



Министерство науки и высшего образования РФ

ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»

Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН

Институт биофизики СО РАН

Институт химии и химической технологии СО РАН

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Институт леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН

Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера

Институт космических технологий СО РАН

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Междисциплинарной конференции
молодых учёных ФИЦ КНЦ СО РАН

(КМУ-XXIX)

КРАСНОЯРСК | 16 АПРЕЛЯ 2026 ГОДА

Министерство науки и высшего образования РФ
ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»
Институт физики им. Л. В. Киренского СО РАН
Институт биофизики СО РАН
Институт химии и химической технологии СО РАН
Институт вычислительного моделирования СО РАН
Институт леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН
Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера
Институт космических технологий СО РАН

Тезисы докладов

*Междисциплинарной конференции
молодых учёных ФИЦ КНЦ СО РАН
(КМУ- XXIX)*

16 апреля 2026 года, г. Красноярск

Красноярск
2026

УДК 50(082)
ББК Б.я431
М43

М43

Междисциплинарная конференция молодых учёных ФИЦ КНЦ
СО РАН (КМУ- XXIX): тезисы докладов (Красноярск,
16 апреля 2026 г.) – Красноярск: ИФ СО РАН, 2026. – 189 с.

ISBN 978-5-6056648-0-2

© Авторы, содержание тезисов, 2026
© ФИЦ КНЦ СО РАН, оформление, 2026

ISBN 978-5-6056648-0-2

**Сборник трудов междисциплинарной конференции
молодых учёных ФИЦ КНЦ СО РАН,
16 апреля 2026 г., г. Красноярск**

В настоящий сборник включены материалы, представленные на междисциплинарную конференцию ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН». Конференция проводится Министерством науки и высшего образования РФ, Федеральным исследовательским центром РАН, Сибирским федеральным университетом, школами РАН. Материалы воспроизведены с авторских оригиналов, в связи с чем Оргкомитет конференции не несёт ответственности за допущенные опечатки и стилистические погрешности.

Оргкомитет

Василий Филиппович Шабанов – академик РАН, науч. руководитель ФИЦ КНЦ СО РАН;
Александр Артурович Шпедт – член-корр. РАН, директор ФИЦ КНЦ СО РАН;
Сергей Николаевич Варнаков – д.ф.-м.н., зам. директора ФИЦ КНЦ СО РАН;
Светлана Николаевна Софронова – д.ф.-м.н., зам. директора ФИЦ КНЦ СО РАН;
Владимир Викторович Шайдуров – член-корр. РАН, директор ИВМ СО РАН;
Владимир Иванович Кузьмин – д.х.н., директор ИХХТ СО РАН;
Эдуард Вильямович Каспаров – д.м.н., директор НИИ МПС;
Александр Владимирович Пименов – д.б.н., зам. директора ИЛ СО РАН;
Денис Юрьевич Рогозин – д.б.н., зам. директора ИБФ СО РАН;
Алексей Эдуардович Соколов – к.ф.-м.н., зам. директора ИФ СО РАН;
Алексей Геннадьевич Липшин – к.с.-х.н., директор КрасНИИСХ;
Виктор Яковлевич Зырянов – д.ф.-м.н., зав. отделом «ОМЭ» ФИЦ КНЦ СО РАН;
Иван Викторович Петерсон – к.х.н., зав. отделом «КРЦКП» ФИЦ КНЦ СО РАН;
Сергей Викторович Столяр – д.ф.-м.н., зав. отделом «МНЦИЭСО» ФИЦ КНЦ СО РАН;
Анна Сергеевна Кичкайло – д.б.н., зав. отделом «ЦУЛТ» ФИЦ КНЦ СО РАН;
Юрий Владимирович Князев – к.ф.-м.н., председатель СНМ ФИЦ КНЦ СО РАН.

Программный комитет

Ю.В. Князев, к.ф.-м.н., ИФ СО РАН (Председатель комитета);
И.В. Петерсон, к.х.н., ИХХТ СО РАН (Зам. председателя комитета);
Д.С. Цикалов, к.ф.-м.н., ИФ СО РАН (Учёный секретарь комитета);
Ю.Н. Маляр, к.х.н., ИХХТ СО РАН;
В.А. Голубков, к.х.н., ИХХТ СО РАН;
К.Ю. Сапожникова, к.б.н., ИБФ СО РАН;
К.В. Афоничева, НИИ МПС;
С.В. Жила, к.б.н., ИЛ СО РАН;
Е.П. Магденко, к.ф.-м.н., ИВМ СО РАН.

Содержание

Секция «Физика».....	13
<i>Большаков С.А.</i> Диагностика почв с помощью специализированных индексов по данным мультиспектральной съемки с БПЛА.....	14
<i>Борисов В.А.</i> Новый способ увеличения коэффициента усиления в щелевых полосковых антеннах вытекающей волны для приема навигационных сигналов ГНСС	15
<i>Бриль И.И., Воронин А.С.</i> Лазерно-индуцированный способ металлизации полимеров.....	16
<i>Гамов А.</i> Квантовые эффекты, магнитная анизотропия и температурная зависимость спин-флоп перехода в антиферромагнитном топологическом изоляторе MnBi_2Te_4	17
<i>Давлетишин Н.Н.</i> Фантомная визуализация в задачах отображения микроскопических структур.....	18
<i>Дергунов А.В.</i> Анализ сходимости параметров приземного ветра по данным глобальной модели NCEP GFS и наземных измерительных постов в Красноярске	19
<i>Дударев А.В.</i> Поляронные эффекты в обменном взаимодействии коррелированной p-d -системы: конкуренция Хольштейновского и Пайерлсовского вкладов	20
<i>Еремкин Е.В.</i> Свойства плазмонов с переносом заряда на графене	21
<i>Забродин А.Н.</i> Использование дистанционных данных о радиационной мощности теплоизлучения FRP в оценке пожарного воздействия и объемов выгорающей фитомассы	22
<i>Ким Л.А.</i> Двухтерминальный транспорт в наклонных решётках: от баллистического режима Ландауэра к диффузионному режиму Исаки-Цу.....	23
<i>Ким П.Н.</i> Фазовое управление излучением в лидаре на основе перестраиваемой твердотельной метаповерхности.....	24
<i>Костиков Д.А.</i> Управление линейной поляризацией света хиральным жидким кристаллом с коническим поверхностным сцеплением: влияние электрического напряжения и угла падения излучения.....	25
<i>Краснощеков К.В.</i> Динамика изменения концентраций СО над крупными городами Красноярского края и республики Хакасия за 2019 – 2024 гг.	26
<i>Кузнецова А.С.</i> Интеграция данных мультиспектральной съемки с БПЛА и ГИС-технологиями для решения задач в сельском хозяйстве	27
<i>Ласуков А.И.</i> Размерный эффект в оксиде $\varepsilon\text{-Fe}_2\text{O}_3$ и критический размер частиц для наличия магнитного перехода «80–150 К»	28

<i>Лесной М.А.</i> Асимметрия электроуправляемого селективного отражения света холестериком при тангенциально-конических граничных условиях.....	29
<i>Макаров Д.С.</i> Восстановление толщин ледового и снежного покровов на основе измерений навигационных сигналов отраженных от поверхности пресноводных водоемов	30
<i>Малимонов М.И.</i> Отображение 3D-объектов в Maplibre GL с учетом рельефа. Проблемы и решения	31
<i>Мальканова А.В.</i> Предикторы пожарной активности на территории Якутии на основе анализа спутниковых данных и метеорологических показателей	32
<i>Мураев П.С.</i> Транспорт невзаимодействующих бозонов в ромбической цепочке: влияние дефазировки и внешнего синтетического поля	33
<i>Навесова Ю.В.</i> Поляризационно-оптические свойства ряда фотосинтетических пигментов в нематике ЛН-396.....	34
<i>Пушкарев А.А.</i> JavaScript библиотека для визуализации пространственных GRID-данных в MapLibre GL JS	35
<i>Рогова А. В.</i> Формирование активного фотопротеина. Теория и эксперимент.....	36
<i>Смородина Е.Д.</i> Влияние одноионной анизотропии на суперпарамагнитную релаксацию в наночастицах ферригидрита.....	37
<i>Соколов М.М.</i> Моделирование спектров пропускания фотонных кристаллов из анодного оксида алюминия с эллиптическими пораами	38
<i>Суздаlev Г.Г.</i> Исследование магнитных свойств редкоземельного ортоферрита $\text{HoFe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_3$	39
<i>Сурикова К.В.</i> Сравнительный анализ методов классификации данных мобильного лазерного сканирования для задач паспортизации автомобильных дорог	40
<i>Сыроежко М.Ю.</i> Вариативность данных о влажности поверхности по материалам съемки SMAP для арктической зоны Красноярского края	41
<i>Тарасова А.С.</i> Исследование термодинамических свойств оксибората $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$...	42
<i>Теплинская А.С.</i> Быстрый расчет тензора диэлектрической проницаемости нанопленок благородных металлов в диапазоне частот ТГц-УФ.....	43
<i>Третьяков П.Д.</i> Пожарное районирование в арктической зоне Сибири на основе данных дистанционного зондирования о фактических пожарных событиях	44
<i>Усов А.С.</i> Длительные хронологии послепожарной нарушенности древостоев на территории Эвенкии на основе спутниковых данных	45
<i>Харламов Д.В.</i> ГНСС-рефлектометрия ледовых покровов с использованием беспилотных летательных аппаратов	46
<i>Хороший И.Н.</i> Анизотропия спиновых волн в поляризованной фазе соединения $\text{Mn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{Si}$	47
<i>Царенко А.В.</i> Получение планарных островковых наноструктур золота методом микросферной литографии	48

<i>Якимов Н.Д.</i> Изменение спектральных характеристик ландшафтов при локальной трансформации растительного покрова в условиях Арктики	49
Секция «Химия и химические технологии»	51
<i>Агеев Я.И.</i> Получение и свойства магнитоотделяемых пористых углеродных материалов на основе гидроуглей из древесины осины	52
<i>Антипова Ю.В.</i> Синтез и исследование допированных ионами Eu^{2+} , Dy^{3+} алюминатов стронция, обладающих длительным послесвечением	53
<i>Бережная Я.Д.</i> Сульфатирование ксилана сульфаминовой кислотой в присутствии оксидов металлов.....	54
<i>Бурбела Е.Р.</i> Изучение влияния степени обводненности модельных водонефтяных эмульсий на их реологические свойства	55
<i>Голубков В.А.</i> Развитие теории каталитического действия твёрдых кислот в водной среде на основе представлений о двойном электрическом слое на границе раздела фаз: влияние адсорбции электронейтральных реагентов	56
<i>Даций Н.П.</i> Влияние продолжительности гидротермальной обработки на характеристики синтетического валлериита, модифицированного кобальтом	57
<i>Донской Н.Д.</i> Фотокаталитические свойства композитных гетероструктур на основе слоистого сульфид-гидроксидного материала	58
<i>Емельянова В.С.</i> Влияние остаточного лигнина на свойства микрофибриллированных целлюлоз древесины сосны	59
<i>Иваненко Т.Ю.</i> ЯМР исследование влияния воды и ионных жидкостей на локальную динамику и фазовое поведение асфальтенов	60
<i>Кормес Е.С.</i> Квантово-химическое исследование природы металл-лигандного взаимодействия в комплексах Ce(III) , Eu(III) и Yb(III) с фосфорорганическими лигандами HDEHP	61
<i>Корсаков А.В.</i> Влияние температуры и катализатора на выход ванилина при окислении сосновой древесины кислородом в щелочной среде	62
<i>Кроликов А.Е.</i> Влияние экспериментальных параметров на процесс ультразвукового диспергирования алюминиевой фольги	63
<i>Кузин Н.Д.</i> Электрохимическое восстановление левулиновой кислоты в присутствии соединений никеля (II) на различных электродах в неводных средах	64
<i>Михейкина А.А.</i> Фотоизомеризация азопроизводных лигнинов с ароматическими карбоксильными группами	65
<i>Остапенко И.А.</i> Моноядерные ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}$) пинцерные комплексы никеля (II) и платины (II) в реакциях электрохимического восстановления протонов.....	66
<i>Попова А.Н.</i> Гранулированные сорбенты на основе композиции цеолитоподобных цирконосиликатов с высококальциевой летучей золой и их сорбционные свойства в отношении Cs^+ , Sr^{2+} и Nd^{3+}	67

<i>Селезнева О.С.</i> Исследование влияния восстановителя и состава растворителя на выход и состав продуктов восстановительного каталитического фракционирования древесины березы и ели в присутствии катализатора Ru/C	68
<i>Семке Е.Н.</i> Изучение процесса деполимеризации регулярных полисахаридов с применением твердых кислотных катализаторов	69
<i>Серета М.В.</i> Влияние условий процесса кватернизации на структурно-молекулярные характеристики арабиногалактана	70
<i>Терихова С.А.</i> Изучение влияния степени обводненности модельных водонефтяных эмульсий на молекулярный транспорт в углеводородной фазе методом диффузионного ЯМР.....	71
<i>Троцкий Ю.А.</i> Получение многоатомных спиртов из арабиногалактана в присутствии бифункциональных Ru-катализаторов на основе модифицированного мезопористого силиката SBA-15.....	72
<i>Ултургашев Т.Е.</i> Исследование адсорбции йода из гидроминерального сырья.....	73
<i>Фесик С.А.</i> Методы повышения физико-механических характеристик композиционных материалов при совместном воздействии УФ-излучения и повышенных температур	74
<i>Флерко М.Ю.</i> Динамика взаимодействия наночастиц серебра с антибиотиками цефалоспоринового ряда.....	75
<i>Харченко И.А.</i> Разделение эмульсий дизельное топливо – вода с помощью микрофльтрационных керамических мембран.....	76
<i>Эпов Э.А.</i> Георадиохимическая природа восстановительных свойств слаборадиоактивных редкометальных руд Томторского месторождения	77
Секция «Био- и медицинские технологии»	79
<i>Аверьянов А.С.</i> Особенности развития семенного потомства <i>Larix sibirica</i> Ledeb. из контрастных экотопов Сибири для создания устойчивых лесных культур при озеленении г. Красноярска	80
<i>Андрущенко С.В.</i> Влияние инвазии <i>Viviparus viviparus</i> (Linnaeus, 1758) на биохимическое качество зообентоса в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища	81
<i>Артемова С.А.</i> Конструирование и свойства новых вариантов Ca^{2+} -регулируемых фотопротеинов на основе обелина.....	82
<i>Бондаренко Е.И.</i> Эффективность комплементации фрагментов люциферазы при сборке иммунокомплексов на вирусе клещевого энцефалита.....	83
<i>Веселова Н.Е., Цуканов В.В., Смольникова М.В.</i> Ассоциация полиморфизма генов воспалительных цитокинов в крови с клиническими проявлениями инвазии <i>Opisthorchis felinus</i>	84
<i>Герасимова Н.С., Козулина Н.С.</i> Реологические свойства качества муки из зерна сибирский и зарубежных сортов пшеницы.....	85
<i>Данилюк Ю.В.</i> Использование изопропанола в качестве замены этанола в процедурах химической фиксации тканей растений	86

<i>Двинянинова В.Г., Кулагина Л.С.</i> Трансформация устойчивости видов рода <i>Populus</i> L. в условиях смены типа техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра).....	87
<i>Дорохин А.С.</i> Получение и исследование наночастиц поли(3-гидроксibuтирата-со-3-меркаптопропионата).....	88
<i>Дружинин А.Г.</i> Сорта пивоваренного ячменя сибирской селекции выращенные в условиях Красноярской лесостепи.....	89
<i>Дудаев А.Е.</i> Управление свойствами полигидроксиалканоатов для биомедицинских применений: от биосинтеза до 3D-печати.....	90
<i>Егорова В.И.</i> Влияние антропогенных и природных факторов на состояние сосны обыкновенной в Нижневарттовском районе	91
<i>Зазнобина Т.В., Ефимова Л.В.</i> Влияние генотипических факторов на качество молока коров голштинской породы.....	92
<i>Зайцева А.В.</i> Влияние вязких сред на структурную динамику светляковой люциферазы.....	93
<i>Зеньков А.В.</i> Люминесцентные бактерии для контроля содержания селена в окружающей среде.....	94
<i>Ипатов Н.Д.</i> Термическое поведение разрушаемых полигидроксиалканоатов (ПГА).....	95
<i>Кириллова М.А.</i> Наночастицы золота для усиления люминесценции люцифераз	96
<i>Кладько Ю.В.</i> Рекомендации по поливу яблони ягодной в зеленых насаждениях г. Красноярска, разработанные на основе дендроклиматического анализа	97
<i>Коновалова Д.А.</i> Оценка продукции ручейников <i>Apatania cymophila</i> p. Енисей на двух типах субстрата	98
<i>Коновалова О.В.</i> Варианты замены II EF-hand в фотопротеине акворине для создания Ca^{2+} -регулируемых белков с новыми свойствами	99
<i>Коротов И.А., Маркова С.В.</i> Применение белка YebF для высокопроизводительного скрининга мутантных форм люциферазы копепод <i>Metridia</i> в <i>E. coli</i>	100
<i>Кузьмина Е.В.</i> Влияние биоудобрений на основе опилок на микробиологическую активность почвы и развитие семян хвойных в условиях вегетационного опыта.....	101
<i>Кукушкина К. В.</i> Ингибирующее действие фунгицидов на прорастание конидий грибов p. <i>Fusarium</i>	102
<i>Липайкин С.Ю.</i> Оценка биосовместимости микрочастиц поли(3-гидроксibuтират-со-3-гидроксивалерата).....	103
<i>Маркова Г.М.</i> Организация рабочей памяти влияет на эффективность нейросетевых модельных объектов при реагировании на временные ряды	104
<i>Минаков И.Д.</i> Эволюционные линии водяных лютиков (<i>Ranunculus sect. Batrachium, Ranunculaceae</i>) p. Енисей в контексте скрытого разнообразия и сетчатой эволюции .	105
<i>Нанакин Д.С., Демиденко Н.Ю.</i> Утилизация отходов лесоперерабатывающего комплекса как фактор снижения экологической нагрузки на лесные территории	106

Никифорова И.А. Магнитные частицы, полученные методом полиольного синтеза, с функционализированной поверхностью для сепарации клеток	107
Новицкая (Анищенко) Ю.Д., Анищенко О.В., Иванова Е.А. Высвобождение и накопление элементов (включая тяжелые металлы и биогены) разлагающейся биомассой <i>Myriophyllum spicatum</i> (урути колосистой) в Абаканской протоке р. Енисей.....	108
Олешко У.А. Использование данных сетного лова для калибровки гидроакустического метода оценки биомассы	109
Панамарев Н. С. Биолюминесцентный иммуноанализ онкомаркера сурвивина в моче пациентов при раке мочевого пузыря	110
Поляков А.О., Бутковская Л.К., Количенко А.А. Селекционный прогресс в повышении урожайности сортов яровой мягкой пшеницы в Красноярском крае (2000 – 2025гг.).....	111
Помыткин Н.С., Луговцова С.Ю. Индукция каллусообразования у сортов картофеля Садон и Краса Мещеры	112
Помыткин Н.С., Пак М.Э. Особенность прорастания соматических зародышей лиственницы сибирской (<i>Larix sibirica</i>)	113
Посаженников Е.А. Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для принятия решений в нестационарной игровой среде	114
Посохина Е.Д. Внеклеточные оксидазы базидиального гриба <i>Neonothopanus nambi</i> ..	115
Рыльцева Г.А. Влияние рельефа поверхности многокомпонентных ПГА-пленок на биосовместимость с эндотелиальными клетками и тромбоцитами	116
Рязанова М.А. Когда «ключ» подошел к «замку»: прорывной эксперимент по гибридизации двух опасных вредителей хвойных лесов – сибирского и соснового шелкопрядов	117
Сапожникова К.Ю. Жиросодержащие источники углерода как субстрат для биосинтеза полигидроксиалканоев	118
Сатир Д.В. Оценка совместных эффектов пестицидов методом ингибиторного анализа	119
Смаль А.Н. Влияние социальной изоляции и интраназального введения цинка на контекстуальную память страха у мышей	120
Сурина Е.А. Особенности технологии возделывания нового сорта ячменя Морион для получения урожайных и качественных семян в условиях Красноярской лесостепи	121
Сыроежко М.Ю. Натурная верификация измерений влажности почв аппаратурой SMAR в условиях криолитозоны	122
Терещенко В.А., Иванов Е.А., Любимова Ю.Г., Ефимова Л.В. Морфобиохимический профиль и микробиом рубца коров как факторы реализации продуктивного потенциала при использовании фитосырья	123
Томилов А.С. Биоаккумуляция тяжелых металлов тополем дрожащим (<i>Populus tremula</i> L.) на урбанизированных территориях Нижневартовска	124

<i>Федоронько А.А.</i> Влияние N-концевого полигистидинового фрагмента на восстановление биолюминесцентной активности иммунного комплекса белков тест-системы на ВКЭ.....	125
<i>Цырендоржиева А.Б.</i> Биологические характеристики природных популяций сибирского и соснового шелкопрядов.....	126
<i>Шмурова А.А.</i> Пространственное распределение фекальных станолов в донных отложениях озера Шира, как основа для оценки антропогенной нагрузки.....	127
<i>Юнусова П.В.</i> Создание и оптимизация синтетического Ca^{2+} -регулируемого фотопротеина	128
<i>Яковлева Ю.А.</i> Исследование динамики распределения магнитных наночастиц оксида железа в органах мышей методом ЭПР	129
Секция «Математическое моделирование и фундаментальная математика»	131
<i>Абрамов М.А.</i> Алгоритмы для двумерной задачи упаковки с запрещенными областями и центром тяжести	132
<i>Амосов К.А.</i> Математическое моделирование сильного изгиба балки из высокопористого материала	133
<i>Антошкин А.А.</i> О строении трехмерных полуполей.....	134
<i>Бактыбеков Б.Б.</i> Почти простые группы с цоклом $\text{PSL}(3, q)$, для нечетного q как струнные S -группы	135
<i>Белозерский И.Е.</i> Оценка рисков компонентов автоматизированной системы управления технологическим процессом.....	136
<i>Бондаренко Г.А.</i> Возникновение конвекции в двухслойной системе несмешивающихся жидкостей в цилиндре со свободной верхней границей.....	137
<i>Брылякова Е.В.</i> Финитарность унификации в некоторых расширениях интуиционистской и модальной логик.....	138
<i>Булатов Д.В.</i> Сравнительный анализ методов восстановления предпочтений на основе порядковых экспертных оценок	139
<i>Буряк Н.А.</i> Нейросетевые модели временных рядов для прогнозирования уровня CO_2 в атмосфере Центральной Сибири	140
<i>Бушакова Ю.А.</i> Финитная аппроксимируемость для нетранзитивной нереклексивной временной логики с движением в прошлое, допускающей отношения агентов	141
<i>Ветчинников А.Ю.</i> Разработка ресурсосберегающей модели аутентификации для протокола MQTT в распределенных IoT-системах	142
<i>Грекович К.В.</i> О разрешимости кластерных темпоральных логик с операторами надёжности информации	143
<i>Давыдова В.А.</i> Теорема о двойственности пространств Харди	144
<i>Киселева У.С.</i> Теорема о парах Рунге для обобщённых стационарных операторов Стокса	145
<i>Кобычева В.С.</i> Анализ масштабов в задаче испарительной конвекции.....	146

<i>Кузьмин И.К.</i> О полиномиальной классификации конечных полуполей	147
<i>Левский А.Б.</i> Об одной двойственности для пространств гармонических соболевских функций в шаре	148
<i>Максимов Р.Д.</i> Динамический алгоритм поиска всех максимально полных единичных подматриц (0,1) матрицы	149
<i>Машинец Ю.О.</i> Дрейф несферических оптических частиц в вязкой среде под действием встречно распространяющихся лазерных пучков	150
<i>Мосова Х.Ю.</i> Построение оценок параметра копулы методом минимальной дивергенции	151
<i>Окунева Д.А.</i> Полуполевы проективные плоскости нечетного порядка, допускающие подгруппу автотопизмов A_4	152
<i>Пастушенко А.В.</i> Алгоритмы моделирования сетевых графиков проектов для задачи календарного планирования	153
<i>Поляков А.А.</i> Унификация в линейной модальной логике LTL.sl	154
<i>Проценко Н.А.</i> О кластерной логике с точками-модераторами	155
<i>Сенько В.А.</i> Подгруппы аддитивной группы поля, замкнутые относительно взятия обратного элемента по умножению	156
<i>Сиротинин А.А.</i> Метод проектирования оптимальной сети Интернета вещей на трехмерной модели здания с использованием меметического подхода	157
<i>Скобелев К.В.</i> Почти простые группы с цоколем $PSL(3, 2^n)$ как струнные С-группы	158
<i>Тисленко Т.И.</i> Разработка модели адаптивного управления светофорными объектами на основе марковских процессов принятия решений	159
<i>Шебелев А.В., Филимонов С.А., Минаков А.В.</i> Нейросетевая модель прогнозирования интегральных параметров течения наномодифицированных буровых растворов в кольцевом канале	160
<i>Шебелев А.В., Лобасов С.А., Минаков А.В.</i> Разработка математической модели микрофлюидных тензиометров для измерения коэффициента межфазного натяжения нефтепромысловых жидкостей	161
<i>Юргенсон К.С.</i> Приближенное решение для дальних областей турбулентного слоя смещения	162
<i>Юров А.Р.</i> Методологический подход к анализу и визуализации данных DDoS-атак по протоколу DNS	163
Секция «Школы РАН»	165
<i>Авулова Д.А.</i> Азопроизводные лигнина как поверхностно-активные вещества для подавления угольной пыли	166
<i>Болтаевская Е., Иванова Т., Мартыанова С., Медведева А., Меньшикова Д., Русяев С., Сапожникова К.Ю.</i> Оценка влияния субстрата для культивирования <i>Medusomyces gisevii</i> на антибактериальные свойства его культуральной жидкости ...	167

<i>Бочкарева Е., Лазунов З., Мутовина В.</i> Синтез супрамолекулярных самосборок меламина и барбитуровой кислоты с инкапсулированием азокрасителей	168
<i>Бушина В., Потехина У., Исмаилов А., Афоничева К.В., Смольникова М.В.</i> Анализ характера питания и уровня двигательной активности подростков города Красноярска	169
<i>Волкова Г.А., Шишкин А.М., Литвяк А.Д.</i> Комплексный анализ минеральной воды... 171	171
<i>Волкова С.А.</i> Вольтамперометрическое определение бетулина и его производных в органических средах на твердых электродах..... 172	172
<i>Вохидова Ю.Р., Троегубова П.А., Темкина А.Г.</i> Утилизация отходов сахарного производства в твердые кислотные катализаторы для процессов гидролиза сахарозы..... 173	173
<i>Глебова К.А., Жемкова А.А., Зырянов М.А., Зырянова М.А., Карпушкина К.Е., Пак А.А., Пятин С.А.</i> Влияние фунгицида «бордоская смесь» на корневую систему растений пшеницы	174
<i>Деймунд Д.А., Полуян Р.Д., Дик Д.И., Милейко А.Г., Смольникова М.В.</i> Ассоциация полиморфных вариантов генов FTO, UCP3 и MC4R с избыточной массой тела у подростков..... 176	176
<i>Жаконис П., Девляшова В., Матвеев Р.</i> Выделение монтмориллонита из бентонитовых глин месторождений Енисейской Сибири – «10-ый Хутор» и «Кайбальское-2»	178
<i>Лапушова А.</i> Получение этилформиата на твердом кислотном катализаторе	179
<i>Лотц В.Д., Чувашова В.В., Кириллова Е.Д., Шкицкая А.Д.</i> Синтез и исследование оптических свойств углеродных квантовых точек..... 180	180
<i>Рыжаков М., Шик К.</i> Исследование влияния направления потоков электролита в фотореакторе на эффективность его работы..... 181	181
<i>Рыжакова Д.А., Гришкина А.А., Федорова М.А.</i> Получение новых материалов на основе хитозана с антибактериальным эффектом	182
<i>Себедаш М.Г., Агеева О.А., Ретюнская П.А., Нижегородцева Э.Д., Капошко М.А., Садыков Р.Т.</i> Оценка эффективности применения золошлаковых материалов в качестве субстратных компонентов для растений	183
<i>Черноусов Ф.А., Беспрозванных П.Д., Буханов С.В.</i> Исследование сорбции ионов тяжёлых металлов органическими сорбентами..... 185	185
<i>Шишкина Е.М.</i> Изучение взаимодействия гетероциклических дикетонов с некоторыми лантаноидами и глобулярными белками..... 186	186
<i>Шульга Я.Д.</i> Метод экстракционного выделения лигнокислот и исследование их структуры	187
<i>Ярмоленко Н.А., Коц Е.Н.</i> Выделение целлюлозы из твердого остатка восстановительного каталитического фракционирования костры льна	188

Секция «Физика»

Диагностика почв с помощью специализированных индексов по данным мультиспектральной съемки с БПЛА

Большаков С.А.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

В работе исследуется возможность применения спектральных индексов, получаемых по данным мультиспектральной съемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для диагностики почвенного покрова. Спектральные индексы представляют собой математические комбинации отражательной способности в различных диапазонах и позволяют выявлять ключевые свойства почв, такие как гранулометрический состав, содержание влаги и минералогические особенности. Актуальность работы обусловлена необходимостью оперативного и точного картографирования почвенных типов, в том числе на труднодоступных участках сельскохозяйственных угодий, где традиционные наземные методы трудоемки.

Объектами исследования послужили семь образцов основных генетических типов почв, отобранных в пределах сельскохозяйственных угодий: от песка и светло-серой лесной до черноземов различных подтипов (оподзоленный, южный, обыкновенный, выщелоченный). Спектрометрическая съемка выполнялась камерой *RedEdge*, установленной на БПЛА, на высотах от 5 до 120 метров в двух состояниях образцов - естественном сухом и после искусственного увлажнения. Для каждого образца рассчитывались три специализированных индекса: индекс размера частиц (*GSI*), характеризующий долю песчаной фракции; нормализованный разностный водный индекс (*NDWI*), отражающий содержание влаги; и индекс цветности (*CI*), чувствительный к соотношению оксидов железа (гематита и гётита), которые являются основными окрашивающими компонентами почвы [1–3].

Результаты показали, что значения индексов закономерно изменяются в зависимости от генетического типа почвы и уровня увлажнения. Полученные данные подтверждают эффективность применения мультиспектральных индексов для экспресс-диагностики почвенного покрова и оценки его состояния по материалам аэросъемки.

