and Mass Transfer, Volume 135, 2019, pages 761-768, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.02.038>., импакт фактор - 3.458, журнал входит в первый квартал (Q1).



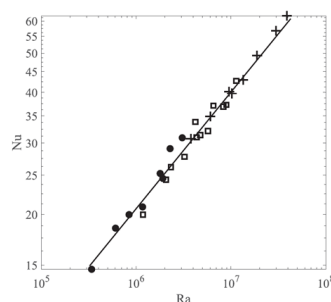
### Особенности конвективного теплообмена от локализованного источника тепла

Теплообмен от локализованных источников тепла является важной проблемой в связи с огромным количеством природных явлений и инженерных приложений.

Проведено экспериментальное исследование конвективного теплопереноса от локализованного источника тепла для высоких значений числа Рэлея. Основное внимание уделено влиянию вторичных течений в пограничном слое на интенсивность теплообмена. Получена зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея.



Визуализация вторичных структур: плюмы (верхний ряд), радиальные и поперечные конвективные вали (нижний ряд).



Зависимость числа Нуссельта от числа Рэлея.

A. Evgrafova, A. Sukhanovskii. Specifics of heat flux from localized heater in a cylindrical layer // International Journal of Heat and Mass Transfer, V.135, 2019, P.761-768. IF - 3.458, (Q1)

(Рук.: к.ф.м.н. Сухановский Андрей Николаевич, тел.: (342) 237-83-94, e-mail: [san@icmm.ru](mailto:san@icmm.ru)).

12. Экспериментальное исследование процесса непрямого управления формой фронта кристаллизации металлического расплава при помощи электромагнитных полей.

#### Аннотация

Впервые экспериментально исследован процесс непрямого управления формой фронта кристаллизации расплавленного металла путём модуляции питания линейной индукционной машины (ЛИМ). Рассмотрено влияние режима питания ЛИМ на возникающие в расплавленном металле течения. Структура течения и положение фронта кристаллизации определялись бесконтактным способом при помощи ультразвукового доплеровского анемометра. В результате получены формы профилей кристаллизации при разных режимах питания ЛИМ, а также зависимости формы профилей фронта от характеристик питающего тока (величины и периода низкочастотной модуляции). Получена сравнительная характеристика сглаживания границы раздела фаз для разных режимов питания ЛИМ.



## Экспериментальное исследование управления формой фронта кристаллизации металлического расплава при помощи электромагнитных полей

Исследован процесс непрямого управления формой фронта кристаллизации расплавленного металла путём модуляции питания линейной индукционной машины (ЛИМ).

Рассмотрено влияние режима питания ЛИМ на возникающие в расплавленном металле течения. Структура течения и положение фронта кристаллизации определялось бесконтактным способом при помощи ультразвукового доплеровского анемометра (УДА).

Получены формы профилей кристаллизации при четырёх режимах питания ЛИМа, а так же зависимости формы профилей фронта от характеристик питающего тока (величины и периода низкочастотной модуляции).

G. Losev, I. Kolesnichenko Solidification front shape control through modulating the traveling magnetic field // Journal of Crystal Growth. 2019. Pp.125249.

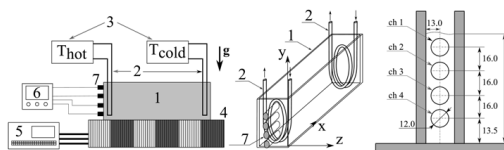
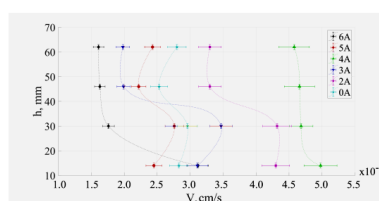


Схема экспериментальной установки:

1. канал, заполненный жидким металлом,
2. теплообменники, 3. криостермостаты, 4. ЛИМ,
5. источник питания, 6. УДА, 7. датчики УДА



Распределение скорости кристаллизации металлического расплава по высоте слоя при различных токах питания ЛИМ.

G. Losev, I. Kolesnichenko Solidification front shape control through modulating the traveling magnetic field // Journal of Crystal Growth. 2019. Pp.125249. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2019.125249>

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

13. Проведен вейлет-анализ анизотропных структур.

### Аннотация

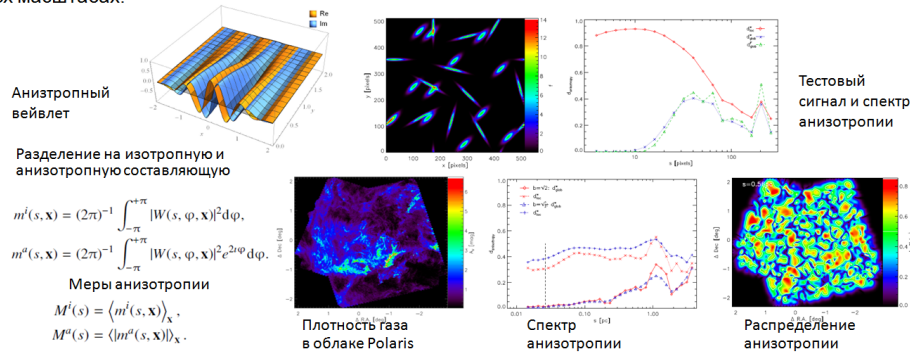
Разработан вейвлет-метод двумерных многомасштабных распределений, который позволяет выделить спектры энергии изотропных и анизотропных структур. Введена новая мера локальной и глобальной степени анизотропии турбулентных полей. На тестах показана чувствительность метода – разрешающая способность вейвлетов по углу и масштабу. По данным наблюдений космической обсерватории Herschel исследована филаментная (нитеобразная) мелкомасштабная структура в молекулярных облаках Aquila и Polaris Flare. Показано, что в облаке Aquila, где происходит активное звездообразование, доминируют анизотропные структуры выделенного масштаба, которые имеют общую ориентацию. В спокойном облаке типа Polaris Flare анизотропия носит преимущественно локальный характер и присутствует в одинаковой степени на всех масштабах.



## Вейлет-анализ анизотропных структур

Разработан вейлет-метод двумерных многомасштабных распределений, который позволяет выделить спектры энергии изотропных и анизотропных структур. Введена новая мера локальной и глобальной степени анизотропии турбулентных полей. На тестах показана чувствительность метода – разрешающая способность вейлетов по углу и масштабу.

По данным наблюдений космической обсерватории Herschel исследована филаментная (нитеобразная) мелкомасштабная структура в молекулярных облаках Aquila и Polaris Flare. Показано, что в облаке Aquila, где происходит активное звездообразование, доминируют анизотропные структуры выделенного масштаба, которые имеют общую ориентацию. В спокойном облаке типа Polaris Flare анизотропия носит преимущественно локальный характер и присутствует в одинаковой степени на всех масштабах.



Ossenkopf-Okada V., Stepanov R. Measuring the filamentary structure of interstellar clouds through wavelets, *Astronomy and Astrophysics*, 2019, 621:A5 (Q1)

Ossenkopf-Okada V., Stepanov R. Measuring the filamentary structure of interstellar clouds through wavelets, *Astronomy and Astrophysics*, 2019, 621:A5

(Рук.: д.ф.м.н. Степанов Родион Александрович, тел.: (342) 237-83-94, e-mail: rodion@icmm.ru).

14. Численно исследованы переходные процессы в турбулентной конвекции в кубической полости.

### Аннотация

Турбулентная конвекция в кубической полости является сложной динамической системой, в которой на фоне интенсивных мелкомасштабных пульсаций происходит формирование крупномасштабной циркуляции. Данная система является типичной для большого количества инженерных систем, в том числе для объектов атомной промышленности. Динамика крупномасштабной циркуляции может существенным образом влиять на процессы тепломассопереноса, что определяет актуальность исследований.



Переходные процессы крупномасштабной конвективной турбулентной циркуляции были исследованы при помощи математического моделирования. Впервые показано, что в рассматриваемой системе происходит формирование азимутальных движений с ненулевым интегральным угловым моментом. Предложен оригинальный сценарий смены ориентации крупномасштабной циркуляции, который удовлетворяет всем известным экспериментальным и численным данным.



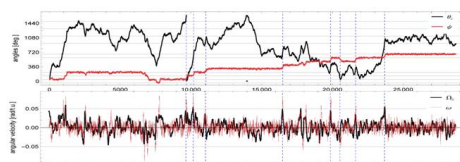
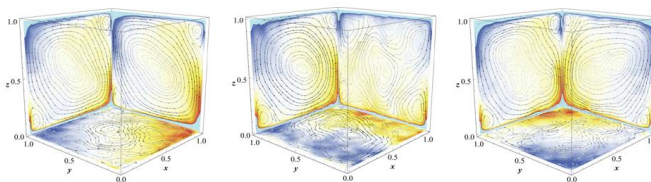
### Исследованы переходные процессы в турбулентной конвекции в кубической полости

Переходные процессы крупномасштабной конвективной турбулентной циркуляции исследованы при помощи математического моделирования.

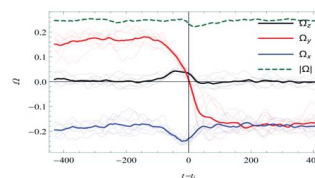
Впервые показано, что в рассматриваемой системе происходит формирование азимутальных движений с ненулевым интегральным угловым моментом.

Предложен оригинальный сценарий смены ориентации крупномасштабной циркуляции, который удовлетворяет всем известным экспериментальным и численным данным.

Перестройка крупномасштабного течения во время переходного процесса



Временные ряды интегральных характеристик.



Вариации углового момента.

A. Vasiliev, P. Frick, A. Kumar, R. Stepanov, A. Sukhanovskii, M. K. Verma. Transient flows and reorientations of large-scale convection in a cubic cell // International Communications in Heat and Mass Transfer, V. 108, 2019, 104319, IF - 4.127, (Q1)

A. Vasiliev, P. Frick, A. Kumar, R. Stepanov, A. Sukhanovskii, M. K. Verma. Transient flows and reorientations of large-scale convection in a cubic cell // International Communications in Heat and Mass Transfer, Volume 108, 2019, 104319, импакт фактор 4.127, журнал входит в первый квартиль (Q1).

(Рук.:к.ф.-м.н. Сухановский Андрей Николаевич, тел.: (342) 237-83-94, e-mail: san@icmm.ru).

15. Получена температурная зависимость поверхностного натяжения на границе раздела сосуществующих газожидкостных фаз в магнитной и Штокмайеровской жидкостях.

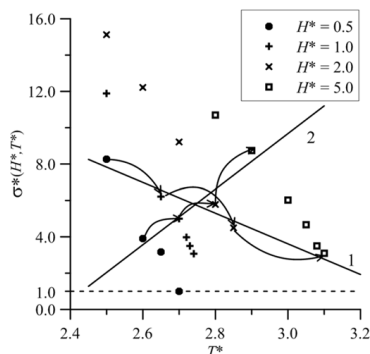
#### Аннотация

Экспериментально обнаружена аномальная температурная зависимость поверхностного натяжения  $S$  конденсированной фазы в магнитных жидкостях. Предложено физическое объяснение обнаруженной зависимости в рамках существующей молекулярной теории поверхностного натяжения, с привлечением известных численных данных для модельной жидкости Штокмайера. Показано, что поведение  $S(T)$  зависит от конкуренции процессов магнитного упорядочения (магнитным полем) и теплового разупорядочения системы дипольных частиц.

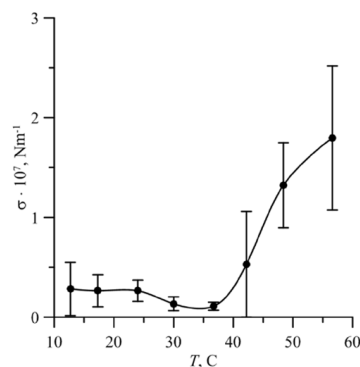


## Температурная зависимость поверхностного натяжения $\sigma(T)$ в магнитной и Штокмайеровской жидкостях

Экспериментально определена и теоретически объяснена anomальная температурная зависимость поверхностного натяжения конденсированной фазы в феррожидкостях.



Модель жидкости Штокмайера описывает в одном случае уменьшение поверхностного натяжения  $\sigma^*$  (1), а в другом – увеличение (2) при одновременном увеличении магнитного поля  $H^*$  и температуры  $T^*$  в зависимости от величины  $\delta H^* / \delta T^*$



Экспериментальная немонотонная кривая зависимости  $\sigma(T)$  образца магнитной жидкости. Доверительные интервалы являются результатом усреднения по ансамблю капельных агрегатов при заданной температуре  $T$

Ivanov A.S. Experimental verification of anomalous surface tension temperature dependence at the interface between coexisting liquid-gas phases in magnetic and Stockmayer fluids // Physics of Fluids, Volume 31, Issue 5, pages 052001-7, 2019. doi: 10.1063/1.5094854. (IF 2.627, Q1) (Рук. к.ф.-м.н. Иванов А.С., тел.: (342) 237-83-25, e-mail: lesnichiy@icmm.ru).

16. Исследована деформация капли феррожидкости в магнитном поле как метод измерения межфазного натяжения.

### Аннотация

Экспериментально исследовано изменение формы капли магнитной жидкости, расположенной на горизонтальном слое более тяжелой жидкости, под действием однородного вертикального магнитного поля. При достижении определенных значений напряженности поля, эллипсоидные межфазная и свободная поверхности капли последовательно становятся неустойчивыми, что приводит к возникновению на них пиков различной высоты. Показано, что отношение соответствующих критических значений магнитной индукции зависит только от отношения величин поверхностного натяжения на межфазной и свободной границах капли.

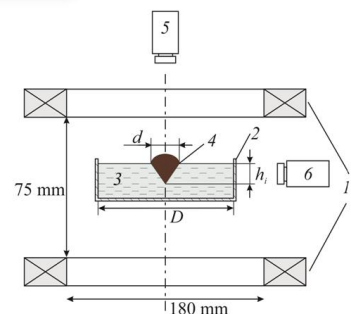
Использование этой зависимости открывает хорошие перспективы для создания методики бесконтактного измерения межфазного поверхностного натяжения магнитных жидкостей.



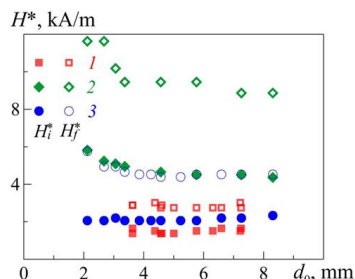


## Деформация капли феррожидкости в магнитном поле как метод измерения межфазного натяжения

Предложен новый метод измерения межфазного натяжения магнитных жидкостей.



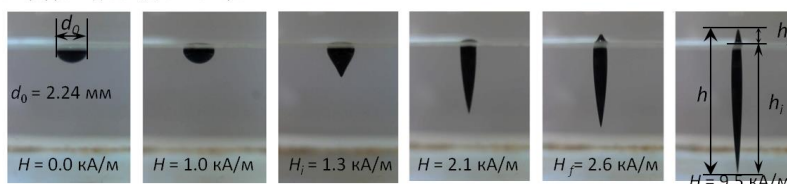
1 – катушки Гельмгольца; 2 – стеклянная ювета квадратного сечения;  
3 – жидкая подложка (перфтороктан);  
4 – капля феррожидкости; 5, 6 – камеры



Начальная магнитная восприимчивость  $\chi_0$ :  
16.5 (1), 2.0 (2), 7.0 (3)

$$\frac{H_f^*}{H_i^*} = \sqrt{\frac{\sigma_f}{\sigma_i}}$$

	$\sqrt{\sigma_f/\sigma_i}$
FF 1	2.1±0.1
FF 2	2.0±0.1
FF 3	2.2±0.1



Khokhryakova (Bushueva) S., Kostarev K., Shmyrova A. Deformation of ferrofluid floating drop under the action of magnetic field as method of interface tension measurement // *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2019. Vol. 101. P. 186–192. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2018.10.014. (IF 3.204, Q1)

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

17. Исследованы неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое в системах смешивающихся жидкостей.

### Аннотация

Исследовано влияние сдвигового течения на динамику смешивания двух смешиваемых жидкостей, которые первоначально разделены тонкой горизонтальной границей раздела, с более тяжелой жидкостью снизу. Рассмотрены одновременно термо- и гидродинамические возмущения в гетерогенной бинарной смеси. Использован фазово-полевой подход, представляющий интерфейс между жидкостями как переходный слой конечной толщины, при этом все переменные, включая плотность, испытывали резкие, но непрерывные изменения при переходе через границу. Данный подход учитывает эффекты межфазных напряжений, которые также должны быть связаны со смешиваемыми границами. Фазово-полевой подход основан на расширенном законе Фика, согласно которому диффузионный поток пропорционален градиенту химического потенциала.

Это, в частности, позволяет удобно описывать межфазную диффузию в частично смешиваемых жидкостях, которые смешиваются до тех пор, пока не будут достигнуты уровни насыщения в соседних фазах, и позволяет учитывать эффект бародиффузии. Все эти особенности делают задачу, изученную в данной работе, отличной от других исследований неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое.

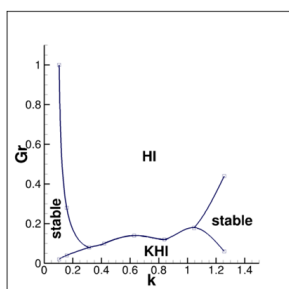
В настоящей работе развитие классических гидродинамических неустойчивостей происходит в двухфазной системе с проходящим фазовым переходом, в то время как в других исследованиях развитие неустойчивостей происходит либо в однофазной стратифицированной среде, либо в двухфазной несмешивающейся системе. Смешивание в системах типа жидкость/жидкость или газ/жидкость может быть усилено с возникновением гидродинамических неустойчивостей, например, при возникновении сдвигового потока, этим был обусловлен интерес к данной задаче.



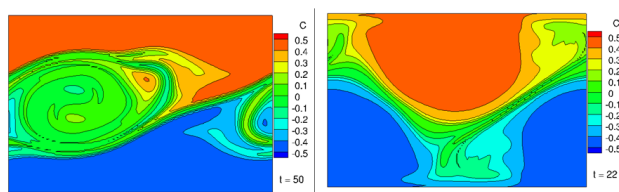
### Неустойчивости Кельвина-Гельмгольца и Холмбое в системах смешивающихся жидкостей

В рамках модели фазового поля исследовано влияние сдвигового течения на динамику смешивания в системах жидкость/жидкость или газ/жидкость, первоначально разделенных тонкой горизонтальной границей раздела, с более тяжелой жидкостью снизу.

В отличие от имеющихся в литературе работ, в которых развитие указанных классических гидродинамических неустойчивостей исследовалось либо для однофазной стратифицированной среды, либо для двухфазной системы несмешивающихся жидкостей, в настоящей работе развитие этих неустойчивостей исследовано для двухфазной системы с происходящим в ней фазовым переходом. Найдено, что **смешивание может быть усилено за счет возникновения гидродинамических неустойчивостей.**



Нейтральные кривые для неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца и Холмбое при  $U_0 = 1$ ,  $Re = 100$ ,  $Pe = 10^6$ ,  $Ca = 4 \cdot 10^5$



Характерные поля концентрации для случаев развитых неустойчивостей Кельвина-Гельмгольца (слева) и Холмбое (справа).

T. Zagvozhkin, A. Vorobev, T. Lyubimova. Kelvin-Helmholtz and Holmboe instabilities of a diffusive interface between miscible phases. *PHYSICAL REVIEW E* 100, 003100 (2019).

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

18. Экспериментально и теоретически исследована динамика слоя сурфактанта на неизотермической межфазной поверхности. Впервые экспериментально показана возможность существования адсорбированного слоя одновременно в нескольких фазовых состояниях в условиях термокапиллярного воздействия на межфазной поверхности.

#### Аннотация

Проведено экспериментальное и теоретическое исследование динамики слоя сурфактанта на неизотермической межфазной поверхности. Предложена уникальная оптокапиллярная методика создания распределенного термокапиллярного воздействия и способ контроля распределения сурфактанта при полевых измерениях температуры границы раздела методами инфракрасной термометрии. Показаны фазовые переходы в слое сурфактанта при термокапиллярном сжатии адсорбированного слоя и возможность равновесного сосуществования сурфактанта одновременно двух фазовых состояниях в различных частях слоя.

Обнаружено, что фазовый переход и положение границы между фазами контролируется величиной параметра упругости – безразмерного комплекса, показывающего соотношение вкладов концентрационного и теплового механизмов Марангони. Построена теоретическая модель явления, учитывающая конвективный перенос сурфактанта и физико-химические процессы в адсорбированном слое.

Предложено аналитическое решение, демонстрирующее отличное согласие с экспериментальными данными. Реализован новый метод измерения коэффициента поверхностной диффузии в адсорбированных слоях, что позволило впервые определить величину данного параметра в разреженных слоях сурфактанта, находящихся в газовом фазовом состоянии.



### Фазовые переходы в адсорбированных слоях поверхностно-активного вещества при термокапиллярном воздействии

Экспериментально и теоретически исследована динамика слоя сурфактанта на неизотермической межфазной поверхности. Впервые экспериментально показана возможность существования адсорбированного слоя одновременно в нескольких фазовых состояниях в условиях термокапиллярного воздействия на межфазной поверхности.

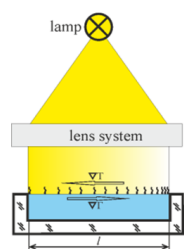
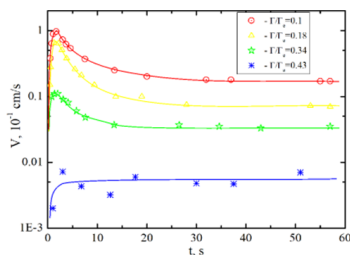
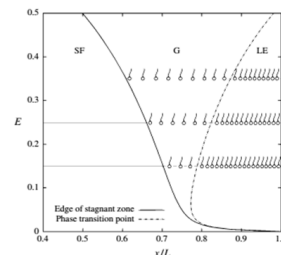


Схема экспериментальной установки



Динамика поверхностной фазы при изменении параметра упругости



Динамика поверхностной фазы при изменении параметра упругости

Shmyrov A. V. et al. Phase transitions on partially contaminated surface under the influence of thermocapillary flow //Journal of Fluid Mechanics. 2019. Q1, IF – 3.137

Shmyrov A., Mizev A. I. Surface diffusion in gaseous monolayers of an insoluble surfactant //Langmuir. – 2019. Q1, IF – 3.683

Предложено аналитическое решение, демонстрирующее отличное согласие с экспериментальными данными. Реализован новый метод измерения коэффициента поверхностной диффузии в адсорбированных слоях, что позволило впервые определить величину данного параметра в разреженных слоях сурфактанта, находящихся в газовом фазовом состоянии.

Shmyrov A. V. et al. Phase transitions on partially contaminated surface under the influence of thermocapillary flow //Journal of Fluid Mechanics. 2019. T. 877. С. 495-533.

Shmyrov A., Mizev A. I. Surface diffusion in gaseous monolayers of an insoluble surfactant //Langmuir. – 2019.

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

19. Исследована нелинейная динамика двухфазных околоскритических систем под действием касательных вибраций в условиях невесомости.

#### Аннотация

Проведено теоретическое исследование и прямое численное моделирование динамики околоскритической жидкости в вытянутой прямоугольной полости при вибрационном воздействии в условиях невесомости.

Показано, что под действием вибраций в полости формируется система страт; граница раздела жидкой и газовой фазы околоскритической жидкости располагается перпендикулярно направлению вибраций и в полости формируется полосчатая структура в виде периодических полос (страт). Полученные в ходе численного моделирования данные о длине волны возникающих квазиравновесных структур хорошо согласуются с результатами линейного анализа устойчивости поверхности раздела. В частности, показано, что даже для жидкостей с сильно различающимися вязкостями период квазиравновесных структур соответствует длине волны наиболее быстрорастущих возмущений. При вибрационном воздействии достаточной интенсивности на поверхностях раздела поперечных направлению вибраций, наблюдается развитие неустойчивости, приводящей к возникновению волн Фарадея. Определены критические параметры возникновения волн Фарадея.

В рамках модели, учитывающей взаимодействие между стратами, получена аналитическая формула для критерия устойчивости. Проведено сравнение результатов прямого численного моделирования и теоретического анализа с экспериментальными данными, получено хорошее согласие.

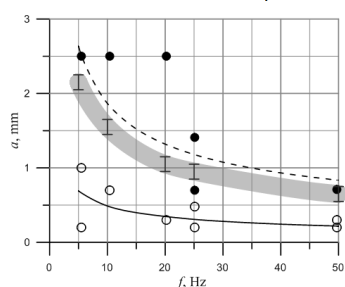


### Нелинейная динамика двухфазных околоскритических систем под действием вибраций в условиях невесомости

Исследована нелинейная динамика двухфазных околоскритических систем жидкость-газ под действием касательных вибраций в условиях невесомости.

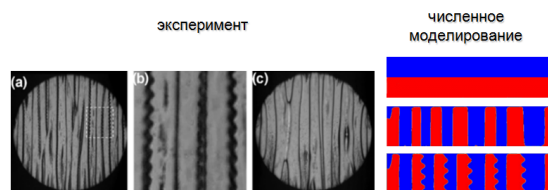
Обнаружено формирование квазистационарных периодических структур с границами, перпендикулярными к направлению вибраций, определены условия их устойчивости.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке вибрационных технологий фазового разделения.



Сравнение результатов прямого численного моделирования и теоретического анализа с экспериментальными данными

T. Lyubimova, A. Ivantsov, Y. Garrabos, C. Lecoutre, D. Beysens. *Faraday waves on band pattern under zero gravity conditions. Phys. Rev. Fluids. 2019. V. 4. pp. 064001*



Квазистационарные периодические структуры и волны Фарадея при различных амплитудах вибраций.

$$a_c = \frac{2\sqrt{2e^{-2\tilde{h}} + \sqrt{6e^{-2\tilde{h}} + 1}} \sqrt{(\rho_2 + \rho_1)(\eta_1 + \eta_2)}}{(\rho_2 - \rho_1)(1 - e^{-2\tilde{h}})} \sqrt{\frac{(\rho_2 + \rho_1)(\eta_1 + \eta_2)}{\omega}}$$

Получена аналитическая формула, определяющая условия устойчивости с учетом взаимодействия между стратами, хорошо согласующаяся с данными экспериментов и прямого численного моделирования.

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

20. Исследованы реометрические течения полимерных жидкостей при наличии сдвигового расслоения потока.

#### Аннотация

Работа посвящена проблеме идентификации полимерных жидкостей, проявляющих эффект разделения сдвигового потока на слои, по экспериментальным данным, измеренным в реометрических испытаниях. Для моделирования эффекта расслоения применяется реологические соотношения мезоструктурной модифицированной модели Виноградова–Покровского (MVP-модель), с параметрами, обеспечивающими немонотонность (S-образность) зависимости сдвигового напряжения от скорости сдвига (кривая течения)

Рассмотрены три вида сдвиговых течений: в зазоре между коаксиальными цилиндрами за счет вращения внутренней ограничивающей поверхности, в канале под действием перепада давления и в щели между параллельными пластинами, одна из которых совершает осциллирующее сдвиговое движение.

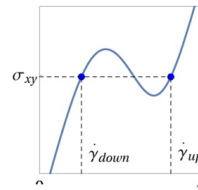
В результате показано, что MVP-модель с параметрами, соответствующими немонотонной кривой течения, предсказывает наблюдаемые в натуральных экспериментах на полимерных жидкостях эффекты, такие как: расслоение потока в сдвиговом течении; уменьшение сдвиговой вязкости и первой разности нормальных напряжений при увеличении скорости сдвига; ненулевое значение второй разности нормальных напряжений. Обнаружено также, что MVP-модель с такими параметрами демонстрирует формирование гистерезисной петли и плато на зависимостях, измеряемых в реометрических экспериментах. Установлено, что, согласно MVP-модели, природа такого поведения измеряемых характеристик связана с расслоением сдвигового потока жидкости.

Отмечено существенное влияние времени выхода на задаваемую экспериментальную скорость сдвига на вид измеряемых характеристик. Для экспериментальным данным с плато, гистерезисной петлей или немонотонностью предложен алгоритм определения параметров MVP-модели, основанный на аппроксимации исходных – необработанных – данных.

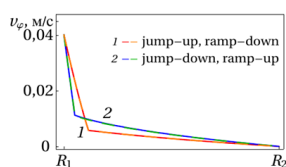


### Реометрические течения полимерных жидкостей с учетом сдвигового расслоения потока

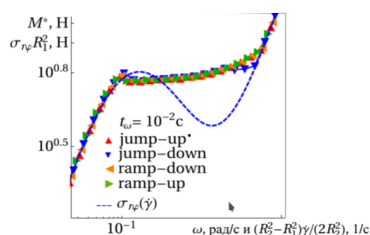
На основе реологического соотношения мезоструктурной модифицированной модели Виноградова–Покровского (MVP-модель), с параметрами, обеспечивающими немонотонность кривой течения описан эффект расслоения сдвигового потока полимерных жидкостей, найдены аналитические и численные решения для основных видов реометрических сдвиговых течений жидкостей.



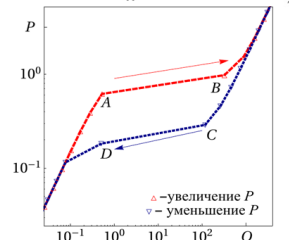
Предсказываемые MVP-моделью



а) профили скорости



б) зависимость  $M'$  для течения между коаксиальными цилиндрами



в) расходно-напорная зависимость в канале под действием перепада давления

Показано, что MVP-модель с параметрами, соответствующими немонотонной кривой течения, предсказывает наблюдаемые в натуральных экспериментах на полимерных жидкостях эффекты, такие как: расслоение потока в сдвиговом течении; формирование гистерезисной петли и плато на зависимостях, измеряемых в реометрических экспериментах.

Результаты исследований дают основу для корректировки стандартной, общепринятой в большинстве реометров методики обработки экспериментальных данных реологических испытаний жидкотекучих сред с изменяющейся в процессе течения структурой.

Кузнецова Ю.Л., Скульский О.И. Влияние режимов течения на расслоение сдвигового потока жидкости с немонотонной кривой течения // Прикладная механика и техническая физика — 2019. - Т. 60, №1. - С. 27-36.

(Рук. д.т.н. Скульский О.И., тел.: (342) 239-66-46, e-mail: scul@icmm.ru).

21. Исследованы нелинейные режимы конвекции трехкомпонентной жидкой смеси с эффектом Соре в условиях заданного теплового потока через границы.

#### Аннотация

Исследованы нелинейные режимы конвекции трехкомпонентных смесей с эффектом Соре в плоском горизонтальном слое с заданным вертикальным тепловым потоком на границах в поле тяжести. Рассмотрены смеси с типичными для жидких смесей значениями числа Прандтля и чисел Шмидта и разными значениями отношений разделения.

Найдено, что для монотонной моды неустойчивости при числах Релея, превышающих порог возникновения конвекции, возможны многовихревые стационарные режимы, причем, во всех случаях, с уменьшением  $|Ra|$  имеет место серия перестроек структуры течения, сопровождающаяся уменьшением числа вихрей (переход к длинноволновому режиму), что подтверждает полученные ранее результаты линейного анализа неустойчивости.





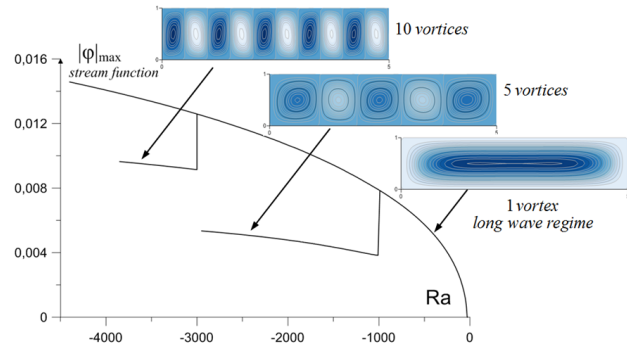
## Нелинейные режимы конвекции трехкомпонентной жидкой смеси с эффектом Соре в условиях заданного теплового потока через границы

Исследованы нелинейные режимы конвекции трехкомпонентных смесей с эффектом Соре в плоском горизонтальном слое с заданным вертикальным тепловым потоком на границах в поле тяжести. Рассмотрены смеси с типичными для жидких смесей значениями числа Прандтля и чисел Шмидта и разными значениями отношений разделения.

Найдено, что для монотонной моды неустойчивости при числах Релея, превышающих порог возникновения конвекции, возможны многовихревые стационарные режимы, причем, во всех случаях, с уменьшением  $|Ra|$  имеет место серия перестроек структуры течения, сопровождающаяся уменьшением числа вихрей (переход к длинноволновому режиму), что подтверждает полученные ранее результаты линейного анализа неустойчивости.

Зависимость максимального значения функции тока от числа Релея

T.P. Lyubimova, S.A. Prokopen, Nonlinear regimes of Soret-driven convection of ternary fluid with fixed vertical heat flux at the boundaries, The European Physical Journal E (2019), 42: 76



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

22. Изучено возникновение параметрической неустойчивости в трехслойной системе жидкостей под действием нормальных вибраций в условиях невесомости.

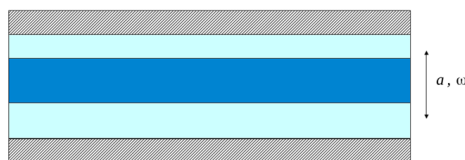
### Аннотация

Из экспериментов и теоретических работ известно, что двухслойные системы жидкостей, находящиеся в условиях невесомости, под влиянием касательных вибраций превращаются в систему жидких слоев, расположенных нормально к направлению вибраций. При этом на границах раздела наблюдаются резонансные волны. Для описания данного явления была рассмотрена упрощенная постановка задачи, для чего рассматривалась трехслойная система жидкостей, причем внешние жидкости считались одинаковыми. При этом главной целью было исследовать влияние нормальных вибраций на возбуждение резонансных волн в данной системе. Толщины всех слоев могут быть разными. Обнаружено, что для одинаковых толщин внешних слоев волны с частотой колебаний, равной половине частоты вибраций, не возбуждаются, в то время как для разных толщин слоев они возбуждаются. При этом существуют два типа таких волн с разной длиной волны.

При стремлении отношения толщин внешних слоев жидкости к единице амплитуда вибраций, необходимая для возбуждения данного типа волн, стремится к бесконечности. Что касается волн с частотой колебаний, равных частоте вибраций, то они возбуждаются всегда. При этом эти волны также делятся на два типа волн с разной длиной волны.



## Возникновение параметрической неустойчивости в трехслойной системе жидкостей под действием нормальных вибраций в условиях невесомости



Трехслойная система жидкостей под воздействием вибраций в условиях невесомости

Изучено возникновение параметрической неустойчивости поверхностей раздела в трехслойной системе жидкостей под действием нормальных вибраций в условиях невесомости.

Обнаружено, что при одинаковых толщинах внешних слоев волны Фарадея с частотой колебаний, равной половине частоты вибраций (субгармонические резонансы), не возбуждаются, в то время как для сколь угодно мало отличающихся толщин внешних слоев возбуждение таких волн наблюдается.

Волны с частотой колебаний, равной частоте вибраций (синхронные резонансы), возбуждаются при достаточно большой амплитуде вибраций при любых отношениях толщин внешних слоев.