Благодарности: автор выражает благодарность соавторам работы: Ю.Н. Трубникову, А.В. Дергунову, К. В. Краснощекову. (ФИЦ КНЦ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mathieu R., Pouget M., Cervelle B., Escadafal R., Remote sensing of environment, V. 66. PP. 17-28 (1998).
- [2] McFeeters K., Stuart K., International journal of remote sensing, V. 17.7. PP. 1425-1432 (1996.).
- [3] Xiao J., Shen, Y., Tateishi R., Bayaer W., International Journal of Remote Sensing, V. 27. PP. 2411-2422 (2006).

Новый способ увеличения коэффициента усиления в щелевых полосковых антеннах вытекающей волны для приема навигационных сигналов ГНСС

Борисов В.А.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

С развитием технологий и средств передачи информации все больше сфер применения находят глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Дистанционное зондирование Земли для геодезии, картографии, беспилотных летательных аппаратов, наземной беспилотной техники во многом полагается на средства ГНСС. Для определения местоположения по системам ГНСС необходима навигационная аппаратура потребителя (НАП).

Одна из важнейших составных частей НАП — приемная антенна, которая во многом определяет конечную точность позиционирования. Щелевые полосковые антенны благодаря своей конструкции и возможности применения СВЧ-поглотителя позволяют достигать достаточного коэффициента усиления для приема навигационных сигналов с низких углов и обладают широкой диаграммой направленности, высоким уровнем подавления сигналов с левой круговой поляризацией для борьбы с переотраженными сигналами и стабильным фазовым центром. С появлением дополнительных ГНСС заметно возросли требования к ширине рабочих диапазонов приемной антенны. К сигналам *L2* ГЛОНАСС/*GPS* добавились сигналы: ГЛОНАСС *L3*, *GPS L5*, *Galileo E5*, *E5a*, *E5b*, *E6* и *BeiDou B2*, *B3*, а к сигналам *L1* ГЛОНАСС/*GPS* — *Galileo E1* и *BeiDou B1*. В результате появления новых сигналов требования к рабочим диапазонам антенны расширились до 1 164-1 300 МГц и 1 559-1 610 МГц, что затруднило использование классических щелевых полосковых антенн, рассчитанных на прием сигнала *L1* — одной половиной щелей, а *L2* — второй половиной щелей. В качестве решения [1] представлен вариант, в котором предлагается отказаться от использования СВЧ-поглотителя и настроить все щели антенны в широком диапазоне частот 1 164-1 610 МГц с центральной частотой на 1 400 МГц. Данное решение позволяет добиться достаточного коэффициента усиления в рабочих диапазонах, однако из-за отсутствия СВЧ-поглотителя ухудшается подавление сигналов с левой круговой поляризацией, а, следовательно, и точность позиционирования.

Нами предложен новый подход [2, 3] к проектированию щелевых полосковых антенн, в котором благодаря сложному скачку волнового сопротивления удалось добиться использования всех щелей антенны для приема сигналов в рабочих диапазонах 1 164-1 300 МГц и 1 559-1 610 МГц.

В данной работе развит предложенный подход для увеличения коэффициента усиления щелевой полосковой антенны. Скачок волнового сопротивления проектировался с учетом того, что одна мода колебаний *H*-волны всех щелевых резонаторов принимает сигналы ГНСС в частотном диапазоне 1 164-1 300 МГц, а другая мода *H*-волны всех щелевых резонаторов — сигналы в диапазоне 1 559-1 610 МГц. Благодаря новому способу создания щелевых полосковых антенн удастся увеличить коэффициент усиления антенны в диапазоне 1 164-1 300 свыше 20%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Z.-P. Zhong, X. Zhang, IEEE Open J. Antennas Propag., 2, 578 (2021). DOI: 0.1109/OJAP.2021.3074287
- [2] Шепов В. Н. Борисов В. А. Патент РФ на изобретение RU 2 821 218 С1. опубл. 18.06.2024
- [3] Шепов В. Н., Борисов В. А. //Письма в ЖТФ. – 2025. – Т. 51. – №. 8. – С. 50-53.

Лазерно-индуцированный способ металлизации полимеров

Бриль И.И., Воронин А.С.

ФИЦ КНЦ СО РАН, МГТУ им. Н. Э. Баумана

Разработка гибкой электроники требует материалов, сочетающих высокую электропроводность, механическую устойчивость при деформации и технологическую пригодность для масштабного производства. В этом отношении лазерная обработка представляет особый интерес, поскольку позволяет экологично и с высокой точностью формировать проводящие структуры заданной геометрии. В настоящей работе исследованы пленки серебряных нанопроволок (AgNW), нанесённые на подложку из полиэтилентерефталата (ПЭТ). Использование AgNW обусловлено их высокой электропроводностью и хорошей гибкостью. Несмотря на известный эффект лазерно-индуцированного спекания нанопроволок, данных о формировании композитов на основе термопластичного полимера и AgNW в литературе немного [1].

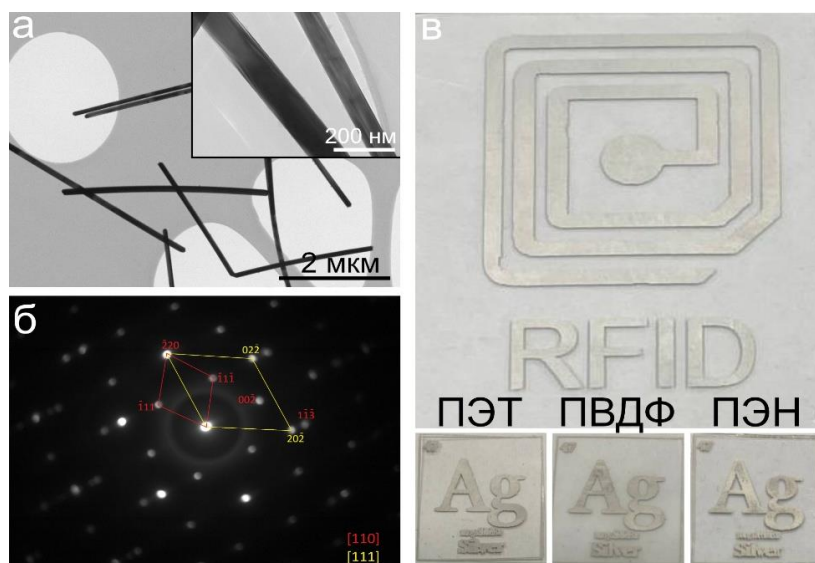


Рис. 1. А – ПЭМ-изображение AgNW; В – SAED AgNW; С – внешний вид проводящих паттернов на термопластичных подложках

Пленки нанопроволок формировались на поверхности подложки методом капельного литья из предварительно приготовленной дисперсии с концентрацией 23 мг/мл (изображения нанопроволок приведены на рис. 1). В качестве дисперсионной среды использовался этиловый спирт. Исходную дисперсию наносили на подложку толщиной 0,5 мм в количестве 12,5 мкл/см² и 37,5 мкл/см², после чего образцы высушивали на воздухе при комнатной температуре. Полученные пленки характеризовались поверхностным сопротивлением менее 5 Ом/кв. На следующем этапе пленки подвергали обработке с использованием диодного лазера с длиной волны 432 нм.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № FSN-2024-0016).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Bril', I.; Voronin et al. Laser-Induced Silver Nanowires/Polymer Composites for Flexible Electronics and Electromagnetic Compatibility Application. *Polymers* 2024, 16, 3174. <https://doi.org/10.3390/polym16223174>
- [2] Bril, I.I., Voronin, et al. Selective Laser Sintering of Silver Nanowires for Flexible Electronics Materials. *Bull. Russ. Acad. Sci. Phys.* 88 (Suppl 2), S234–S240 (2024). <https://doi.org/10.1134/S10628738247093463>, 1982.

Квантовые эффекты, магнитная анизотропия и температурная зависимость спин-флоп перехода в антиферромагнитном топологическом изоляторе MnBi_2Te_4

Гамов А.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН

При использовании модели, развитой для топологического ван-дер-ваальсового антиферромагнитного изолятора MnBi_2Te_4 и учитывающей тригональную симметрию кристаллического поля, описаны аномальное поведение намагниченности до и после спин-флоп перехода и температурная динамика критического поля перехода, обнаруженные при экспериментальном исследовании MnBi_2Te_4 [1-3]. Для описания механизма одноионной анизотропии (ОА) MnBi_2Te_4 , в котором магнитоактивные ионы находятся в состоянии орбитального синглета, учтены зарядовые флуктуации, индуцирующие примешивание возбужденных состояний ионов марганца и теллура.

В рамках атомного представления определены дисперсионные уравнения в различных фазах, учитывающие как наличие тригональной компоненты ОА, так и переходы между высоколежащими по энергии одноионными состояниями. Из условия потери положительной определенности нижней ветви спектра вычислены температурные зависимости поля спин-флоп перехода и поля насыщения. Получено выражение для температуры Нееля, учитывающее как поправки, индуцируемые ОА, так и поправки, обусловленные нулевыми квантовыми колебаниями, полученные в спин-волновом подходе. При использовании температурных зависимостей критических полей, а также полевой зависимости температуры Нееля построена фазовая диаграмма, содержащая границы существования допустимых конфигураций магнитной структуры (см. рис. 1).

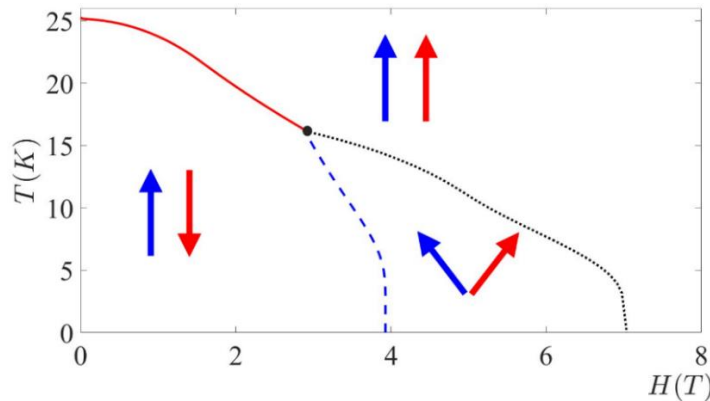


Рис. 2. Фазовая диаграмма, отражающая области реализации антиферромагнитной фазы, парафазы и фазы скошенных подрешеток в MnBi_2Te_4 .

Благодарности: Исследование выполнено в рамках научной тематики Госзадания ИФ СО РАН. Автор выражает благодарность соавторам: научному руководителю Злотникову А.О. и Валькову В.В. Автор благодарит за поддержку фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Y.-J. Hao et al., Phys. Rev. X, V. 9, P. 041038 (2019).
- [2] Y. Lai et al., Phys. Rev. B, V. 103, P. 184429 (2021).
- [3] T. Das et al., Phys. Rev. B, V. 111, P. 174420 (2025).

Фантомная визуализация в задачах отображения микроскопических структур

Давлетишин Н. Н.

Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Хотя фантомная визуализация, использующая корреляцию классических световых полей, интенсивно развивается на протяжении многих лет, лишь недавно исследователи обратили внимание на её потенциальные возможности в микроскопии [1-3]. Как отмечается в работе [2], основное преимущество такого подхода заключается в существенном увеличении глубины резкости оптической системы.

Доклад посвящен фантомному микроскопу, работающему в режиме проходящего света. Разработанная установка дает возможность получать изображения двумя способами: оптическим (рис. 1а) и фантомным (рис. 1б). В канале, где расположен исследуемый объект, установлена система из двух сопряженных объективов. Первый объектив формирует опорное световое поле в плоскости исследуемого объекта, второй объектив переносит его оптическое изображение на камеру. Такая схема позволяет реализовать два способа визуализации, а также даёт возможность оценивать качество изображений, полученных методом фантомной микроскопии с эталонными снимками стандартного оптического микроскопа [2].

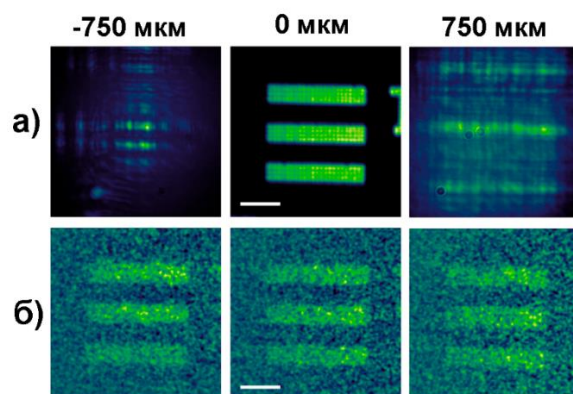


Рис. 1. Изображения объекта, полученные методами, а – оптической и б – фантомной микроскопии при изменении положения собирающего свет объектива относительно рабочей плоскости оптической системы

Оценка эффективности фантомной микроскопии осуществлялась путем сравнения получаемых фантомных изображений с оптическими изображениями микроскопа по трем критериям: индекс структурного сходства, геометрические размеры и контраст. В ходе исследования обнаружено, что при смещении собирающего свет объектива относительно плоскости образца более чем на 1 мм качество изображения объектов, полученных методом фантомной микроскопии, по данным критериям не ухудшается. Из этого следует, что глубина резкости фантомной микроскопии выше, чем в случае оптической микроскопии, как минимум на два порядка. При этом структура изображения объекта не изменяется.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН. Автор выражает благодарность соавторам работы: Вьюнышеву А.М., Чиркину А.С.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Hong, Yi. Liang, Phys. Rev. A., 105, 6, (2022).
- [2] N.N. Davletshin, A.M. Vyunishev, A.S. Chirkin, Opt. & Laser Tech., 184, 112465, (2025).
- [3] T. Zhang, Y. Peng, W. Chen, Appl. Phys. Lett., 127, 131101 (2025).

Анализ сходимости параметров приземного ветра по данным глобальной модели NCEP GFS и наземных измерительных постов в Красноярске

Дергунов А.В.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Метеорология – это один из основных факторов повышенного загрязнения воздуха в Красноярске. Как было показано, температурная инверсия и низкая скорость ветра определяют накопление $PM_{2.5}$ в воздушной среде [1, 2].

Нами проводится анализ параметров нижнего слоя атмосферы по данным модели *NCEP Global Forecast System (GFS)*. Для оценки применимости параметров ветра модели *GFS* для условий Красноярска проведен анализ сходимости с тремя наземными метеостанциями на 10-ти метрах от поверхности земли: метеостанция ИВМ СО РАН, два поста Среднесибирского УГМС («АМС Красноярск» в черте города и «АМК Красноярск опытное поле» за городом). Период исследования с декабря 2022 года по февраль 2023 года. Временное разрешение 4 раза в сутки: ночь (1ч), утро (7ч), день (13ч), вечер (19ч).

Сравнение направления ветра показало, что данные модели *GFS* лучше всего согласуются с данными «АМК Красноярск опытное поле» (рис. 1). В обоих случаях преобладающим направлением ветра являлось юго-западное.

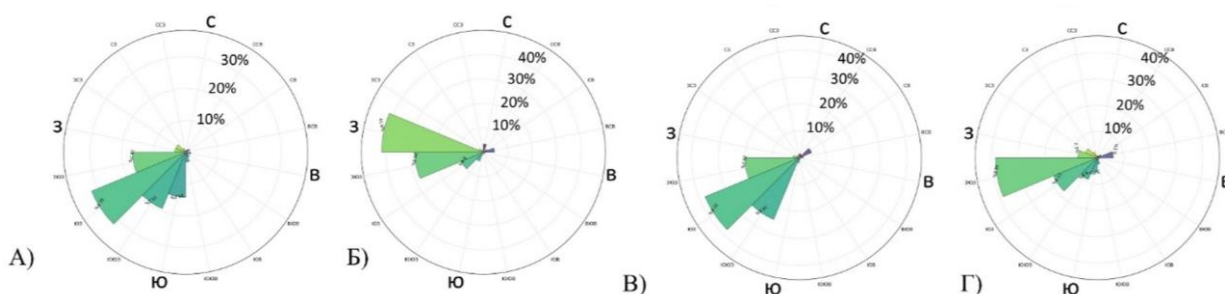


Рис. 1. 4. Розы ветров за период с декабря 2022 года по февраль 2023 года. А – NCEP GFS, Б – ИВМ СО РАН, В – «АМК Красноярск опытное поле», Г – «АМС Красноярск».

Сравнение скорости ветра за период исследования показало высокую согласованность данных *GFS* и наземных метеостанций (корреляция 0,63-0,7). Метеостанция ИВМ СО РАН показала более высокие значения, в сравнении с *GFS*, а посты Среднесибирского УГМС, наоборот, чаще выдавали более низкие значения скорости ветра.

При сравнении скорости ветра отдельно для четырех временных моментов наибольшая согласованность в 13 и 19 часов с между *GFS* и ИВМ СО РАН (корреляция 0,82 и 0,78, соответственно). По разницам абсолютных значений скорости ветра выявлено, что у *GFS*, кроме утра (7ч), лучше сходимость с данными ИВМ СО РАН (разница от $1,2 \pm 0,2$ м/с до $1,6 \pm 0,27$ м/с), хуже всего сходимость с «АМС Красноярск» (разница значений скорости ветра от $1,45 \pm 0,22$ м/с до $1,7 \pm 0,33$ м/с).

Таким образом, расчетные данные глобальных моделей прогноза погоды имеют ряд недостатков и не всегда передают реальную картину состояния атмосферы города. Однако, могут способствовать, в качестве дополнительных данных, решению различных задач исследования метеорологических процессов приземного слоя атмосферы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Volodko O. et al. E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, V. 392, P02022 (2023).
- [2] Hou P., Wu S. Scientific reports. V. 6., № 1, P. 23792 (2016).

Поляронные эффекты в обменном взаимодействии коррелированной *pd*-системы: конкуренция Хольштейновского и Пайерлсовского вкладов

Дударев А.В.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Влияние электрон-фононного взаимодействия (ЭФВ) на обменные процессы в системах с сильными электронными корреляциями (СЭК) остается предметом активных дискуссий. Известно, как о подавлении параметра обменного взаимодействия из-за сильного Хольштейновского вклада [1,2], так и об усилении обмена при наличии взаимодействия типа Пайерлса [3,4]. Таким образом, несмотря на понимание роли отдельных каналов ЭФВ, общая картина их конкуренции и кооперативного влияния на обменное взаимодействие в сильно коррелированных материалах до сих пор не была построена.

В отличие от предыдущих работ, где рассматривались отдельные каналы электрон-фононного взаимодействия, в данной работе анализируется их конкуренция в рамках единой расширенной ЭФВ *pd*-модели, как локальным (Хольштейн), так и нелокальным (Пайерлс) типами вкладов:

$$H = H_{pd} + H_{epi}(\lambda_H, \lambda_P),$$

где H_{pd} – электронная *pd*-модель; $H_{epi}(\lambda_H; \lambda_P)$ – электрон-фононная часть, включающая в себя оба канала электрон-решеточного вклада.

Используя поляронную версию обобщённого метода сильной связи [5] (pGTB), модель переписывается в представлении операторов Хаббарда. Это позволяет выполнить проекцию на эффективную однозонную модель и вывести параметр обменного взаимодействия с помощью техники проекционных операторов [6,7]. Полученное таким образом выражение полностью учитывает конкурирующие вклады кулоновского и решеточного взаимодействий на уровне точного решения кластерной задачи.

В данной работе впервые была построена фазовая диаграмма в пространстве безразмерных параметров Хольштейновского и Пайерлсовского каналов электрон-фононной связи для расширенной *pd*-модели. Диаграмма демонстрирует неравномерное изменение обменного взаимодействия, включая области подавления, как плавного, так и резкого, связанного с формированием коррелированного решеточного полярона. Наряду с подавлением наблюдается область усиления обмена за счёт перераспределения плотности носителей заряда между *p* и *d* орбиталями и модуляции эффективной гибридизации.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 24-12-00044. Автор выражает благодарность руководителю работы Шнейдер Е.И., а также соавторам: Николаев С.В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kugel K.I., Khomskii K.I., Zh. Eksp. Teor. Fiz. 79(3), 987-1005 (1980).
- [2] Badrtdinov D.I., et al, Phys. Rev. B 110, L060409 (2024).
- [3] Cai X., et al., Phys. Rev. Lett. 127, 247203 (2021).
- [4] Zhang C., et al., Phys. Rev. X 13, 011010 (2023).
- [5] Makarov I.A., et al., Phys. Rev. B 92 155143 (2015).
- [6] Gavrichkov V.A., et al., Phys. Rev. B 95 144424 (2017).
- [7] Chao K.A., et al., J. Phys. C: Solid State Phys. 10 L271 (1977).

Свойства плазмонов с переносом заряда на графене

Еремкин Е.В.

МНИЦ спектроскопии и квантовой химии СФУ

Разработана общая теория плазмонов с переносом заряда в системах «металлические наночастицы – графен», где поверхность графена выполняет роль проводящего материала. Модель учитывает кинетическую энергию носителей в графене, кулоновское взаимодействие заряженных частиц и рассеяние энергии; на её основе получены линейные уравнения, определяющие собственные частоты плазмонных колебаний и пространственное распределение зарядов.

При исследовании различных наноструктур показана зависимость резонансных частот плазмонов от концентрации носителей в графене (Рис. 1а) и геометрии комплекса [1]. Кроме того, для периодических [2] массивов наночастиц на графене была рассчитана зонная структура $\omega(k,n)$ с двумя типами ветвей: акустическими (низкие частоты при малых k) и слабо дисперсионными оптическими, аналогичными фононным модам в кристаллах (Рис. 1б).

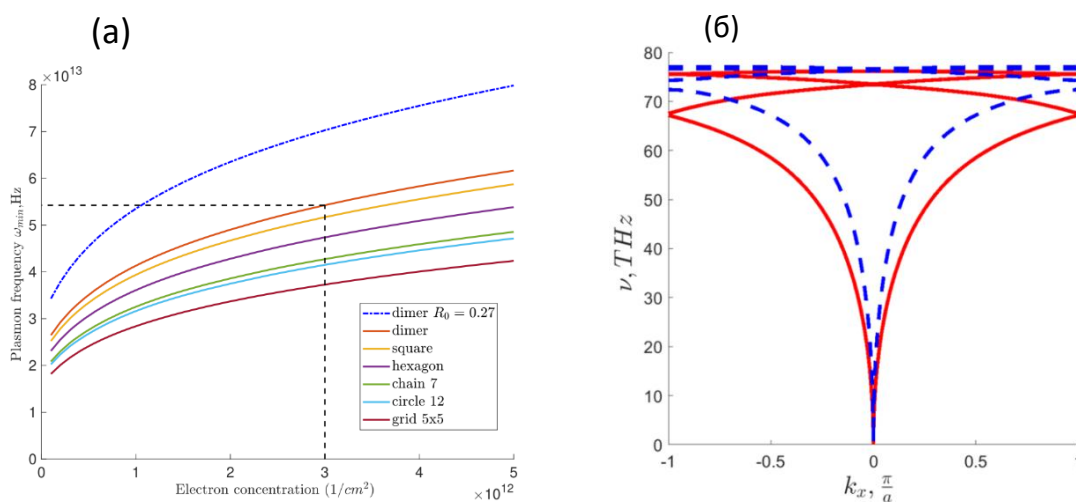


Рис. 1 — (а) Зависимость минимальных частот плазмонов с переносом заряда ω_{min} от концентрации электронов ρ в графене для различных систем. (б) - Зонная структура $\omega(k)$ вдоль k_x для двух структур наночастиц на графене.

Результаты показывают, что предлагаемые системы на основе наночастиц лежащих на слое графена могут быть перспективны для современных, быстро развивающихся терагерцовых технологий [3, 4] — сверхбыстрых переключателей, сенсоров и фотонных компонентов для связи нового поколения. Использование наночастиц малых размеров обеспечивает масштабирование и функциональность, недостижимые в чистом графене или графеновых нановолокнах.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Фёдорову Александру Семеновичу (Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fedorov A. S. et al., The Journal of Chemical Physics, 160, № 4 (2024).
- [2] Fedorov A. S., et al., Journal of Applied Physics, 136, № 4 (2024).
- [3] Tonouchi M., Nature photonics., 1. № 2, 97-105 (2007).
- [4] Yang X. et al., Trends in biotechnology, 34, № 10, 810-824 (2016).

Использование дистанционных данных о радиационной мощности теплоизлучения FRP в оценке пожарного воздействия и объемов выгорающей фитомассы

Забродин А.Н.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Проблема лесных пожаров (ЛП) остается актуальной на территории Сибири [1,2] в связи с прогнозируемыми климатическими изменениями. Для анализа сведений о пожарах эффективно использовать материалы о ЛП, получаемые средствами дистанционного зондирования (ДЗ) на любых труднодоступных интересующих территориях. Альтернативные методы обнаружения и контроля пожаров, как правило, затруднены, особенно на территориях, которые не заселены человеком.

Исследования проводились на территории Сибири для участков светлехвойной, темнехвойной и тундровой растительности. Всего выборка составила 25 пожаров за 2018, 2020-2022 и 2024 гг. Для определения типа древостоев использовалась карта леса «Вега-Про» (<http://pro-vega.ru/maps/>) и процедуры Геоинформационных систем (ГИС). Исходные данные со значениями *FRP* (*Fire Radiative Power*) [3] для исследуемой территории в формате векторных точечных покрытий были выбраны из открытого каталога базы данных *FIRMS* (*Fire Information for Resource Management System*, <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/>).

С помощью показателя радиационной мощности теплоизлучения *FRP* выполнен анализ характеристик пожаров на территории Сибири. Также в качестве оценки пожарного воздействия предложено выполнять вычисление объемов сгорания лесных горючих материалов (ЛГМ), вычисляемых двумя способами. $M_{\text{ЛГМ}(1)}$ рассчитывалась на основе энергии пожара *FRE* (*Fire Radiative Energy* [3], представляет собой интеграл по времени от мгновенных данных о мощности теплоизлучения (*FRP*)), выделенной в форме теплового излучения, и характерных значений удельной теплоты сгорания ($q_{\text{уд}}$). Альтернативно, $M_{\text{ЛГМ}(2)}$ вычисляли через площади пожара ($S_{\text{ЛП}}$), сведения о запасах ЛГМ ($Z_{\text{ЛГМ}}$) и коэффициента недожога ($K_{\text{н}}$).

Средние показатели $FRP_{\text{инт}}$ варьировали в пределах от 31×10^3 МВт до 286×10^3 МВт. Оценки энергии пожаров $FRE_{\text{инт}}$ в среднем имели пределы от 3×10^9 МДж до 25×10^9 МДж.

Оценку пожарного воздействия выполняли через вычисление массы ЛГМ, затраченной при горении. Рассчитанные средние значения $M_{\text{ЛГМ}(1)}$ имели пределы от $0,14 \times 10^6$ кг до $1,22 \times 10^6$ кг. Результаты альтернативного вычисления $M_{\text{ЛГМ}(2)}$ составляли в среднем от $0,11 \times 10^6$ кг до $0,92 \times 10^6$ кг. Зафиксировано, что уровень невязки (Δ) при сравнении $M_{\text{ЛГМ}(1)}$ и $M_{\text{ЛГМ}(2)}$ составил 10–31% и варьирует в зависимости от района исследования пожаров и типа растительности.

Таким образом мощность теплоизлучения (*FPR*) и энергия пожара (*FRE*) характеризуют степень пожарного воздействия и объемы сгорания ЛГМ.

Благодарности: Автор работы выражает благодарность к.т.н. Пономареву Е.И. за руководство темой исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лупян Е.А., Лозин Д.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Стыценко Ф.В.. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 19, № 3, С. 217–232 (2022).
- [2] Kharuk V.I., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Dvinskaya M.L., Coogan S.C.P., Flannigan M.D., Wildfires in the Siberian taiga, *Ambio.*, V. 50, PP. 1953–1974 (2021).
- [3] Kumar S.S., Roy D.P., Boschetti L., Kremens R., *J. Geophys. Res.*, V. 116, PP. 1–18 (2011).

Двухтерминальный транспорт в наклонных решётках: от баллистического режима Ландауэра к диффузионному режиму Исаки-Цу

Ким Л.А.

Институт физики СО РАН

Исследуется перенос невзаимодействующих ферми-частиц через конечную одномерную решётку, подключённую к резервуарам с различными химическими потенциалами. Для заряженных частиц разность потенциалов создаётся статическим полем, которое «наклоняет» решётку. Показан переход от баллистического режима Ландауэра [1,2] к диффузионному режиму Исаки—Цу [3] при условии, что локализационная длина Штарка становится сравнимой с длиной решётки. Перенос в решётке длины L описывается гамильтонианом в приближении сильной связи с амплитудой перескока J и наклоном F ; резервуары моделируются кольцами; связь с решёткой задаётся матричным элементом ε . Диссипативные процессы включают термализацию в резервуаре со скоростью γ и дефазировку в решётке со скоростью κ . Основным пространственным масштаб — длина локализации Ванье—Штарка $L_{WS} = 2J/F$, задающая безразмерный наклон $z = FL/J = 2L/L_{WS}$. Основной временной масштаб — константа релаксации $\Gamma = \varepsilon^2/\gamma$.

В марковском приближении сопоставлены случаи $\kappa = 0$ и $\kappa \neq 0$. В первом случае ($\kappa=0$) при $z \lesssim 1$ ($L_{WS} \gtrsim L$) перенос баллистический, а при $z \gtrsim 2$ ($L_{WS} \ll L$) когерентная локализация резко подавляет ток. Во втором случае при $\kappa \ll \Gamma/L$ баллистический режим сохраняется при $z \lesssim 2$. При $z \gtrsim 2$ дефазировка ($\kappa > 0$) разрушает локализацию и переводит систему в диффузионный режим с отрицательной дифференциальной проводимостью Исаки—Цу. Граница кроссовера определяется условием $L_{WS} \sim L$, то есть $F_{cr} \approx 2J/L$.

В немарковском режиме, соответствующем малым γ и ε , общая картина сохраняется, однако формируется более резкий стационарный градиент населённостей и, как следствие, возрастает диффузионный ток; это согласуется с анализом стационарной матрицы плотности. Описанные эффекты доступны для наблюдения на платформах с холодными атомами в оптических решётках, где наклон и «контакты» можно настраивать независимо [4,5].

Также рассмотрена динамика холодных атомов в оптической решетке с индуцированным скачкообразным изменением параметров системы для ферми- и бозе-частиц. Для различных параметров наклона F , продемонстрировано изменение динамики частиц в решетке.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 25-12-00268.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Landauer, IBM J. Res. Develop. 1, 223 (1957).
- [2] S. Datta, Electronic Transport in Mesoscopic Systems, CUP (1995).
- [3] L. Esaki, R. Tsu, IBM J. Res. Develop. 14, 61 (1970).
- [4] J. M. A. Pinho et al., Phys. Rev. B 108, 075402 (2023).
- [5] A. R. Kolovsky, Effects of internal and external decoherence on the resonant transport and Anderson localization of fermionic particles in disordered tight-binding chains, Phys. Rev. B 110, 035410 (2024).
- [6] J. M. A. Pinho et al., Phys. Rev. B 108, 075402 (2023).