*Sadilov E.S. The effect of normal vibrations on the stability of a three-layer fluid system in zero gravity, Interfacial Phenomena and Heat Transfer, 2019, No 3.*

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

23. Для автоколебательных систем общего вида построена универсальная теория, описывающая взаимодействие механизмов синхронизации общим шумом и связью.

Теория учитывает неидентичность элементов и внутренние шумы.

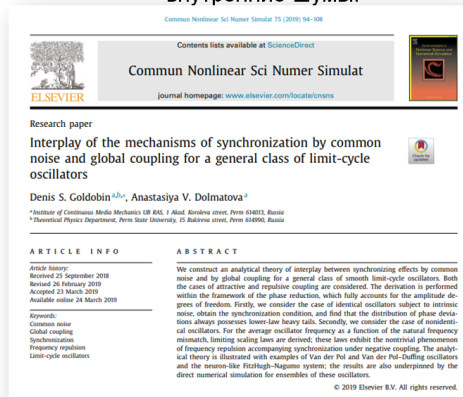
### Аннотация

Некоторое время назад для частного класса задач, допускающего точные аналитические решения, удалось «вскрыть» нетривиальный характер конкуренции механизмов синхронизации общим шумом и связью между осцилляторами [A.V. Pimenova, D.S. Goldobin, *et al.*, *Scientific Reports*, vol. 6, 38518 (2016)]. В 2019 году Д. С. Голдобиным и А. В. Долматовой (Пименова) построена универсальная теория конкуренции двух механизмов для автоколебательных систем общего вида; в теории учитывается неидентичность элементов ансамбля и допускается наличие внутреннего шума. В частности, аналитически описан сингулярный эффект расхождения средних частот индивидуальных осцилляторов при отталкивающей связи. Корректность и точность теории подтверждены результатами численного моделирования для типичных существенно нелинейных и нейрону-подобных систем.

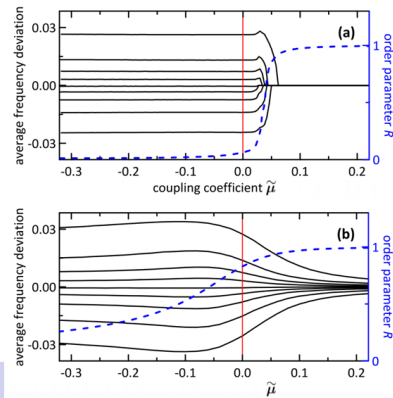


## Теория взаимодействия механизмов синхронизации общим шумом и связью для автоколебательных систем общего вида

Для автоколебательных систем общего вида построена универсальная теория, описывающая взаимодействие механизмов синхронизации общим шумом и связью. Теория учитывает неидентичность элементов и внутренние шумы.



D.S. Goldobin, A.V. Dolmatova, Interplay of the mechanisms of synchronization by common noise and global coupling for a general class of limit-cycle oscillators, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simulat.* **75**, 94–108 (2019). [impact factor WoS 2018: **3.967**, квантиль Q1]



Зависимость частот осцилляторов от коэффициента связи в ансамбле при общем шуме (внизу) и в его отсутствие (вверху)

D.S. Goldobin, A.V. Dolmatova, Interplay of the mechanisms of synchronization by common noise and global coupling for a general class of limit-cycle oscillators, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 75, 94–108 (2019). [impact factor WoS 2018: 3.967, квантиль Q1].

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

24. Исследован перенос примеси навязанным потоком при течении в канале.

### Аннотация

Работа посвящена изучению транспорта примеси в сложных потоках, возникающих при течении жидкости в трубе под действием внешней силы, а также при обтекании препятствий. Поскольку скорость жидкости в таком потоке очень неоднородна, то перенос примеси таким потоком обладает нетривиальными свойствами. Частицы примеси задерживаются в тех областях, где течение более медленное, что приводит к отставанию большого числа частиц от основной массы. В результате транспортный процесс оказывается аномальным. Подобные течения наблюдаются в пористой среде, где наличие аномального транспорта примеси не редкость, что подтверждено множеством экспериментов. Обычно такой транспорт связывают с оседанием частиц на стенки пор. Однако, как показано в настоящей работе сложный характер течения сам по себе может приводить к аномальному транспорту.

Рассмотрено стационарное течение через трубу в двумерном и трехмерном случаях с различными профилями, навязанными внешней силой. Показано, что в случае слабой молекулярной диффузии наблюдается аномальный перенос примеси со степенной зависимостью концентрации от времени. Показатель степени определяется профилем течения. Так же показано, что даже в случае значительного влияния молекулярной диффузии (числа Пекле меньше единицы), кривая выхода примеси представляет собой стандартный вид. Этот вид совпадает с предсказаниями линейной ММ модели, учитывающей прилипание частиц.





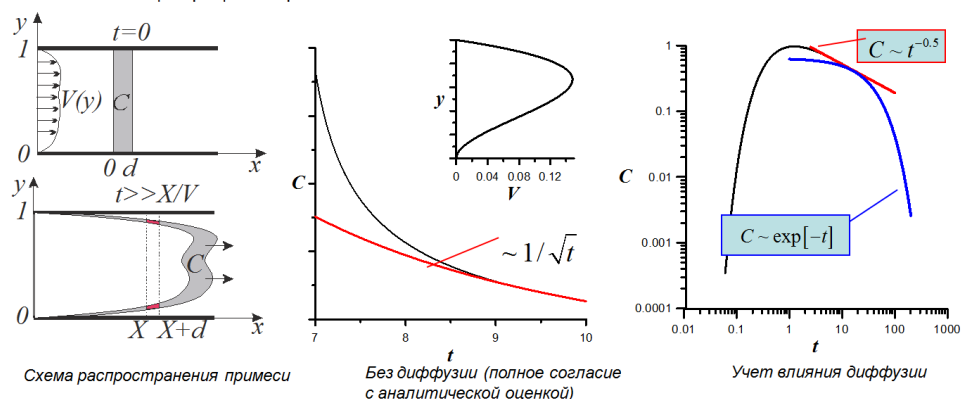
## Перенос примеси навязанным потоком при течении в канале

Описан возможный механизм аномального переноса через пористые среды.

Показано, что одной из причин причиной аномального транспорта является медленное движение жидкости вблизи твердых стенок пор.

Получена оценка для показателя степени асимптотической зависимости концентрации от времени, которая определяется профилем течения в пограничном пристеночном слое.

Исследовано влияние молекулярной диффузии на форму кривой зависимости концентрации от времени.



Maryshev, B.S., L.S.Klimenko. The modelling of transportation process in porous media transportation through channels. Journal of Physics: Conference Series. Vol. 1268. No. 1. IOP Publishing, 2019

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

## 25. Моделирование «пальцеобразного» вытеснений в капиллярных трубках методом фазового поля.

### Аннотация

Проведено прямое численное моделирование динамики вытеснения одной жидкости другой внутри одиночного капилляра, используя метод фазового поля. Рассмотрен широкий диапазон значений капиллярных чисел и чисел Рейнольдса. Обнаружено, что возможны два сценария вытеснения одной жидкости другой: пальцеобразное вытеснение и поршневое смещение.

Продемонстрировано, что метод фазового поля способен воспроизвести все особенности вытеснения жидкость-жидкость, предсказывая временные изменения профиля скорости, формы границы раздела, капиллярного давления, связанного с мениском, видимого контактного угла и объема жидкости, которая остается на стенках капилляра. В частности, найдены профили давления через изогнутый мениск, показывая значения капиллярного давления, которое не является доступным в других исследованиях.

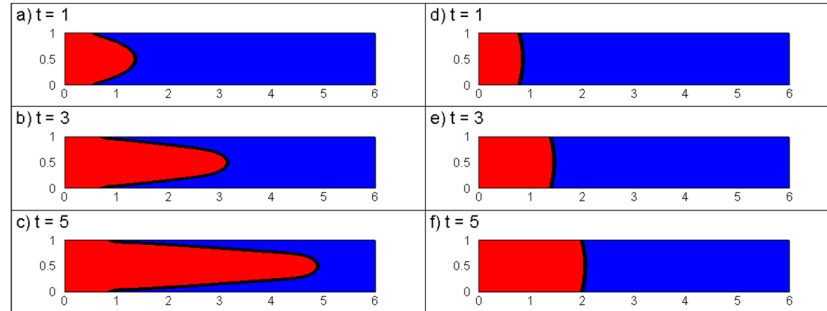
Для верификации полученных результатов было показано, что скачок давления на границе хорошо согласуется со значением капиллярного давления, которое рассчитывается по формуле Лапласа; показано, что влияние капиллярного давления на движение жидкостей через капилляр согласуется с классическим уравнением Вошберна.

Разработанная модель позволяет динамически определять капиллярное давление и видимый угол для мениска жидкости, проталкиваемой через капилляр, обеспечивая надежный подход для динамического моделирования вытеснения одной жидкости другой в одиночном капилляре.



## Моделирование «пальцеобразного» вытеснений в капиллярных трубках методом фазового поля

Проведено моделирование вытеснения одной жидкостью другой, смешивающейся с первой, в капиллярной трубке, методом фазового поля. Показано, что этот метод позволяет воспроизвести все наблюдающиеся в эксперименте особенности вытеснения, предсказывая временную эволюцию профиля скорости, формы границы раздела, капиллярного давления, видимого контактного угла и объема жидкости, остающейся на стенках капилляра. В частности, найдены распределения давления на искривленном мениске, определяющие значения капиллярного давления, что не удавалось сделать ранее другими методами



Поле концентрации для разных моментов времени. Рисунки а, b, с (слева) представляют случай меньшего поверхностного натяжения

S. Prokopen, A. Vorobev, T. Lyubimova, Phase-field modeling of an immiscible liquid/liquid displacement in a capillary, *Physical Review E* (2019), 99(3), 033113

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

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

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

26. Впервые в мировой практике камерной системы разработки калийных месторождений доказана принципиальная возможность повторной отработки техногенного сильвинитового пласта, сформировавшегося вследствие разрушения податливых междукамерных целиков, деформации и обрушения пород кровли (рис. 1). Натурными и теоретическими исследованиями обоснована оптимальная схема отработки, основанная на проходке вторичных камер соосно первичным междукамерным целикам с удвоенным межосевым расстоянием (рис.2).

Повторная отработка существенно повысит извлечение промышленных запасов из недр и увеличит срок службы калийных предприятий без значительных капитальных затрат на разведку и подготовку новых участков.

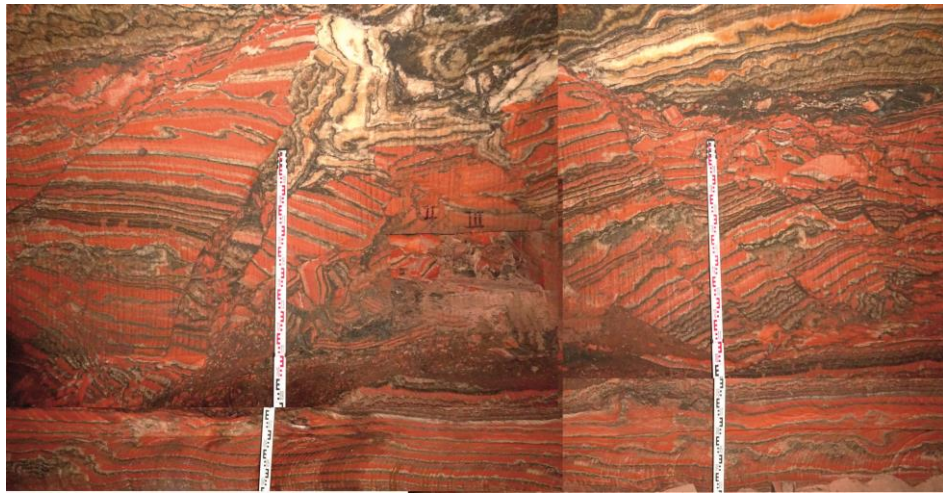


Рисунок 1. Техногенный сильвинитовый пласт

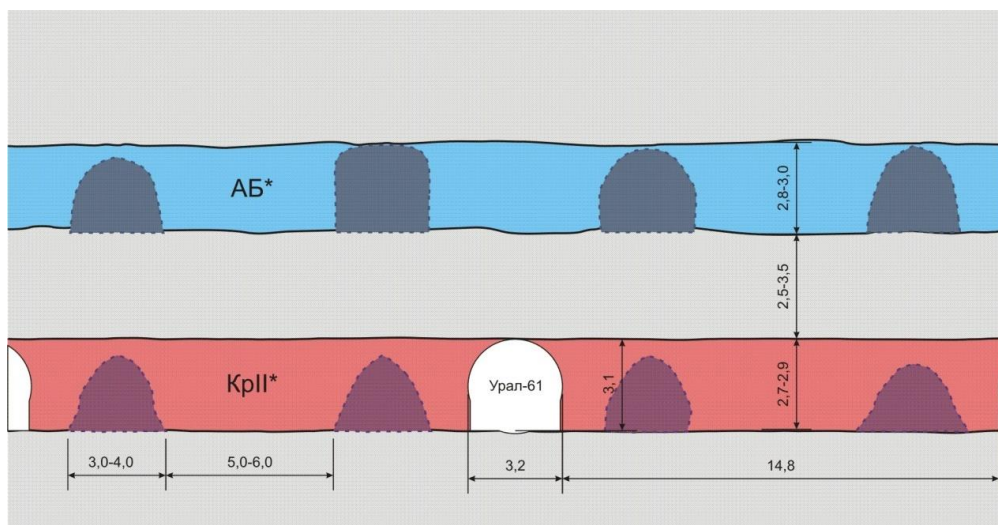


Рисунок 2. Схема обработки техногенного пласта

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

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

27. Разработан способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов, основанный на определении скорости и времени вступления сейсмоакустических сигналов отраженных от ледопородного ограждения. С этой целью в контрольной скважине (КТ), пробуренной на некотором удалении с внешней стороны от кольца замораживающих колонок (ЗС), размещают систему, состоящую из электроискрового источника сейсмических колебаний (И), сеймостанции (С) и гирлянды пьезоэлектрических сейсмоприемников (П) (рис.1), смещают систему вдоль ствола скважины на расстояние кратное шагу сейсмоприемников (ПП), возбуждают и регистрируют сейсмоакустические сигналы, зарегистрированные данные подвергают цифровой обработке по технологии общей глубинной точки (ОГТ). По результирующим волновым полям (рис.2) определяют времена вступления и скорости распространения продольных волн, отраженных от вертикальных границ (ВГ, НГ), образовавшихся при замораживании породного массива, на основании чего судят о толщине ледопородного

ограждения (ЛПО), вдоль проектной глубины ствола в проекции КТ-КС (рис.2). Способ апробирован на Старобинском месторождений калийных солей.

Санфиоров И.А., Ярославцев А.Г., Бабкин А.И., Чугаев А.В. Способ контроля толщины ледопородного ограждения при строительстве шахтных стволов // Патент России № 2706910. 2019, Бюл. №33

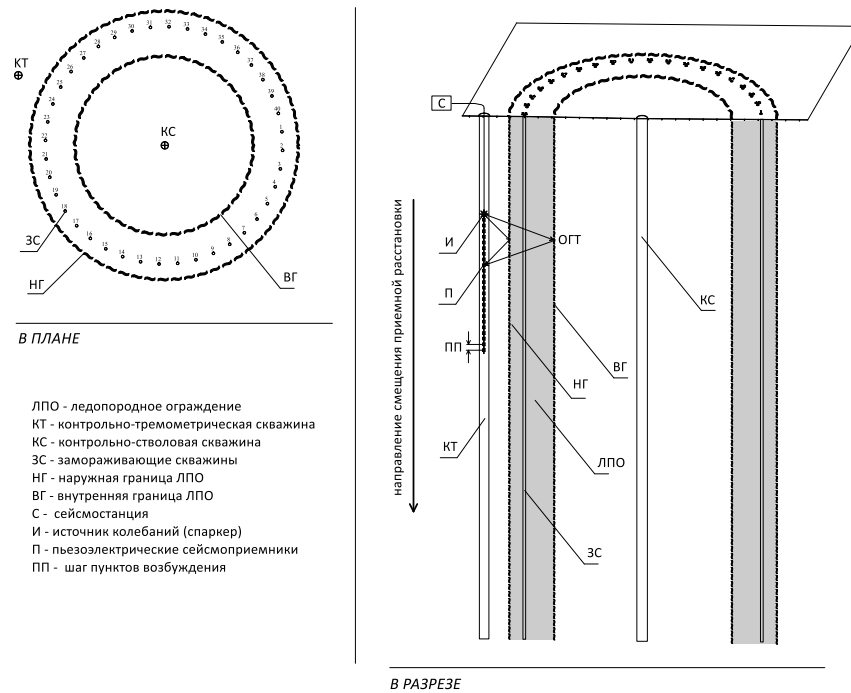


Рисунок 1. Схема наблюдений скважинной методики определения толщины ЛПО

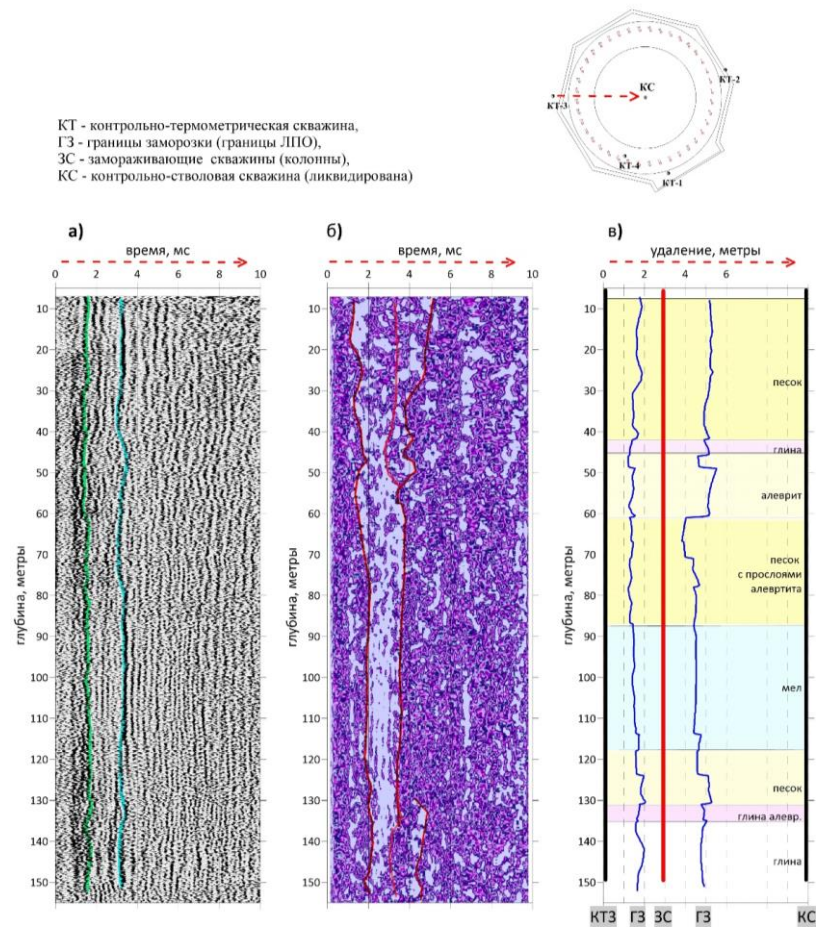




Рисунок 2. Результат интерпретации по способу скважинного ОГТ: а) временной разрез ОГТ вдоль ствола скважины, б) интегральная динамическая характеристика, в) сейсмогеологический разрез между скважинами КТ-3 и КС (Рук.: д.т.н. Санфиоров Игорь Александрович, тел.: +7(342)216-10-73, e-mail: sanf@mi-perm.ru).