Фазовое управление излучением в лидаре на основе перестраиваемой твердотельной метаповерхности

Ким П.Н.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

Времяпролетные лидары являются ключевой технологией для трехмерного сканирования и лазерной навигации [1]. Классические системы используют механические узлы отклонения луча (вращающиеся или колеблющиеся зеркала), что ограничивает их быстродействие, надежность и препятствует миниатюризации. Перспективной альтернативой является использование твердотельных электроуправляемых решений, таких как программируемые метаповерхности и пространственные модуляторы света (ПМС) [2]. Эти системы используют фазовое управление волновым фронтом для отклонения сканирующего луча. В данной работе представлена разработка прототипа лидара, в котором механическое сканирующее зеркало заменено на фазовый ПМС. Проведено моделирование возможности применения перестраиваемой твердотельной метаповерхности, управляемой посредством геометрической фазы (фазы Панчаратнама-Берри) [3].

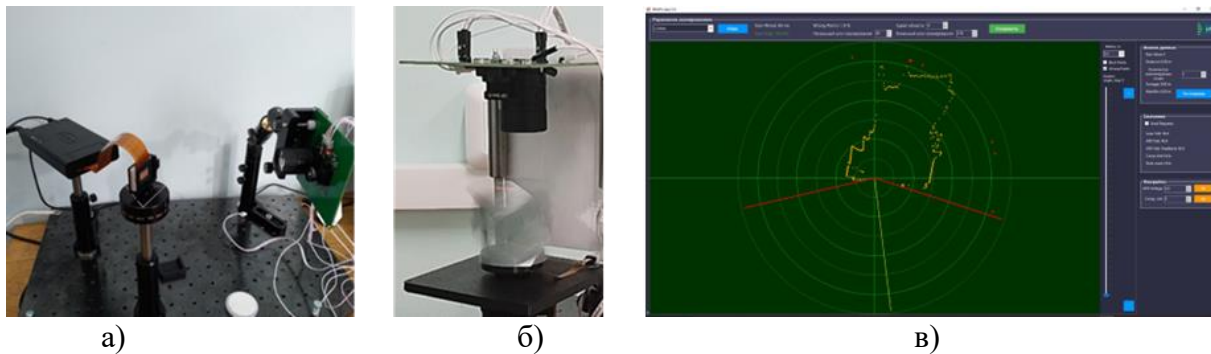


Рис. 1. а – Времяпролетный лидар в сборке с пространственным модулятором света и б – вращающимся зеркалом. в – Результаты сканирования комнаты. Жёлтым показаны контуры помещения и ноги экспериментатора.

Были разработаны и изготовлены две версии лидара, рассчитана и реализована оптомеханическая схема, а также проведена интеграция фазового ПМС (PLUTO-2.1-NIR-113) для управления лучом. Проведены эксперименты в режимах измерения расстояния и сканирования (Рис. 1). Результаты экспериментов показывают, что использование фазового управления позволяет получить двухмерную развёртку сканируемой плоскости с помощью одной пары излучателя-приёмника.

Проведено сравнительное моделирование работы лидара на основе ПМС и метаповерхности. Ключевым преимуществом метаповерхности является субволновой размер метаатома (~600-1000 нм) по сравнению с пикселем ПМС (~8000 нм). Это кардинально уменьшает угловое расстояние между дифракционными порядками, что позволяет значительно увеличить диапазон и точность сканирования луча. Математические расчеты и численное моделирование подтверждают, что метаповерхность способна отклонять лазерный пучок на существенно большие углы по сравнению с пространственным модулятором света.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Collis R. T. H. // Applied Optics V. 9. P. 1782 (1970).
- [2] Gorkunov M. V. // Photonics; V. 9. P. 986 (2022).
- [3] Bikbaev R. G., Konov Y. V., Pykhtin D. A., Timofeev I. V. // Chin. J. Phys. V. 92. P. 1325-1330 (2024).

Управление линейной поляризацией света хиральным жидким кристаллом с коническим поверхностным сцеплением: влияние электрического напряжения и угла падения излучения

Костиков Д. А.

Институт физики им. Л. В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Изменение ориентационной структуры в слое хирально-нематического жидкого кристалла (ХЖК) при воздействии электрического поля позволяет управлять амплитудой, фазой и поляризацией света, проходящего через такой слой. Оптические элементы чаще всего представляют собой сэндвич-образные ячейки с покрытиями, ориентирующими слой ЖК. Применение конического поверхностного сцепления позволяет плавно перестраивать поляризацию проходящего излучения [1, 2].

В данной работе рассмотрено влияние электрического поля и угла падения на поляризацию света, проходящего ХЖК слой с тангенциально-коническими граничными условиями. Были исследованы ячейки на основе нематической смеси ЛН-396, допированной хиральной добавкой холестерилацетата. Тангенциальная ориентация ХЖК достигалась с помощью натёртых плёнок Nylon-6, тогда как коническая ориентация задавалась плёнками поли(изобутил метакрилата) (ПиБМА).

Установлено, что изменение поляризации света зависит от знака угла падения α и ориентации ХЖК ячейки (рис. 1а). Показано, что при ориентации направления натирания $\mathbf{R}$ перпендикулярно плоскости падения света ($\mathbf{R} \parallel y$) реализуются режим следования азимута поляризации за поворотом директора ЖК при отрицательных α (рис. 1b) и режим изменения поляризации, не зависящий от длины волны, при положительных α (рис. 1c). При ориентации $\mathbf{R}$ параллельно плоскости падения света показана возможность поворота азимута поляризации белого света на 90° (рис. 1d). Представленные результаты находятся в хорошем согласии с данными, полученными с помощью теории Франка-Озеена [3].

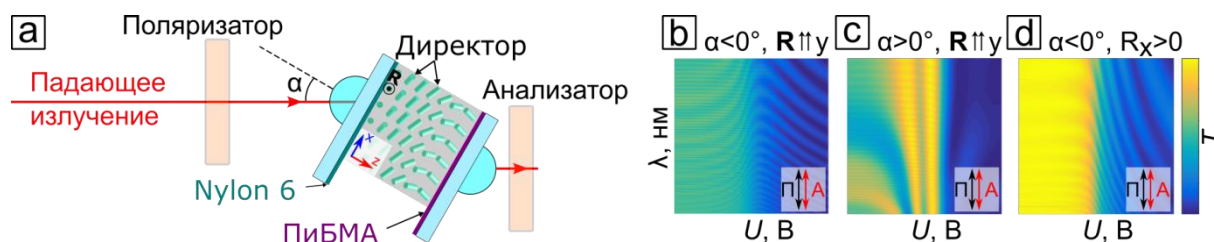


Рис. 3. а – Экспериментальная схема. б – Зависимости светопропускания T ХЖК ячейки от приложенного напряжения в случае $\mathbf{R} \parallel y$ при отрицательном и с – положительном угле падения α , д – при отрицательном α и положительной проекции $\mathbf{R}$ на ось x

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда, Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, Правительства Красноярского края, грант № 24-12-20007, <https://rscf.ru/project/24-12-20007/>. Автор выражает благодарность соавторам работы: Крахалеву М. Н., Наболю С. В., Панкину П. С., Максимова Д. Н., Сутормину В. С., Абдуллаеву А. С., Тимофееву И. В., Зырянову В. Я.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abdullaev A. S., Kostikov D. A., et al., Optical Materials, V. 146, P. 114521 (2023).
- [2] Sutormin V. S., et al., Optical Materials Express, V. 11, PP. 1527-1536 (2021).
- [3] Kostikov D. A., et al., Optics Express, V. 33, P. 53128-53143 (2025).

Динамика изменения концентраций СО над крупными городами Красноярского края и республики Хакасия за 2019 – 2024 гг.

Краснощеков К.В.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

В работе рассмотрена динамика изменения угарного газа над городами Красноярск, Абакан и Ачинск. Дополнительно измерена концентрация над фоновой территорией, расположенной вдали от населенных пунктов, над которой отсутствуют антропогенные источники СО.

Данные по концентрациям угарного газа брались из измерений спектрометра *TROPOMI* установленного на спутнике *Sentinel-5P*. Данные по СО имеют пространственное разрешение 4,8 на 2,6 км/пиксель. В работе использовались значения среднемесячной концентрации. Период наблюдения составлял с 2019 по 2024 годы, полных 5 лет.

Значения концентраций для угарного газа представлены в единицах измерения *ppbv* (*parts per billion by volume*), это единица измерения концентрации газов, обозначающая «частей на миллиард по объему», в нашем случае высота равняется вертикальному столбу атмосферы, а длина и ширина равняется пространственному разрешению.

Основными антропогенными источниками угарного газа являются сжигание топлива, автотранспорт, промышленность и бытовые печи, природные источники СО это лесные пожары и окисление метана [1].

В ходе работы был построен график, показывающий среднемесячную концентрацию угарного газа в период с 2019 по 2024 гг.

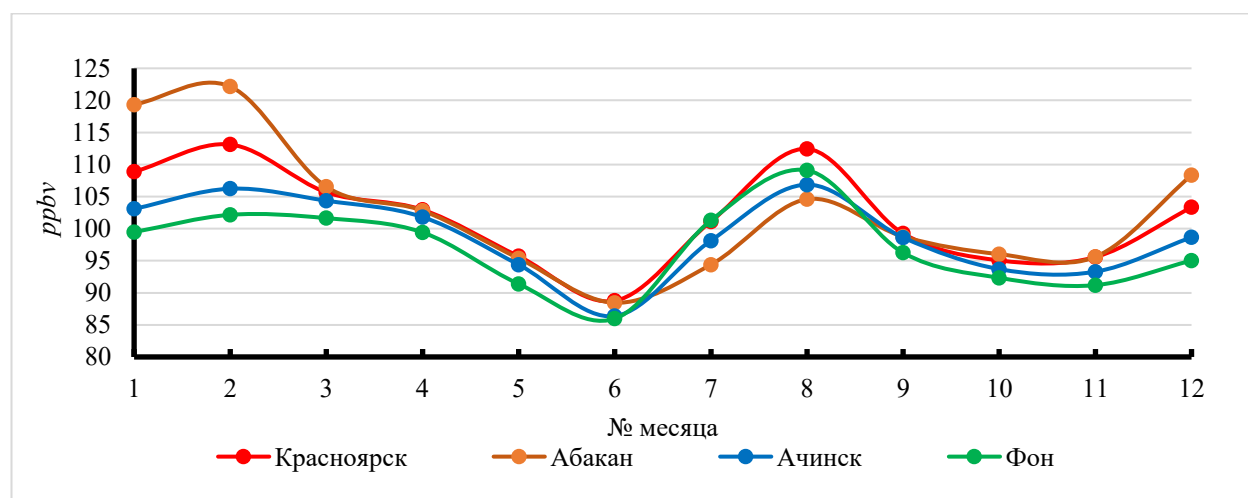


Рис. 4. Средние за 5 лет концентрации угарного газа

На рисунке 1 отображены среднемесячные концентрации угарного газа. На графике чётко прослеживается сезонная зависимость концентраций, с пиковыми значениями в зимний и летний периодами и минимальными концентрациями в межсезонье. Наибольшие концентрации в зимней период наблюдаются над Абаканом. Фоновая территория имеет минимальные значения. В летний же период значения концентрации угарного газа для фоновой территории растут равномерно с концентрациями над городами, это может быть связано с притоком естественного оксида углерода, сформировавшегося в результате лесных пожаров и равномерно распространяясь на большую территорию.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Морзак Г. И., Хрипович А. А. Физико-химические процессы в окружающей среде. Минск: БНТУ, 2016.

Интеграция данных мультиспектральной съемки с БПЛА и ГИС-технологиями для решения задач в сельском хозяйстве

Кузнецова А.С.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Сельское хозяйство Красноярского края находится в зоне рискованного земледелия [1], что требует внедрения оперативных и точных методов мониторинга сельскохозяйственных земель. Интеграция данных мультиспектральной съемки, получаемых с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), с инструментами геоинформационных систем (ГИС) позволяет создавать высокоточные цифровые карты полей. Это, в свою очередь, открывает возможности для проведения детального пространственного анализа с целью решения широкого круга задач в агропромышленном комплексе.

Цель исследования заключается в обосновании и разработке подходов к созданию цифровых карт полей на основе интеграции данных мультиспектральной съемки с БПЛА и ГИС-технологий для решения задач агропромышленного комплекса Красноярского края.

Объектами исследования выступают пахотные земли центральной и южной зон Красноярского края. Для первичной обработки данных аэрофотосъемки использовался программный комплекс *Agisoft Metashape Pro*, в котором исходный массив снимков был преобразован в геопривязанные ортофотопланы, цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР) [2].

На основе ортофотопланов в ГИС *QGIS* выполнялась оцифровка контуров полей и расчет вегетационных индексов (*NDVI*, *NDRE*, *GCI*, *RECI*, *VARI*, *MSAVI2*). С использованием ЦМР и ЦММ в *SAGA GIS* проводилось определение высоты сельскохозяйственных культур, классификация форм рельефа, а также вычисление морфометрических показателей: крутизны и экспозиции склонов, кривизны профиля, индекса расчлененности рельефа (*TRI*), фактора эрозионного потенциала (*LS*-фактор) и топографического индекса влажности (*TWI*) [3]. Дополнительно применялась ГИС «Спутник Агро» для построения карт водотоков и водосборов.

В результате разработанные цифровые карты служат детальной информационной основой для уточнения границ полей, оценки состояния посевов, анализа морфометрических показателей рельефа, изучения перераспределения влаги и эрозионных процессов. Комплексный учет этих факторов позволяет оптимизировать производственные процессы и способствует повышению продуктивности пахотных угодий в условиях Красноярского края.

Благодарности: автор выражает благодарность соавторам работы Дергунову А.В., Краснощекову К.В. и научному руководителю к.т.н. Еруновой М.Г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шпедт А. А., Злотникова В. В., Емельянов Д. В. Почвы и окружающая среда, Т. 7, № 1, С. 1-11 (2024).
- [2] Куракина Н. И., Мышко Р. А., Прохожаев П. Т., Дмитриенко К. Д. Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ, Т. 17, № 3, С. 36-43 (2024).
- [3] Ерунова М. Г., Кузнецова А. С., Шпедт А. А., Якубайлик О. Э. Достижения науки и техники АПК, Т. 38, № 4, С. 4-9 (2024).

Размерный эффект в оксиде ϵ -Fe₂O₃ и критический размер частиц для наличия магнитного перехода «80–150 К»

Ласуков А.И.

Институт Физики им. Л.В. Киренского КНЦ СО РАН

Работа посвящена анализу экспериментальных температурных зависимостей ac и dc магнитной восприимчивости $\chi(T)$ (рис. 1) серии образцов наночастиц ϵ -Fe₂O₃ с различными средними размерами (рис. 2) с целью выявления особенностей магнитного состояния, и проявления поверхностных и размерных эффектов в малых частицах ϵ -Fe₂O₃. Процессы суперпарамагнитной блокировки (низкотемпературные максимумы $\chi'(T)$) описывались в рамках модели [1]. В качестве подгоночных параметров используются вид распределения частиц по размерам $F(d)$ (рис. 2) и константа магнитной анизотропии K_{eff} . В результате, показано, что в частицах менее 7 нм известный для ϵ -Fe₂O₃ магнитный переход «80-150К» не наблюдается, что связано с размерным эффектом [2].

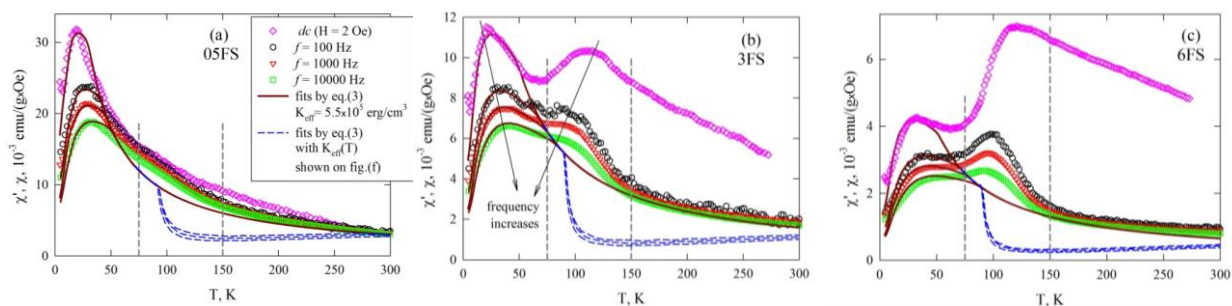


Рис. 1. Температурные зависимости $\chi'(T)$ (ac -восприимчивость) и $\chi(T)$ (dc -восприимчивость) образцов $a - 05FS$, $b - 3FS$, $c - 6FS$. Легенда на (a) относится ко всем данным на a , b , c ; точки – эксперимент, сплошные линии – результаты наилучшей подгонки низкотемпературного максимума.

Также, при сопоставлении используемых распределений $F(d)$ с экспериментальными гистограммами (рис. 2) было обнаружено, что в поверхностном слое (~ 0.3 нм) частиц магнитное упорядочение спинов атомов железа отсутствует.

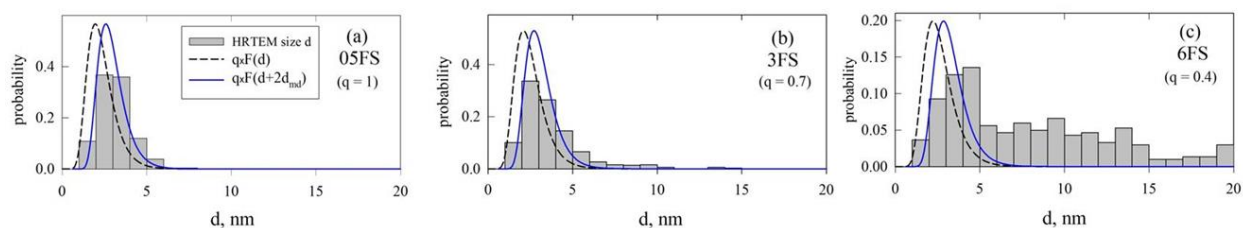


Рис. 2. Гистограммы вероятности распределения по размерам частиц образцов $a - 05FS$, $b - 3FS$, $c - 6FS$ по данным HRTEM. Штриховыми линиями показаны зависимости $F(d)$, использованные при обработке данных $\chi'(T)$, $\chi''(T)$, $\chi(T)$. Сплошными линиями показаны эти же зависимости, смещённые на средний размер между атомами железа = 0.31 нм.

Автор выражает благодарность научному руководителю Балаеву Дмитрию Александровичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. Mørup, D.E. Madsen, C. Fradsen, C.R.H. Bahl, M.F. Hansen, J. Phys.: Condens.Matter 19, 213202 (2007).
- [2] D.A. Balaev, Yu.V. Knyazev, S.V. Semenov, A.A. Dubrovskiy, A.I. Lasukov, et al, Ceramics International 51, 650–663 (2025).

Асимметрия электроуправляемого селективного отражения света холестериком при тангенциально-конических граничных условиях

Лесной М.А.

Институт физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Холестерические жидкие кристаллы (холестерики) характеризуются самопроизвольно формирующейся спиральной структурой, чувствительной к внешним воздействиям. Их оптические свойства зависят от соотношения шага спирали и длины волны света, а также от граничных условий, определяющих формирующуюся структуру. В данной работе исследуются ориентационная структура и спектральные свойства холестерика при тангенциально-конических граничных условиях. Тангенциальные и конические граничные условия задавались с помощью натёртой плёнки поливинилового спирта (ПВС) и плёнки полиизобутилметакрилата (ПиБМА), соответственно. Холестерические жидкие кристаллы были получены добавлением правозакручивающего хирального компонента R5011 в нематическую смесь ЛН-396. Структурные и спектральные свойства образцов изучались с использованием поляризационной оптической микроскопии (ПОМ) и спектроскопии в режимах пропускания и отражения света. К образцам прикладывалось переменное электрическое поле частотой 1 кГц.

При нулевом приложенном напряжении гибридные граничные условия приводят к образованию структуры с круговыми доменами, характеризующимися двойным закручиванием поверхностного линейного дефекта. Данная структура демонстрирует выраженную асимметрию селективного отражения света: практически полное отражение правоциркулярно поляризованного (ПЦП) света наблюдается при падении излучения со стороны подложки с тангенциальными граничными условиями, тогда как отражение практически отсутствует при падении света со стороны конического закрепления. Асимметрия селективного отражения обусловлена пространственной локализацией доменов круговой формы вблизи подложки с коническими граничными условиями, тогда как вблизи подложки с тангенциальным закреплением формируется квазиоднородная планарная холестерическая структура (рис. 1). Асимметрия селективного отражения света уменьшается при приложении напряжения в диапазоне от 0 до 12 В, при котором круговые домены приобретают форму многоугольников. При напряжении $12 \text{ В} < U < 72 \text{ В}$ холестерическая структура переходит в сильно светорассеивающее состояние, а при $U > 72 \text{ В}$ становится прозрачной [1]. Полученные результаты являются перспективными для разработки фотонных элементов и устройств с управляемым асимметричным отражением или рассеянием света.

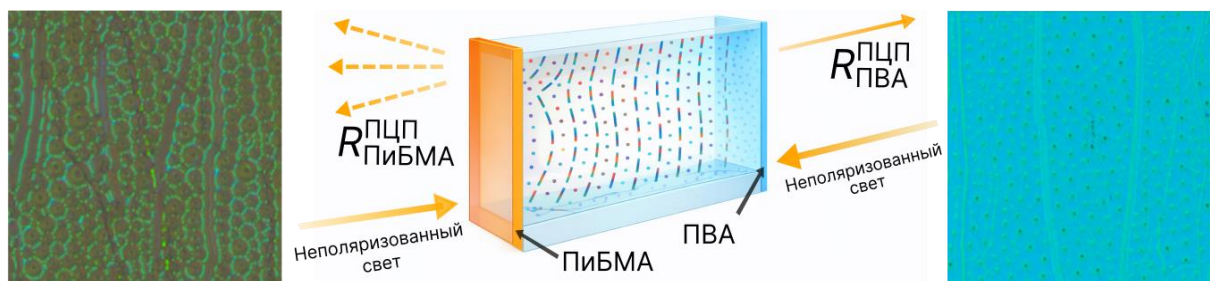


Рис. 5. Схематическое изображение структуры с тангенциально-коническими граничными условиями и пропусканием/отражением света, падающего на ячейку со сторон ПВС и ПиБМА

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН. Автор выражает благодарность соавторам работы: Крахалев М. Н., Lee W., Зырянов В. Я.

ЛИТЕРАТУРА

[1] M. Lesnoy, et al., Optical Materials, V. 162, P. 116924 (2025).

Восстановление толщин ледового и снежного покровов на основе измерений навигационных сигналов отраженных от поверхности пресноводных водоемов

Макаров Д.С.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Многочисленные работы [1-3] посвящены решению обратной задачи восстановления толщины ледового и снежного покрова по радиоинтерференционным измерениям сигналов ГНСС. Метод восстановления толщины льда основан на решении задачи минимизации разности между измеренной и рассчитанной (модельной) амплитудами сигналов ГНСС с применением алгоритмов оптимизации, в частности, метода наименьших квадратов по алгоритму Левенберга—Марквардта. Данные работы показывают высокую точность и хорошую эффективность этого метода. Так, в работе [1] ошибка не превышала 3 см.

Измерения по регистрации интерференционных рефлектограмм проводились 9 и 10 января 2025 года на двух опытных площадках: Красноярском водохранилище (ледовая переправа у с. Новоселово, Красноярский край) и оз. Иткуль (Республика Хакасия). Сеансы записи выполнены с помощью приемника-регистратора «НСРП-04» и антенны с правой круговой поляризацией, установленной на высоте $h = 2,4$ метра над поверхностью льда. На ледовой переправе толщина снежного покрова $t_{\text{снега}}$ составляла около 2 - 5 см, толщина льда $t_{\text{льда}} = 0,38$ м; на оз. Иткуль $t_{\text{снега}} = 3 - 5$ см (с отдельными очагами до 20 см), $t_{\text{льда}} = 0,6$ м.

Расчеты выполнены с помощью оригинальной программы на языке *Python* с использованием библиотеки *SciPy*. Применен алгоритм *Trust Region Reflective*, мотивированный процессом решения системы уравнений, составляющих условие оптимальности первого порядка для задачи минимизации с ограничениями, как сформулировано в [4]. Для обработки отбирались записи спутников в диапазоне углов возвышения 10 - 40° [1] в пределах азимута объекта исследования. Усредненные результаты расчетов для Красноярского водохранилища составили: $h = 2,3915$ м, $t_{\text{снега}} = 0,0243$ м, $t_{\text{льда}} = 0,3825$ м; для озера Иткуль: $h = 2,3930$ м, $t_{\text{снега}} = 0,1302$ м, $t_{\text{льда}} = 0,6099$ м.

Коэффициент детерминации (R^2) показал хорошую сходимость: среднее значение 0,785 при разбросе 0,6 - 0,9. Пониженные значения R^2 на отдельных записях можно объяснить неоднородностью снежного покрова (подобный эффект наблюдался в работах [2, 3]) и применением единой диэлектрической модели для двух различных объектов. Несмотря на это, проведенные измерения и разработанная программа подтверждают работоспособность метода, а последующие исследования будут направлены на уточнение модели с учетом выявленных особенностей.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания № FWES-2025-0025. Автор выражает благодарность соавторам работы: д.ф.м.н. Подопригоре В.Г. (ИФ СО РАН) и к.ф.м.н. Реушеву М. Ю., Харламову Д. В., Краснощекову К. В. (ФИЦ КНЦ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Михайлов М. И., Музалевский К. В., Миронов В. Л. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 14, №2, С. 167-174. (2017).
- [2] Jacobson M. D. *Advances in Space Research*, V.46, №2 PP. 221-227 (2010).
- [3] Munoz-Martin J. F. et al. *Remote Sensing*, V.12, №24. P.4038 (2020).
- [4] M. A. Branch, T. F. Coleman, and Y. Li, *SIAM-Journal on Scientific Computing*, V. 21, №1, PP. 1-23 (1999).

Отображение 3D-объектов в Maplibre GL с учетом рельефа. Проблемы и решения

Малимонов М.И.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий.

С развитием технологий веб-картографии возрастает спрос на трехмерную визуализацию данных в таких сферах, как урбанистика, логистика и мониторинг инфраструктуры. Картографические движки, такие как *Maplibre GL* и *Deck.gl*, обеспечивают высокую производительность отрисовки тайлов и базового рельефа, однако имеют ограниченные возможности для добавления 3D-объектов [1-2]. При попытке отобразить объемные данные на карте с перепадом высот появляются визуальные артефакты, которые мешают восприятию. Например, *Z-fighting* (Мерцание текстур при соприкосновении двух объектов) или неправильная деформация наложенных слоев на карту из-за неправильной обработки рельефа.

К сожалению, в *Maplibre GL* нельзя указать параметры, чтобы рельеф не взаимодействовал с другими слоями. Деформация слоев происходит в любом случае. Для решения этой проблемы используется библиотека *Deck.gl*. Суть заключается в том, чтобы модифицировать структуру входных данных *GeoJSON*. Для каждого объекта явно указываются два параметра: абсолютная высота объекта над уровнем моря и относительная высота объекта. Первый параметр указывается в *GeoJSON* для каждой координаты, второй – передается как входной параметр для слоя.



Рис. 1. Визуальные артефакты при отображении с учетом рельефа (а) и устранение визуальных артефактов с помощью *Deck.gl* (б).

Интеграция *Deck.gl* в стек *Vue.js* и *Maplibre GL* является эффективным решением для задач 3D-визуализации. Предложенный метод установки высот через измененный *GeoJSON* позволяет минимизировать артефакты рендеринга.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Honghui Mei, Huihua Guan, Chengye Xin, Xiao Wen, Wei Chen, Visual Informatics. V. 4, PP. 12-13 (2020).
- [2] Marcel Gangwisch, Andreas Matzarakis, An approach for the south-west of Germany. Environment International. V. 187, PP. 16 (2024).

Предикторы пожарной активности на территории Якутии на основе анализа спутниковых данных и метеорологических показателей

Мальканова А.В.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Ежегодно природные пожары наносят значительный ущерб экосистемам и экономике. Известно, что развитие пожара определяется как погодными условиями (влажность, засуха), так и характеристиками процесса горения [1]. Спутниковый мониторинг позволяет оценивать масштабы пожарных событий с необходимым охватом и периодичностью. Однако сочетание условий, при которых возникают массовые возгорания и кратно увеличиваются площади, изучены недостаточно.

В работе использованы спутниковые данные о характеристиках пожаров (площадь, периметр, скорость приращения площади V_s), полученных по данным MODIS. Предикторы пожарной активности характеризовались показателем влажности ПВ-1 [2] и гидротермическим коэффициентом (ГТК) [2], полученными с 18 ближайших к местам пожаров метеостанций, а также общей продолжительностью пожароопасного периода. Выполнена аппроксимация зависимости между V_s и ПВ-1.

Таблица 1. Характеристики рассмотренных пожароопасных сезонов

Параметр	2012 год	2020 год
Количество пожаров, ед.	256	399
Даты пожаров	03.06-16.08	14.06-27.09
Суммарная площадь пожаров, млн га	4,09	5,52
ПВ-1, ед*	2624,28±501,07	1879,01±562,3
Дни без дождя, дней *	7±1	6±2
Длительность пожароопасного периода, дней	119±8	122±6
V_s , тыс га/день	55,13	52,57

*(в день начала пожарной активности)

В пожароопасный сезон 2020 года, несмотря на более позднее начало, зафиксировано повышение количества пожаров на 56% по сравнению с 2012 года. Общая площадь, пройденная огнем, на 35% больше, чем в 2012 году. Однако среднее значение ПВ-1 на момент начала пожаров в 2012 году на 28% превышало значение аналогичного показателя 2020 года. Также параметр V_s в 2012 году превышал показатель 2020 года на 5%. Показано, что связь между коэффициентами ПВ-1 и V_s описывается экспоненциальной функцией с достоверностью аппроксимации 0,77–0,93.

Таким образом, при сопоставимой продолжительности пожароопасных периодов масштабы пожарной активности могут кардинально различаться в зависимости от экстремальности метеорологических условий. Скорость прироста пожаров, регистрируемая спутниковыми средствами на начальной стадии, при валидации для различных регионов, можно прогнозировать с учетом динамики температуры, осадков и показателя ПВ-1.

Благодарности: автор работы выражает благодарность научному руководителю к.т.н. Пономареву Е.И.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Швецов Е.Г., Пономарев Е.И. Сибирский экологический журнал. Т.22, № 3, С. 413–421 (2015).
- [2] Пономарев Е.И., Скоробогатова А.С., Пономарева Т.В. Метеорология и гидрология, № 7, С. 45–55 (2018).