28. Установлено, что на калийных рудниках внутренняя структура регистрируемого сейсмического процесса в целом подобна тектонической сейсмичности: распределение количества событий по энергии подчиняется закону Гутенберга-Рихтера, однако при этом угол наклона графика повторяемости может оказаться существенно отличным от аналогичного угла, рассчитанного для случая тектонических землетрясений. Кроме того, во многих случаях график повторяемости имеет бимодальный характер и состоит из двух частей, имеющих разный угол наклона. Особенно четко бимодальность проявляется при образовании провалов на земной поверхности при аварийном затоплении калийных рудников. Это говорит о наличии двух разных процессов, сопровождающихся генерацией сейсмических событий.

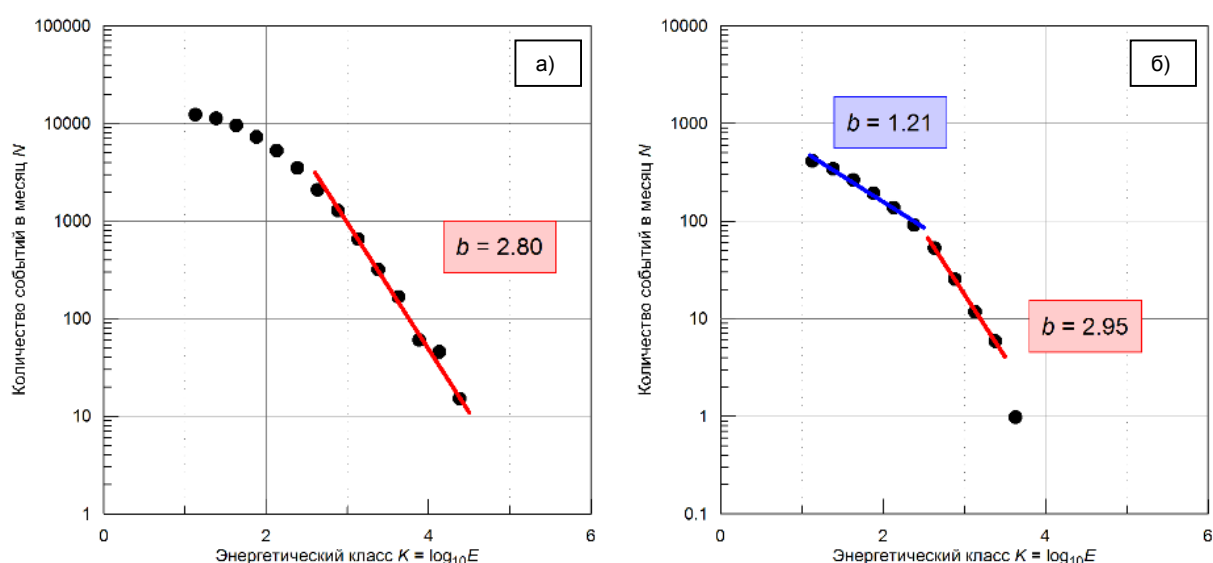


Рисунок 1. Повторяемость сейсмических событий в северо-западной части опасной зоны рудника СКРУ-2: а) - за 7 декабря 2018 г. (начальная стадия активизации); б) 9 марта – 8 апреля 2019 г. (конечная стадия формирования полости) (Рук.: к.т.н. Шулаков Денис Юрьевич, тел.: +7 (342) 216-31-14, e-mail: shulakov@mi-perm.ru).

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

29. Разработан алгоритм расчета устойчивости воздушных потоков в системе горных выработок, позволяющий за счет использования методов математической статистики существенно снизить вычислительную трудоемкость решаемой задачи. Для количественной оценки устойчивости расходов воздуха предложены новые критерии: гарантированный минимальный расход воздуха и относительное отклонение воздушного потока от среднего. Алгоритм реализован программно и интегрирован с методами расчета аэро-, газо- и термодинамических параметров рудничной атмосферы, ранее разработанными авторами. Впервые произведен комплексный учет различных факторов, влияющих на устойчивость воздухораспределения в системе горных выработок: тепловая и газовая депрессии, переменные аэродинамические сопротивления и источники тяги. В результате практического применения алгоритма, для ряда рудников разработаны мероприятия по улучшению устойчивости проветривания проблемных горных выработок, что позволило повысить аэрологическую безопасность при ведении горных работ в условиях разветвленных и динамически меняющихся вентиляционных сетей рудников.

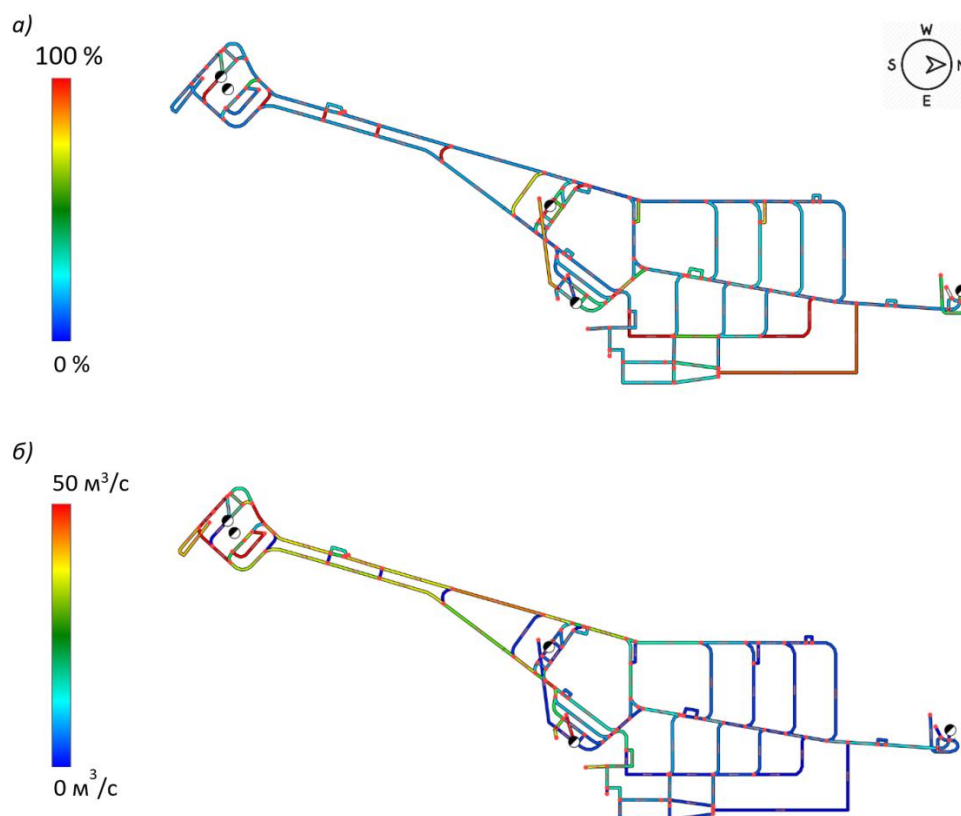


Рисунок 1. Подсечной горизонт рудника «Таймырский» (-1100 м); (а) – распределение относительных отклонений расхода воздуха, (б) – распределение гарантированных минимальных расходов воздуха

Semin, M.A., Levin, L.Y. Stability of air flows in mine ventilation networks. *Process Safety and Environmental Protection*. 2019. Vol. 124, pp. 167-171. doi: 10.1016/j.psep.2019.02.006 (Q1). (Рук.: д.т.н. Левин Лев Юрьевич, тел.: +7 (342) 216-09-69, e-mail: aerolog\_lev@mail.ru).

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

30. Установлено, что утилизированные в закладочной смеси частицы мышьяксодержащего кека представляют собой механические взвеси в ее массе, и лишь в незначительном количестве могут образовывать прочносвязанные соединения с другими компонентами. В связи с этим состав закладочных смесей метастабилен и со временем разлагается, выделяя водорастворимый мышьяк в сверхнормативных концентрациях.

Для обеспечения стабильности мышьяксодержащих соединений в закладочных смесях необходимо вводить в их состав дополнительные добавки (соли трехвалентного железа, сульфид аммония, фосфаты, нефтеуглеродные и другие органические жидкости), переводящих их в более устойчивые формы (скородит, ферригидрит), или обеспечивающих гидроизоляцию их частиц.

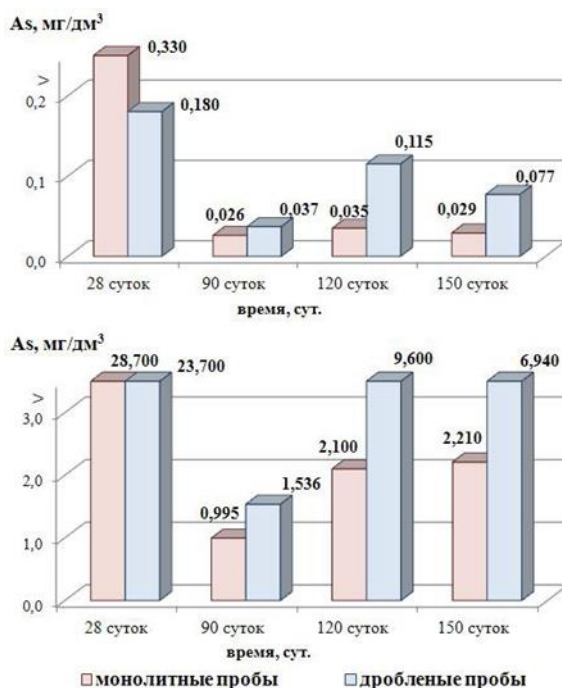


Рисунок 1. Характер выщелачивания мышьяка из стандартных закладочных смесей (А) и с добавлением As-содержащих

Бачурин Б.А. Геохимические аспекты утилизации мышьяксодержащих отходов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – 2019. – Вып. 22. С. 363-369 (РИНЦ)

Бачурин Б.А. Утилизация мышьяксодержащих отходов в закладочном материале рудников // Горное эхо, 2019, № 2 (75). С. 16-20. - DOI: 10.7242/echo.2019.2.4 (РИНЦ).

(Рук.: к.г.-м.н. Бачурин Борис Александрович, тел.: +7 (342) 216-09-86, e-mail: bba@mi-perm.ru).

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

31. Выявлена и охарактеризована новая для Пермского края экосистема и новообразованные минеральные ассоциации, связанные с разгрузкой холодных (4°C) хлоридно-натриевых рассолов Людмилинской скважины (Соликамск) разгрузавшихся с 1923 г. по 2019 г. Выявлено 2 вида беспозвоночных животных, 8 таксонов пенициллиев диатомей, в том числе галофильных, серо- и железобактерии и более 20 минеральных видов. Кроме кальцита и пирита здесь установлены самородные фазы (Cu, Ag, Ni, бронза), сульфиды (Cu, Ag, Ni, Fe), сульфохлориды (Cu, Ag, Ni), хлориды (Ag, Cu) и др. Показано, что осаждение минералов на земной поверхности происходит как химически, в том числе за счет обогащения кислородом и падения давления углекислого газа, так и при участии бактерий и водорослей.



Рисунок 1. Общий вид устья Людмилинской скважины и харовых водорослей с налетом белесых серобактерий

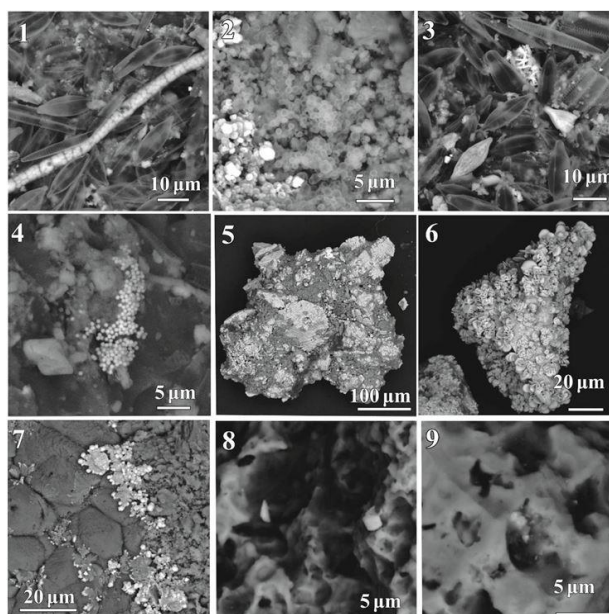


Рисунок 2. Обитатели зоны разгрузки рассолов Людмилинской скважины и связанные с ними минеральные образования: 1 – тиобактерии, содержащие гранулы самородной серы 2, 3 – замещенные гидроксидами железа коккоидные формы и диатомеи; 4 – бактериальный (фрамбоидальный) пирит; 5 – марказит; 6, 7 – листоватые и дендритовидные формы проявления сульфидов меди ряда халькозин-ковеллин; 8, 9 – серебросодержащая самородная медь и хлорид серебра на поверхности зерен пирита (Рук.: д.г.-м.н. Чайковский Илья Иванович, тел.: +7 (342) 216-39-00, e-mail: ilya@mi-perm.ru).

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

32. Разработан метод оценки различий аномалий силы тяжести, обусловленных использованием «плоской» и «сферической» моделей Земли. Оценкой снизу  $\Delta^*$  влияния сферичности Земли для любой территории является различие радиальной  $V_r$  и вертикальной  $V_z$  компонент поля для одной и той же модели источников. Эта оценка может быть получена в 3D варианте на основе формальной истокообразной аппроксимации дискретных значений гравитационного поля в редукции Буге. На рисунке приведен пример такой оценки по материалам гравиметрической съемки масштаба 1:200 000 в пределах листа О-40 (Пермский край). Гравитационное поле  $\Delta g$  этой территории изменяется от -30 до 100 мГал, а величина  $\Delta^*$  – от -2 до +6 мГал, что свидетельствует о необходимости учета сферичности Земли при интерпретации гравиметрических данных.



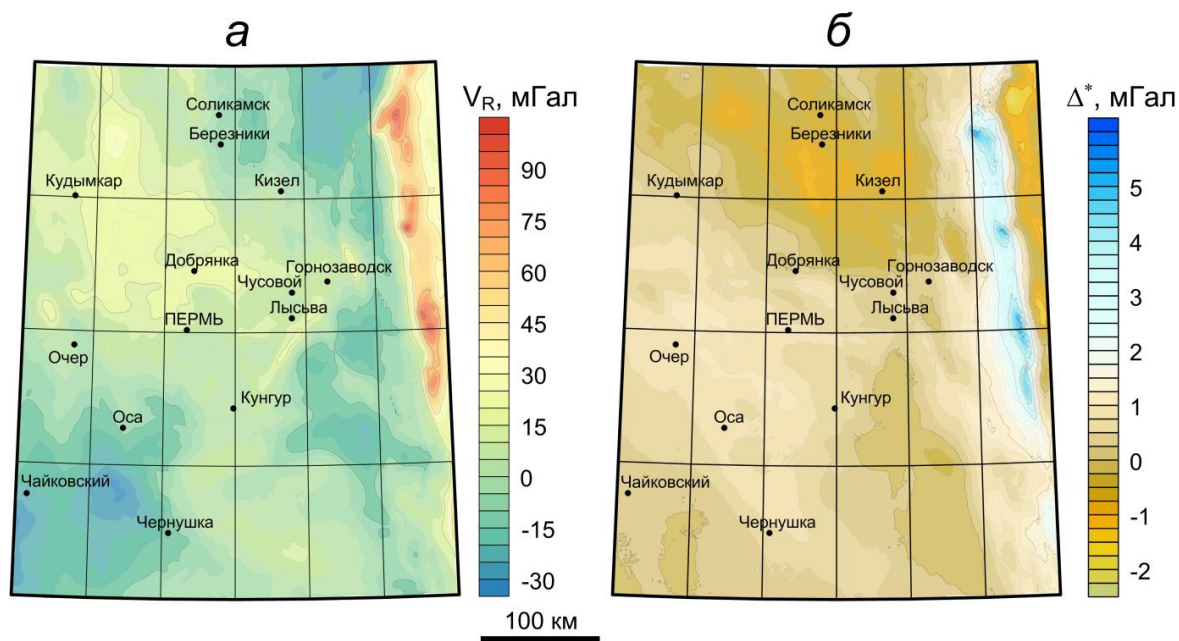


Рисунок 1. Практический пример оценки влияния сферичности Земли (лист О-40): а – карта гравитационного поля  $\Delta g$  в редукции Буге; б – карта изолиний параметра  $\Delta^*$ .

Долгаль А.С., Бычков С.Г., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В. Оценка искажений аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием сферичности Земли. //Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: Сборник научных трудов. Вып. 1 (46). Пермь: ГИ УрО РАН, ПГНИУ, 2019. С. 117-121.

Долгаль А.С., Бычков С.Г., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В. Приближенная 3D оценка гравитационных аномалий, обусловленных шарообразной формой Земли. //Геофизика. 2019. № 5. С. 56–62.

(Рук.: д.г.-м.н. Бычков Сергей Габриэльевич, тел.: +7 (342) 216-10-08, e-mail: bsg@mi-perm.ru).

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

33. Разработан способ безопасного ведения горных работ при проходке подготовительных выработок комбайновым способом в выбросоопасных доломитах на глубинах более 1300 м, заключающийся на первой стадии – в торпедировании массива шпуровыми зарядами взрывчатого вещества по контуру выработки и формировании в окружающем ее массиве области дегазированных пород для предотвращения выбросов породы и газа из кровли, почвы и боков выработки, на второй стадии – в торпедировании забоя горной выработки для предотвращения внезапных выбросов породы и газа из забоя выработки, на третьей стадии – в поинтервальной проходке горной выработки комбайном на расстояние, обеспечивающее опережение зоной, обработанной торпедированными шпурами, забоя горной выработки на расстояние не менее чем 1 м.

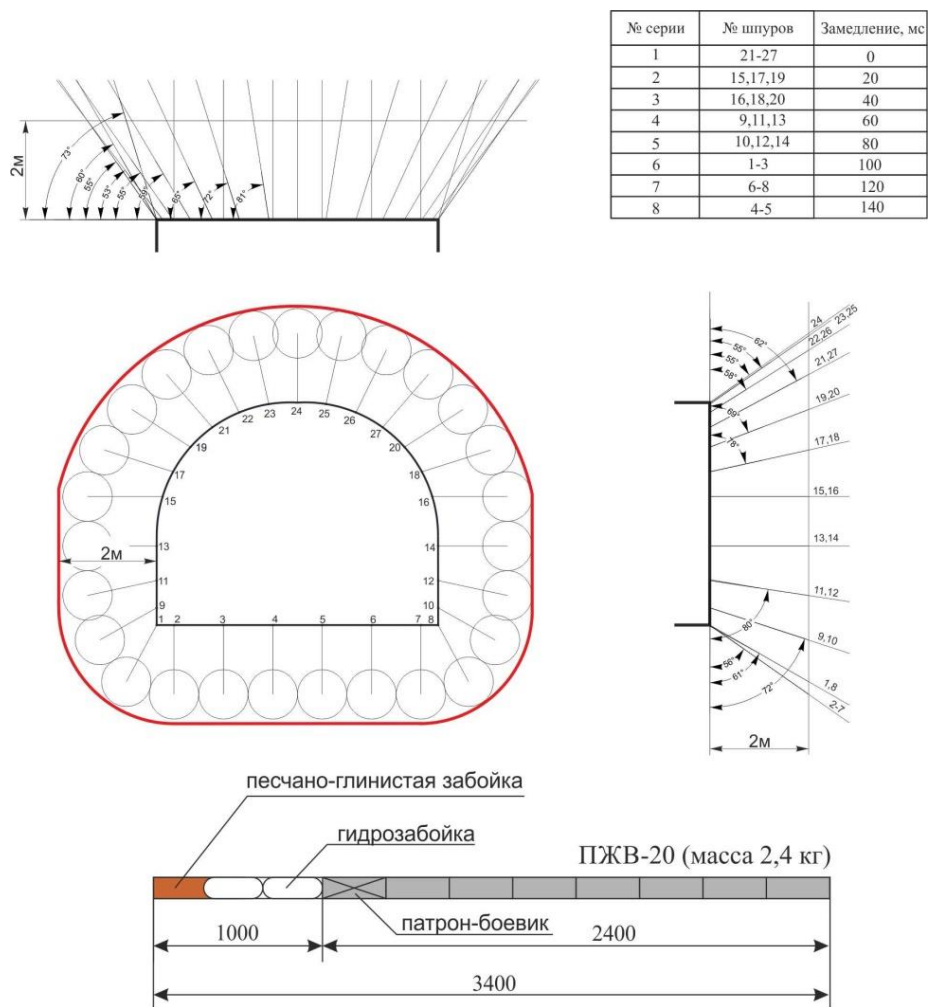


Рисунок 1. Схема комплекта шпуров для законтурного торпедирования на первой стадии комбайновой проходки

(Рук.: д.т.н. Андрейко Сергей Семенович, тел: +7 (342) 216-75-02, e-mail: ssa@mi-perm.ru)

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

34. Реализован алгоритм решения обратной задачи электроразведки методом минимизации эмпирического риска, позволяющий выполнять согласованную 1D инверсию кривых ВЭЗ вдоль профиля. В качестве априорной информации используются обобщенные параметры разреза, что в реальных условиях может соответствовать наличию параметрической скважины. Реализованный алгоритм эффективно подавляет случайные помехи, амплитуда которых в отдельных случаях может достигать значений, сопоставимых с амплитудой полезного сигнала. Несомненным достоинством предлагаемого метода является отсутствие жестких ограничений на закон распределения помехи.

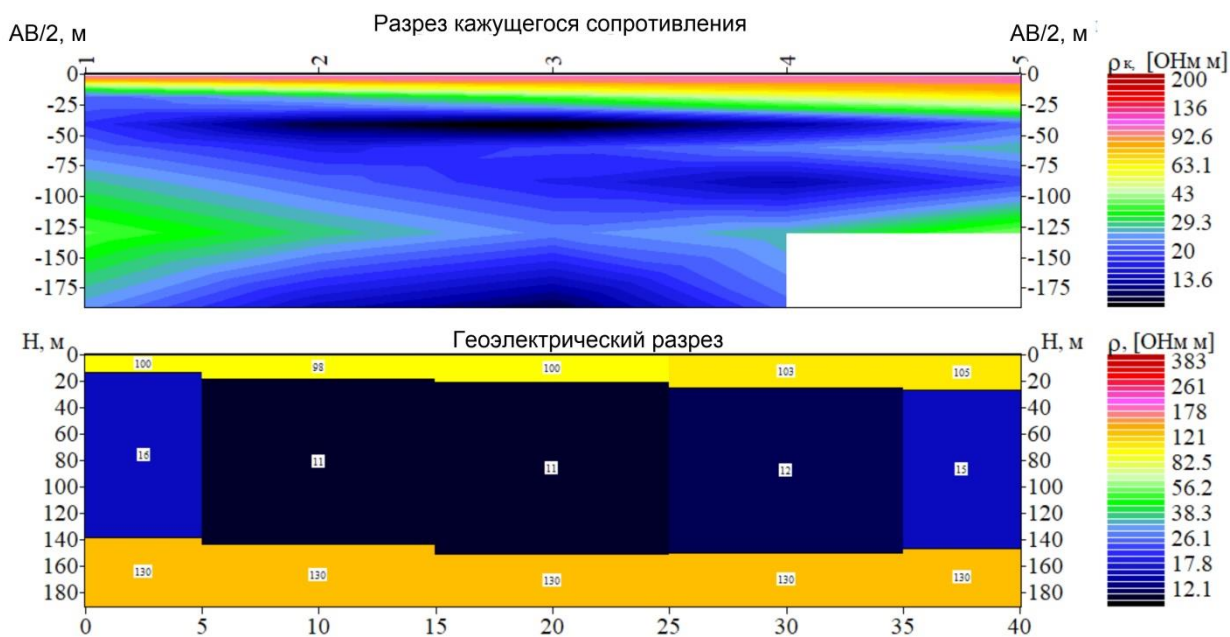


Рисунок 1. Разрез кажущегося сопротивления, осложненного помехой и геоэлектрический разрез, полученный в результате решения обратной задачи.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019663093 «Решение одномерной обратной задачи вертикального электрического зондирования методом эмпирического риска» от 10.10.2019 г.

(Рук.: к.г.-м.н. Степанов Юрий Иванович, тел: + 7 (342) 216-66-08, e-mail: stepanov@mi-perm.ru).

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

35. Натурные наблюдения и вычислительные эксперименты выполненные, на основе разработанных гидродинамических моделей верхнего и нижнего бьефах Камской гидроэлектростанции (ГЭС), позволили установить специфические эффекты, связанные с изменением структуры течения. Формирование обратных течений в верхнем бьефе вследствие резких изменений расхода сброса влияет на безопасность отстоя судов в нижнем бьефе Камской ГЭС.

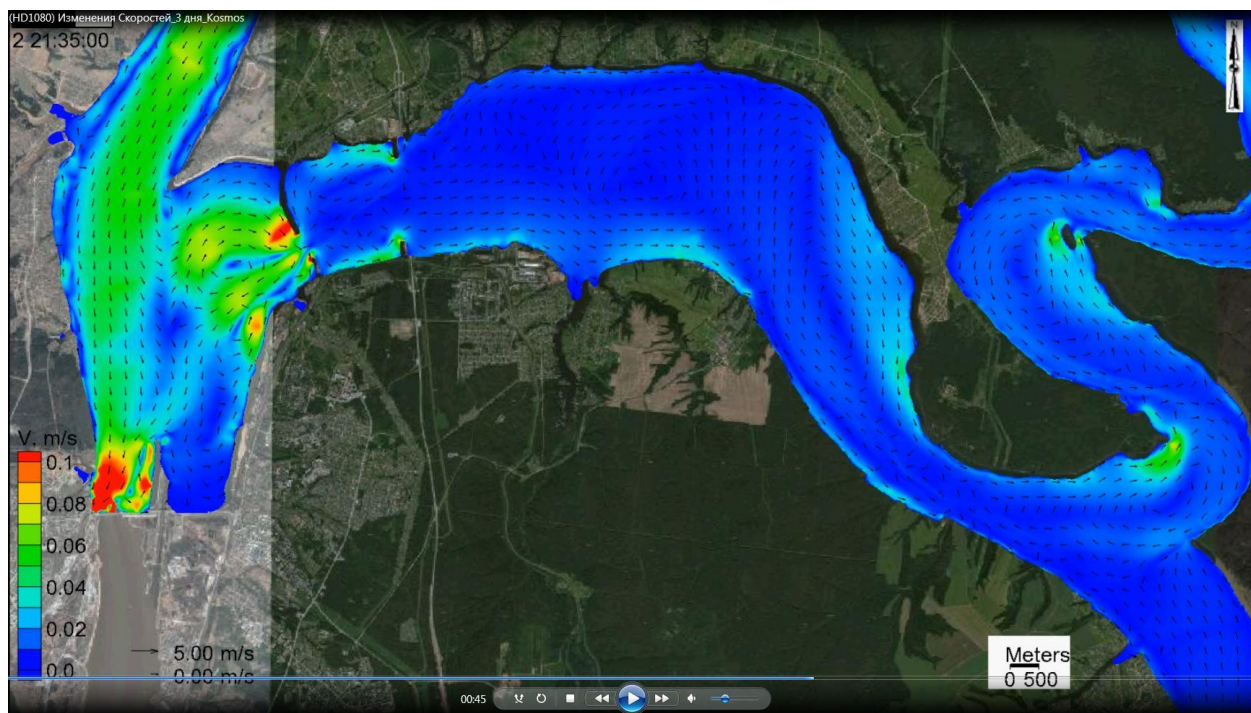


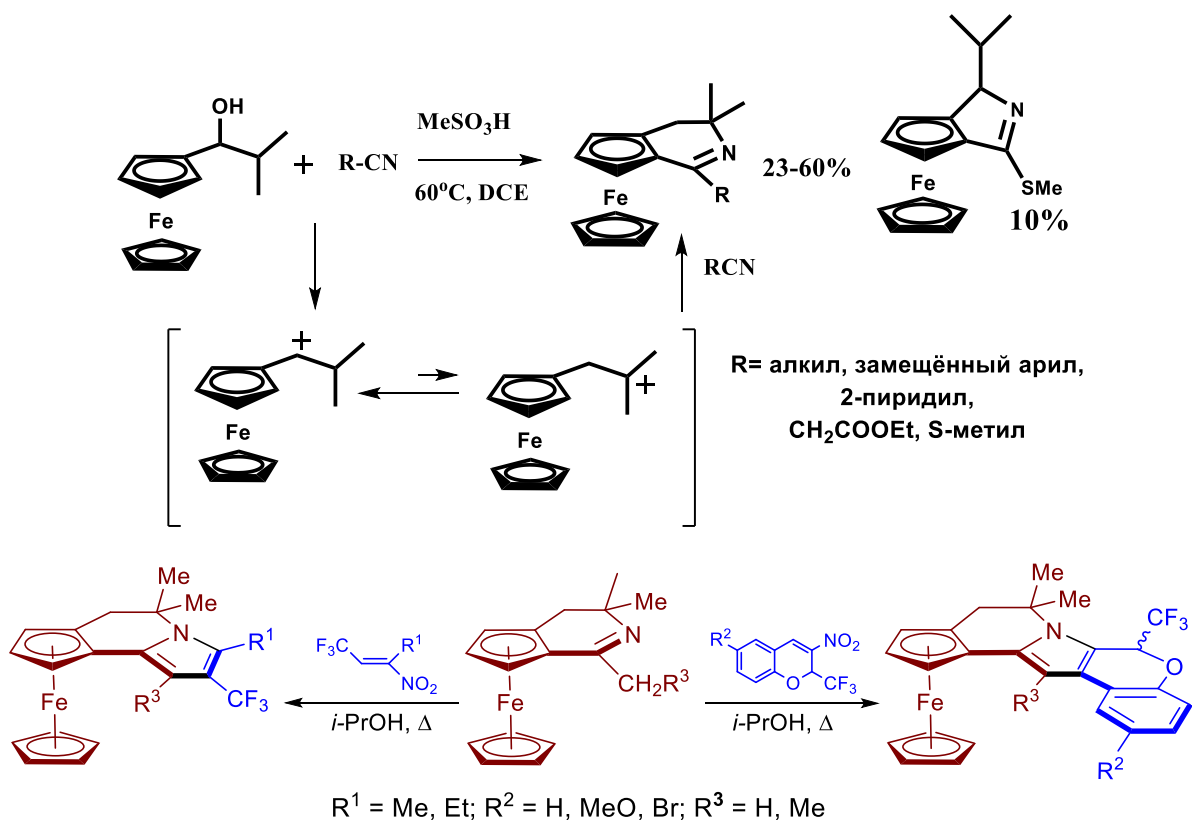
Рисунок 1. Поле скоростей формируемое в верхнем бьефе КамГЭС при переходе с высоких расходов сброса  $\sim 2600$  на низкие  $360$  куб.м/сек (Рук.: д.г.н. Лепихин Анатолий Павлович, тел: +7(342) 216-90-49, 210-71-01, e-mail: lepin49@mail.ru).

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

ПФНИ 044: Фундаментальные основы химии.

36. Впервые показано наличие таутомерного равновесия между альфа- и бета-карбокатионами ферроценового ряда. На этой основе разработан новый подход к синтезу функционально замещенных рацемических планарно-хиральных 1-R-3,4-дигидроферроцено [c]пиридинов (18 примеров) и показано образование ферроценсодержащих аналогов противораковых алкалоидов криспина и ламелларина. При использовании метилтиоцианата наряду с 1-метилтио-3,3-диметил-3,4-дигидроферроцено[c]пиридином образуется 1-метилтио-3-изопропилферроцено[c]пиррол. Для ряда продуктов определена абсолютная конфигурация.





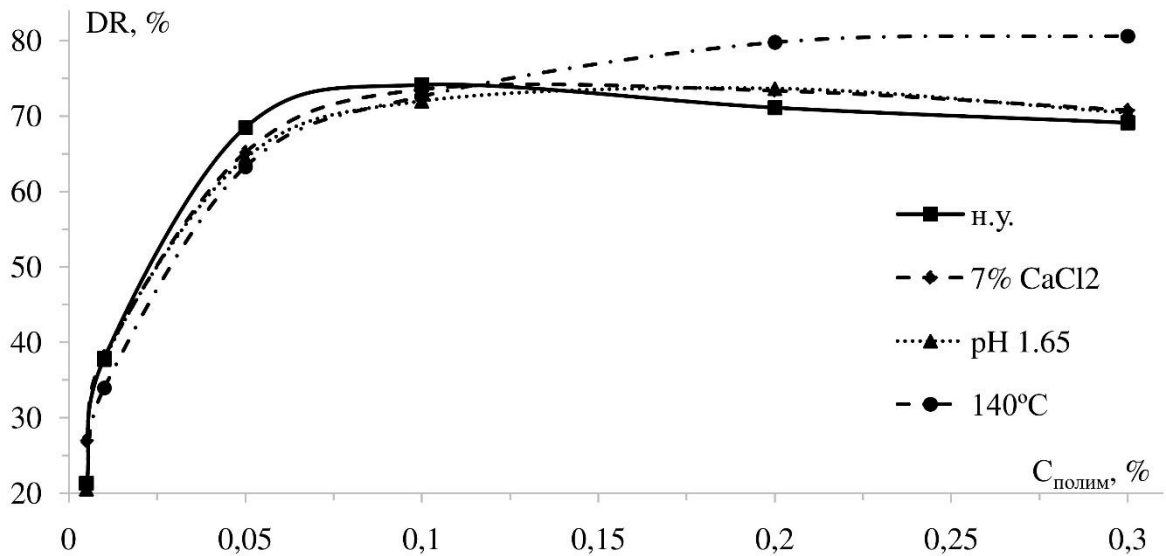
(Рук.: д.х.н. Шкляев Юрий Владимирович, тел: (342)237-82-89, e-mail: shklyaev.y@itcras.ru).