Транспорт невзаимодействующих бозонов в ромбической цепочке: влияние дефазировки и внешнего синтетического поля

Мураев П.С.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН
Сибирский федеральный университет

Известно, что в ромбической цепочке, находящейся в магнитном поле, транспорт невзаимодействующих частиц полностью подавляется при значении фазы Пайерлса $\Phi = \pi$. В отличие от активно изучавшегося влияния межчастичных взаимодействий [1, 2], роль дефазировки — одного из ключевых механизмов потери когерентности в открытых квантовых системах — оставалась слабо изученной. В настоящей работе исследуется, как учёт дефазировки влияет на транспорт в такой системе при произвольных значениях магнитного потока.

Ключевой величиной, описывающей транспорт в исследуемой открытой системе, является стационарный ток. Его расчёт проводится в рамках основного кинетического уравнения для матрицы плотности с линдбладовскими супероператорами двух типов. Первый тип супероператоров моделирует взаимодействие системы с марковскими резервуарами, источником и стоком, на границах цепочки, а второй — отвечает за однородную дефазировку, действующую на всех узлах.

В отсутствие магнитного потока ($\Phi = 0$) увеличение дефазировки приводит к смене режима транспорта: система переходит от баллистического переноса к диффузионному, что аналогично поведению простой одномерной цепочки [3]. При $\Phi = \pi$ дефазировка разрушает деструктивную интерференцию, восстанавливая ток. Для произвольного значения магнитного потока получено приближенное решение, описывающее стационарный ток вплоть до значений дефазировки, сравнимых с величиной константы туннелирования. На рис. 1 представлены аналитический (рис. 1а) и численный (рис. 1б) результаты для стационарного тока.

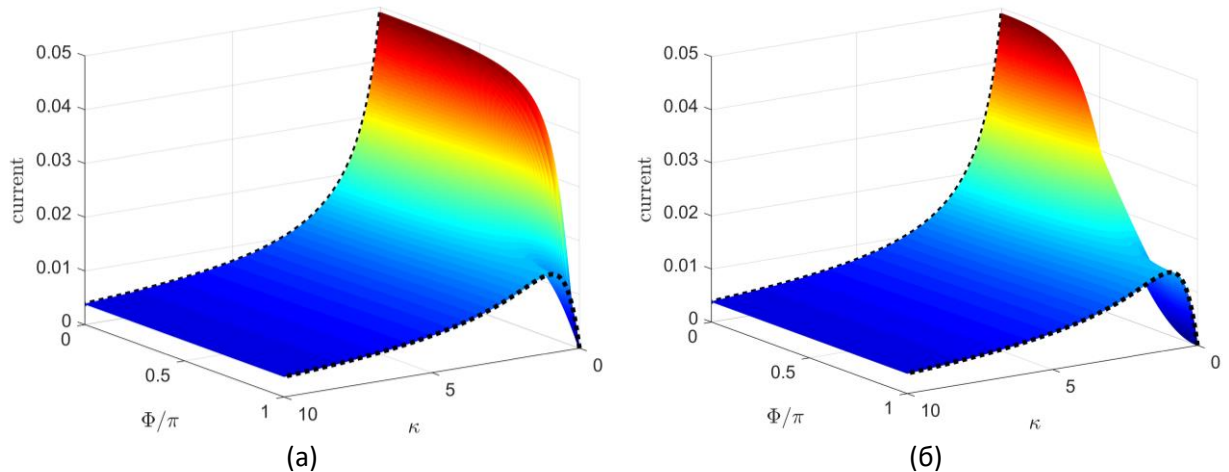


Рис. 1. Зависимость стационарного тока в цепочке из $M = 6$ ромбов от скорости дефазировки κ и фазы Пайерлса Φ . Представлены а – аналитический и б – численный результаты. Пунктирной линией выделено точное аналитическое решение для $\Phi = 0$ и $\Phi = \pi$

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект FSRZ-2023-0006).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Muraev P.S., Kolovsky A.R. Quantum Electronics, V.51, PP. 502-505 (2021).
- [2] Kolovsky A.R., Muraev P.S., Flach S. Physical Review A, V.108, PP. L010201 (2023).
- [3] Žnidarič M. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, V.2010, PP. L05002 (2010).

Поляризационно-оптические свойства ряда фотосинтетических пигментов в нематике ЛН-396

Навесова Ю.В.

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии СФУ
Институт физики им. Л.В. Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН

Жидкие кристаллы (ЖК) широко распространены как в живых системах, так и в современных технологиях благодаря самоорганизации и, как следствие, анизотропии свойств. Для них известен эффект «хозяин-гость», позволяющий изучать анизотропию оптических свойств растворенных в них молекул. Целью работы было исследование анизотропии оптических свойств у фотосинтетических пигментов высших водных растений, растворенных в нематическом ЖК.

Фотосинтетические пигменты хлорофилл *a*, хлорофилл *b*, β -каротин и лютеин были выделены из биомассы роголистника погружённого (*Ceratophyllum demersum*) или элодеи канадской (*Elodea canadensis*). Для очистки пигментов была разработана методика на основе тонкослойной хроматографии. Пигменты смешивали с жидким кристаллом ЛН-396 (Белорусский государственный университет, Беларусь) в известной концентрации. Исследовались ЖК ячейки толщиной 15 мкм с планарной ориентацией директора. Исследования проводились спектральными методами: из измеренных значений пропускания *T* света, поляризованного параллельно ($\parallel$) и перпендикулярно ($\perp$) директору, и известных молярных концентраций пигментов в ЖК были вычислены молярные коэффициенты поглощения $\epsilon_{\parallel, \perp}$ света (рис. 1а, б).

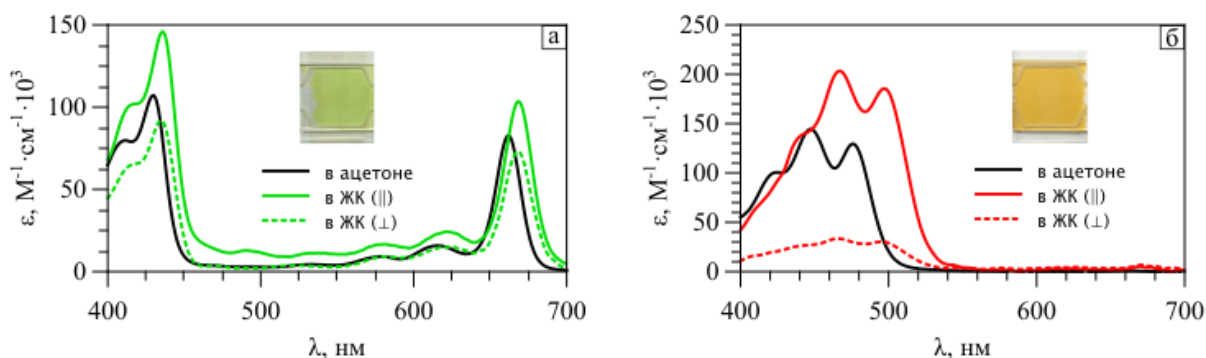


Рис. 1. Молярные коэффициенты поглощения света ϵ а – хлорофилла *a*; б – лютеина в ацетоне (сплошная чёрная линия) и ЛН-396, измеренные для света поляризованного параллельно (сплошная цветная линия) и ортогонально директору (пунктирная цветная линия).

В результате изучения смесей пигментов с ЖК показано, что для всех пигментов характерен bathochromный спектральный сдвиг полосы поглощения в сравнении с раствором пигментов в ацетоне и наблюдается линейный дихроизм. Самой большой разницей между поляризованными компонентами $\epsilon_{\parallel}$ и $\epsilon_{\perp}$ в максимуме поглощения обладает лютеин ($203258 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ и $33319 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$, соответственно), самой низкой разницей обладал хлорофилл *a* ($145840 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$ и $91942 \text{ M}^{-1} \text{cm}^{-1}$, соответственно).

Благодарности: Исследование выполнено в рамках Госзадания № FWES-2025-0023. Автор выражает благодарность научным руководителям и соавторам работы: Зотиной Т.А. и Крахалеву М.Н.

JavaScript библиотека для визуализации пространственных GRID-данных в MapLibre GL JS

Пушкарев А.А.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Визуализация GRID-данных является важной частью современных веб-ГИС, поскольку в таком формате часто распространяются результаты численного моделирования, используемые в задачах метеорологии, климатологии, экологии и аграрного мониторинга. Пользовательские сервисы *Windy*, *Ventusky* и ряд специализированных климатических порталов показывают высокий интерес к оперативному картографическому представлению модельных полей. Вместе с тем открытые инструменты, позволяющие встроить подобную визуализацию в собственные веб-приложения, по-прежнему ограничены. На практике разработчику приходится самостоятельно решать задачи декодирования исходной сетки, интерполяции значений, раскраски полей и согласования этих операций с картографическим движком браузера [1,2].

В данной работе представлен программный продукт в виде *JavaScript* библиотеки для визуализации GRID-данных в среде *MapLibre GL JS*. Библиотека ориентирована на данные, заданные в географических координатах, и рассчитана на использование в двух наиболее востребованных режимах отображения карты: *Mercator* и *Globe*. Исходные данные представляются в виде растровых текстур, в каналах которых кодируются скалярные или векторные компоненты поля. После декодирования изображения библиотека выполняет выборку и билинейную интерполяцию значений непосредственно в браузере, без предварительной серверной генерации специальных тайлов.

В библиотеке предусмотрены средства для визуализации нескольких типов модельных данных. Для скалярных полей реализован слой цветовой визуализации с настраиваемой шкалой и диапазоном значений. Тематические представления, например облачность, описываются тем же механизмом за счет отдельной функции цветового стиля с управлением прозрачностью. Для векторных полей предусмотрен слой стрелок, а для представления числовых значений на карте - слой текстовых подписей. Дополнительно реализована возможность получения значения поля в произвольной точке карты, что позволяет использовать библиотеку не только для отображения, но и для интерактивного анализа данных.

Архитектура библиотеки сочетает два подхода к рендерингу. Для непрерывных скалярных полей используется GPU-визуализация, что позволяет повысить производительность при работе с крупными GRID-массивами. Для стрелок и подписей сохранена тайловая схема генерации, так как она обеспечивает корректное изменение плотности визуальных элементов при масштабировании карты.

Практическая апробация библиотеки выполнена на примере визуализации температуры, облачности и ветра. Разработанный демонстрационный веб-интерфейс показывает, что предложенный подход позволяет совместить интерактивность веб-карты, работу с многоканальными GRID-данными и настройку визуального представления в одном программном модуле. Библиотека может использоваться как самостоятельный инструмент визуализации, так и как компонент более крупных геоинформационных систем, ориентированных на анализ пространственно-временных данных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wang S., Li W. Computers, Environment and Urban Systems, Vol. 77. (2019)
- [2] Liu D., Peng J., Wang Y., Huang M., He Q., Yan Y., Ma B., Yue C., Xie Y. Environmental Modelling & Software, Vol. 114, PP. 188-194 (2019)

Формирование активного фотопротеина. Теория и эксперимент

Рогова А. В.

Лаборатории молекулярной бионики ФИЦ КНЦ СО РАН

Биолюминесценция различных морских организмов вызывается Ca^{2+} -регулируемыми фотопротеинами. На сегодняшний день все известные фотопротеины представляют собой одноцепочечные полипептиды, которые содержат 2-гидропероксицелентеразин (2HP-CTZ), нековалентно-связанный во внутренней полости фотопротеина. Добавление ионов кальция инициирует реакцию декарбоксилирования этого связанного субстрата, приводящую к электронному возбуждению связанного с белком целентерамида в качестве продукта реакции. Переход этого продукта в основное состояние сопровождается испусканием света со спектральными максимумами в диапазоне от 465 до 495 нм. Таким образом, Ca^{2+} -регулируемые фотопротеины, по сути, представляют собой стабильные фермент-субстратные комплексы [1]. В результате, получается «встроенный» кальциевый индикатор, позволяющий проводить мониторинг клеток в их естественной среде обитания. Данная технология позволяет измерять количество ионов кальция в конкретных компартментах клеток.

Объединяя спектроскопию, кинетику, молекулярную динамику и квантовохимические расчеты, были рассмотрены несколько нерешенных вопросов, включая идентификацию реакционноспособного таутомера целентеразина в широком диапазоне pH, выяснение характерных спектроскопических характеристик белка, моделирование каталитической функциональности и интерпретацию кинетических данных. Образование 2HP-CTZ является ключевым этапом активации кислорода, лежащим в основе биолюминесцентной химии Ca^{2+} -зависимых фотопротеинов. Несмотря на фундаментальную важность процесса, механистическое происхождение остается неразгаданным. Квантовохимические расчёты с использованием эластичной ленты с подталкиванием (NEB) позволяют выявить многоступенчатую последовательность переноса протонов, промежуточных радикалов и переходов спиновых состояний, которые управляют превращением аниона целентеразина с закрытой оболочкой (CTZ-A) и молекулярного триплетного кислорода ($^3\text{O}_2$) в 2HP-CTZ. Ключевой переход спинового состояния происходит посредством пересечения с минимальной энергией между триплетной и синглетной поверхностями потенциальной энергии, в результате чего образуется реактивный синглетный бирадикал, способный образовывать C-O-связь. На заключительном этапе кислород $\text{OON}^\bullet$ воздействует на C2-позицию CTZ $^\bullet$, образуя синглет 2HP-CTZ и восстанавливая сеть водородных связей His175-Tyr190. Общий реакционный барьер в 54 кДж/моль поддерживает кинетически осуществимый путь активации кислородом. Эти результаты показывают, как взаимосвязанный перенос протонов, радикальная реактивность в совокупности обеспечивают образование предшественника гидропероксида, играющего центральную роль в биолюминесценции фотопротеинов.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Loening, A.M., Wu, A.M. and Gambhir, S.S., Nat. Method, 4, №8, 641-643, (2007).

Влияние одноионной анизотропии на суперпарамагнитную релаксацию в наночастицах ферригидрита

Смородина Е.Д.

Институт физики им. Л. В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН

Магнитные наноматериалы проявляют уникальные физические свойства, которые открывают широкие перспективы для их применения в различных областях [1]. Эти материалы используются, в частности, в магнитной гипертермии для лечения рака.

В работе исследованы ультрадисперсные наночастицы ферригидрита (FH-initial) с частичным замещением катионов железа на кобальт (FH-Co) и никель (FH-Ni). Синтез образцов осуществляли методом гидролиза растворов $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ и соответствующих солей 3d-металлов. Для всех образцов средний размер частиц составлял $\langle d \rangle \approx 2,4\text{--}2,7$ нм, независимо от замещения. С помощью ^{57}Fe мёссбауэровской спектроскопии в области температур 4–300 К показано, что катионы железа сохраняют зарядовое состояние Fe^{3+} . Магнитные измерения продемонстрировали, что замещение кобальтом увеличивает коэрцитивную силу и температуру блокировки ($H_c = 7,5$ кЭ, $T_B = 49$ К) по сравнению со значениями для исходного образца ($H_c = 3,8$ кЭ, $T_B = 42$ К), в то время как замещение никелем снижает эти параметры ($H_c = 1,8$ кЭ, $T_B = 32$ К). Анализ времени суперпарамагнитной релаксации магнитных моментов наночастиц по данным мёссбауэровской спектроскопии показал, что замещение кобальтом замедляет релаксацию до 4 раз по сравнению с исходным образцом, тогда как время СПМ релаксации для FH-Ni и незамещенного FH-initial остаётся практически одинаковым. Эти результаты объясняются более сильной одноионной анизотропией катионов Co^{3+} ($3d^6$) по сравнению с катионами Fe^{3+} ($3d^5$) и Ni^{3+} ($3d^8$), обладающими симметричными электронными оболочками. Полученные результаты показывают, что замещение катионов является эффективным инструментом для настройки релаксационных характеристик наночастиц ферригидрита.

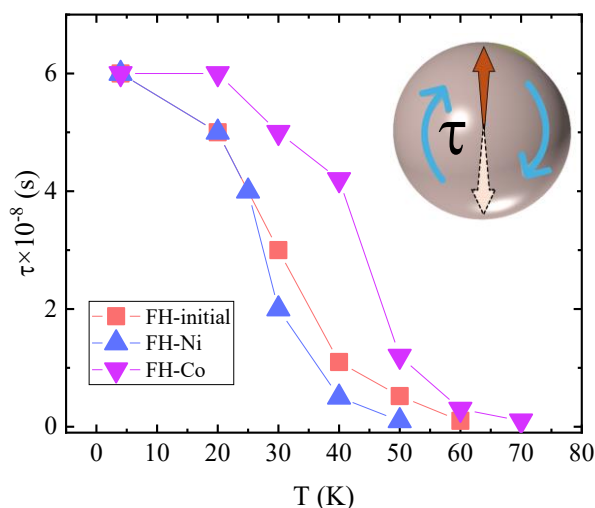


Рис. 6. Температурная зависимость времен релаксации для образцов ферригидрита с замещением 3d-катионов. Экспериментальные данные показаны символами.

ЛИТЕРАТУРА

[1] M. Tadić, Z. Jagličić, *Ceram Int* 51 (2025) 15521–15534.

Моделирование спектров пропускания фотонных кристаллов из анодного оксида алюминия с эллиптическими порами

Соколов М.М.

*Сибирский федеральный университет, базовая кафедра ФТТиН
Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН — обособленное
подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, лаб. фотоники молекулярных систем*

Фотонный кристалл (ФК) – твёрдое тело, представляющее собой периодическую пространственную структуру, с меняющейся диэлектрической проницаемостью и характерным размером структурного элемента порядка длины оптической волны.

В работе [1] представлен многообещающий метод получения мембран с анизотропией пор. Авторы использовали анодный оксид алюминия (АОА), имеющий вид гексогонально-упорядоченных цилиндрических пор в качестве основы. Для достижения анизотропии формы пор мембрана из АОА механически вытягивалась. Полученный материал использовался в качестве шаблона для формирования рисунка на поверхности полимера (РММА).

Вызывает интерес использование подобного метода для создания ФК АОА с эллиптической формой пор. Введение дополнительного параметра — анизотропии пор — открывает новые возможности при создании ФК с необходимыми свойствами. В данной работе показано влияние анизотропии пор на спектр пропускания ФК. В качестве переменной используется $\xi = a/b$, где a – малая полуось, b – большая полуось эллипса для случаев ТЕ и ТМ поляризации.

Расчёт спектров пропускания проводился матричным методом Берремана. Для показателя преломления слоев ФК использовалась модель эффективной среды в приближении Бруггемана [2, 3].

Расчёты показывают, что при увеличении параметра ξ для случая ТЕ поляризации наблюдается сдвиг запрещённой зоны в коротковолновую область; для случая ТМ поляризации наблюдается сдвиг в длинноволновую область.

Автор выражает благодарность научному руководителю к.ф.-м.н. старшему научному сотруднику лаб. ФМС ИФ СО РАН Пятнову М. В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yu-Chun Lin et al., ACS Applied Nano Materials, V. 7 (12), PP. 14707-14718 (2024).
- [2] М. В. Пятнов и др., Письма в ЖЭТФ, Т. 121, №3, С. 184–188 (2025).
- [3] Л. А. Головань и др., УФН, Т. 177, №6, С.619–638 (2007).

Исследование магнитных свойств редкоземельного ортоферрита $\text{HoFe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_3$

Суздалев Г.Г.

Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ

Оксидные материалы, содержащие ионы переходных и редкоземельных элементов, проявляют множество интересных свойств, связанных со сложным взаимодействием двух магнитных подсистем. Отдельным классом таких соединений являются редкоземельные ортоферриты с общей формулой $R\text{FeO}_3$ где R — редкоземельный ион (Y, La, Pr, Nd, ..., Ho, Er, Tm и др.), исследование которых началось более полувека назад. Кристаллическая структура $R\text{FeO}_3$ описывается пространственной группой №62. Их уникальные магнитные являются следствием сложных взаимодействий между подрешетками ионов $3d$ - и $4f$ -электронов.

В данной работе для проведения исследований был получен высококачественный монокристалл $\text{HoFe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_3$. Используя метод оптической зонной плавки, применённый в работе [4] для $\text{HoFe}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ был получен образец $\text{HoFe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_3$; процесс включал два основных этапа: приготовление поликристаллической прессовки и её переплавление в монокристалл. Впоследствии, с использованием метода Лауэ, был выпилен образец в форме параллелепипеда с массой 30,48 мг. В дальнейшем, на вибрационном магнитометре (VSM) [5] были проведены измерения зависимостей намагниченности от магнитного поля ($M(H)$) и температуры ($M(T)$).

Результатом работы является сравнение $M(H)$ и $M(T)$ замещённого соединения $\text{HoFe}_{0.9}\text{Sc}_{0.1}\text{O}_3$ с HoFeO_3 [4], с целью определения влияния замещения в магнитной подсистеме ионов железа на немагнитные ионы скандия.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Скоробогатову С.А.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Уайт Р., Успехи физических наук, Т. 103, №. 4, С. 593-607 (1971).
- [2] Geller S., The Journal of Chemical Physics, V. 24, №. 6, P. 1236-1239 (1956).
- [3] Дзялошинский И. Е., ЖЭТФ, Т. 32, №. 6, С. 1547 (1957).
- [4] Шайхутдинов К. А. и др., ЖЭТФ [К3.1], Т. 165, №. 5, С. 685-699 (2024).
- [5] Design Q., Vibrating Sample Magnetometer Option User's Manual, Quantum Design, 2011.

Сравнительный анализ методов классификации данных мобильного лазерного сканирования для задач паспортизации автомобильных дорог

Сурикова К.В.

СФУ, Институт космических и информационных технологий

Мобильное лазерное сканирование применяется для получения плотных облаков точек, фиксирующих геометрию дорожного полотна, бордюров, знаков и ограждений, что позволяет формировать цифровые модели для анализа, паспортизации и мониторинга состояния автомобильных дорог. Облака точек являются неструктурированными наборами данных, поэтому требуют автоматизированной классификации для выделения значимых объектов и снижения объёма последующей обработки.

В рамках проведённого анализа выделены три основные группы методов классификации. Первая группа — методы, основанные на геометрических признаках. К ним относится, например, алгоритм *CANUPO*, реализованный в открытом ПО *CloudCompare* и предназначенный для бинарной классификации на основе многомасштабного анализа локальной геометрии [1]. Развитием этого подхода стали традиционные методы машинного обучения, использующие классификаторы типа *Random Forest*, которые показывают высокую точность для простых объектов при умеренном объёме обучающих данных. Дополнительные признаки, такие как локальные углы наклона и плотность точек, позволяют точнее отделять дорожное полотно от бордюров и тротуаров. Вторая группа — методы глубокого обучения. Архитектуры типа *RandLA-Net* автоматически извлекают признаки из облаков точек, позволяя классифицировать большие массивы данных без предварительной вокселизации и достигая высокой точности сегментации (например, 86,23 % по семи классам дорожных элементов при учёте интенсивности отражения и *RGB*-данных) [2]. Такие подходы выделяют сложные объекты дорожной среды, но требуют больших размеченных выборок и значительных вычислительных ресурсов. Третья группа — гибридные методы классификации, сочетающие геометрические признаки с нейросетевыми архитектурами. Они позволяют использовать преимущества обоих подходов: устойчивость машинного обучения на простых объектах и способность глубоких сетей выделять сложные структуры [3].

Проведённый анализ показал, что для задач паспортизации автомобильных дорог на начальных этапах эффективны методы, основанные на геометрических признаках, благодаря их простоте и низким вычислительным затратам. Методы глубокого обучения обеспечивают более высокую точность, однако требуют значительных объёмов размеченных данных, поэтому их применение целесообразно на последующих этапах. Наиболее перспективны гибридные подходы. Практическое применение бинарной классификации в *CloudCompare* подтвердило её пригодность для первичного выделения объектов. В настоящее время формируется база данных дорожных знаков на основе их детекции в облаках точек, что создаёт основу для обучения моделей автоматического распознавания.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гура Д.А., Дьяченко Р.А., Тихонов Т.А. Интерэкспо Гео-Сибирь, Т.4, С. 210-216 (2025).
- [2] Bai Q., Lindenbergh R., Vijverberg J., Guelen J.A.P. Remote Sensing and Spatial Information Sciences, V. XLIII-B2-2021, PP. 115-122 (2021).
- [3] Зуев С.М., Здрюев Г.Е. Автоматизация и измерения в машино-приборостроении, № 2(30), С. 98-111 (2025).

Вариативность данных о влажности поверхности по материалам съемки SMAP для арктической зоны Красноярского края

Сыроежко М.Ю.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Спутниковый продукт *SMAP* (англ. *Soil Moisture Active Passive*) восстанавливает влажность почвы методом пассивного (радиометр *L*-диапазона, 1,41 ГГц) микроволнового зондирования [1]. Особую актуальность приобретает анализ сигнала *SMAP* в арктических ландшафтах, так как сложный рельеф и субпиксельная неоднородность вызывают систематические ошибки. Для корректной интерпретации данных необходим анализ условий съемки и калибровка по альтернативным (например, наземным) данным [2].

Использованы многолетние ряды *SMAP L3* (9 км, летние месяцы 2015–2025) для семи ключевых участков в Норильском промышленном районе. Валидация выполнена по полевым данным (1–10 августа 2025). В *QGIS* проведена классификация сцены *Landsat-8* (открытый доступ) методом максимального подобия для выделения долей каменистых поверхностей, воды, растительности и техногенных объектов. Применены регрессионный анализ, оценка порогов и сопоставление спутниковых и полевых данных.

На трансформированных участках зафиксировано устойчивое занижение влажности относительно фона в пределах 5,7–19%, что свидетельствует о долговременном характере выявленных различий. Выявлена связь регистрируемых диапазонов влажности поверхностей с долей естественных обнажений поверхности ($R^2 = 0,65$, $p < 0,05$). Анализ внутрипиксельной структуры показал, что доля естественных обнажений варьирует от 5 до 34% (горные участки), водной поверхности – от 2,5 до 40%. На участке с экстремально высокой долей водной поверхности (~ 40%) зафиксировано аномально низкое значение влажности, связанное с подавлением микроволнового сигнала. Установлено, что в районе исследований доля гольцов выступает основным фактором, влияющим на результаты оценки влажности почв аппаратурой *SMAP*.

Сравнение точечных полевых измерений влажности (слой 0–5 см) с осреднёнными спутниковыми значениями выявило зависимость результата от условий почв, для которых выполнялся отбор проб. Наилучшее соответствие ($R^2 = 0,84$) получено для участков, окрестности которых на характерных размерах пространственного разрешения данных *SMAP* (9 км) не включают обводнённые или сложные предгорные территории.

Выявленные закономерности констатируют, что прямое использование стандартного продукта *SMAP* в арктических ландшафтах без учёта внутрипиксельной структуры приводит к систематическим ошибкам. Они выражаются в занижении влажности от уровня фона на трансформированных участках (пост-техногенные и горные) до 5,7–19% и в искажении сигнала при доле воды около 40%. При этом, при соответствующей калибровке метод может быть применим для ландшафтно-обоснованной интерпретации влажностного режима криолитозоны в обзорном плане.

Благодарности: Исследование выполнено по государственному заданию FWES 2024-0007 (ИЛ СО РАН). Автор выражает благодарность Пономарёву Евгению Ивановичу за научное руководство и редактировании материалов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Entekhabi D., et al. Proceedings of the IEEE, V. 98, PP. 704-716 (2010).
- [2] Colliander A., et al. Remote Sensing of Environment, V. 191, PP. 215-231 (2017).

Исследование термодинамических свойств оксибората $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$

Тарасова А.С.

Институт физики им. Л.В. Киренского ФИЦ КНЦ СО РАН

Монокристаллы оксибората $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$ были впервые получены методом спонтанной кристаллизации из раствора-расплава (рис. 1.А). Соединение кристаллизуется в ромбической пространственной группе $Pbnm(62)$, параметры решётки $a = 9.3438(13) \text{ \AA}$, $b = 9.0908(13) \text{ \AA}$, $c = 3.0507(4) \text{ \AA}$. Атомы Ni и Cr разупорядочены по неэквивалентным октаэдрическим позициям: $\text{Ni1}:\text{Cr1} = 0.64:0.36$, $\text{Ni2}:\text{Cr2} = 0.36:0.64$. Измерения статической намагничённости показали, что материал испытывает магнитный переход при рекордно высокой температуре $T_N = 45 \text{ K}$ среди изоструктурных аналогов и является редким примером установления дальнего магнитного порядка в семействе катионно-неупорядоченных магнетиков со структурой варвикита.

Целью настоящей работы является продолжение исследования термодинамических свойств монокристаллов $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$. Для этого, были проведены измерения теплоемкости в широком интервале температур, в нулевом поле и поле 90 кЭ. Аномалия вблизи 45 К совпадает с температурой магнитного перехода (рис. 1.С). Для анализа магнитного вклада в теплоемкость необходимо корректно вычесть вклад кристаллической решетки. Для этого были использованы два подхода: i) описание решеточной теплоемкости комбинированной функцией Дебая-Эйнштейна и ii) аппроксимация решеточного вклада с помощью теплоемкости немагнитного аналога. В первом случае, экспериментальная теплоемкость обрабатывалась при температурах далеко от магнитных аномалий. В рамках второго подхода, нами специально были выращены монокристаллы $\text{MgGa}(\text{BO}_3)\text{O}$, представляющие собой прозрачные вытянутые регулярные призмы (рис. 1.В).

Сравнение экспериментальной теплоемкости и решеточных вкладов в теплоемкость показаны на рис. 1.С. Аномальная теплоемкость, полученная путем вычитания вклада немагнитного аналога, демонстрирует резкий максимум λ -типа, характерный для фазового перехода второго рода (рис. 1.Д). Аномалия подавляется внешним магнитным полем. Определены температуры Дебая для $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$ и $\text{MgGa}(\text{BO}_3)\text{O}$: $\Theta = 365 \text{ K}$ и 351 K , соответственно. Рассчитана магнитная энтропия при магнитном переходе $\Delta S(T_N) = 3.60 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}$.