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

ПФНИ 049: Фундаментальные исследования в области химии и материаловедения в интересах обороны и безопасности страны

37. Впервые установлены основные закономерности синтеза тройных статистических сополимеров с равномерным распределением ионогенных (акриламид – АА, натриевая соль 2-акриламида-2-метилпропансульфоновой кислоты - АМПСNa) и неионогенных (акрилонитрил - АН) звеньев по длине макромолекул. Данная структура и состав макромолекул обуславливает эффективность применения терполимеров АА-АН-АМПСNa в качестве агента снижения гидродинамического сопротивления турбулентного водного потока в условиях термической, солевой и кислотной агрессии.

Установлена эффективность применения терполимеров АА-АН-АМПСNa в качестве агента снижения гидродинамического сопротивления турбулентного водного потока. В условиях термической, солевой и кислотной агрессии показан эффект снижения гидродинамического сопротивления не менее 70 %. Установлена температурная экстремальная зависимость эффекта приращении объемного расхода раствора терполимера. Впервые показан эффект снижения гидродинамического сопротивления турбулентного водного потока при температурах выше 100 °С.



Эффект снижения гидродинамического сопротивления терполимером АА-НАК-АМПСNa. Напряжение сдвига на стенке капилляра  $\tau_w$  250 Па, характеристическая вязкость  $[\eta]$  терполимера  $295 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$

Рисунок 1. Эффект снижения гидродинамического сопротивления терполимером АА-НАК-АМПСNa. Напряжение сдвига на стенке капилляра  $\tau_w$  250 Па, характеристическая вязкость  $[\eta]$  терполимера  $295 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$

(Рук.: д.т.н. Вальцифер Виктор Александрович, тел.: (342)237-82-50, e-mail: valtsifer.v@itcras.ru).

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

38. Впервые разработан теоретический подход, позволяющий численно описывать деформационное поведение сшитых эластомеров сложной фазовой организации в неравновесных условиях деформирования.

Получено уравнение для связи напряжения ( $\sigma$ ) и степени деформирования эластомеров ( $\lambda$ ) в условиях растяжения с постоянной скоростью ( $v$ ):

$$\sigma = E_0(\lambda - \lambda^{-2}) \cdot \left[ 1 + 3b(\lambda^{-1} - d) + \gamma_s \alpha^2 (1 - \phi)(\alpha^2 \phi - 2) / (1 - \alpha^2 \phi)^2 \right] + \int_1^\lambda W \sum_{i=1}^n E_i \exp \frac{1 - \lambda}{v \tau_i} d\lambda = \sigma_{el} + \int_1^\lambda W \sum_{i=1}^n E_i \exp \frac{1 - \lambda}{v \tau_i} d\lambda$$

где  $b, d, \alpha, \gamma_s$ -параметры сетки эластомера,  $\tau_i$  – времена релаксации релаксационных элементов,  $W$ -функция трансформации,  $\phi$ -вспомогательная функция, зависящая от  $\lambda$ .

Доказано, что в условиях набухания эластомеров в пластификаторах, растворителях и других физически агрессивных средах величины релаксационных параметров  $E_i$ , имеющие размерность модуля, зависят от объемного содержания полимера в набухшем образце по степенному закону.

Разработанный подход впервые позволяет численно описывать зависимости напряжения от деформации аморфных и сегментированных эластомеров, как сухих, так и набухших в физически агрессивных средах.



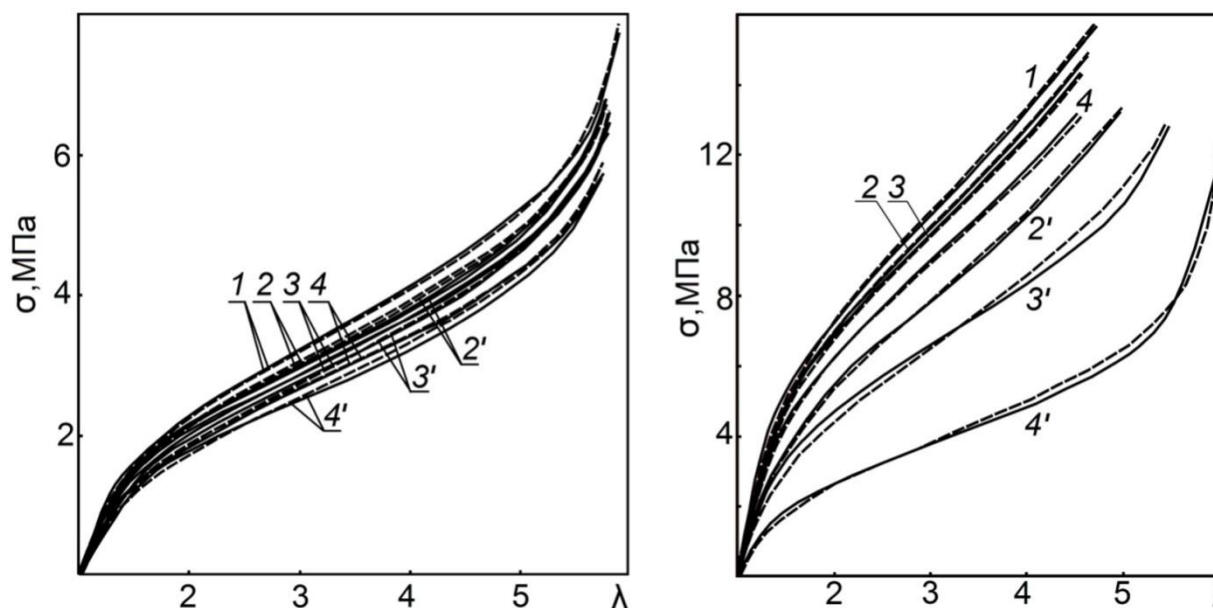
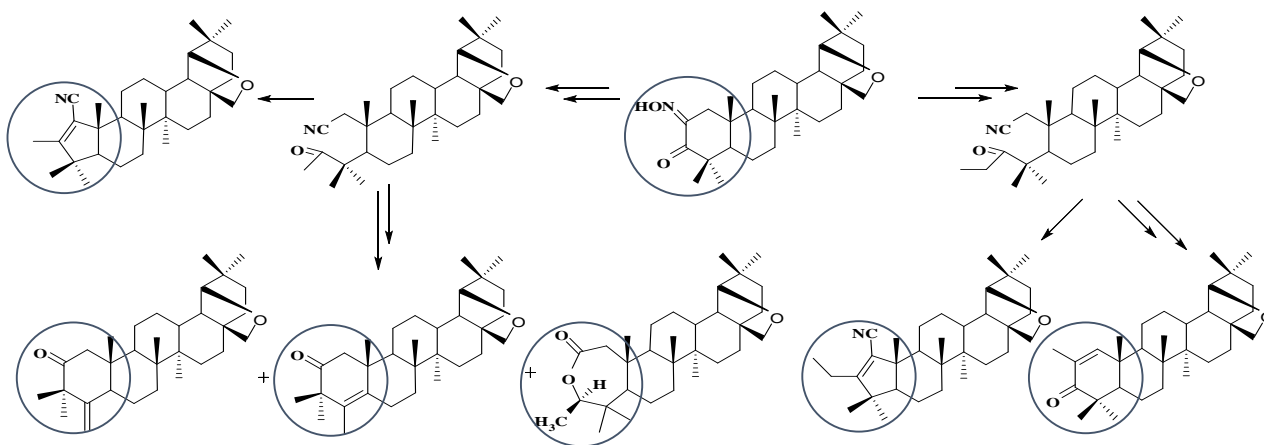


Рисунок 1. Расчетные и экспериментальные зависимости напряжения от степени деформации для образцов полиэфируретанмочевин серии РТ-1 (а) и РТ-4 (б), набухших в пластификаторах, при скорости растяжения 1000 мм/мин и соответственно. Кривые 1 соответствует ненабухшему образцу, кривые 2-4 образцам, набухшим в диэтилгексилсебацinate (объемное содержание полимера в набухшем образце  $\varphi_2=0.8$ ,  $\varphi_2=0.68$  и  $\varphi_2=0.60$  соответственно), кривые 2', 3', 4' образцам, набухшим в трибутилфосфате ( $\varphi_2=0.8$ ,  $\varphi_2=0.68$  и  $\varphi_2=0.60$  соответственно).

Сплошные кривые соответствуют эксперименту, пунктирные - расчетным данным.  
(Рук.: д.т.н., чл.-корр. РАН Стрельников Владимир Николаевич, тел.: (342)237-82-72, e-mail: svn@itcras.ru).

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

39. Для получения биологически активных агентов разработаны методы структурной модификации тритерпеновых 3-кетонс растительного происхождения с формированием новых фармакофорных групп в пяти-, шести- или семичленном кольце А тритерпеноида. На первой стадии алкилированием 2-оксима аллобетулона и последующей фрагментацией цикла А синтезированы ключевые интермедиаты – 2,3-секо-3-метил/этил-3-кетонс. Циклизацией 2,3-секо-алкилкетонс в условиях основного катализа получены А-пентациклические алкеннитрилс. В аналогичных условиях циклизация бромзамещенного 2,3-секо-этилкетонс протекала с отщеплением CN-группы и формированием фрагмента  $\alpha,\beta$ -ненасыщенного кетонс в шестичленном кольце А. Циклизация 3-гидроксипроизводного, полученного восстановлением 2,3-секо-метилкетонс, в условиях системы  $H_2SO_4/AcOH$  сопровождалась *E1*-элиминированием и гидролизом CN-группы с образованием 2-кетонс и семичленного  $\epsilon$ -лактонс.



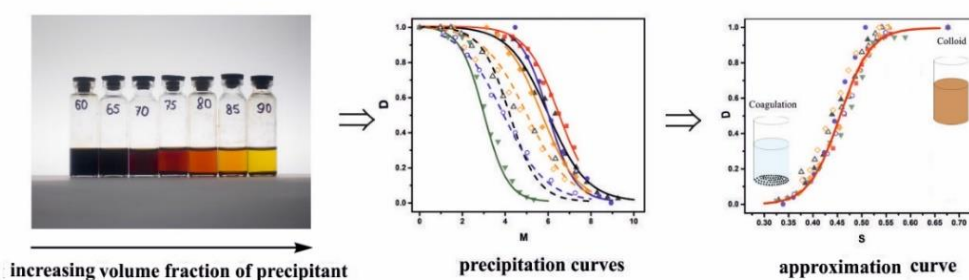
Natural product communications. 2019. V. 14, No 10. P. 1-7; Известия Академии наук. Серия химическая. 2019. № 12. С. 2252-2261.

(Рук.: к.х.н. Гришко Виктория Викторовна, тел: (342)237-82-65, e-mail: grishko@itc.perm.ru).

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

40. Впервые синтезированы анизометричные магнитные частицы гексаферрита бария и феррита меди с линейным размером 50-60 нм и толщиной 8 нм, которые стабилизированы двойным слоем ПАВ и получены устойчивые магнитные коллоиды на их основе. Впервые дано объяснение явлениям, происходящим в коллоидах магнетита в различных органических средах, и количественное описание как полной седиментационной устойчивости, так и промежуточных состояний. Введен новый параметр, характеризующий коагуляционную активность магнитных коллоидов, представляющий собой сумму групповых вкладов всех групп в молекулах, содержащихся в единице объема коллоида. Впервые всесторонне описано поведение магнитных коллоидов в зависимости от длины молекулы ПАВ стабилизирующего слоя и получены твердые пастообразные магнитные коллоиды, дано теоретическое объяснение этого явления.

### Behavior of magnetic fluids in binary organic mixtures



Lysenko S.N., Astaf'eva S.A., Yakusheva D.E., Balasoiu M. Novel parameter predicting stability of magnetic fluids for possible application in nanocomposite preparation. // Applied Surface Science. 2019. T. 463. С. 217-226. Web of Science, Q1, IF 5.155 DOI: 10.1016/j.apsusc.2018.08.236 .

(Рук.: Астафьева Светлана Асылхановна, тел.: (342)237-82-75, e-mail: astafeva.s@itcras.ru).

«Институт экологии и генетики микроорганизмов Уральского отделения Российской академии наук» - филиал федерального государственного бюджетного

учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук (далее – «ИЭГМ УрО РАН»).

ПФНИ 052. Биологическое разнообразие.

41. Изучение функционального и видового разнообразия микроорганизмов, полезных для биоценозов и практической деятельности человека.

Биоинформатический анализ генетических механизмов адаптации алканотрофных актинобактерий (13 родов, 851 вид) к условиям техногенно загрязненных экосистем выявил 110 генов, кодирующих ферменты первичного окисления органических поллютантов (цитохромоксидазы P450, монооксигеназы, диоксигеназы, полимедные оксидазы), 23 гена резистентности к солям тяжелых металлов (белки эффлюкса катионов, сидерофоры, редуктазы, лиазы, транспортные и металлсвязывающие белки), 80 последовательностей, кодирующих факторы стрессоустойчивости и защиты от антибиотиков и экотоксикантов (инактивация или модификация токсичного субстрата, снижение проницаемости клеточной стенки, защитные и эффлюксные белки, транспозаза ISNCY). Выявленные генетические детерминанты использованы для направленного поиска среди биоресурсов Региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов (реестровый номер Уникальной научной установки [www.ckp-rf.ru/usu/73559](http://www.ckp-rf.ru/usu/73559)) целевых штаммов для биоремедиации экосистем, загрязненных нефтепродуктами и микрополлютантами.

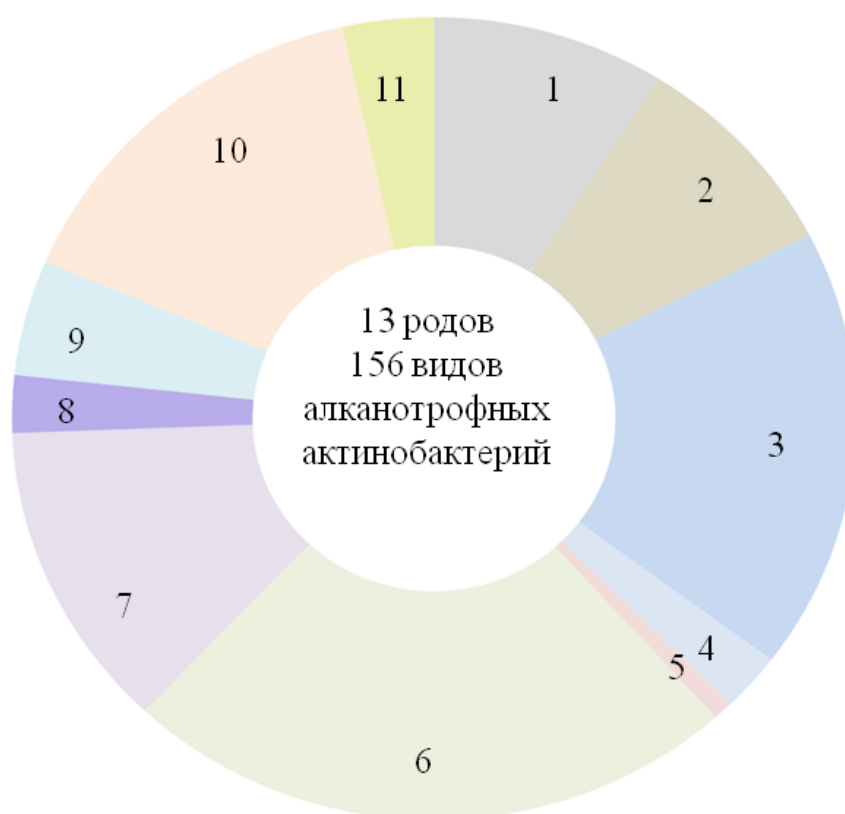


Рисунок 1. Разнообразие генов устойчивости актинобактерий к антропогенному загрязнению: 1 – гены резистентности к тяжелым металлам; 2 – цитохром P450; 3 – диоксигеназы; 4 – полимедные оксидазы; 5 – транспозаза семейства ISNCY/снижение проницаемости клеточной стенки; 6 – монооксигеназы; 7 – системы эффлюкса; 8 – синтез ЭПС; 9 – синтез гликолипидных биосурфактантов; 10 – инактивация/модификация токсиканта; 11 – защита/замена мишени.

Таблица 1. Функциональные гены непатогенных актинобактерий, обеспечивающие их адаптацию к условиям техногенно загрязненных экосистемам

Предполагаемый белок	Кодирующие последовательности
Цитохромоксидазы P450	<i>cypX, cyp135A, RHRU231v1_30027, 40082, 80023, 90024, 210029, 210031, 370005, 390119, 590120, 670024, 750025, 930069, 360047, 360046, 210043, 210033</i>
Моноксигеназы	<i>alkB, ethA, hsaA, hsaB, kshA, mmoAa, mmoAb, mmoB, mmoC, nphA, pamO, pheA, prmA, rutA, ssuD, tfdB, yxeK, RHRU231v1_40012, 40035, 40082, 210014, 210016, 230046, 230081, 230114, 230184, 350066, 360046, 360092, 540046, 560021, 560028, 560036, 560037, 560127, 560132, 560133, 590061, 710020, 710146, 770109, 800084, 870049, 930069, 950026, 950091, 960023</i>
Диоксигеназы	<i>andAa, benA, benB, bopZ, bphA, bphC, catA, chqB, hpd, hsaC, hcaE, mhpB, nidA, pcaG, pcaH, pobB, RHRU231v1_40040, 80011, 190034, 210030, 230111, 230134, 230198, 390148, 420142, 450053, 470173, 560102, 710094, 750030, 770103, 800099, 820050, 840026, 850075, 860027, 910023, 910065, 950103</i>
Полимерные оксидазы	<i>RHRU231v1_660030, 850023, 620027, 470119, 760007, 480098</i>
Устойчивость к тяжелым металлам	<i>cadD, copB, czcD, mctB, merA, merB, merT, merR, modC, RHRU231v1_540057, 540058, 540057, 600014, 650014, 760008, 760009, 850028, 620007, 600028, 160002, 600037, 800059, 90020</i>
Системы эффлюкса	<i>acrA, acrB, acrR/tetR, ceoA, cmrA, cmx, emrB/qacA, emrD, floR, lmrA, marR, mdtA, mdtE, mdtG, mdtH, mdtL, mefA, mepA, nisB, picA, pmrA, qacB, qacH, rarD, tetA, tetB, tetC, tetD, tetL, tolC, yceL</i>
Инактивация/модификация повреждающего агента	<i>aac, aacC, aac(6')-II, aacC4, aadA1, aadA2, aadA9, ampC, aph, aphA1, bacA, bla1, carB, catA1, cfiA, cphA, dfrA1, ermA, ermB, ermC, fabK, folA, fosB, mecA, pbp, pbp2a, pbp5, penA, pikR, pikR2, spcN, strA, strB, vanA, vanB, vanYB, vgb, vatD</i>
Защита/замена мишени	<i>folP, msrA, msrC, sull, sul2, sulA, tetM, tetO, tetW</i>
Транспозаза ISNCY /снижение проницаемости оболочки	<i>oprD, tnpA</i>
Синтез ЭПС	<i>coaD, cpsY, glgB, glgC, pgm, rmlA</i>
Синтез биосурфактантов	<i>yngI, fabG, fabH, fabF, cmaA, acpM, fbpC, fbpB, treY, treZ, treS, fabD</i>

Ivshina I.B., Tyumina E.A., Kuzmina M.V., Vikhareva E.V. Features of diclofenac biodegradation by *Rhodococcus ruber* IEGM 346 // Scientific Reports. 2019. V 9. P. 1–13. WOS и Scopus, Q1.

Krivoruchko A., Kuyukina M., Ivshina I. Advanced *Rhodococcus* biocatalysts for environmental biotechnologies // Catalysts. 2019. 9(3), 236. 19 pp. WOS и Scopus, Q2.

Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Bioremediation of contaminated environments using *Rhodococcus* // In: Biology of *Rhodococcus*. Microbiology Monographs / Ed. A. Steinbüchel. Springer Nature, 2019. V. 16. P. 231–270. WOS и Scopus.

Литвиненко Л.В. Способность актинобактерий родов *Dietzia*, *Gordonia* и *Rhodococcus* аккумулировать ионы никеля // Микробиология. 2019. Т. 88, № 2. С. 207–216. WOS и Scopus.

ПФНИ 062. Биотехнология

42. Поиск и селекция новых перспективных микроорганизмов для целей биотехнологии. Создание иммунохимических диагностических систем.

На основе биоресурсов Региональной профилированной коллекции алканотрофных микроорганизмов (реестровый номер Уникальной научной установки [www.ckp-rf.ru/usu/73559](http://www.ckp-rf.ru/usu/73559)) получены очищенные препараты синтезируемых родококками трегалолипидных биосурфактантов с высокой эмульгирующей, солюбилизующей и биологической активностью. Выявлена физиологическая роль биосурфактантов в процессах бактериальной адгезии и пленкообразования, выполнено математическое моделирование адгезионных процессов, протекающих в водно-углеводородных системах при участии *Rhodococcus*-биосурфактантов. Показана возможность использования *Rhodococcus*-биосурфактантов для снижения фитотоксичности почвы, загрязненной нефтепродуктами и солями тяжелых металлов (см. рис.1).

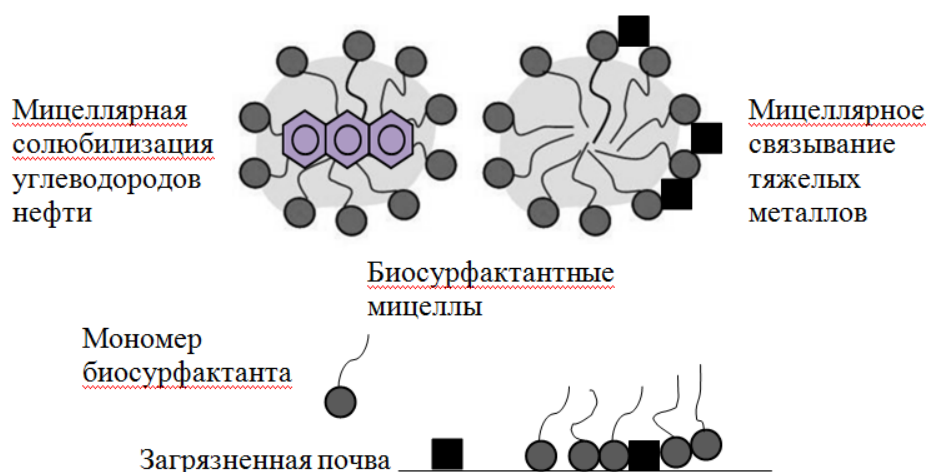


Рисунок 1. Механизмы очистки, загрязненной нефтепродуктами и солями тяжелых металлов почвы под воздействием *Rhodococcus*-биосурфактантов.

Krivoruchko A., Kuyukina M., Ivshina I. Advanced *Rhodococcus* biocatalysts for environmental biotechnologies // Catalysts. 2019. 9(3), 236. 19 pp. WOS и Scopus, Q 2.

Kuyukina M.S., Ivshina I.B. Production of trehalolipid biosurfactants by *Rhodococcus* // In: Biology of *Rhodococcus*. Microbiology Monographs / Ed. A. Steinbüchel. Springer Nature, 2019. V. 16. P. 271–298. WOS и Scopus.

Куюкина М.С., Феоктистова Е.В., Осипенко М.А., Ившина И.Б., Няшин Ю.И. Моделирование динамики межфазного натяжения на границе углеводород-вода при образовании кластеров актинобактерий // Российский журнал биомеханики. 2019. Т. 23. № 1. С. 48–57. Scopus.

Литвиненко Л.В., Тищенко А.В. Изучение фитотоксичности никеля в присутствии *Rhodococcus*-биосурфактантов // Вестник Удмуртского университета. Биология. Науки о земле. 2019. № 1. С. 71-79.

43. Получены новые фундаментальные данные об экологической роли актинобактерий рода *Rhodococcus* в детоксикации эмерджентных загрязнителей, в частности фармполлютантов группы НПВС (нестероидных противовоспалительных средств) – ибупрофена и диклофенака. Оптимизированы условия процесса биодеструкции ибупрофена клетками *Rhodococcus cerastii* ИЭГМ 1243, обеспечивающее 90%-ное разложение фармполлютанта в течение 4 сут, идентифицированы основные продукты окисления, включающие гидроксильированные и декарбоксилированные производные. Выявлены механизмы и пути окислительной биотрансформации диклофенака натрия,

определены клеточная локализация и характер ингибирования соответствующих оксидаз у *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 346.

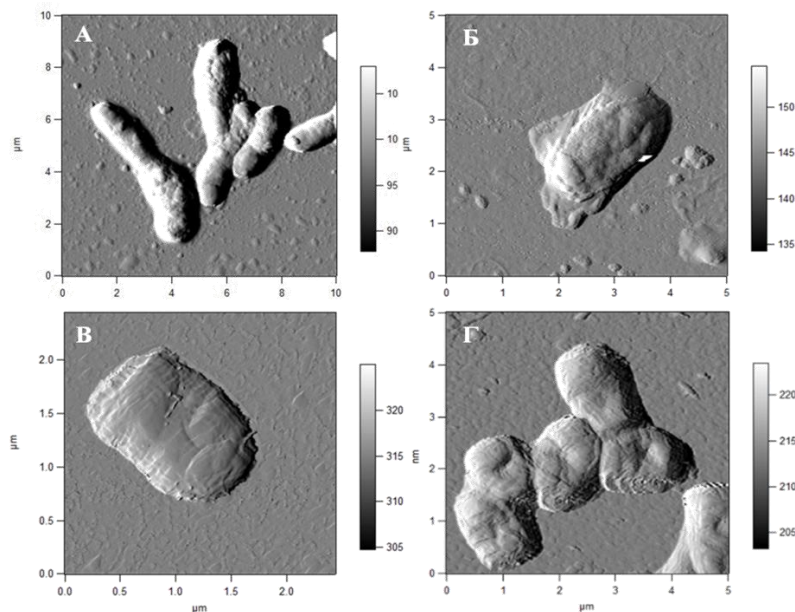


Рисунок 1. АСМ-изображения клеток *R. ruber* ИЭГМ 346. Клетки выращивали в присутствии глюкозы (А); 50 мг/л ДН и глюкозы (Б); 50 мг/л ДН и глюкозы (В,Г). Ivshina I.B., Tyumina E.A., Kuzmina M.V., Vikhareva E.V. Features of diclofenac biodegradation by *Rhodococcus ruber* IEGM 346 // Scientific Reports. 2019. V. 9. P. 1–13. DOI: 10.1038/s41598-019-45732-9. WOS и Scopus.

Tyumina E.A., Bazhutin G.A., Vikhareva E.V., Selyaninov A.A., Ivshina I.B. Diclofenac as a factor in the change of *Rhodococcus* metabolism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 487, N. 1. DOI:10.1088/1757-899X/487/1/012027. WOS и Scopus.

Tyumina E.A., Bazhutin G.A., Selyaninov A.A., Vikhareva E.V., Ivshina I.B. Perspective biocatalysts for detoxification of pharmaceutical pollutants. 2nd Int. Conf. on Risk Assessment of Pharmaceuticals in the Environment, 2019, Barcelona, Spain. P. 47.

Картагена Г.А.д.П., Тюмина Е.А., Ившина И.Б. Биодеструкция диклофенака натрия актинобактериями // Симбиоз Россия. XI Всеросс. конгресс молодых ученых биологов. Пермь, 2019. С. 31–32.

Патент РФ 2707536. Ившина И.Б., Тюмина Е.А., Вихарева Е.В. Штамм *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 346 – биодеструктор диклофенака натрия. Зарегистрирован в Госреестре изобретений РФ 27.11.2019. Бюл. № 33.

ПФНИ 055. Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов.

44. Молекулярные механизмы адаптации микроорганизмов к факторам среды.

Экспрессия полиамин-зависимых генов гибернации рибосом *hpf*, *raiA*, *ettA*, *rsfS*, *rmf* и *yqjD*, детектированная методом РТ-ПЦР с обратной транскрипцией, достигает наибольшего уровня в ранней стационарной фазе периодической культуры *E. coli*, что совпадает с максимальными значениями содержания полиаминов в клетке и численности субпопуляции персистерных клеток. Отсутствие одного или нескольких из перечисленных генов в сконструированных нами делеционных мутантах приводит к снижению персистообразования до контрольного уровня в этот период, что свидетельствует об участии генов гибернации рибосом в формировании персистерного состояния. Исходя из полученных результатов, полиамины как положительные модуляторы экспрессии изученных генов могут быть отнесены к категории регуляторов персистообразования метаболической природы (см. рис.1.)



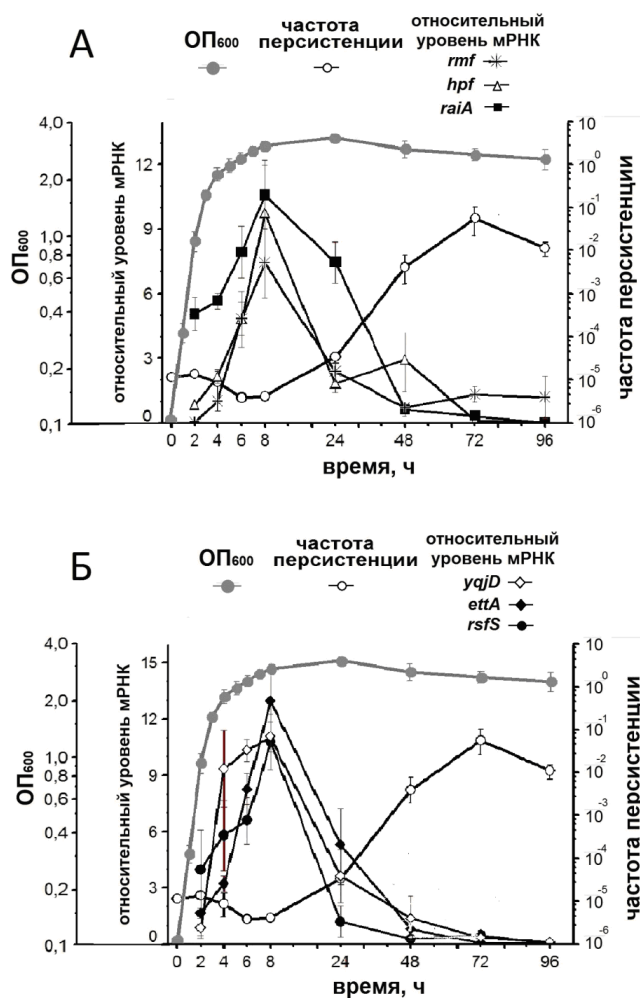
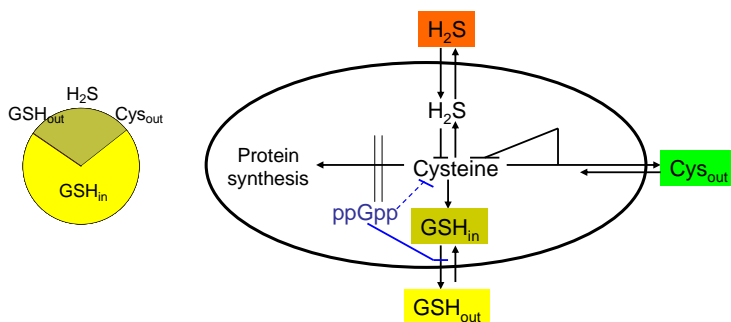


Рисунок 1. Вовлеченность генов гибернации рибосом в регуляцию персистенции *E. coli*.

45. Исследование роли внутриклеточных редокс-систем в адаптации бактерий к действию экстремальных факторов окружающей среды.

Избыток цистеина, возникающий при резком ингибировании синтеза белка, представляет значительную опасность для клеток из-за его способности потенцировать окислительный стресс. Мы показали, что в этих условиях у бактерий *Escherichia coli* более 90% избыточного цистеина включается в глутатион, часть которого выходит в среду, 1-3% разлагается с образованием H<sub>2</sub>S при участии цистеинсинтазы CysM, остальное приходится на долю экспорта свободного цистеина в среду. В результате в клетках дикого типа поддерживается гомеостаз цистеина, который нарушается у мутантов, дефицитных по синтезу глутатиона и регуляторного нуклеотида гуанозинтетрафосфата. Оба мутанта проявляют повышенную чувствительность к действию перекиси водорода.



Smirnova G.V., Tyulenev A.V., Bezmaternykh K.V., Muzyka N.G., Ushakov V.Y., Oktyabrsky O.N. Cysteine homeostasis under inhibition of protein synthesis in *Escherichia coli* cells. *Amino Acids* 2019. V. 51. P. 1577-1592. DOI: 10.1007/s00726-019-02795-2 (Q1 Scopus; IF WoS 2.52).

Отдел по исследованию политических институтов и процессов ПФИЦ УрО РАН

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

46. Разработан индекс нормативного проявления институционализации этничности в российских национальных республиках. Выявлено, что связь между этнической структурой населения республик и нормативной институционализацией этничности не линейная, а U-образная, квадратическая. Наиболее высокая степень институционализации этничности характерна для республик со средней долей титульной группы в составе населения, напротив слишком большая доля титульной группы снижает стимулы к институционализации этничности, а слишком малая – ограничивает возможности для удовлетворения стремления к институционализации этничности. При этом выявлено то, что важными факторами на думских выборах, влияющими на лояльное по отношению к партии власти голосование в национальных республиках, являются как доля титульной группы в составе населения республик, так и формат пространственной локализации титульной группы на территории региона.

Panov P., Ross C. (2019) Volatility in Electoral Support for United Russia: Cross-Regional Variations in Putin's Electoral Authoritarian Regime // *Europe-Asia Studies*. – 2019. – Vol. 71. – № 2. – P.268–289. DOI: 10.1080/09668136.2018.1563050;

Панов П.В. Пространственная локализация этнических групп как фактор голосования на выборах в национальных республиках Российской Федерации // *Вестник Пермского научного центра УрО РАН*. – 2019. – № 2. – С. 53–62. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.2.6;

Панов П.В. Структурные факторы институционализации этничности в политике «национальных республик» Российской Федерации // *Вестник Пермского университета. Серия Политология*. –2019. – № 4. (в печати).

(Рук.: д.пол.н. Панов Пётр Вячеславович, e-mail: panov.petr@gmail.com).

47. Основываясь на анализе положения внешних мигрантов в религиозном пространстве Пермского края, выявлено то, что они не играют в настоящее время критической роли в мусульманской умме, являясь финансовым донором для региональной общины, выступая в качестве обоснования для постройки новых зданий религиозного назначения и потенциальной группы поддержки в случае обострения конфликта между двумя ведущими региональными духовными управлениями в крае. Вместе с тем, можно предположить, что данный сегмент мусульманской уммы будет оказывать все более активное воздействие на религиозную среду.

Riazanova S. Migrants and conflicts within local Ummah of the Perm krai: a playing card or a social actor // *Stanovnistvo*. – 2019. – № 4. – С.97–111. doi.org/10.2298/STNV1901097R.