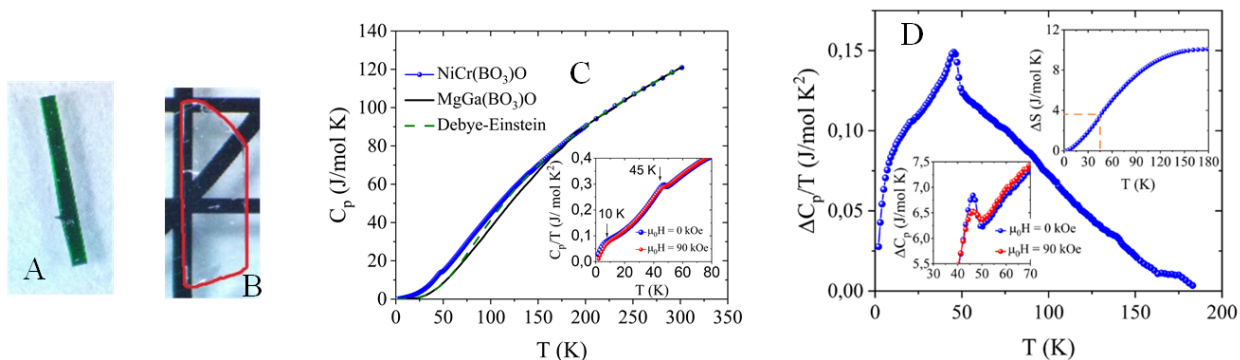


Рис. 1. А, В – Фото монокристаллов $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$ и $\text{MgGa}(\text{BO}_3)\text{O}$, соответственно. С – Температурные зависимости молярной теплоёмкости $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$ и $\text{MgGa}(\text{BO}_3)\text{O}$ и аппроксимация решеточной теплоёмкости функцией Дебая-Эйнштейна. Вставка: зависимость $C(T)$ вблизи магнитных переходов, измеренная в нулевом поле и поле 90 кЭ. D – Магнитная теплоемкость $\text{NiCr}(\text{BO}_3)\text{O}$. Нижняя вставка: влияние магнитного поля на аномалию при T_N . Верхняя вставка: зависимость энтропии от температуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта 24-12-20012. Автор выражает благодарность соавторам работы: Ю.С. Гохфельд, А.Д. Васильеву, О.А. Кондратьеву, А. О. Беляевой, Е.В. Еремину, С.Ю. Гаврилкину, и научному руководителю Н.В. Казак.

Быстрый расчет тензора диэлектрической проницаемости нанопленок благородных металлов в диапазоне частот ТГц-УФ

Теплинская А.С.

Международный научно-исследовательский центр спектроскопии и квантовой химии, Сибирский Федеральный Университет

Точное знание диэлектрической проницаемости $\varepsilon(\omega, h)$ металлических наноплёнок в зависимости от их толщины [1, 2] необходимо для управления оптическим откликом в устройствах наноплазмоники и моделирования их оптических свойств вычислительными методами. В настоящее время для описания $\varepsilon(\omega)$ используют экспериментальные данные для толстых плёнок [3]. Однако исследования показывают, что $\varepsilon(\omega, h)$ зависит от морфологии плёнок (сплошные, островковые, гранулированные) [4, 5].

В данной работе представлены оригинальные модели для расчета компонент тензора ($\varepsilon_{\parallel}(\omega, h)$, $\varepsilon_{\perp}(\omega, h)$) в диапазоне частот ТГц-УФ для наноплёнок металлов (Au, Ag, Cu) различной толщины и ориентации поверхности. Модель для расчета $\varepsilon_{\perp}(\omega, h)$ [1, 2] включает в себя вклад от межзонных переходов в кристалле и внутризонных переходов при движении электрона. Вклад от движения электронов перпендикулярно поверхности пластины рассчитывается в рамках теории возмущений (золотое правило Ферми) в модели бесконечно глубокой одномерной потенциальной ямы ширины h под действием внешнего электромагнитного излучения без применения классической теории Друде. Модель объясняет появление интенсивных пиков в $\text{Re}(\varepsilon(\omega, h))$ и $\text{Im}(\varepsilon(\omega, h))$ в диапазоне 0 - 2 эВ. Модель для расчета $\varepsilon_{\parallel}(\omega, h)$ [2] основана на модели Друде-Лоренца и включает в себя вклад от движения электронов параллельно поверхности пластины, вклад от поверхностных электронных состояний и вклад от межзонных переходов в кристалле, где последние два рассчитаны методом DFT в лицензионной программе VASP 6.4. Далее, на основе теории эффективной среды Бруггемана создана модель для расчета эффективного $\varepsilon_{\text{эф}}(\omega, h)$ для плёнок с заданной морфологией, показано хорошее согласие с экспериментом [4].

В результате работы были созданы модели для расчета $\varepsilon_{\parallel}(\omega, h)$, $\varepsilon_{\perp}(\omega, h)$ и $\varepsilon_{\text{эф}}(\omega, h)$ тонких плёнок металлов (Au, Ag, Cu) заданной толщины в ТГц-УФ диапазоне, написана и зарегистрирована в Роспатенте программа на языке Python «Программа для расчета тензора диэлектрической проницаемости тонких золотых пленок в диапазоне частот 0-6 эВ».

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю и соавтору, д-ру физ.-мат. наук, профессору СФУ Федорову А.С. DFT-расчеты, представленные в работе, выполнены с использованием вычислительных ресурсов Института физики им. Л.В.Киренского СО РАН в лаборатории ФМЯ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Fedorov A. S., Teplinskaia A. S. The Journal of Chemical Physics. Т. 162 № 21 (2025).
- [2] Teplinskaia A. S., Fedorov A. S. The Journal of Chemical Physics. Т. 164 № 9 (2026).
- [3] Johnson P. B., Christy R. W. Physical review B. Т. 6 № 12 С. 4370 (1972).
- [4] Yakubovsky D. I. et al. Advanced Materials Interfaces. Т. 6 № 13 С. 1900196 (2019).
- [5] Akolizina D. et al. Advanced Photonics Research. Т. 5 № 1 С. 2300238 (2024).

Пожарное районирование в арктической зоне Сибири на основе данных дистанционного зондирования о фактических пожарных событиях

Третьяков П.Д.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

В условиях глобального изменения климата актуально изучение пожарных режимов в арктической зоне, которые связаны с динамикой растительного покрова, возрастающей частотой засух, которые формируют новые условия для возникновения природных пожаров. Современные технологии дистанционного зондирования земли представляют эффективные методы контроля пожарных режимов в арктических экосистемах, т.к. обеспечивают непрерывный мониторинг труднодоступных территорий [1]. Целью данной работы является зонирование территории арктической зоны Сибири по вероятности возникновения пожарных событий в связи с климатическими параметрами и вегетационным индексом *NDVI*. Район исследования – арктическая зона Сибири (64–74° С.Ш., 60–150° В.Д.), в пределах бассейнов рек: Оби (I), Енисея (II), Хатанги (III), Лены (IV) и Яны/Индикирки/Колымы (V). В работе использовались данные: вегетационный индекс *NDVI* (*MOD13*); температура воздуха и количество осадков за летний период с 2001 по 2024 гг. по данным реанализа; база данных термически активных пикселей из каталога *FIRMS*; растительный покров «Вега-Pro»; цифровая модель рельефа *SRTM*; данные инсоляции (каталог *FLASHFlux*); грозовая активность из каталога ВНИИГМИ-МЦД. Обработка выполнялась в среде *QGIS-3.40*.

За 2001-2024 года в регионе зафиксированы положительные тренды температуры воздуха и инсоляции, а также снижение суммарных осадков за летний период. Максимальное повышение температуры (0,5–0,9°C/10 лет) зафиксировано в бассейнах Лены (IV) и Яны/Индикирки/Колымы (V), минимальное 0,17–0,4°C/10 лет – на западе региона (I–III). Значения *NDVI* имели тенденцию к возрастанию со скоростью ~0,01/10 лет. Величина *NDVI* в наибольшей степени зависит от температуры воздуха ($r=0,65$). Связь с осадками и инсоляцией менее значима ($r=0,15$). Климатические параметры и динамика вегетационного индекса, а также фактические данные о пожарных событиях послужили основой для построения модели вероятности возникновения пожарных событий. Исходные данные были рассчитаны для ячеек регулярной сети 0,1°×0,1°. С использованием логистической регрессии и ГИС-анализа выполнено зонирование территории по вероятности возникновения термически активных точек. Анализируя коэффициенты регрессии (β) из семи заданных предикторов наибольшей значимостью, характеризовались температура воздуха ($\beta=1,27$) и вегетационный индекс *NDVI* ($\beta=-0,53$).

Согласно полученному зонированию, доля с высокой и очень высокой вероятностью возникновения пожаров составляет 17% и 7% арктической зоны Сибири, 45% территории относится к категории низкой вероятности, 30% – средней вероятности. Верификация модели на фактических термических активных пикселях за 2024-2025 гг. подтвердила её высокую прогностическую способность ($AUC=84,3\%$). В субарктической зоне, для которой характерно увеличение площадей пожаров, актуально смещение границ лесопожарных районов, ранее выделяемых в 1990 году [2], на север не менее, чем на 1°. Результаты работы могут быть использованы для адаптации системы мониторинга пожаров в прогнозируемых условиях в целях минимизации ущерба арктическим экосистемам.

Благодарности: автор работы благодарит научного руководителя к.т.н. Пономарева Е.И.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пономарев Е. И., Скоробогатова А. С., Пономарева Т. В. Метеорология и гидрология, № 7. С. 45–55 (2018).
- [2] Валендик Э. Н. Борьба с крупными пожарами, Москва: Наука, 1990.

Длительные хронологии послепожарной нарушенности древостоев на территории Эвенкии на основе спутниковых данных

Усов А.С.

СФУ, Институт экологии и географии

Задача актуализации масштабов пожарного воздействия и отслеживание динамики процессов на обширных территориях может решаться только на основе тематического анализа спутниковых данных. Цель работы: оценить информативность ДДЗ на длительном интервале времени для анализа площади и числа участков послепожарной нарушенности древостоев на территории Эвенкии. В связи с большой протяжённостью территории Эвенкии в данной работе было рассмотрено 3 кластера на территории данного района (табл. 1), характеризующихся различиями пожарных режимов и лесорастительных условий. Кластер I находится на территории бассейнов р. Котуй и Курейка, кластер II находится на территории бассейна Нижней Тунгуски, а кластер III в зоне бассейна Подкаменной. Их границы ограничены территорией приведенных речных бассейнов.

Для подсчётов территории послепожарной нарушенности древостоев использовались данные спутников серии *Landsat* 1-9. Участки послепожарной нарушенности древостоев были выделены в ходе экспертного анализа. Спутниковые снимки были взяты только за летний период и с облачным покровом не более 20%. В ходе работы были построены 3 карты Эвенкии за 1973, 2000 и 2020 года в программе *QGIS*. Площадь участков послепожарной нарушенности была высчитана с помощью инструмента «калькулятора полей» и функции «area». Порогом для учета участков послепожарной нарушенности древостоев была выбрана площадь в 1 тыс. га, что соответствует категории крупных пожаров по классификации МЧС [1].

Таблица 1. Динамика числа и площади участков послепожарной нарушенности древостоев на территории Эвенкии.

Показатели / кластер, год		Число участков (более 1 тыс. га)	Площадь участков, тыс. га	% территории
I	1973	23	89,3	0,48
	2000	5	59,9	0,32
	2020	1	6,26	0,03
II	1973	35	237,81	0,64
	2000	83	1074,76	2,91
	2020	122	2059,42	5,58
III	1973	2	5,22	0,02
	2000	127	1285,61	6,16
	2020	123	3448,41	16,53

Исходя из полученных ДДЗ (табл. 1) можно констатировать следующие тенденции: увеличение площади территорий пожарных нарушений в кластере II и III в 7 и 661 раз соответственно и уменьшение в 14 раз за более чем 40-летний период таких территорий в кластере I, вероятно это может быть связано с климатическими изменениями и усилением антропогенной нагрузки на регион [2]. Таким образом ДДЗ дают представление о динамике данных показателей за длительный период времени на обширной территории.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Термины МЧС России // МЧС России: официальный сайт. – 2026. – URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/terminy-mchs-rossii/term/111> (дата обращения: 18.03.2026).
- [2] Иванова Г. А., Иванов В. А., Мусохранова А. В., Онучин А. А. Сибирский лесной журнал, № 6 С. 6-16 (2023).

ГНСС-рефлектометрия ледовых покровов с использованием беспилотных летательных аппаратов

Харламов Д.В.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

Целью данной работы является изучение структуры и динамики ледовых покровов методом ГНСС-рефлектометрии с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Для рефлектометрических измерений земных поверхностей важны как прямые, так и отраженные навигационные сигналы (НС). Интерференция между ними несет информацию о макро физических параметрах земной поверхности, к примеру, о толщине приповерхностных слоев.

Исследования проводились на кластерных участках оз. Иткуль и оз. Белё заповедника «Хакасский». Съемка производилась БПЛА *DJI Matrice 350 RTK* с оригинальной полезной нагрузкой. В качестве навигационных приёмников использовались *Emlid REACH M2* и антенны с правой и левой круговыми поляризациями (для регистрации прямого и отраженного сигнала соответственно) в виде двухзаходных плоских спиралей Архимеда (*DSA*) [1]. Демонстрация установки полезной нагрузки представлена на рис. 1А.



Рис. 7. А – БПЛА *DJI Matrice 350 RTK* с установленной полезной нагрузкой; Б – Пример амплитудно-временной зависимости сигнала ГЛОНАСС 14.

Регистрация НС осуществлялась в различных режимах с частотой дискретизации 10 Гц: зависание над поверхностью (на высотах 20 и 100 метров) и линейные маршруты протяженностью 500 метров (на высотах 50 и 100 метров и скоростями 1 и 5 м/с). Результаты съемки в виде амплитудно-временных зависимостей (АВЗ) продемонстрированы на рис. 1Б. Была проведена обработка АВЗ с помощи процедуры быстрого Фурье преобразования, которая показывает существенную разницу между НС регистрируемыми приемниками: прямой регистрации НС и отражённых от поверхности с преимуществом сигналов с левой поляризацией. В сигналах, отражённых от поверхности, преобладает АВЗ в виде многолучевой интерференции. Результаты данного подхода позволяют увеличить информативность и охват, а также сократить время регистрации данных рефлектометрических измерений по сравнению со стационарным методом.[2] Дальнейшие исследования в этом направлении будут продолжены.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках госзадания № FWES-2025-0025. Автор выражает благодарность соавторам работы: к.ф.м.н. Реушеву М.Ю., Макарову Д.С., Дергунову А.В., Токареву А.В. (ФИЦ КНЦ СО РАН) и д.ф.м.н. Подопригоре В.Г. (ИФ СО РАН)

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Г.А. Ерохин и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн: учебник для вузов. Москва: Горячая линия-Телеком, 2004.
- [2] Харламов Д.В. и др. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса Т. 21. № 2. С. 51-60. (2024)

Анизотропия спиновых волн в поляризованной фазе соединения $\text{Mn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{Si}$

Хороший И.Н.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

MnSi является металлическим хиральным магнетиком с нецентросимметричной кубической структурой. Конкуренция изотропного обменного взаимодействия и антисимметричного взаимодействия Дзялошинского–Мория (ДМ) приводит к формированию геликоидального магнитного порядка ниже температуры фазового перехода $T_c = 29$ К с волновым вектором $\mathbf{k}_m$, направленным вдоль кристаллографического направления $[111]$. Особый интерес к MnSi обусловлен обнаружением в нем скирмионной фазы, проявляющей топологический эффект Холла [1].

В настоящей работе мы исследуем эволюцию магнитной структуры и спиновой динамики в легированном соединении $\text{Mn}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{Si}$ методом упругого и неупругого рассеяния нейтронов. Соединение образует геликоидальную магнитную структуру с критической температурой $T_c = 5$ К, что существенно ниже, чем в чистом MnSi , а волновой вектор спирали ориентирован вдоль направления $[110]$. Наши данные показывают, что приложение магнитного поля вдоль кристаллографического направления $[001]$ подавляет несоразмерную геликоидальную фазу в поле 0.6 Тл. Предварительное охлаждение образца в магнитном поле приводит к переориентации волнового вектора спирали вдоль направления приложенного поля.

Спектры неупругого рассеяния нейтронов, полученные в высоких магнитных полях $H \gg 0.6$ Тл, демонстрируют присутствие магнонной моды с параболической дисперсией, которая смещается в область более высоких энергий при увеличении поля от 4 до 8 Тл из-за увеличения энергии Зеемана. Минимум дисперсии расположен на несоразмерном волновом векторе, соответствующем периодичности геликоидального упорядочения $\mathbf{k}_m$, что характерно для поляризованной фазы, где дисперсия магнонов испытывает сдвиг благодаря ДМ [2]. Примечательно, что магнонная мода наблюдается только для волнового вектора $\mathbf{q}^+ = (00\Delta)$, направленного вдоль магнитного поля, и отсутствует для направления $\mathbf{q}^- = (00 -\Delta)$. Такая асимметрия магнонной дисперсии является прямым проявлением невязимости магнонов в нецентросимметричном соединении [2].

В ряде теоретических и экспериментальных работ показано, что в геликоидальной фазе реализуется одномерный магнитный кристалл, что приводит к различию в поведении магнонов, распространяющихся вдоль и поперек оси спирали. Для волновых векторов с поперечной компонентой эта периодичность приводит к брэгговскому рассеянию, что ведёт к формированию зонной структуры и локализации магнонов, тогда как для магнонов, распространяющихся вдоль оси спирали спектр остается дисперсионным [3]. Таким образом, в геликоидальной фазе наблюдается ярко выраженная анизотропия магнонного спектра. В поляризованной фазе, где периодический потенциал отсутствует, спектр спиновых волн должен быть изотропным [4]. Однако в нашем эксперименте в поляризованной фазе обнаружена существенная анизотропия спин-волновой жёсткости для направлений распространения магнонов вдоль и поперёк магнитного поля.

Автор выражает благодарность соавторам работы: Никитину С. Е., Суханову А. С., Подлесняку А. А.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] S. V. Grigoriev et al., Phys. Rev. B 79.14, 144417 (2009).
- [2] T. J. Sato et al., Phys. Rev. B 94.14, 144420 (2016).
- [3] M. Kugler et al. Phys. Rev. Lett. 115.9, 097203 (2015).
- [4] M. Kataoka Journal of the Physical Society of Japan 56.10, 3635-3647 (1987).

Получение планарных островковых наноструктур золота методом микросферной литографии

Царенко А.В.

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН

В работе представлено получение планарных наноструктур Au с использованием метода микросферной литографии. Данный метод использует упорядоченные коллоидные микросферы в качестве шаблона. Наноструктуры, получаемые таким способом, находят применение в решении энергетических и экологических задач – фотовольтаике, фотокатализе и фильтрации воды [1]. Другое важное направление связано с оптическими методами анализа: плазмоникой, спектроскопией гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), плазмонно-усиленной флуоресценцией и солнечным расщеплением воды [2, 3].

Планарные системы на основе ансамблей из наночастиц Au на подложке Au/Quartz были сформированы с помощью маски из полистирольных микросфер (ПС), нанесённой методом центрифугирования [2, 4]. В результате были получены образцы #M1, #M2, #M3 (рис. 1a), различающиеся диаметром ПС: 100, 210 и 310 нм соответственно. Оптические спектры в режиме пропускания представлены на рис. 1b, морфология поверхности была исследована методами АСМ (рис. 1c) и СЭМ (рис. 1d).

Из данных АСМ и СЭМ было найдено влияние морфологии подложки на формирование монослоя ПС. По данным АСМ, средняя площадь, занятая ПС, составила ~ 80% для #M1, ~ 85% для #M2 и ~ 90% для #M3. СЭМ-изображения (рис. 1d для #M1) показывают наличие областей с неполным удалением ПС из-за изотропного осаждения золота на поверхность ПС сфер. Для образцов с большим размером ПС (#M2 и #M3) подобного не происходит. Целью работы также было обнаружение коллективного резонанса в ансамблях НЧ Au [5], как видно из рис. 1b, из-за большого расстояния между островками Au [3] в данных системах наблюдается только ЛППР в области ~500 нм. Однако такие островковые структуры могут применяться в качестве подложек для усиления ГКР (как «горячие точки»), чтобы детектировать единичные молекулы.

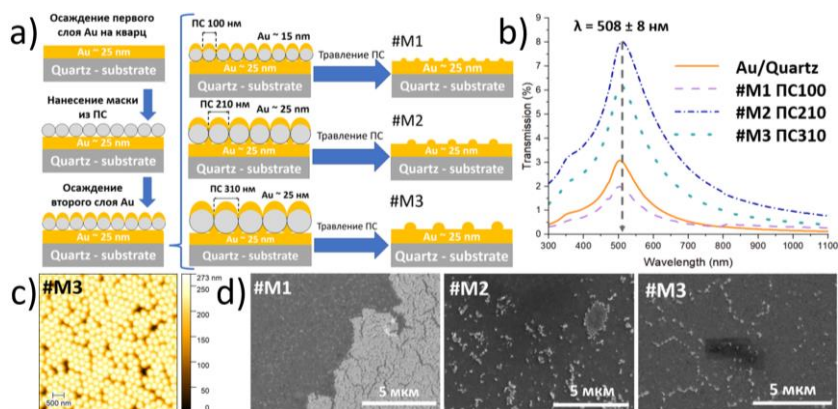


Рис. 1. a – Схема для образцов #M1, #M2, #M3; b – оптический спектр в режиме пропускания для образцов #M1, #M2, #M3; c – АСМ изображение поверхности для образца #M3; d – СЭМ изображения поверхности образцов #M1, #M2, #M3 после травления ПС

Благодарности: Автор выражает благодарность соавторам работы: научному руководителю Тарасову Антону Сергеевичу и научному консультанту Лукьяненко Анне Витальевне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lulek E., Ertas Y. N. *Langmuir*, V. 40, №. 34, P. 18039-18048 (2024).
- [2] Osipov A. A. et al. *Scientific Reports*, V. 13, №. 1, P. 3350 (2023).
- [3] Fedorov A. S. et al. *The Journal of Chemical Physics*, V. 160, №. 8 (2024).
- [4] Park B., Na S. Y., Bae I. G. *Scientific Reports*, V. 9. – №. 1. – P. 11453 (2019).
- [5] Tsarenko A.V., Lukyanenko A. V., et al. *Physica Scripta* (2026).

Изменение спектральных характеристик ландшафтов при локальной трансформации растительного покрова в условиях Арктики

Якимов Н.Д.

ФИЦ КНЦ СО РАН, Лаборатория космических систем и технологий

В современных публикациях отмечается влияние изменения климата на растительные покровы, при этом, актуализируется вопрос прогнозирования устойчивости экосистем к таким изменениям в условиях Арктики [1]. В регионах промышленного освоения антропогенный фактор вносит дополнительный вклад, оказывающим значительное влияние на состояние растительности. Масштабное влияние глобальных и локальных факторов требует разработки методов мониторинга состояния Арктики, где ключевую роль играет использование данных ДЗЗ. Цель работы – оценка сезонных амплитудных различий вегетационных и тепловых спектральных признаков ландшафтов криолитозоны Красноярского края, как маркеров неоднородности, связанной со степенью трансформации участков. На 9 участках в пределах НПП выполнен сопряженный анализ спутниковых и натурных данных. Проведена классификация ландшафтов методом *Random Forest* (Случайный лес, *RF*) [2]. Для этого обработаны 4 снимка *Landsat-8, -9 OLI/TIRS* 2024 года. Входные параметры – значения отражения в каналах: *B2* (0,48 мкм) – *B7* (2,2 мкм), спектральные индексы (*NDVI*, *NDWI*, *NDTI*, *NDBI*, *BSI*, *EVI*) и *LST* (*Lands Surface Temperature*, 11,25 мкм). Выбор классов основывался на данных *Landsat*, калибровка выполнялась на снимках высокого разрешения (*WorldView-4*) и натурных обследований с привязкой к фактическому состоянию растительности. На этапе анализа для выделенных классов были восстановлены спектральные кривые, а также среднегодовое сезонного хода (2000–2024 гг.) спектральных характеристик в привязке к гетерогенности ландшафтов (*Terra/MODIS*, продукты *MOD13Q1* и *MOD11A2*).

В ландшафтах криолитозоны территории интересов выделены 12 классов состояния подстилающей поверхности. Точность классификации варьировала от 25% до 99% (в среднем ~82%), при коэффициенте Каппа на уровне 0,9. Выявлены 3 категории ландшафтов: участки с признаками трансформации растительности (I); фоновое состояние (II); естественные изменения ландшафтов (III). Зафиксирована пространственная неоднородность участков – доля трансформированных покровов в общей площади варьировала в пределах 8–75%, фоновой растительности 3–86%, естественных преобразований 4–65%. Значения среднегодового *NDVI* относительно фона, как правило, занижено на 12–37% в зависимости от гетерогенности и степени трансформации участка. При уровне трансформации участка >50% маркером остаточной нарушенности может являться превышение среднегодового *LST* на $\sim 11 \pm 1\%$ и параллельное снижение среднегодового *NDVI* более чем на 25% относительно характерных максимумов фоновых участков. При трансформации участка <50% таким индикатором может быть превышение *LST* на $7,5 \pm 2\%$ и снижение *NDVI* на $\sim 12 \pm 5\%$. Выявленные маркеры сохраняют информативность в течение не менее 25 лет в условиях криолитозоны.

Количественно показано, что регистрируемая степень неоднородности ландшафтов криолитозоны Красноярского края (отличная от фоновой) и соответствующие ей сезонные колебания *NDVI* и *LST* могут служить маркерами трансформации ландшафтов, вызванной природными или техногенными факторами, что важно с точки зрения применимости данных ДЗЗ для решения экологических задач.

Благодарности: Автор работы выражает благодарность научному руководителю к.т.н. Пономареву Е.И.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анисимов О.А., Шерстюков А.Б Криосфера Земли. Т. XX. № 2. С. 90–99 (2016).
- [2] Breiman, L., Machine Learning, V. 45(1), PP. 5–32 (2001).

Секция «Химия и химические технологии»

Получение и свойства магнитоотделяемых пористых углеродных материалов на основе гидроуглей из древесины осины

Агеев Я.И.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Использование лигноцеллюлозной биомассы для получения углеродных материалов позволяет обеспечить полезное использование лесных и сельскохозяйственных отходов, а также снизить загрязнение окружающей среды [1]. Особый интерес представляет получение магнитоуправляемых пористых углеродных материалов для различных областей применения.

В данной работе для получения пористых магнитоотделяемых углеродных материалов впервые предложено использовать гидроугли (ГУ) - продукты экологически безопасной гидротермальной карбонизации опилок древесины осины. Изучены сорбционные и магнитные характеристики ГУ, полученных при 180 и 230 °С с последующей карбонизацией в присутствии $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ и KOH при 800 °С [2]. Образцы обозначали, как ГУ- T - X - Y , где T – температура получения ГУ, X – активатор, Y – кислотная или водная обработка карбонизированных образцов. Сорбционную активность полученных образцов в отношении метиленового синего (МС) оценивали по ГОСТ 1153-74. Значения удельной поверхности, результаты сорбционных и магнитных измерений образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики термомодифицированных гидроуглей

№	Образец	$S_{\text{БЭТ}}$, м ² /г	Сорбция МС, мг/г	H_c , Э	M_s , emu/г	M_r , emu/г
1	ГУ-180-KOH-H ₂ O	894	229	-	-	-
2	ГУ-230-KOH-H ₂ O	1180	331	-	-	-
3	ГУ-180- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ -HCl	199	154	706,5	0,52	0,11
4	ГУ-230- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ -HCl	310	135	611,1	1,55	0,36
5	ГУ-180- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -H ₂ O	309	169	135,8	13,59	1,91
6	ГУ-230- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -H ₂ O	266	168	173,5	20,32	2,60
7	ГУ-180- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -HCl	586	229	509,5	1,14	0,25
8	ГУ-230- $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ -HCl	529	201	441,4	0,44	0,06
9	Коммерческий ОУ-А	1200	225	-	-	-
10	Коммерческий ОУ-Б	850	210	-	-	-

Полученные данные показывают, что сорбционные свойства в отношении МС образцов № 1,2 и 7 соответствуют требованиям для промышленных осветляющих древесных углей марок ОУ-А и ОУ-Б. Образцы № 3-8 обладают практически значимым магнитным откликом, что делает возможным их применение в качестве магнитоотделяемых сорбентов, носителей катализаторов и электродных материалов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-20007 (<https://rscf.ru/project/25-13-20007/>), гранта Красноярского краевого фонда науки. Автор выражает благодарность науч. рук. д.х.н., проф. Кузнецову Б.Н.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Asemave K., Thaddeus L., Tarhemba P. T., Sust. Chem., V 2, PP. 271-285 (2021).
[2] Кузнецов Б. Н., Агеев Я. И., Микова Н. М., Иванов И. П., Жижаев А. М., Фетисова О. Ю., Овчинникова Т. Г. Журнал СФУ. Химия, Т.18, №.4, С. 517-532 (2025).

Синтез и исследование допированных ионами Eu^{2+} , Dy^{3+} алюминатов стронция, обладающих длительным послесвечением

Антипова Ю.В.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Среди люминесцирующих веществ особый интерес представляют люминофоры с длительным послесвечением (ЛДП), которые используются в светодиодах переменного тока, светящихся красках, системах аварийного освещения и сигнализации, эвакуационных, пожарных и предупреждающих знаках [1]. Люминофоры на основе алюминатов стронция, допированные ионами РЗМ, являются перспективными материалами, обладающими хорошими люминесцентными свойствами, а также химической и термической стабильностью [2]. Отсутствие в литературе единого мнения о влиянии условий синтеза данных материалов на люминесцентные характеристики алюминатов стронция требует подробного изучения данных факторов, что и стало целью настоящего исследования. Для решения этой задачи, в данной работе использовали метод самораспространяющегося высокотемпературного процесса (СВП), который позволяет экспрессно получать большое количество образцов разных составов и оценивать их перспективность.

Согласно данным РФА, полученные образцы представлены полифазными продуктами. Анализ экспериментальных данных показал, что их люминесцентные характеристики существенно зависят от условий синтеза и при этом слабо коррелируют с фазовым составом. Это позволяет сделать вывод о том, что получение монофазного алюмината стронция не является обязательным условием формирования длительного послесвечения, которое, по-видимому, является совокупным излучением люминесцирующих фаз ($\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}$, SrAl_2O_4 , $\text{Sr}_4\text{Al}_{14}\text{O}_{25}$) и в значительной степени зависит от локального микроокружения допирующих ионов.

Допирование ионами Eu^{2+} и Dy^{3+} в диапазоне 0.5-4.0 ат.% и 1.0-8.0 ат.%, соответственно, показало, что наилучшие люминесцентные характеристики достигаются при степени допирования 1.0 ат.% Eu^{2+} и 2.0 ат.% Dy^{3+} . Степень допирования и равномерность распределения европия и диспрозия в образце подтверждаются данными EDX.

Добавки ионов Ag^+ , Li^+ , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ применялись для компенсации заряда. Наибольшей длительностью послесвечения обладал образец с совместной компенсацией K^+ и Na^+ , что, по-видимому, обусловлено более контролируемым допированием и оптимальной компенсацией заряда, ввиду близких значений ионных радиусов данных ионов к радиусу Sr^{2+} .

Замещение алюминия бором не оказывает влияния на формирование однофазного алюмината стронция, при этом значительно увеличивает время послесвечения (60 минут). Как и ожидалось на основании наблюдаемого сине-зеленого послесвечения, спектр фотолюминесценции при возбуждении на длине волны 365 нм содержит широкую полосу с максимумом при 501 нм, соответствующую переходам $4f^65d^1(\text{eg}) \rightarrow 4f^7(^8\text{S}_{7/2})$ [3].

Работа выполнена при финансовой поддержке базового проекта ИХХТ СО РАН FWES-2026-0004 Автор выражает благодарность соавторам работы: Карпову Д.В., Сайковой С.В., Фадеевой Н.П., Павликову А.Ю., Самойло А.С., Молокееву М.С.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Liu Y., Wang Z., Miao X., Nanoscale Advanced, V. 4. P, PP. 4972-4996 (2023).
- [2] Dutczak D., Justel T., Ronda C., Physical Chemistry Chemical Physics, V. 17. P. 15236 (2015).
- [3] Achari A.M., Perumalsamy V., Swati G., ACS Omega, V.8. P. 45483 (2023).

Сульфатирование ксилана сульфаминовой кислотой в присутствии оксидов металлов

Бережная Я.Д.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Ксилан – полисахарид, содержащийся в клеточных стенках растений, занимает второе место по распространенности среди биополимеров после целлюлозы [1]. Модификация ксилана с помощью химических процессов – перспективное направление для улучшения его функциональных свойств. Сульфат ксилана обладает разнообразной биологической активностью и находит применение в различных областях.

В настоящее время распространено сульфатирование полимеров сульфаминовой кислотой в присутствии мочевины. Однако мочевина не выделяется из реакционной массы после процесса, а используется после процесса диализа. Цель исследования – подбор оптимального катализатора с возможностью повторного использования. Для этого, в качестве катализаторов процесса сульфатирования ксилана были использованы оксиды металлов. Они широко используются для переработки биомассы благодаря своим уникальным кислотно-основным свойствам [2].

В качестве катализаторов были использованы: CaO, ZnO, Al₂O₃, CuO, TiO₂.

Наибольшая каталитическая активность наблюдается у оксида кальция, обеспечивающего выход более 50% и содержание серы в сульфате ксилана 6,4 мас.%. Наименьшее содержание серы, а также выход сульфата ксилана наблюдаются у оксида алюминия.

Установлено, что повторное использование оксида кальция в процессе сульфатирования приводит к незначительному снижению выхода сульфата ксилана и содержания в нем серы до 6,2 мас. %.

ИК-спектр сульфата ксилана демонстрирует полосы поглощения при 1250 см⁻¹ и в области 805-812 см⁻¹. Эти полосы указывают на характерные колебания, связанные с сульфатной группой, подтверждая ее успешное включение в структуру ксилана.

Также спектр демонстрирует широкую полосу в диапазоне 3100-3500 см⁻¹. И уменьшение интенсивности при 1598 см⁻¹ и 1415 см⁻¹. Уменьшение интенсивности этих полос предполагает, что реакции декарбоксилирования могут происходить одновременно с процессом сульфатирования, что приводит к уменьшению содержания карбоксильной группы в модифицированном ксилане.

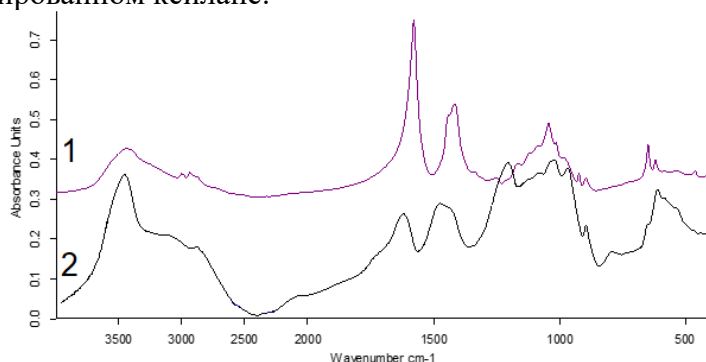


Рис. 1. ИК-спектр: 1 – исходный ксилан, 2 – сульфат ксилана

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Curry T.M., Peña M.J., Urbanowicz B.R., The Cell Surf., V. 9, 100101 (2023).
- [2] Padovan D., Nakajima K., Hensen E.J.M. Crystalline Metal Oxide Catalysts. Springer, Singapore, 2022.
- [3] Buslov, D.K.; Kaputski, F.N.; Sushko, N.I. J Appl Spectrosc., V. 76, PP. 801–805 (2009).

Изучение влияния степени обводненности модельных водонефтяных эмульсий на их реологические свойства

Бурбела Е.Р.

Институт химии и химической технологии СО РАН
Сибирский Федеральный Университет

Исчерпание легко извлекаемых запасов жидкого углеводородного сырья привело к значительному обводнению нефтяных скважин. В результате, содержание воды в добываемой нефти может достигать 70 об.% и более, что не только снижает эффективность добычи, но и приводит к формированию стабильных эмульсий на выходе из скважины [1]. Одновременное присутствие микрокапель воды и микрокристаллических парафинов в водонефтяных эмульсиях приводит к сложному реологическому поведению таких систем [2]. В связи с этим целью данной работы было исследование вязкостных свойств модельных водонефтяных эмульсий в зависимости от содержания воды, а также влияния обводненности и солёности водной фазы на температуру начала кристаллизации парафинов (ТНКП [3]), определяющую переход в неньютоновский режим течения эмульсии.

Были исследованы модельные водонефтяные эмульсии в широком диапазоне содержания воды 0 – 80 об.%, где углеводородную фазу составлял раствор парафинов в н-додекане с различной концентрацией (4, 10 и 16 вес.%). Также были исследованы эмульсии с водной фазой, образованной раствором NaCl с концентрацией 1 – 10 вес.%. Обнаружено, что с увеличением обводненности эмульсий ТНКП возрастает для низкопарафинистых систем (4 вес.% парафинов в углеводородной фазе), однако рост ТНКП замедляется, а затем сменяется снижением при переходе к эмульсиям с высоким содержанием парафинов (10 и 16 вес.%). Показано, что влияние солёности водной фазы на ТНКП имеет сложный характер: с увеличением концентрации соли ТНКП может как снижаться, так и возрастать, в зависимости от степени обводненности, рис.1.

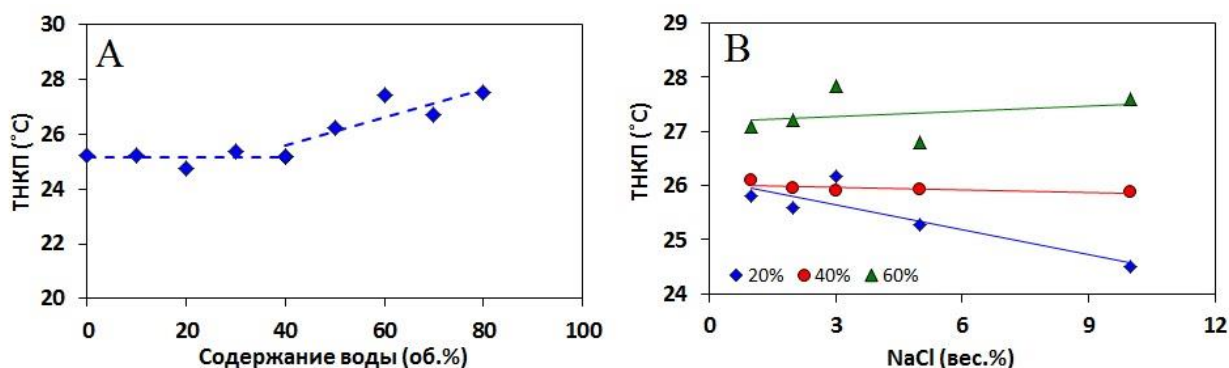


Рис. 8. А – Зависимость ТНКП от обводненности для эмульсии с 10 вес.% содержанием парафинов; В – зависимость ТНКП от концентрации соли в водной фазе для эмульсий с 10 вес.% содержанием парафинов и различным объемным содержанием воды

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-23-01168, <https://rscf.ru/project/25-23-01168/>. Автор выражает благодарность научному руководителю Морозову Е.В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Wong S.F., Lim J.S., Dol S.S., J. Pet. Sci. Eng., V.135, PP. 498-504 (2015).
- [2] Kolotova D.S. et al., Colloids Interfaces, V.2(4), P.64 (2018).
- [3] Kok M.V. et al. Fuel, V.75(7), PP. 787-790 (1996).

Развитие теории каталитического действия твёрдых кислот в водной среде на основе представлений о двойном электрическом слое на границе раздела фаз: влияние адсорбции электронейтральных реагентов

Голубков В.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Твёрдые кислотные катализаторы привлекают большое внимание науки и промышленности как замена коррозионных и трудно перерабатываемых растворимых кислот. В водной среде поверхностные кислотные группы диссоциируют с образованием двойного электрического слоя (ДЭС) у поверхности катализатора, протоны образуют диффузный слой по статистике Пуассона-Больцмана. Протоны диффузного слоя участвуют в каталитических реакциях.

Выявлен принципиально новый эффект влияния адсорбции электронейтральных реагентов (этилацетат, целлобиоза) на двойной электрический слой твердых кислот и их каталитическую активность [1].

Как показано на примере полиоксометаллата цезия диссоциация твердой суперкислоты не подавляется адсорбцией электрически нейтральных веществ. Напротив, при капиллярной «конденсации» адсорбата в микро- и мезопорах протоны диффузного слоя вытесняются вместе с водой, значительно увеличивая концентрацию протонов вблизи отверстия поры. Более того, из-за ограниченной гидратации этих протонов их функция кислотности вблизи отверстия поры может быть усилена, что ведёт к высокой каталитической активности. В случае сульфированного углеродного материала Сибунит, не обладающего суперкислотными свойствами, диссоциация твердой кислоты подавляется в результате адсорбции этилацетата и целлюбиозы. Это вызвано механической работой против электростатических сил, необходимой для смещения диффузного слоя от поверхности на расстояние, равное толщине адсорбированного слоя. Увеличение химического потенциала и, следовательно, термодинамической активности протонов вызывает протонирование макроаниона твердой кислоты.

Представленные результаты показывают, что при обсуждении кинетики реакций, катализируемых твердыми кислотами в полярных средах, важно учитывать диссоциацию твердых кислотных катализаторов и то, как на нее влияет адсорбция реагентов.

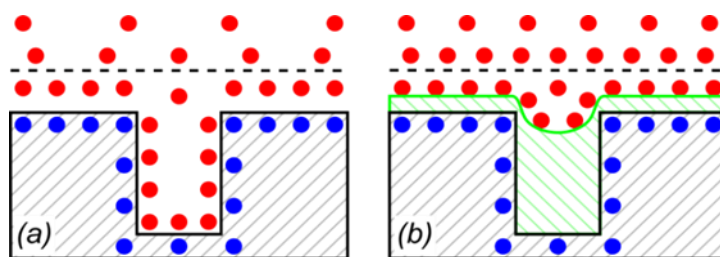


Рис.1. Протоны диффузного слоя вблизи пор катализатора (a) и их вытеснение в присутствии адсорбата (b).

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИХХТ СО РАН (проект FWES-2021-0012). Автор выражает благодарность соавторам работы: Тарабанько Н.В., Воробьёву С.А., Тарабанько В.Е. и Таран О.П.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Tarabanko N., Golubkov V. A., Vorobyev S., Taraban'ko V., Taran O. P., Langmuir, V.41. PP. 27935-27946 (2025).

Влияние продолжительности гидротермальной обработки на характеристики синтетического валлериита, модифицированного кобальтом

Даций Н.П.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Современные технологии предъявляют растущие требования к новым функциональным материалам с управляемыми свойствами. В этом контексте особый интерес представляют двумерные и слоистые соединения, чьи уникальные физико-химические характеристики, такие как высокая удельная поверхность, выраженная анизотропия, открывают перспективы для их применения в катализе, энергетике, спинтронике и сенсорике [1-2]. В 2021 году была разработана [3] простая гидротермальная методика монофазных образцов валлериита. Далее было установлено, что допирование таких материалов позволяет изменять свойства двумерных материалов, что открывает широкие области их применение. В настоящей работе изучены особенности формирования образцов валлериитов, модифицированных кобальтом.

Синтез образцов проводили по ранее разработанной методике [3] при температуре гидротермальной обработки (ГТО) 160°C. Время ГТО варьировали от 8 до 200 часов. Мольное соотношение Fe:Co варьировали от 2:0.1 до 2:0.5, а сульфид-ион во всех опытах вводили в 7 кратном избытке. Рентгенофазовым анализом установлено, что в серии образцов при мольном соотношении Fe:Co 2:0.1 при продолжительности ГТО 40 ч формируется фазово-чистый материал. Увеличение продолжительности ГТО до 200 часов приводит к образованию помимо фазы валлериита, фаз брусита и халькопирита. На рисунке 1 приведены микрофотографии, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, и результаты локального рентгеноспектрального микроанализа. Распределение элементов в образце, полученном при ГТО 40ч и соотношении Fe:Co 2:0.2 однородно и коррелирует с составом валлериита. В материале при ГТО 200 ч соотношении Fe:Co 2:0.3 обнаружены локальные скопления кобальта, вероятно, в виде сульфидной формы.

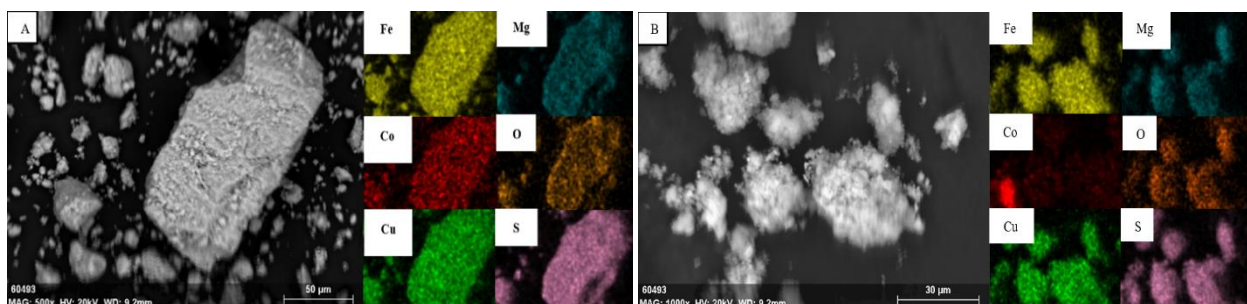


Рис. 1 – СЭМ-изображения и карты распределения элементов А – ГТО 40ч, Fe:Co 2:0.2 ; В – ГТО 200 ч, Fe:Co 2:0.3.

Работа выполнена в рамках проекта государственного задания FWES2026-0004. Автор выражает благодарность научному руководителю работы: с.н.с. Борисову Р. В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mikhlin Y., Likhatski M., Borisov R. et al. Materials. Vol.16(19), P. 6381 (2023).
- [2] Jiang X., Xu S., Gao Z. Int J Miner Metall Mater. Vol.33, P.369–381 (2026).
- [3] Mikhlin Y.L., Borisov R.V., Vorobyev S.A. et al. J. Mater. Chem. A. Vol.10, P. 9621–9634 (2022).

Фотокаталитические свойства композитных гетероструктур на основе слоистого сульфид-гидроксидного материала

Донской Н.Д.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Слоистые сульфидно-гидроксидные соединения — синтетические аналоги природного минерала валлериита — потенциально применимы для дизайна фотокатализаторов [1]. Цель настоящей работы — исследование фотокаталитической активности валлериита и его модифицированных форм в реакции фотодеградациии индигокармина.

Фотокаталитическую активность оценивали по скорости обесцвечивания водного раствора индигокармина ($\lambda = 610$ нм) с добавкой цитрата натрия (0,05М) при облучении УФ-лампой UVB- диапазона (340 нм, 26 Вт). Для оценки действия различных факторов использовали как типичный валлериит с соотношением базовых элементов Fe/Cu/Mg/S 2:2:2:15, который получен путем гидротермального синтеза при 160 °С в течение 53 ч (образец 1), а также Со-легированный валлериит (Fe/Cu/Co/Mg/S) (2) и валлериит (как и в обр. 1), обработанный гидрозолею Ag со средним гидродинамическим диаметром частиц, согласно измерениям методом DLS, 3 нм (3). Контрольный опыт проводили в отсутствие катализатора при УФ-облучении раствора красителя.

Из рис. 1,а видно, что интенсивность полосы поглощения красителя при 610 нм снижается с увеличением продолжительности облучения, что свидетельствует о деградации красителя. На рис. 1,б, приведены кинетические зависимости конверсии индигокармина для исследованных катализаторов.

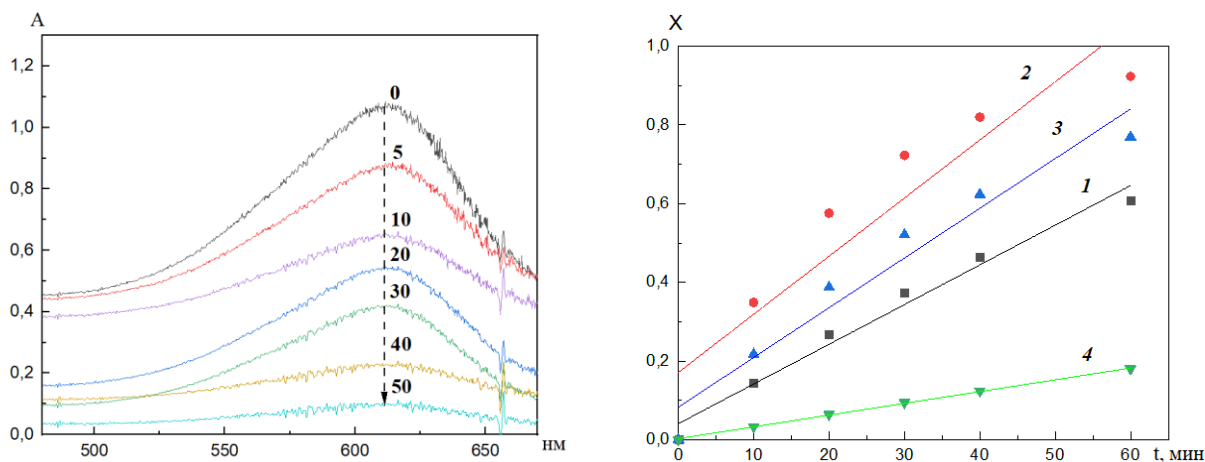


Рис. 1. а – эволюция оптических спектров раствора индигокармина в присутствии образца валлериита, легированного Со; б – зависимость конверсии индигокармина от времени для различных катализаторов (1 – валлериит; 2 – валлериит, легированный Со; 3 – валлериит+Ag, 4 – контрольный опыт).

Таким образом, обнаружено, что легирование кобальтом повышает фотокаталитическую активность в реакции восстановления индигокармина по сравнению с исходным валлериитом, так и по сравнению с валлериитом, обработанным гидрозолею серебра.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Roy S., Zhang X., Puthirath A.B. et al. Advanced Materials. V. 33(34), P. 2101589 (2021).

Влияние остаточного лигнина на свойства микрофибриллированных целлюлоз древесины сосны

Емельянова В.С.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Особое внимание исследователей привлекают целлюлозные наноматериалы благодаря их исключительным свойствам в сочетании с экологичностью. Однако получение материалов из отбеленной целлюлозы является многостадийным и экономически малоэффективным процессом. Поэтому в последнее время наблюдается тенденция к использованию неотбеленной целлюлозы для производства целлюлозных нано и микрофибрилл, содержащих лигнин. Это связано как с полезными свойствами, которые приобретают материалы благодаря присутствию остаточного лигнина, так и с большей энергоэффективностью и экологичностью процесса их получения [1].

Целью настоящей работы являлось изучение влияния остаточного лигнина на свойства полученных образцов микрофибриллированной целлюлозы древесины сосны с использованием физико-химических методов: ИК, СЭМ, РФА и ТА.

Были получены образцы лигнинсодержащей микрофибриллированной целлюлозы (ЛМФЦ) древесины сосны с содержанием остаточного лигнина 3,5, 6,2 и 9,4 мас.% с использованием метода пероксидной делигнификации в среде «уксусная кислота – вода», с последующим кислотным гидролизом и УЗ-обработкой.

Леофильно высушенные образцы ЛМФЦ сосны с различным содержанием остаточного лигнина имеют трехмерную сетчатую структуру (рисунок 1). При этом лигнин локализован как в виде отдельных глобулярных образований, так и на поверхности фибрилл, что сопровождается увеличением толщины последних.

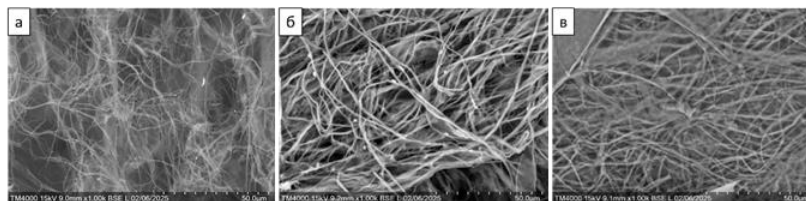


Рис. 1 – СЭМ изображения леофильно высушенных образцов ЛМФЦ с содержанием остаточного лигнина: а) 3,5 мас.%; б) 6,2 мас.%; в) 9,4 мас.%.

Установлено, что термостабильность образцов ЛМФЦ сосны увеличивается с увеличением содержания остаточного лигнина. Температура начала термической деструкции образца ЛМФЦ с содержанием лигнина 3,5 мас.% составляет 190 °С, а образца ЛМФЦ сосны с содержанием лигнина 9,4 мас.% 220 °С. Согласно данным РФА, степень кристалличности образцов ЛМФЦ уменьшается с 0,56 до 0,47 с увеличением содержания остаточного лигнина с 3,5 до 9,4 мас.%.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИХХТ СО РАН проект FWES-2026-0010 с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Trache D., Derradji M., Journal of Frontiers in chemistry, V.8, PP. 392-315 (2020).

ЯМР исследование влияния воды и ионных жидкостей на локальную динамику и фазовое поведение асфальтенов

Иваненко Т.Ю.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Исчерпание легко извлекаемых запасов жидкого углеводородного сырья с низким содержанием тяжелых компонентов приводит смещению фокуса нефтяной промышленности на добычу и переработку тяжелых нефтей, содержащих большое количество смол и асфальтенов. Их присутствие приводит к существенному удорожанию процессов извлечения сырья, а также его дальнейшей переработки вследствие трудностей, связанных с потерей фазовой стабильности асфальтенов в результате интенсивных внешних воздействий (изменение состава, температуры и давления среды), что сопровождается образованием нерастворимых отложений на стенках скважин, трубопроводов и технологического оборудования. Решение данной проблемы требует ясного понимания механизмов потери агрегационной стабильности асфальтенов, особенностей их фазового поведения, закономерностей дестабилизации в многофазных многокомпонентных системах.

В представленной работе изучено динамическое поведение и фазовый состав асфальтеновых агрегатов в модельных системах, образованных растворами асфальтенов и релевантными компонентами. В качестве последних использовались вода, неизбежно присутствующая в добываемом сырье и образующая устойчивые водонефтяные эмульсии, а также ионные жидкости (ИЖ), являющиеся перспективными агентами модуляции размера и коллоидной устойчивости асфальтеновых агрегатов. Методами ЯМР спектроскопии, диффузионного и электрофоретического ЯМР были измерены коэффициенты диффузии асфальтеновых агрегатов в зависимости от содержания воды в системах, концентрации ионных жидкостей [BMIM]BF₄ и [BMIM]TFSI, ассоциативные взаимодействия и образование кластеров ИЖ в разбавленных растворах. Обнаружено заметное влияние микрокапель воды на динамическое состояние и фазовый состав асфальтеновых агрегатов в диапазоне обводненности 1-2 об.% (рис.1), а также диспергирующее влияние ИЖ на наноагрегаты асфальтенов.

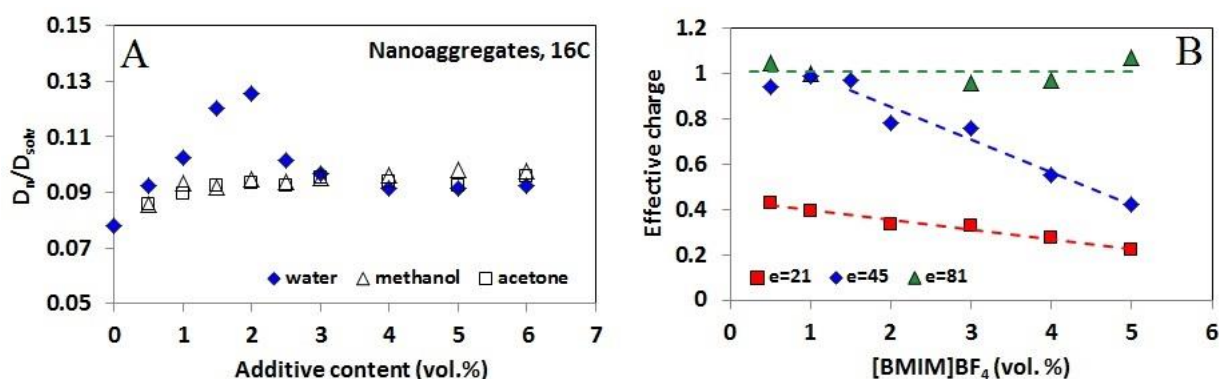


Рис. 1. А – Зависимость коэффициентов диффузии асфальтеновых наноагрегатов в бензоле от объемного содержания воды, метанола и ацетона; В – зависимость эффективного заряда катиона ВММ⁺ от концентрации в воде ($\epsilon=81$), ДМСО ($\epsilon=45$) и ацетоне ($\epsilon=21$)

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-23-01168, <https://rscf.ru/project/25-23-01168/>. Автор выражает благодарность научному руководителю Морозову Е.В.

Квантово-химическое исследование природы металл-лигандного взаимодействия в комплексах Ce(III), Eu(III) и Yb(III) с фосфорорганическими лигандами HDEHP

Кормес Е.С.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Ранее нами проводились исследования природы металл-лигандного взаимодействия на примере комплексов Rh(I) с дикарбонильным лигандом [1] и Ni(II) с лигандами пинцерного типа [2] при помощи метода *NBO* (*Natural Bond Orbital*). В данной работе будет представлен аналогичный анализ природы комплексообразования между представителями ряда лантаноидов, а именно ионами Ce(III), Eu(III), Yb(III) и фосфорорганическим лигандом - ди(2-этилгексил)фосфорной кислотой (*HDEHP*), который является одним из наиболее широко применяемых промышленных реагентов для жидкостной экстракции и высокоэффективного разделения лантаноидов из руд.

Целью нашей работы являлся комплексный квантово-химический анализ геометрии и электронной структуры органометаллических комплексов $\text{Ln}(\text{HDEHP} \cdot \text{DEHP})_3$ ($\text{Ln} = \text{Ce}, \text{Eu}, \text{Yb}$), а также установления закономерностей изменения свойств в ряду лантаноидов от легких к тяжелым. Основываясь на литературной базе, лиганд *HDEHP* в большинстве неполярных органических растворителях присутствует в основном в виде димера, стабилизированного водородной связью.

В комплексах типа $\text{Ln}(\text{HDEHP} \cdot \text{DEHP})_3$ ($\text{Ln} = \text{Ce}, \text{Eu}, \text{Yb}$) связь металл–лиганд носит преимущественно ионный характер с заметным, но ограниченным ковалентным вкладом за счёт донорно-акцепторного переноса электронной плотности от неподелённых пар на кислороде лиганда к вакантным орбиталям металла. Основными орбиталями, участвующими во взаимодействии, являются неподелённые пары кислорода $LP(\text{O})$ и вакантные орбитали металла $LV(\text{Ln})$. Индексы Виберга для связей М–О слабо уменьшаются в ряду $\text{Ce} \rightarrow \text{Eu} \rightarrow \text{Yb}$, что указывает на ослабление ковалентного характера взаимодействия из-за сокращения ионного радиуса лантаноида и усиления экранирования $4f$ -оболочки. Внутрелигандные водородные связи $\text{O} \cdots \text{H} \cdots \text{O}$ в димерах *HDEHP*·*DEHP* относительно прочны (32–52 ккал/моль), почти не зависят от Ln^{3+} и прочно фиксируют димерную структуру лиганда.

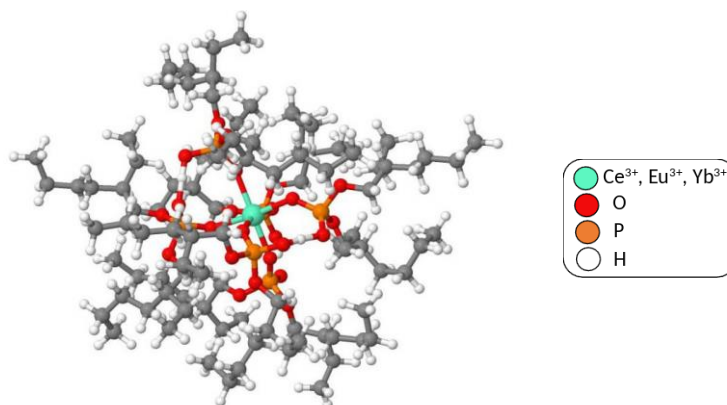


Рис. 1. Пространственная структура комплекса $\text{Ln}[\text{HDEHP} \cdot \text{DEHP}]_3$

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Кормес Е.С., Шор А.М., Рубайло А.И., Иванова-Шор Е.А. Журнал СФУ. Химия, Т. 16, №4, С. 518–530 (2023).
[2] Кормес Е.С., Шор А.М., Рубайло А.И., Иванова-Шор Е.А. Журнал СФУ. Химия, Т. 17, №4, С. 596–606 (2024).

Влияние температуры и катализатора на выход ванилина при окислении сосновой древесины кислородом в щелочной среде

Корсаков А.В.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Одним из перспективных направлений химической переработки древесины является окисление лигнина в ароматические альдегиды, в частности в ванилин. В настоящее время большую часть ванилина получают глиоксальевым методом из нефтяного сырья. Получение ванилина путем окисления возобновляемого лигнина может стать экологичной, углерод-нейтральной альтернативой глиоксальевому синтезу.

В качестве сырья использовали древесные опилки фракции 1-2 мм сосны обыкновенной. На основании проведенных ранее исследований выбраны условия высокоинтенсивного перемешивания (1200 мин^{-1}), в которых достигнут внутридиффузионный режим при окислении костры льна [2]. Эксперименты проводили в автоклаве при парциальном давлении кислорода 0,2 МПа. Отобранные пробы реакционной массы экстрагировали и анализировали методом ГЖХ.