(Рук.: д.ф.н. Рязанова Светлана Владимировна, e-mail: svet-gyazanova@yandex.ru).

48. Основываясь на анализе публичной риторики глав субъектов РФ в ходе президентских выборов 2018 г., в которой акцент ставился на подчеркивании исключительной значимости самого события и необходимости участия в выборах каждого избирателя, показано, что политика государственного управления электоральным участием, ориентированная на формирование универсальной «электоральной идентичности» российского избирателя как «избирателя вообще», препятствует развитию партийно-идеологической идентификации электората.

Ковин В.С. Региональная политика управления электоральным участием и президентская кампания 2018 года: Публичная активность и электоральная риторика глав российских регионов // *Политическая наука*. – 2019. – № 1 – С. 109–129. DOI: 0.31249/poln/2019.01.06.

(Рук.: к.и.н. Ковин Виталий Сергеевич, e-mail: kovinvit@gmail.com).

49. Оценка влияния крупного бизнеса на локальные политические поля позволила выявить эффекты, с одной стороны, его политической активности – снижение самостоятельности органов местного самоуправления, однообразие локальных политических ландшафтов муниципалитетов, где расположены крупные предприятия, с другой стороны, отказа крупного бизнеса от политического участия на уровне субрегиона – динамичность локальных политических процессов, нестабильность локальных политических порядков, разнообразие локальных политических ландшафтов. Определено то, что в разных социально-экономических контекстах автономность местной легислатуры от главы города имеет разную природу и разные источники. В моногородах автономия городских дум от главы может стать результатом политической активности градообразующего предприятия, в непромышленных городах – следствием фрагментации локальной элиты и активности малого и среднего бизнеса.

Витковская Т.Б. Городские Думы в российских малых городах: профессионализм депутатов и эффективность представительной власти. // Вестник Пермского научного центра. 2019. – №3. – С. 108– 113. DOI: 10.7242/2658-705X/2019.3.11;

Витковская Т.Б. Большой бизнес в малой политике: формы и динамика участия градообразующих предприятий в локальных политических процессах // *Ars Administrandi* (Искусство управления). – 2019. – № 3 (в печати);

Рябова О.А. Роль градообразующих предприятий в формировании политического поля в малых промышленных городах (на примерах Пермского края и Кировской области) // Вестник Пермского университета. Политология. – 2019. – № 4 (в печати).

(Рук.: к.пол.н. Витковская Татьяна Борисовна, e-mail: lapranata@gmail.com; исполнитель - к.пол.н. Рябова Оксана Александровна, e-mail: ryabova.ok@gmail.com).

Отдел истории, археологии и этнографии ПФИЦ УрО РАН

ПФНИ 186: Комплексное исследование этногенеза, этнокультурного облика народов, современных этнических процессов, историкокультурного взаимодействия в России и мире.

50. Завершена работа над изучением особенностей реализации национальной политики в 1918-1930-е гг. в Пермском Прикамья: раскрыты разные аспекты ее реализации, деятельность общественных институтов, государственной власти, проекты в сфере административного деления, создание Коми-Пермяцкого круга, политики в сфере образования и культуры. Итоговым результатом стала подготовленная монография.

Современные аспекты реализации государственной национальной политики в 2019 г. стали предметом обсуждения на пермском всероссийском форуме национального единства, обсуждались и опубликованы итоги исследований по подготовке к переписи 2020 г., миграционной ситуации в регионе, языковой политике.

(Рук.: к.и.н., Каменских Михаил Сергеевич; e-mail: pomidorrr@mail.ru).

51. Важнейшим итогом исследований этого года стал выпуск двух тематических словарей лексики русских говоров Пермского Прикамья: лексика традиционного костюма и лексика мифологических рассказов. Это новаторские словари, подготовленные на основе многолетних экспедиционных исследований авторов, показывают все многообразие как самого явления, так и его языковое оформление. Исследовались также комплексы традиционного костюма удмуртов и марийцев, старообрядческого населения региона.

(Рук.: д.и.н., чл-корр. РАН Черных Александр Васильевич, e-mail: atschernych@yandex.ru).

ПФНИ187: Сохранение и изучение историко-культурного наследия.

52. Важнейшим результатом является открытие на Рождественском городище мастерской медника, специализирующегося на производстве популярной в средневековье медной посуды. Это первая детально изученная медницкая мастерская в Волго-Камском регионе. Полученный материал позволяет подробно реконструировать процесс получения листовой меди, проследить технологию изготовления медной посуды, пластинчатых заклепок, проволоки, используемой для создания ювелирных изделий, и пр. Таким образом

Предуралье было поставщиком медной посуды в XII-XIV вв. для всей Урао-Сибирской зоны.

(Рук.: д.и.н. Крыласова Наталья Борисовна, e-mail: n.krylasova@mail.ru).

Лаборатория механобиологии живых систем ПФИЦ УрО РАН

ПФНИ 062: Биотехнология

53. Алгоритм создания биокатализаторов с высокой операционной стабильностью (Рис.1). Разработана схема получения биокатализаторов на основе иммобилизованных бактерий-деструкторов органических соединений, состоящая из следующих этапов: выбор метода иммобилизации → подбор штамма (впервые показано, что при выборе штамма следует ориентироваться на структурные особенности, химический состав и физико-химические свойства клеточной поверхности, а также адгезивную активность клеток) → подбор носителя → модификация поверхности носителя (предлагается новый перспективный агент для обработки поверхностей – *Rhodococcus*-биосурфактант) → подбор условий иммобилизации. Алгоритм применим при разработке биокатализаторов для биоремедиации, очистки сточных вод, биофильтрации, утилизации токсичных отходов, биосинтеза, направленных биотрансформаций с целью получения биологически активных соединений или интермедиатов для их синтеза.



Рисунок 1 – Схема получения биокатализаторов на основе иммобилизованных родококков

Krivoruchko A., Kuyukina M., Ivshina I. Advanced *Rhodococcus* biocatalysts for environmental biotechnologies // Catalysts. – 2019. – 9(3), Special Issue “Biocatalysts: Design and Application”. – Article 236. – 19 pp. – DOI 10.3390/catal9030236. Scopus/WoS, Q2, импакт-фактор 3,465.

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

54. Морфолого-физиологические и генетические механизмы адаптации бактерий к токсичным экополлютантам (Рис.2). С использованием атомно-силовой микроскопии и данных по электрокинетической подвижности клеток исследованы морфометрические и физико-химические характеристики углеводородокисляющих актинобактерий в присутствии 2-(2-[2',6'-дихлорфенил]-амино)-фенилуксусной кислоты (диклофенак натрия). Определены основные ответные реакции актинобактерий на токсическое действие данного соединения; показано, что они зависят от концентрации поллютанта. С помощью биоинформатического анализа выявлено 111 генов, кодирующих факторы резистентности углеводородокисляющих актинобактерий к повреждающим агентам. Полученные

результаты имеют фундаментальное (понимание механизмов адаптации бактерий) и прикладное (условия биодegradации, гены для клонирования и сайт-специфического мутагенеза) значение.

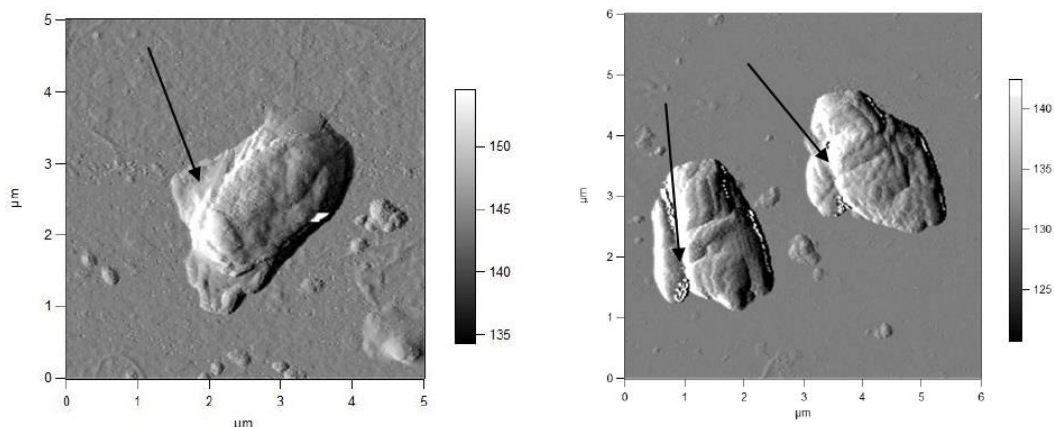


Рисунок 2 – Родококки, выращенные в присутствии 50 мг/л 2-(2-[2',6'-дихлорфенил]-амино)-фенилуксусной кислоты, в атомно-силовом микроскопе. Стрелками указаны зоны повреждения клеток и изливания клеточного содержимого

Тюмина Е.А. Биодеструкция диклофенака натрия актинобактериями рода *Rhodococcus* / Дисс. ...канд.биол.наук. – Пермь, 2019. – 182 с.

55. Динамика перехода термодинамических систем в критическое состояние (Рис.3). Исследована с помощью инфракрасной термографии и математического моделирования в молочной железе, в деформируемых сплавах, на поверхности носителя с иммобилизованными бактериями. Сформулирована гипотеза о механизме деформации твердых материалов (сплавов) локализованным сдвигом при динамическом нагружении как об изменении внутренней структуры материала. Разработана прогнозная модель распределения температур на поверхности полистирольного микропланшета в процессе бактериальной адгезии. Составлено уравнение динамики температуры в молочной железе, пригодное для мониторинга и выявления нормального и патологического состояния данного органа.

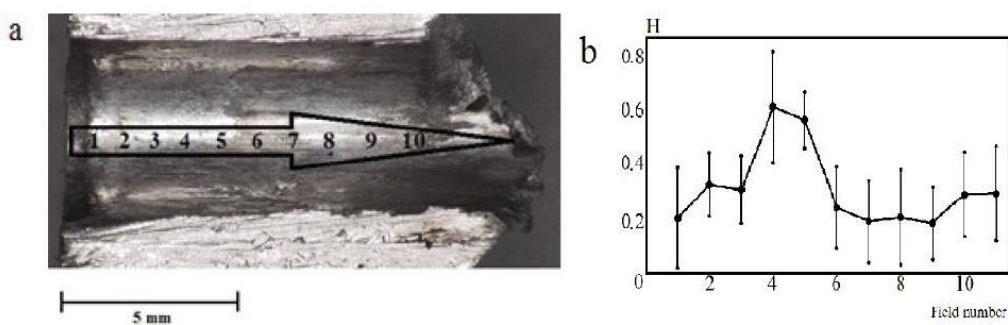


Рисунок 3.1 – Поверхность трещины в образце металла 10 мм толщиной (а) и индекс Херста в различных точках (b)

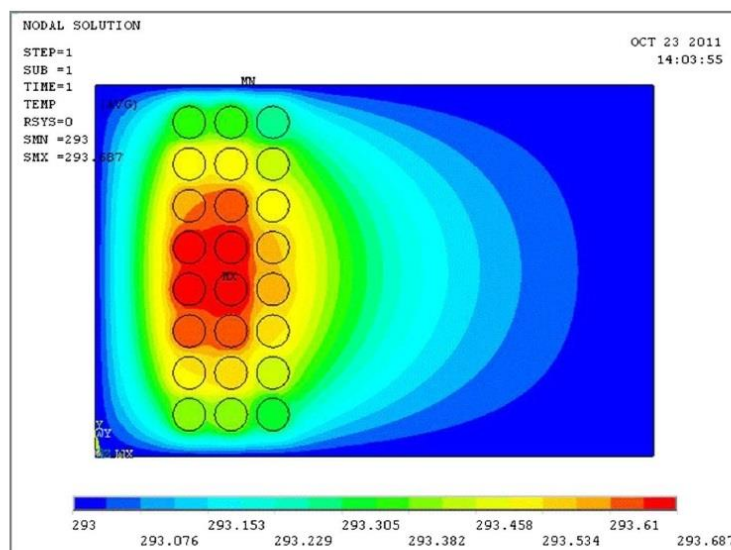


Рисунок 3.2 – Модель распределения температур на поверхности полистирольного 96-тилуночного планшета в процессе адгезии клеток *Rhodococcus ruber* ИЭГМ 342 в программе ANSYS 12.1. Ряды лунок (слева направо): обработанные *Rhodococcus*-биосурфактантами с клеточной суспензией – необработанные с клеточной суспензией – необработанные со стерильным буфером. Остальная поверхность планшета – пустые лунки без жидкости

Sokovikov M., Uvarov S., Simonov M., Oborin V., Chudinov V., Naimark O. The study of mechanical and microstructural aspects of localized shear fracture in metals under dynamic loading // Procedia Structural Integrity. – 2019. – V.18. – P. 262-267. DOI 10.1016/j.prostr.2019.08.162.

56. Новые перспективные соединения с выраженной биологической активностью (Рис.4). С помощью программы PASS online среди 15 продуктов биодеструкции опасного экополлютанта 2-(2-[2',6'-дихлорфенил]-амино)-фенилуксусной кислоты (диклофенак натрия) найден метаболит с высокой ингибирующей и антисеборейной активностями, также перспективный при лечении ринита и фобических расстройств. Показано отсутствие токсичности для ряда других метаболитов.

Таблица 1 – Расчет прогнозируемой биологической активности бензохинонимина (соединение 5) с использованием программы PASS Online

$P_a$	$P_i$	Предполагаемая активность
0,929	0,003	Субстрат CYP2J2
0,925	0,003	Субстрат CYP2J
0,887	0,006	Ингибитор хлордекон редуктазы
0,837	0,009	Ингибитор глюконат 2-дегидрогеназы
0,807	0,011	Ингибитор экспрессии HIF1A
0,797	0,012	Антагонист рецепторов анафилатоксина
0,758	0,021	Ингибитор гликозилфосфатидилинозитол фосфолипазы
0,757	0,008	Ингибитор линолеатдиол синтетазы
0,744	0,017	Субстрат GST A
0,744	0,053	Ингибитор цитохром-с редуктазы
0,728	0,023	Ингибитор НАДФН-пероксидазы
0,728	0,064	Лечение фобических расстройств
0,719	0,003	Лечение ринита
0,707	0,036	Антисеборейное действие
0,703	0,054	Агонист целостности мембран

Тюмина Е.А. Биодеструкция диклофенака натрия актинобактериями рода *Rhodococcus* / Дисс. ...канд.биол.наук. – Пермь, 2019. – 182 с.



(Рук.: к.б.н. Криворучко Анастасия Владимировна, e-mail: nast@iegm.ru).

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

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

57. Самостоятельное региональное устойчивое продовольственное обеспечение возможно, при условии стабилизации и совершенствовании кормовой базы, эта задача решается путем вовлечения в производство высокопродуктивных видов и сортов кормовых растений, а также за счет интродукции, наиболее полно использующих природно-климатические условия региона. Этим требованиям, соответствуют многолетние травы. Одной из таких культур для Пермского края является многолетняя бобовая культура эспарцет песчаный. Сотрудниками лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ разработаны приемы возделывания эспарцета песчаного на зелёную массу в Предуралье. Установлена оптимальная норма высева, высота скашивания травостоя, рассмотрена необходимость проведения известкования почвы. Даны рекомендации по применению сортов эспарцета. Отмечено высокое качество получаемого корма. Содержание сухого вещества и сырой клетчатки находится в пределах зоотехнического оптимума. Концентрация обменной энергии составляет 9,9-10,1 МДж/кг, содержание сырого протеина - от 12,3 до 19,0 % в сухом веществе. Возделывание эспарцета песчаного является энергетически и экономически выгодным.

Матолинец Н.Н., Волошин В.А., Майсак Г.П. Приёмы возделывания эспарцета песчаного в Среднем Предуралье на зелёную массу. - Пермь: Изд-во «ОТ и ДО» 2019. – 42 с.

ПФНИ 157. Теоретические основы молекулярно-генетических методов управления селекционным процессом с целью создания новых генотипов животных, птиц, рыб и насекомых с хозяйственно- ценными признаками, системы их содержания и кормления.

58. Для нормализации обменных процессов и укрепления иммунитета организма животных все больше внимания должно уделяться применению экологически безопасных лекарственных средств природного происхождения, обладающих высокой биологической доступностью, отсутствием побочных эффектов и привыкания. Особое внимание заслуживает использование в кормлении скота кормовых средств, обладающих иммуностимулирующим действием, полученных из натурального сырья. Натуральные лекарственные растительные кормовые средства являются экологически чистыми. Одним из новых кормовых средств, обладающих таким действием на организм животного, является витаминно-травяная мука (ВТМ) из левзеи сафлоровидной. В руководстве предложены рекомендации по использованию ВТМ из левзеи сафлоровидной в кормлении крупного рогатого скота (коров, молодняк). При скармливании ВТМ создаются более благоприятные условия для жизнедеятельности рубцовой микрофлоры, отмечается положительное влияние на иммуно-биохимические показатели крови животных, особенно по содержанию холестерина. Использование ВТМ из левзеи сафлоровидной в рационах коров на комплексах по производству молока в условиях Среднего Предуралья (Пермский край) позволило повысить молочную продуктивность коров, массовую долю жира молока и массовую долю белка, снизить сервис-период у коров на 19 дней. Экономический эффект от использования ВТМ из левзеи сафлоровидной в кормлении коров (в период интенсивного раздоя за первые 120 дней лактации) составил 3153 рублей на 1 голову. Использование ВТМ из левзеи сафлоровидной в рационах телят 1-3-х месячного возраста способствовало увеличению прироста живой массы телят, снижению расхода кормов на 1 кг прироста живой массы на 8-10 %.

Морозков Н.А. Руководство по использованию витаминно-травяной муки из левзеи сафлоровидной в кормлении крупного рогатого скота - Пермь: Изд-во «ОТ и ДО» 2019. – 43 с.