Зависимость выхода ванилина от температуры экстремальна с максимумом при 180 °С. Важнейший результат работы – принципиально более высокие выходы ванилина по сравнению с известными публикациями. При окислении лигнина сосны древесины кислородом они не превышают 21-28 мас. % [1, 3], а классические и современные данные по нитробензольному окислению сосновой древесины находятся на уровне 27-36% [1].

Влияние температуры на выходы ванилина объясняется термодинамикой и кинетикой окисления. Так, термодинамика смещает равновесие реакций деполимеризации в сторону образования мономерных продуктов при повышении температуры, а с позиций кинетики и механизма процесса рост выхода ванилина при увеличении температуры связан с конкуренцией двух путей превращения феноксильного радикала, образующегося на первой стадии: побочная реакция димеризации этих радикалов и целевая реакция дальнейшего окисления феноксилов в ванилин. В итоге рост выхода ванилина с увеличением температуры процесса объясняется соотношением энергий активации этих реакций.

Количественное соотношение связей фенилпропановых звеньев (в первом приближении связи типа $\beta\text{-O-4}$ и связь типа 5,5') в структуре лигнина определяет максимальные выходы ванилина, и наоборот. Полученные нами максимальные выходы ванилина (48 мас. %) значительно превышают показатели нитробензольного окисления (27-36 мас. %) и могут служить основанием для пересмотра существующих представлений о его структуре.

Исследование выполнено за счёт Гранта Российского научного фонда № 25-26-20104 и Гранта Красноярского краевого фонда науки с использованием оборудования Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН. Автор выражает благодарность за помощь в выполнении работы: Тарабанько В. Е., Кайгородов К. Л., Смирнова М.А., Челбина Ю. В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tarabanko V. E., Tarabanko N., International Journal of Molecular Sciences (IJMS), V.18, № 11, PP. 2421 (2017).
- [2] Tarabanko, V. E., Kaygorodov, K. L., Kazachenko, A. S., Smirnova, M. A., Chelbina, Y. V., Kosivtsov, Y., Golubkov, V. A., Catalysts, V.13, № 12, PP. 1490 (2023).
- [3] Tarabanko, V. E., Kaygorodov, K. L., Vigul, D. O., Tarabanko, N., Chelbina, Y. V., Smirnova, M. A., Journal of Wood Chemistry and Technology, V.40, № 6, PP. 421-433 (2020).

Влияние экспериментальных параметров на процесс ультразвукового диспергирования алюминиевой фольги

Кроликов А.Е.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Ультразвук становится всё более популярным в химии и инженерии благодаря доступности и небольшим габаритам ультразвукового оборудования. Использование ультразвука в химических процессах может значительно улучшить их эффективность, экономическую целесообразность и экологическую безопасность.

Ультразвуковая кавитация играет ключевую роль в процессах диспергирования и эрозии твердых материалов в жидких средах. Однако влияние условий обработки и свойств среды на эффективность кавитации в ультразвуковых ваннах до сих пор недостаточно изучено и систематизировано. Несмотря на широкое распространение ультразвуковых ванн в технологиях переработки материалов, общие подходы к оптимизации их работы отсутствуют, а режимы обработки, как правило, подбираются эмпирически для каждой конкретной задачи.[1].

В данной работе проведена количественная оценка кавитационной активности с использованием теста на эрозию алюминиевой фольги, закрепленной в пластиковом держателе, что позволило охарактеризовать механическое воздействие кавитации [2].

Систематически изучено влияние мощности и частоты ультразвука, продолжительности обработки, температуры, природы растворителя и материала реакционного сосуда на потерю массы фольги. Показано, что на кавитационную активность существенно влияют как параметры оборудования, так и физико-химические свойства дисперсионной среды (вязкость, поверхностное натяжение).

Наиболее интенсивная эрозия наблюдается в растворителях с низким порогом кавитации и оптимальными акустическими характеристиками; при этом материал и геометрия сосуда также оказывают влияние на эффективность передачи энергии в жидкость. Предложенный в работе системный подход к оценке дозы кавитации в ультразвуковых ваннах позволяет сформулировать практические рекомендации по оптимизации процессов ультразвукового диспергирования и повышению их воспроизводимости. Исследование подчёркивает необходимость учёта как акустических параметров оборудования, так и тонких физико-химических свойств дисперсионной среды для достижения максимальной эффективности при обработке слоистых материалов.

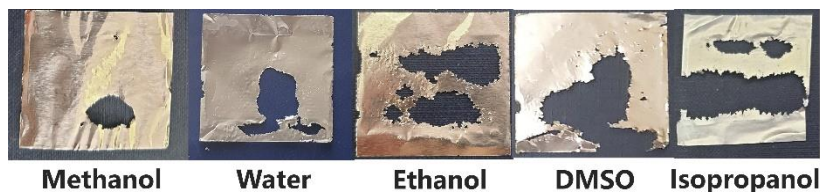


Рис. 9. Эрозии алюминиевой фольги после обработки ультразвуком в различных растворителях.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Saikova, S.; Nemkova, D.; Krolikov, A.; Pavlikov, A.; Volochaev, M.; Samoilo, A.; Ivanenko, T.; Kuklin, A. *Molecules* V.29, PP. 4846 (2024).
- [2] Saikova, S.; Nemkova, D.; Krolikov, A. *Molecules* V.31, (2026) - preprint.

Электрохимическое восстановление левулиновой кислоты в присутствии соединений никеля (II) на различных электродах в неводных средах

Кузин Н. Д.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Одним из основных продуктов кислотного каталитического гидролиза растительных полисахаридов является левулиновая кислота (ЛК) – молекулярная платформа для синтеза востребованных продуктов на биологической основе с высокой добавленной стоимостью. В водных средах электрохимическое восстановление левулиновой кислоты протекает с преимущественным образованием γ -валеролактона (ГВЛ) и/или валериановой кислоты (ВК) и существенно зависит от pH электролита, природы материала рабочего электрода [1]. Добавление в реакционную систему соединений переходных металлов может менять механизм процесса и целевые продукты вследствие образования на поверхности электрода интермедиатов металлов с органическим субстратом. Однако отсутствуют данные об электровосстановлении ЛК в присутствии соединений переходных металлов. Одним из перспективных и доступных металлов является никель.

В настоящей работе изучен процесс электрохимического восстановления левулиновой кислоты в присутствии неорганических и металлоорганических соединений никеля (II) на стеклоуглеродном (СУ), платиновом (Pt) и никелевом (Ni) электродах в неводных средах в отсутствие и при добавлении доноров протонов методами циклической вольтамперометрии, электролиза при контролируемом потенциале и высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Показано, что левулиновая кислота на Pt, СУ электродах в ацетонитриле восстанавливается в одну двухэлектронную, на Ni электроде – в две одноэлектронные стадии с низкой конверсией ЛК. Добавление доноров протонов к раствору субстрата приводит к образованию ГВЛ и увеличению конверсии ЛК вследствие восстановления протонированной формы левулиновой кислоты. При введении неорганических катионов никеля (II) к раствору ЛК с протонами электровосстановление субстрата на СУ и Pt электродах протекает с преимущественным образованием γ -валеролактона.

Введение пинцерных комплексов ($^{\text{Ph}}\text{POCOP}^{\text{Ph}}\text{NiX}$ [$\text{X} = \text{I}$ (1), $\text{OC}(\text{O})\text{CF}_3$ (2)] к раствору ЛК в ацетонитриле без добавления протонов приводит к образованию смеси ГВЛ и ВК в соотношении 1:1. В присутствии протонов для этой системы наблюдается более полное гидрирование ЛК до валериановой кислоты. Таким образом, добавление соединений никеля (II) при электрохимическом восстановлении ЛК в ацетонитриле приводит к изменению соотношения основных продуктов (ГВЛ и ВК) и увеличению их выхода. Полученные результаты демонстрируют перспективу использования соединений никеля (II) для электрохимического гидрирования продуктов переработки растительного сырья в востребованные целевые продукты с высокой добавленной стоимостью.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2026-0009). Автор выражает благодарность соавторам работы: Воронов С.А., Остапенко И.А., Гузей А.А., Верпекин В.В., Чудин О.С., Сычев В.В., Зимонин Д.В., Бурмакина Г.В.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Du Y., Chen X., Qi J., Wang P., *Catalysts* 2020, Vol. 10, P. 692-703.

Фотоизомеризация азопроизводных лигнинов с ароматическими карбоксильными группами

Михейкина А.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Современные производственные стратегии направлены на использование отходов растительного сырья, в частности лигнина — природного фенольного полимера, способного участвовать в реакции азосочетания [1]. Получены азопроизводные этаноллигнина сосны путём взаимодействия с диазониевыми солями аминобензойных кислот. Степень замещения составила ~1 азогруппа на 3 фенилпропановые единицы [2, 3]. Структура и групповой состав подтверждены ИК-, ^1H и ^{13}C ЯМР-спектроскопией; молекулярно-массовые характеристики — гель-проникающей хроматографией.

Азолигнины проявляют высокую антиоксидантную активность по отношению к радикалу ДФПГ, сравнимую с витамином С; наиболее эффективен образец, модифицированный 2-аминобензойной кислотой. Электронная спектроскопия показала фотоизомеризацию транс→цис только для производного 2-аминоизомера под видимым светом; образцы с 3- и 4-заместителями не изомеризуются, что указывает на влияние положения карбоксильной группы в диазокомпоненте. Наблюдается снижение оптической плотности при облучении, вероятно, из-за фотолиза (рис. 1).

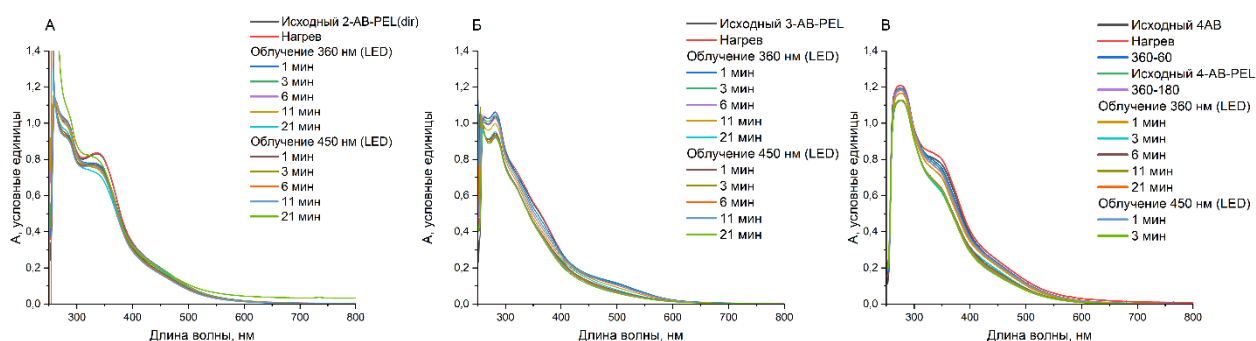


Рис. 1. Электронные спектры поглощения азопроизводных этаноллигнина. Структура диазокомпоненты (аминобензойной кислоты): А – орто; Б – мета; В – пара.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания ИХХТ СО РАН (проект №FWES-2026-0009). Автор благодарит коллег, внёсших вклад в исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Patel B., Patel A., Gami B., Patel P. Renewable Energy. Elsevier. V.148, № 6, PP. 816-823 (2020).
- [2] Golubkov V.A., Borovkova V.S., Vasilieva N.Y., Lutoshkin M.A., Zos'ko A.N., Malyar Y.N. Wood Science and Technology. V.58, №5. PP. 1861-1879 (2024)
- [3] Borovkova V.S., Malyar Y.N., Vasilieva N.Y., Skripnikov A.M., Ionin V.A., Sychev V.V., Golubkov V.A., Taran O.P. Materials. V.16, № 4, PP. 1525 (2023).

Моноядерные ($\text{P}^{\text{h}}\text{POCOR}^{\text{P}^{\text{h}}}$) пинцерные комплексы никеля (II) и платины (II) в реакциях электрохимического восстановления протонов

Остапенко И.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Водород, получаемый при электролизе воды в присутствии катализаторов, рассматривается как альтернатива ископаемому топливу благодаря нулевому углеродному следу. Ключевой стадией процесса является восстановление протонов до водорода. Для понимания механизма этой стадии и поиска эффективного катализатора необходимо исследовать модельные реакции электрохимического восстановления протонов (ЭВП) до водорода, оптимальной средой для изучения которой выступают апротонные растворители с добавлением донора протонов.

Цель работы: исследование способности пинцерных комплексов никеля (II) и платины (II) $\text{P}^{\text{h}}\text{POCOR}^{\text{P}^{\text{h}}}$ -типа с различными терминальными галогенидными и алкинильными лигандами катализировать реакции электрохимического восстановления протонов до водорода.

Изучено электрохимическое поведение комплексов $(\text{P}^{\text{h}}\text{POCOR}^{\text{P}^{\text{h}}})\text{MX}$ [$\text{M} = \text{Ni}$: $\text{X} = \text{I}$ (1), $\text{OC}(\text{O})\text{CH}_3$ (2), $\text{OC}(\text{O})\text{CF}_3$ (3), $\text{C}\equiv\text{C}-\text{COOCH}_3$ (4), $\text{C}\equiv\text{C}-\text{COOC}_2\text{H}_5$ (5), $\text{C}\equiv\text{C}-(4\text{-btd})$ ($\text{btd} = \text{C}_6\text{H}_3\text{N}_2\text{S}$) (6); $\text{M} = \text{Pt}$: $\text{X} = \text{Cl}$ (7), Br (8), I (9), CN (10), $\text{C}\equiv\text{C}-\text{COOMe}$ (11), $\text{C}\equiv\text{C}-\text{COOEt}$ (12), $\text{C}\equiv\text{C}-\text{Ph}$ (13), $\text{C}\equiv\text{C}-(4\text{-btd})$ (14)] методами циклической вольтамперометрии (ЦВА) на стеклоуглеродном (СУ) и полярографии на ртутном каплюющем электродах в ацетонитриле. Показано, что восстановление и окисление комплексов **1-14** протекает по разным механизмам, которые зависят от материала рабочего электрода, природы металла и терминального лиганда. Предложены схемы их редокс-превращений.

На основании полученных данных, для исследования способности комплексов **1-14** катализировать реакции ЭВП в среде ацетонитрила с добавлением донора протонов $\text{HBF}_4\cdot\text{Et}_2\text{O}$, в качестве рабочего выбран СУ электрод и диапазон потенциалов от +2.0 до -2.9 В. Установлено, что редокс-превращения, устойчивость и каталитическая активность комплексов **1-14** в реакциях ЭВП зависят от природы центрального атома металла, терминального лиганда и количества добавленных протонов. Комплексы **1-5**, **7**, **10-12** устойчивы в присутствии сильной кислоты HBF_4 и катализируют реакцию электрохимического восстановления протонов до молекулярного водорода. Предложен механизм ЭВП с их участием, который определяется природой металла (Ni , Pt) и протекает по разным маршрутам. Ключевой стадией в процессе ЭВП, как для комплексов Ni , так и Pt , является кислотно-инициируемое элиминирование терминального лиганда в ацетонитриле с образованием интермедиата типа $[(\text{P}^{\text{h}}\text{POCOR}^{\text{P}^{\text{h}}})\text{M}^{\text{II}}(\text{NCMe})]^+$, который непосредственно участвует в электрокаталитическом цикле восстановления протонов до водорода.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект FWES-2026-0009). Автор выражает благодарность соавторам работы: Воронов С.А., Кузин Н.Д., Гузей А.А., Верпекин В.В., Чудин О.С., Волкова Д.С., Зимонин Д.В., Бурмакина Г.В.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Yosef S. Sustainable Technologies for Green Economy. V.1, (2021).

Гранулированные сорбенты на основе композиции цеолитоподобных цирконосиликатов с высококальциевой летучей золой и их сорбционные свойства в отношении Cs^+ , Sr^{2+} и Nd^{3+}

Попова А.Н.

Институт химии и химической технологии СО РАН

В данной работе продемонстрирована возможность получения гранулированных сорбентов на основе микропористых цирконосиликатов с использованием в качестве связующего компонента высококальциевой летучей золы от сжигания бурого угля Канско-Ачинского угольного бассейна на Красноярской ТЭЦ-2. Был осуществлен подбор состава и условий отверждения композиций «цирконосилкат–летучая зола–вода» с получением гранулированных сорбентов приемлемой механической прочности (5–13 МПа), не уступающих по этому показателю цеолитам со связующим, производимым в промышленности. На основе цирконосиликатов двух структурных типов – гейдоннеит, $\text{Na}_2\text{ZrSi}_3\text{O}_9 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (GAI, орторомб., пр. гр. P21nb) и костылевит, $\text{K}_4\text{Zr}_2\text{Si}_6\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (KOS, моноклин., пр. гр. P21/a) были получены гранулированные сорбенты с содержанием связующего 20 и 30 мас. %. Продукты синтеза охарактеризованы методами РФА, РЭМ-ЭДС и низкотемпературной адсорбции азота, изучены их сорбционные свойства в отношении Cs^+ и Sr^{2+} и Nd^{3+} .

Для всех гранулированных образцов характерно закономерное снижение сорбционной ёмкости в отношении Sr^{2+} – примерно на 30% при введении в композицию 20–30 мас. % связующего ($A_{\text{max}} \sim 0,68\text{--}0,81$ ммоль/г), в то время как сорбционная ёмкость в отношении Cs^+ в результате формирования цирконосиликатов со связующим снижается более чем в 3 раза ($A_{\text{max}} \sim 0,23\text{--}0,48$ ммоль/г), что связано, скорее всего, как с эффектом разбавления сорбционно-активного компонента, так и с проявлением ионно-ситового эффекта за счёт влияния связующего. Сорбционная ёмкость в отношении Nd^{3+} составила $A_{\text{max}} \sim 0,7\text{--}0,85$ ммоль/г, которая не снижается при гранулировании.

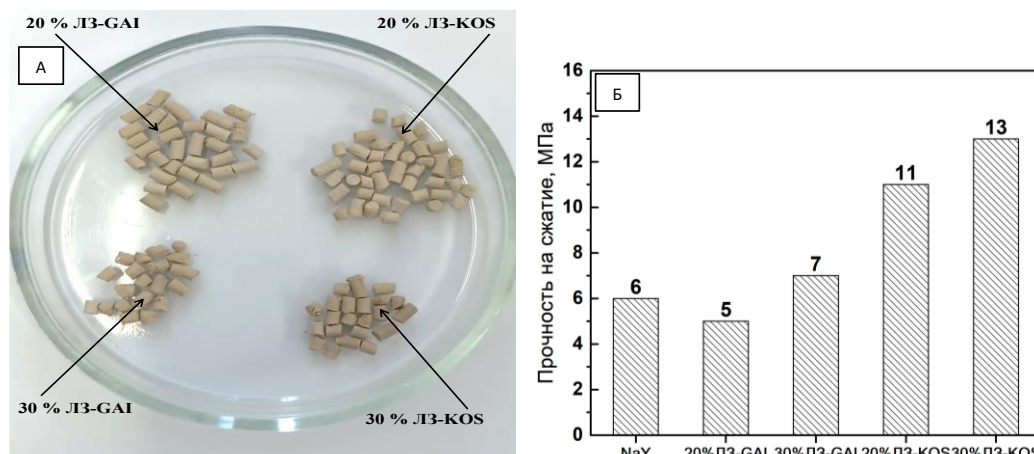


Рис. 1. А – Фотографии гранулированных сорбентов со связующим на основе композиции цирконосиликатов и летучей зол; Б – статическая механическая прочность гранул сорбента

Работа выполнена в рамках государственного задания Института химии и химической технологии СО РАН (проект № FWES-2026-0011).

Исследование влияния восстановителя и состава растворителя на выход и состав продуктов восстановительного каталитического фракционирования древесины березы и ели в присутствии катализатора Ru/C

Селезнева О.С.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Перспективным методом комплексной переработки всех составляющих древесной биомассы является восстановительное каталитическое фракционирование (ВКФ). Данный метод позволяет деполимеризовать лигнин с получением фенольных мономеров, гемицеллюлозы с получением полиспиртов, сохраняя целлюлозный продукт.

Катализаторы играют ключевую роль в процессе ВКФ. В случае с жидкофазными процессами переработки лигноцеллюлозной биомассы и её компонентов установлено, что катализаторы на основе рутения проявляют большую гидрирующую активность по сравнению с другими металлами платиновой группы.

Известно, что некоторые растворители, в частности этанол, способны донировать водород и могут использоваться в реакциях гидрирования вместо дорогостоящего водорода.

В данной работе изучено влияние восстановителя на процесс восстановительного каталитического фракционирования древесины березы и ели, а также влияние разбавления растворителя на выход продуктов гидрирования.

Показано, что рутениевый катализатор способствует существенному увеличению суммарного выхода мономерных фенолов при фракционировании древесины березы (более чем в 3,5 раза). Их выход достигает 18,2 мас.%. Твердый продукт фракционирования березы содержит 88,6 мас.% целлюлозы с индексом кристалличности 0,72 [1]. В присутствии молекулярного водорода выход метоксифенолов достигает 24,5 мас.%, целлюлозы в целлюлозном продукте – 95,0 мас.%, индекс кристалличности целлюлозы составляет 0,74.

В процессе ВКФ древесины ели установлено, что увеличение доли воды в растворителе до 50% приводит к увеличению конверсии древесины с 49,5% до 67,4% в присутствии катализатора Ru/C, а также способствует получению целлюлозного продукта с минимальным содержанием лигнина (3,0%) и гемицеллюлоз (1,3%) [2].

Анализ жидких продуктов выявил увеличение доли водорастворимых продуктов углеводной фракции (50,7 мас.%), включая олигосахариды 24,7 мас.%, при разбавлении этанола водой в соотношении 50/50. При этом увеличение доли воды в растворителе до 50% приводит к снижению выхода метоксифенолов с 21,7 мас.% до 4,7 мас.%.

Продукты комплексной переработки древесины хвойных и лиственных пород широко востребованы в химической, фармацевтической и пищевой промышленности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-13-20007 (<https://rscf.ru/project/25-13-20007/>), гранта Красноярского краевого фонда науки. Автор выражает благодарность соавторам работы: Автор выражает благодарность соавторам работы: Мирошникова А.В., Кузнецов Б.Н., Таран О.П., Казаченко А.С., Сычев В.В., Скрипников А.М.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мирошникова А. В., Казаченко А.С., Барышников С.В., Сычев В.В., Маляр Ю.Н., Скрипников А.М., Чудина А.И., Таран О.П., Кузнецов Б.Н., Химия растительного сырья, № 3, С. 88-100 (2025).
- [2] Kazachenko A. S., Skripnikov A. M., Selezneva O. S., Sychev V. V., Miroshnikova A. V., Cellulose chemistry and technology, V. 59, № 7-8, PP. 867-874 (2025).

Изучение процесса деполимеризации регулярных полисахаридов с применением твердых кислотных катализаторов

Семке Е.Н.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Регулярные полисахариды, такие как пектин и ксилан, представляют интерес как возобновляемое сырье для получения биологически активных соединений. Их частичная деполимеризация позволяет получить олигомеры, которые обладают пребиотическими, антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами и находят широкое применение в пищевой промышленности, фармацевтике и сельском хозяйстве. Традиционно эти продукты получают методами кислотного, ферментативного или автогидролиза, однако эти подходы имеют недостатки [1,2]. Перспективной альтернативой является использование твердых кислотных катализаторов, обеспечивающих легкое отделение продукта и возможность повторного использования катализатора.

В данной работе предложен метод получения олигогалактуронидов из яблочного пектина на твердом кислотном катализаторе Сибунит. Выбор температурного режима (130 °С) для гидролиза в автоклаве был выполнен на основе ранее проведенных исследований по деполимеризации ксилана осины в аналогичных условиях. Данные анализировались методом гель-проникающей хроматографии.

Гидролиз ксилана при 130 °С характеризуется плавным и контролируемым накоплением целевых продуктов на протяжении всего процесса. Выход ксилоолигосахаридов достигает максимума к 360 минутам реакции. Для пектина же установлено, что температура 130 °С является избыточной для процесса: уже в момент выхода реактора на рабочую температуру наблюдается интенсивная деполимеризация исходного пектина с образованием олигомеров и мономеров. При увеличении времени реакции до 360 минут значительного прироста целевых продуктов не происходит. В результате проведенных исследований показана возможность получения олигогалактуронидов с использованием катализатора Сибунит. Полученные данные указывают на необходимость подбора промежуточного температурного режима для обеспечения контролируемого синтеза олигогалактуронидов с заданной степенью полимеризации.

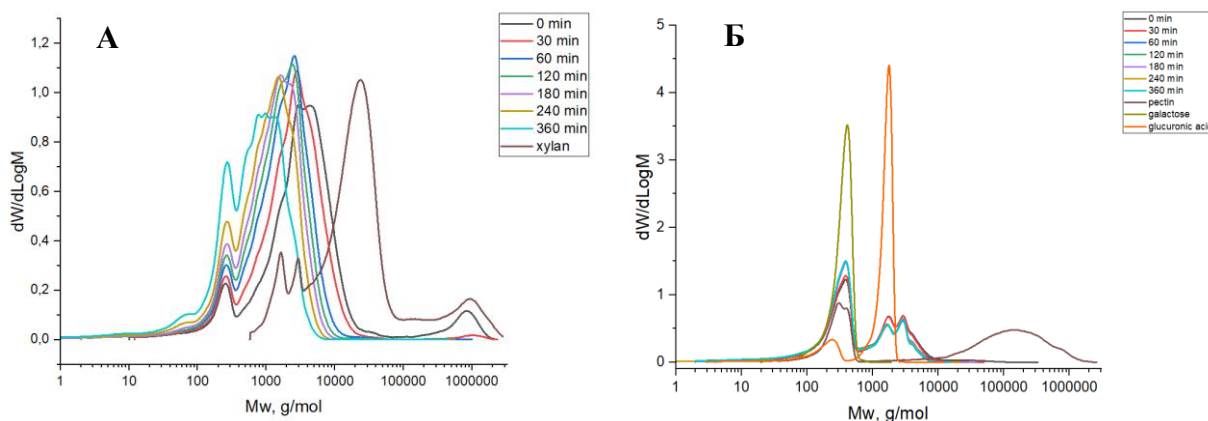


Рис.1. Кривые молекулярно-массового распределения продуктов гидролиза в присутствии Сибунит при 130 °С: А – пектина; Б – ксилана.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 22-73-10212-П, <https://rscf.ru/project/22-73-10212-П/>. Автор выражает благодарность научному руководителю и соавтору работы Маляру Ю.Н., а также Сычеву В.В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Martinez-Gomez S., et. all, Food Funct. V. 14, P. 4507-4521 (2023).
- [2] Yan F., et.all, Front. Nutr., V.9, P. 977548 (2022).

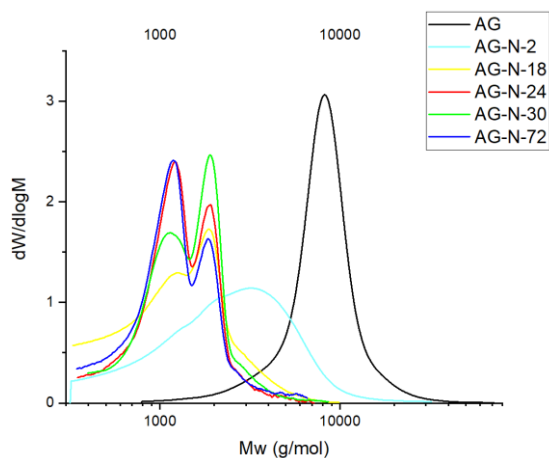
Влияние условий процесса кватернизации на структурно-молекулярные характеристики арабиногалактана

Середа М.В.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Химическая модификация природного арабиногалактана методом кватернизации с помощью СНРТАС позволяет получить катионный электролит с управляемыми свойствами. Введение положительно заряженных групп повышает растворимость, придает биоцидную активность и способность связывать токсины. Полученные производные перспективны в качестве нетоксичных и биоразлагаемых носителей для адресной доставки лекарств благодаря их высокой адгезии к клеткам. В работе исследованы закономерности функционализации арабиногалактана лиственницы сибирской с помощью СНРТАС в зависимости от времени реакции и кислотности среды.

Методом гель-проникающей хроматографии показано, что увеличение продолжительности процесса от 2 до 72 ч сопровождается деструкцией полимерной цепи (Рис. 1.А), при этом молекулярная масса фракций изменяется немонотонно. Установлено, что молекулярно-массовое распределение (ММР) носит полимодальный характер, что указывает на неоднородность протекания деструкции и функционализации макромолекул. Степень замещения возрастает в интервале 2–30 ч (достигая 19,2%), а при дальнейшем увеличении продолжительности процесса снижается из-за конкурирующих побочных реакций (Рис 1.Б). Исследование рН выявило, что при рН 11 происходит наиболее эффективное раскрытие хлоргидринового цикла, тогда как рН 10 недостаточен для активации, а рН 12 приводит к деполимеризации без прироста степени замещения.



Образец	M _w	PD	DS _N , %
AG	8607	1,27	0
AG-N-2	3104	1,93	4,3
AG-N-18	1510	1,50	9,2
AG-N-24	1412	1,26	15,1
AG-N-30	1540	1,27	19,2
AG-N-72	1380	1,31	16,5

А

В

Рис. 10. А- Кривые ММР образцов, В- Молекулярно-массовые характеристики нативного АГ и кватернизированных АГ при различной продолжительности процесса

Таким образом, оптимизированными условиями получения катионного производного со степенью замещения 19,2% являются: рН 11, время 30 ч, температура 50 °С. Полученные данные служат основой для масштабирования процесса и прогнозирования свойств модифицированных полисахаридов в зависимости от условий синтеза.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-73-10212-П <https://rscf.ru/project/22-73-10212-П/>. Автор выражает благодарность научному руководителю: Маляру Ю.Н.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Villa-Rivera, M. G., et. all, Front. Microbiol., V.2. P.9. (2022).
- [2] Almeida, W. S. Int J Biol Macromol. V.100, №3.11. (2022).

Изучение влияния степени обводненности модельных водонефтяных эмульсий на молекулярный транспорт в углеводородной фазе методом диффузионного ЯМР

Терихова С.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН
Сибирский федеральный университет

Формирование твердых отложений на стенках трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования при добыче и транспортировке тяжелых и высокопарафинистых нефтей является острой проблемой современной нефтяной промышленности. Для эффективной борьбы с отложениями необходимо ясное понимание механизмов их образования и параметров, определяющих динамику их роста. Одним из таких параметров является коэффициент молекулярной диффузии компонентов углеводородной фазы, который необходим для адекватного предсказания скорости роста отложений. Однако на сегодняшний день отсутствуют достоверные экспериментальные данные о молекулярной подвижности в сложных многофазных системах, в том числе – водонефтяных эмульсиях, что серьезно снижает точность существующих моделей.

Целью данной работы было изучение влияния обводненности модельных водонефтяных эмульсий на молекулярную подвижность углеводородов в непрерывной фазе. Были исследованы модельные водонефтяные эмульсии в широком диапазоне содержания воды 0 – 80 об.%, где углеводородную фазу составлял н-додекан, а также раствор парафинов в нем с различной концентрацией (4 и 10 вес.%). Измерения коэффициентов самодиффузии молекул углеводородов производились методом диффузионного ЯМР при различных температурах. Обнаружено, что в эмульсиях, не содержащих парафины, уменьшение молекулярной подвижности согласуется с модельными представлениями в широком диапазоне содержания воды. Однако в эмульсиях, образованных раствором парафинов, наблюдается отклонение от модели при высоких значениях обводненности (более 70 об.%, рис.1), а также ниже температуры начала кристаллизации парафинов (ТНКП), когда непрерывная углеводородная фаза представлена гелем из микрокристаллических парафинов.

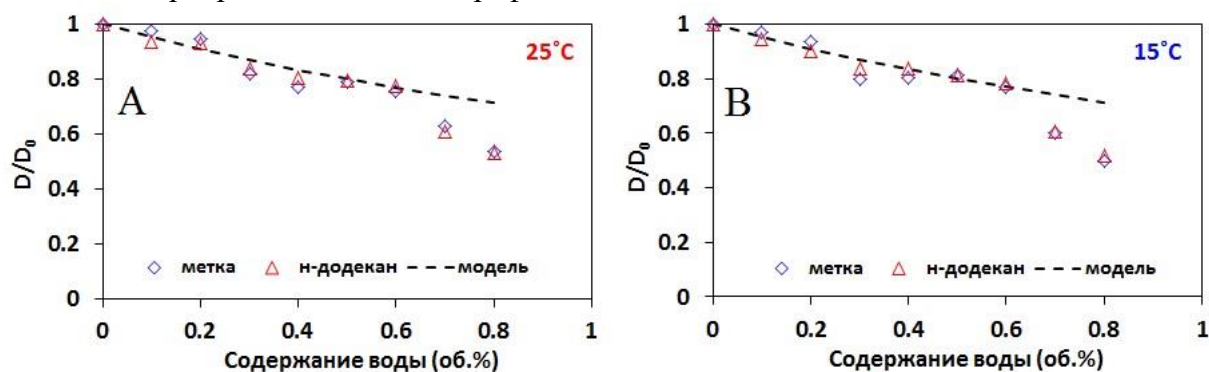


Рис. 1. А – Изменение относительного коэффициента диффузии с ростом обводненности для эмульсии с 4 вес.% содержанием парафинов при температуре выше (А) и ниже (В) температуры начала кристаллизации парафинов

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-23-01168, <https://rscf.ru/project/25-23-01168/>. Автор выражает благодарность научному руководителю Морозову Е.В.

Получение многоатомных спиртов из арабиногалактана в присутствии бифункциональных Ru-катализаторов на основе модифицированного мезопористого силиката SBA-15

Троцкий Ю.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

На протяжении многих десятилетий основным сырьем современной химической промышленности остается ископаемое сырьё (нефть, газ, уголь). Однако истощение природных запасов и ужесточение экологических стандартов, в том числе для снижения углеродного следа, требуют поиска новых решений. В связи с этим переход к использованию возобновляемого углероднейтрального растительного сырья является перспективным направлением [1]. Среди компонентов древесного сырья представляет интерес арабиногалактан – распространенная и доступная гемицеллюлоза лиственницы. Каталитическая конверсия арабиногалактана в ценные низкомолекулярные продукты, например, многоатомные спирты (арабитол, галактитол, этиленгликоль и пропиленгликоль) открывает путь к созданию экологичных процессов их получения [2]. В связи с этим реакция гидролиза-гидрирования (гидрогенолиза) в присутствии твердых катализаторов, является перспективным методом переработки полисахаридов [2].

Цель данной работы – разработка твердых бифункциональных катализаторов гидролиза-гидрирования (гидрогенолиза) полисахаридов на основе мезопористого материала SBA-15, модифицированного оксидами Al, Zr и металлическими наночастицами Ru [3].

Приготовлена серия катализаторов xRu/Al-Zr-SBA-15 (где x – содержание Ru 0,125, 0,25, 0,5 мас. %). Образцы исследованы физико-химическими методами (РФА, ИКС, СЭМ, ПЭМ, адсорбция-десорбция N₂). Деполимеризацию арабиногалактана в процессе гидролиза-гидрирования (гидрогенолиза) проводили при 150 °С 5,5 МПа H₂. Продукты анализировали методом ВЭЖХ на приборе Agilent® 1260 Infinity II, с последовательно соединенными колонками Rezex® «RPM-Monosaccharide» 7,8 × 300 мм и Rezex® «ROA-Organic AcidH+» 7,8 × 300 мм.

Основные продукты процесса – арабитол и галактитол, минорные – этиленгликоль и пропиленгликоль. Суммарный выход многоатомных спиртов возрастает с увеличением содержания Ru и составляет: 13, 29 и 38 мас. % за 0,5 ч, для катализаторов с 0,125; 0,25; 0,5 мас. Ru %, соответственно. Наиболее подходящим для дальнейшей оптимизации процесса гидролиза-гидрирования является катализатор 0,5Ru/Al-Zr-SBA-15, проявивший наиболее высокую активность.

Таким образом, предложенный катализатор является перспективным для глубокой переработки растительных полисахаридов в ценные химические соединения, что вносит вклад в развитие концепции перехода от ископаемого сырья к возобновляемым источникам.

Испытания катализаторов Ru/Al-Zr-SBA-15 в процессе гидролиза-гидрирования (гидрогенолиза) арабиногалактана проведены в рамках государственного задания (проект FWES-2026-0009). Автор выражает благодарность соавторам работы: Ереминой А. О., Сычеву В. В., Новиковой С. А., Таран О. П.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Alper K., Tekin K., Karagöz S., Ragauskas A. J. Sustainable Energy & Fuels. 4(9), PP 4390-4414.
- [2] Murzin D. Y., Murzina E. V., Tokarev A., Shcherban N. D., Wärnå J., Salmi T. Catalysis Today. 257, PP. 169-176.
- [3] Gromov N. V., Taran O. P., Parmon V. N. Sustainable Catalysis for Biorefineries. PP. 65-97 (2018).

Исследование адсорбции йода из гидроминерального сырья

Ултургашев Т.Е.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Традиционный промышленный источник йода – чилийская селитра – не позволяет в полной мере закрыть растущий мировой спрос. В этой связи рассолы нефтегазовых месторождений России рассматриваются как перспективное гидроминеральное сырье. В работе исследовали процесс сорбционного извлечения йода из модельного гидроминерального раствора после его окисления гипохлоритом натрия. Цель исследования – изучение сорбционной емкости макропористой слабоосновной смолы *Lewatit® MonoPlus TP 220* с хелатирующими бис-пиколиламиновыми группами, используемые в промышленности для переработки меди, никеля и кобальта.

Насыщение сорбента объемом 0,005 л проводили в динамических условиях, пропуская через колонку модельный раствор с исходной концентрацией йодид-ионов $C_0 = 1,447$ г/л при постоянной скорости потока. В процессе передвижения рассола через колонку последовательно отбирали и анализировали пробы рафината (Таблица 1). Эксперимент продолжали до достижения соотношения $C/C_0 \approx 1$.

Таблица 1. Выходные данные сорбции йода на *Lewatit® MonoPlus TP 220*

Номер пробы	Колоночный объем	$C(I^-)$, г/л	C/C_0
1	60,25	0,8475	0,59
2	60,25	0,8073	0,56
3	60,25	0,8543	0,59
4	60,25	0,9471	0,65
5	60,25	1,0640	0,74
6	60,25	1,2035	0,83
7	60,25	1,2750	0,88
8	31,16	1,2940	0,89
9	60,25	1,3340	0,92
10	60,25	1,3400	0,93
11	70,64	1,4070	0,97

По результатам эксперимента емкость сорбента составила 831,15 г/л, что превышает значения, характерные для известных коммерческих анионитов (Таблица 2).

Таблица 2. Емкости сорбентов по йоду

Название сорбента	Емкость, г/л
<i>Lewatit® MonoPlus TP 220</i>	831,15
AB-17-8 [1]	733,33
АМП [1]	600
<i>Purolite A 100S</i> [2]	760

Автор выражает благодарность соавторам работы: Петров А. И., Алейников С. А.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Киекпаев М.А., Строева Э.В. Исследование кинетики сорбции йода на высокоосновные иониты гелевой структуры // Вестник Оренбургского государственного университета, № 5. Приложение. – С. 35-39 (2006).
[2] Киекпаев М.А., Строева Э.В., Пономарева П.А. Способ извлечения йода из природных рассолов нефтегазовых месторождений и техногенных растворов. Патент РФ 2357920, 2009.

Методы повышения физико-механических характеристик композиционных материалов при совместном воздействии УФ-излучения и повышенных температур

Фесик С.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

УФ-излучение вызывает процессы деградации физико-механических свойств в полимерах, входящих в состав композиционных материалов (КМ). Это проявляется в фотоокислении, разрыве химических связей, образовании поверхностных трещин и снижении адгезионных свойств, что значительно ухудшает долговечность и функциональные свойства материалов. Данная проблема особенно актуальна при применении материала в конструкциях, эксплуатируемых на открытом воздухе, а также в авиационной, космической, автомобильной и строительной сферах, где материалы подвергаются длительному воздействию солнечного света [1].

Для повышения УФ-устойчивости КМ используются различные методы. Одним из наиболее распространённых является введение УФ-стабилизаторов — специальных добавок, которые поглощают ультрафиолетовое излучение и замедляют развитие фотохимических реакций. Эти стабилизаторы на основе фенольных соединений, цинка или меди эффективно снижают скорость деградации.

Важным направлением повышения устойчивости КМ является технология внедрения в их структуру наполнителей, таких как диоксид титана, оксид цинка, углеродные наноматериалы. Данные наполнители способны формировать барьерный слой, отражающий или поглощающий УФ-излучение. Эффективным подходом является метод создания полимерных смесей, сочетающих свойства нескольких видов полимеров. Соединение отдельных компонентов может осуществляться с помощью реакции сополимеризации, либо физическим смешиванием материалов.

Технологические подходы к повышению устойчивости КМ включают контроль параметров производственного процесса, введение ультрафиолетовых стабилизаторов на этапе изготовления материала, а также проведение экспериментальных исследований и моделирования воздействия УФ-излучения. Комплексное применение этих методов позволяет определить наиболее эффективные способы защиты материалов и повысить их устойчивость к ультрафиолетовому излучению. Разработка новых КМ с повышенной УФ-стойкостью обеспечивает создание конструкционных систем, сохраняющих свои эксплуатационные свойства и долговечность даже при длительном воздействии интенсивного солнечного излучения.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках проекта "Исследование закономерностей химико-биотехнологического синтеза биоразлагаемых полимеров и разработка комплексной технологии получения конструкционных композитных материалов с контролируемыми сроками биodeградации для промышленного применения". Автор выражает благодарность соавторам работы: Воронина С. Ю., Еремин Н. В.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Eremin N. V., Voronina S. Y., Shalygina T. A., Vlasov V. V., Fesik S. A., Sukhanova A. A., Express Polymer Letters, V.20, № 2, PP. 168-185 (2026).

Динамика взаимодействия наночастиц серебра с антибиотиками цефалоспоринового ряда

Флерко М.Ю.

Институт химии и химической технологии СО РАН

Наночастицы (НЧ) серебра могут быть использованы для производства гетерогенных катализаторов, антимикробных материалов, оптических систем, электронных и сенсорных устройств, фотонной техники, композитных материалов и структур, 2D- и 3D-печати, SERS и т.д. Существует множество способов получения НЧ серебра, однако наиболее распространен «мокрый» химический синтез из-за более широких возможностей контроля процесса, путем использования различных химических соединений (восстановителей, стабилизаторов и др.), а также варьированием концентраций и условий. Простой метод синтеза концентрированных гидрозолей серебра предложил ученый Carey Lea (Кэри Ли) 130 лет назад. Помимо широкого спектра технических применений, особый интерес к наночастицам серебра (AgNPs) связан с их выраженными антимикробными свойствами. Эти особенности открывают перспективы использования AgNPs в качестве активных компонентов противостояния растущей антибиотикорезистентности. Уменьшение эффективности антибиотиков связано с увеличением количества патогенных бактерий, обладающих устойчивостью к ним. Разработка новых антибактериальных препаратов требует значительных временных и финансовых затрат. Одним из возможных решений данной проблемы является применение комбинаций существующих антибиотиков и AgNPs.

Целью данной работы являлся синтез AgNPs по методике Кери Ли, их комбинация с цефалоспоринового ряда и исследование стабильности комплексов в течение 30 дней.

Было изучено взаимодействие наночастиц серебра Кери Ли с антибиотиками цефалоспоринового ряда: цефтриаксон ($\text{Na}_2\text{CefTria}$), цефотаксим (NaCFX), цефазолин (NaCef) и цефоперазон (NaCFPZ) и изучена их антибактериальная активность. Было показано, что молекулы антибиотика (NaCFX , NaCef , NaCFPZ) физически сорбируются на поверхности частиц и частично замещают адсорбционный слой частиц, что приводит к укрупнению и агрегации частиц уже через 168 часов. Взаимодействие молекулы $\text{Na}_2\text{CefTria}$ (ИК) с поверхностью наночастицы, видимо за счет хелатирующего эффекта, напротив протекает путем хемосорбции. Полученный композит AgNPs-CefTria оказался значительно стабильней, чем исходные наночастицы к агрегации при многократных операциях высушивания и растворения образца. Исследование антибактериальной активности по отношению к штаммам *S.aureus* 25923 и *E.coli* 25922 методом MIC показал, что все полученные комплексы AgNPs - антибиотик проявили синергетическое усиление антибактериальной активности на 100% в отношении *E.coli* и *S.aureus*. Исследование методом диффузионных дисков показал увеличение площади ингибирования колоний *E.coli* на 17.2, 37.6, 47.6 и 49.3 % соответственно для комплексов AgNPs- NaCef , AgNPs- NaCFX , AgNPs- NaCFPZ и AgNPs- $\text{Na}_2\text{CefTria}$. Данная зависимость коррелирует со склонностью к агрегации и связана с уменьшением удельной площади поверхности и подвижности частиц в растворе и материале диска. При длительном контакте AgNPs с антибиотиками в течение 30 дней наблюдалось полное исчезновение антибактериальной активности образцов с агрегацией частиц. При этом по данным ИК, РФЭС, ПЭМ ВР происходит частичное разрушение антибиотиков с формированием тонкой пленки Ag_2S . Таким образом, композиции AgNPs с антибиотиками цефалоспоринового ряда после смешивания проявляет синергетический антибактериальный эффект после чего происходит дезактивация и наночастиц и антибиотиков, что в случае попадания в природные системы не будет вызывать развития антибиотико-резистентных штаммов бактерий.

Благодарности: Автор выражает благодарность соавторам работы научному руководителю Воробьеву Сергею Александровичу.

Разделение эмульсий дизельное топливо – вода с помощью микрофильтрационных керамических мембран

Харченко И.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН
Сибирский федеральный университет

Очистка сточных и подтоварных вод от нефти и нефтепродуктов представляет собой сложную комплексную задачу. Среди различных методов очистки широко применяется мембранное разделение из-за его эффективности и надежности при непрерывной обработке. Целью данной работы является применение керамических микрофильтрационных мембран для разделения эмульсий дизельное топливо (ДТ) в воде [1].

Процесс фильтрационного разделения осуществлялся с помощью керамических микрофильтрационных мембран на основе микросфер летучей золы. Эксперименты проводили на лабораторной установке, состоящей из фильтрационной ячейки УФЯ-25-400 (НПК «Биотест», Россия), компрессора, регулятора давления, весов и магнитной мешалки. Задерживающие свойства мембран исследовались путем фильтрации эмульсий с концентрацией углеводородной фазы от 100 до 1000 мг. Средний размер капель ДТ составлял 0.31–0.46 мкм и возрастал с ростом концентрации. Концентрация дизельного топлива в пробах измерялась спектрофотометрическим методом на длине волны 315 нм. В начале эксперимента поток пермеата (рис.1 (а)) составлял от 7.3 до 13.7 м³/м²·ч при разности давлений 3 бар. Задержание (рис.1 (б)) варьировалось в диапазоне от 30 до 55%. Со временем наблюдалось снижение потока из-за постепенного загрязнения мембраны, которое сопровождалось увеличением задержания. Значения коэффициента задержания и потока пермеата стабилизировались через 100–150 мин от начала эксперимента и в конце достигали 97.8% и 0.309 м³/м²·ч при концентрации 100 мг/л, 97.6% и 0.117 м³/м²·ч при 250 мг/л, 97% и 0.082 м³/м²·ч при 500 мг/л, и 97.4% и 0.057 м³/м²·ч при 1000 мг/л.

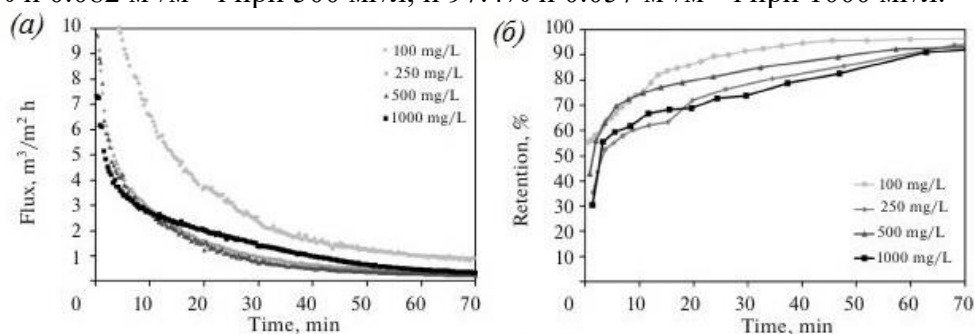


Рис. 1. Зависимость потока пермеата (а) и степени задержания (б) от времени для эмульсий с различной концентрацией ДТ

Таким образом, в данной работе показана возможность использования керамических микрофильтрационных мембран на основе микросфер летучих зол для удаления дизельного топлива из водных эмульсий.

Работа выполнена в рамках проекта № FWES-2024-0032 (ФИЦ КНИЦ СО РАН). Автор выражает благодарность соавторам – И.Р. Волковой, Е.В. Елсуфьеву, Е.В. Фоменко, Г.В. Акимочкиной, С.А. Воробьеву, Р.А. Ваганову. Научный руководитель – д-р физ.-мат. наук Рыжков И.И.

ЛИТЕРАТУРА

[1] I. A. Kharchenko, I. R. Volkova, E. V. Elsufov, R. A. Vaganov, E. V. Fomenko, G. V. Akimochkina, S. A. Vorob'ev, and I. I. Ryzhkov. *Membranes and Membrane Technologies*, V. 7, No. 6, PP. 327–337. (2025).

Георадиохимическая природа восстановительных свойств слаборадиоактивных редкометалльных руд Томторского месторождения

Эпов О.А.

Институт химии и химической технологии СО РАН

В данной работе продолжено исследование причин образования водорода в условиях щелочно-кислотного вскрытия слаборадиоактивных руд Томторского месторождения (Республика Саха (Якутия), Российская Федерация). Установлено, что процессу разложения фосфатной матрицы сопутствует выделение водорода в количестве 6,5-11,5 л/кг руды, как при кислотном, так и при щелочном вскрытии. Данное явление уникально, т.к. протекает с высокой скоростью даже при низкой температуре (40°C), и низкой концентрации щелочи (4 моль/л) или кислоты (6 моль/л).

Методом масс-спектрометрического анализа газовой фазы было подтверждено образование водорода. Дополнительное исследование с использованием метода ядерно-магнитного резонанса показало, что причиной образования водорода является наличие в исходной руде химически стабильных гидрид-ионов (рис. 1) [1].

Селективное окисление органических компонентов руды бромом не привело к значительному снижению общего газовыделения и на спектрах ядерного магнитного резонанса сохранялся четкий пик гидрид-иона. Было установлено, что последующее прокаливание руд при температуре 350°C в течение 5 часов приводит к снижению газовыделения до 25% от исходного значения, однако и в этом случае сохраняется пик гидрид-иона. Эти данные свидетельствуют о термодинамической стабильности гидрид иона в данных условиях.

В настоящее время выдвинуто предположение о радиохимическом процессе образования гидридов в процессе рудообразования Томторского массива, разрабатывается возможная математическая модель процесса формирования гидридов.

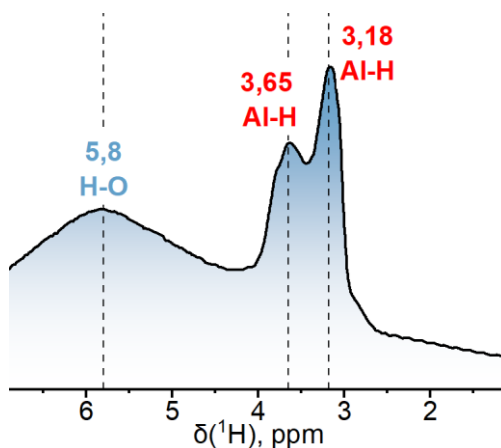


Рис. 1. – ^1H MAS NMR спектр, записанный при $\omega_r=0\text{kHz}$

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №23-63-10017. Автор выражает благодарность соавторам работы: Кузьмину Д.В., Кузьмину В.И., Иваненко Т.Ю

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kuzmin V.I., Kuzmin D.V., Epov O.A., Ivanenko T.Yu., Hydrometallurgy, V. 236, PP. 106523-106531 (2025).

Секция «Био- и медицинские технологии»

Особенности развития семенного потомства *Larix sibirica* Ledeb. из контрастных экотопов Сибири для создания устойчивых лесных культур при озеленении г. Красноярска

Аверьянов А.С.

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН

Лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.) – один из главных лесообразующих видов Сибири, имеющий высокое хозяйственное значение. Успешность лесовосстановления данной породой, особенно в условиях антропогенного воздействия, во многом зависит от качества посадочного материала, что обуславливает актуальность изучения роста сеянцев разного происхождения.

В мае 2016 г. в питомнике Института леса СО РАН (г. Красноярск) был заложен эксперимент по оценке роста экотипов лиственницы сибирской. Использованы семена из двух экологически контрастных районов юга Сибири: лесоболотного (Томская область) и лесостепного (Республика Хакасия). В 2016–2022 гг. оценивали сохранность и динамику прироста сеянцев. В мае 2022 г. шестилетние растения пересажены в лесной массив Академгородка (березняк разнотравный).

В первые четыре года отмечена низкая грунтовая всхожесть: 5% для лесоболотного и 7% для лесостепных экотипов. К моменту пересадки сохранилось 23 сеянца лесоболотного и 8 – лесостепного происхождения, из которых отобрали 16 и 6 наиболее перспективных растений, соответственно.

После пересадки зафиксирована абсолютная приживаемость. У части деревьев выявлены повреждения хермесом (*Adelges laricis* Vall.) – 18% у лесоболотного и 17% у лесостепных экотипов. У лесоболотных экземпляров отмечено повреждение лиственничной почковой галлицей (18% и 6%), у лесостепных – увядание хвои (50%). Повреждения не повлияли на приживаемость: большинство саженцев характеризовались удовлетворительным (47% и 50%) и хорошим состоянием (29% и 17%). В год посева (2016 г.) и в год пересадки (2022 г.) абсолютный прирост был выше у лесостепного экотипа. В остальные годы, напротив, лидировал лесоболотный экотип. Статистически значимые различия проявились только при посадке и пересадке (рис.1).

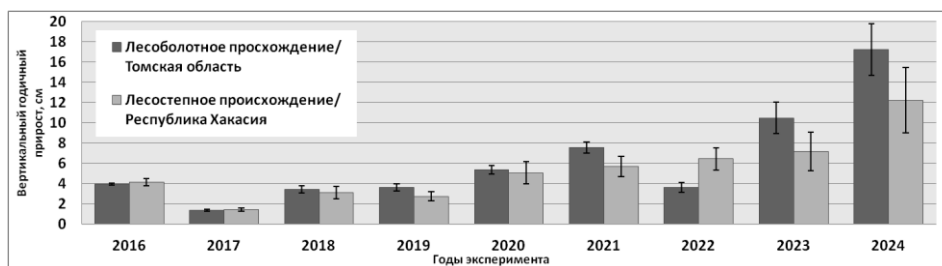


Рис. 1. Годичная динамика прироста сеянцев лиственницы сибирской.

К 2024 г. средняя высота саженцев лесоболотного экотипа достигла 69 см, превысив показатель лесостепного (51.5 см). Лесоболотные растения отличались более широкой изменчивостью высоты ($C_v=56\%$), тогда как лесостепные – большей выровненностью ($C_v=17.6\%$).

Полученные результаты имеют как исследовательское значение (выявление особенностей произрастания инорайонных экотипов в городских условиях), так и практическую значимость для реконструкции городских лесов. Планируется продолжение наблюдений и расширение эксперимента за счет посадки других древесных пород для увеличения видового разнообразия участка.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН FWES-2024-0028. Автор выражает признательность д.б.н. Седельниковой Т.С., д.б.н. Пименову А.В., д.с.-х.н. Данилину И.М. за курирование данной работы.

Влияние инвазии *Viviparus viviparus* (Linnaeus, 1758) на биохимическое качество зообентоса в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища

Андрущенко С.В.

Сибирский федеральный университет
Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН

Водные экосистемы, подверженные биологическим инвазиям, испытывают не только структурные, но и функциональные преобразования, затрагивающие потоки вещества и энергии в трофических сетях [1,2]. Одним из ключевых показателей функционирования является обеспеченность организмов длинноцепочечными полиненасыщенными жирными кислотами (ПНЖК), прежде всего эйкозапентаеновой (ЭПК) и докозагексаеновой (ДГК), определяющими пищевую ценность кормовой базы гидробионтов [2,3,4]. В настоящем исследовании выполнена оценка влияния инвазии брюхоногого моллюска *Viviparus viviparus* на биохимическое качество зообентоса как кормовой базы бентоядных рыб на участке р. Обь в нижнем бьефе Новосибирского водохранилища.

Сбор проб проводили в 2021–2023 гг. с четырех станций на реке Обь в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС с использованием скребка Дулькейта на глубине до 0,5 м, с последующей камеральной обработкой в лабораторных условиях. Биохимический анализ метиловых эфиров жирных кислот проводили на газовом хроматографе с масс-спектрометрическим детектором (модель 7890A/7000 QQQ, «Agilent Technologies», США).

Установлена смена доминантного комплекса зообентоса на исследованном участке реки Обь в следствии инвазии *V. viviparus*. Так, в доинвазионный период доминантами по биомассе были личинки хирономид, тогда как после вселения стал преобладать по биомассе инвазионный моллюск *V. viviparus*. Данные изменения привели к снижению средневзвешенного содержания ЭПК и ДГК в биомассе зообентоса, что связано с низким суммарным содержанием ЭПК и ДГК у моллюсков по сравнению с преобладающих до инвазии личинками насекомых. Однако общая биомасса и продукция зообентоса остались статистически неизменными по сравнению с доинвазионным периодом.

Анализ жирнокислотных маркеров свидетельствует о трофической обособленности инвазивного моллюска: *V. viviparus* потреблял в большей степени аллохтонное органическое вещество и ассоциированные с ним бактериальные сообщества, тогда как аборигенные таксоны были более ориентированы на автохтонные источники питания. Отсутствие перекрытия трофических ниш объясняет сохранение продукционных характеристик аборигенного зообентоса.

Несмотря на снижение средневзвешенного содержания ЭПК и ДГК в биомассе зообентоса из-за вселения *V. viviparus*, суммарная продуктивность зообентоса по данным жирным кислотам достоверно не изменилась, что обусловлено сохранением уровня продукции зообентоса на прежнем уровне. Таким образом, биохимическое качество зообентоса после вселения *V. viviparus* осталось на прежнем уровне и бентоядные рыбы потенциально могут получать с продукцией зообентоса такое же, как и ранее, количество физиологически ценных ПНЖК, необходимых для их успешного роста и развития.

Исследование выполнено в рамках Госзадания Института биофизики СО РАН № FWES-2024-0024.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dgebuadze Y.Y., Vestnik of the Russian Academy of Sciences, V.93, P.814–823 (2023).
- [2] Gladyshev M.I., Andrushchenko S.V., Russian Journal of Biological Invasions, V.18, P. 45–53 (2025).
- [3] Makhutova O.N. et al., Freshwater Science, V.35, P. 1222–1234 (2016).
- [4] Gladyshev M.I., Sushchik N.N., Biomolecules, V.9, P.485 (2019).

Конструирование и свойства новых вариантов Ca^{2+} -регулируемых фотопротеинов на основе обелина

Артемова С.А.

Сибирский федеральный университет

Ca^{2+} -регулируемые фотопротеины - это биолюминесцентные белки, отвечающие за свечение морских беспозвоночных и представляющие собой стабильный комплекс апобелка с целентеразином. Их биолюминесценция инициируется связыванием Ca^{2+} в EF-hand петлях.

В настоящее время Ca^{2+} -регулируемые фотопротеины успешно используются в качестве маркерных молекул в аналитических приложениях. В связи с этим актуален дизайн таких белков с целью оптимизации их свойств - повышения квантового выхода, термостабильности, изменения чувствительности к Ca^{2+} и т.п., для расширения сфер их применения. Одним из подходов к получению новых вариантов фотопротеинов является модификация кальций-связывающих EF-hand доменов. Примером создания такого белка может служить Photina, представляющем собой обелин с заменой II EF-hand на таковой клитина [1]. Сейчас в распоряжении исследователей имеются гены рекомбинантных фотопротеинов гидромедуз из 4-х родов: *Obelia*, *Clytia*, *Aequorea* и *Mitrocoma*. Гомология их аминокислотных последовательностей составляет 58-75%, а ключевые для биолюминесценции аминокислотные остатки являются консервативными. При этом эти белки отличаются друг от друга рядом свойств.

Целью данной работы было получение химерных фотопротеинов на основе обелина, сравнение их свойств с обелином дикого типа и оценка перспектив их аналитического применения. Для этого создано 2 варианта экспрессионных конструкций, содержащих гены химерных белков с заменой II EF-hand в обелине на таковые митрокомины (OLMCII) и клитина (OLCGII), выделены высокоочищенные фотопротеиновые комплексы и определены их основные физико-химические свойства.

Оба химерных белка обладали в 6-7 раз более медленным спадом светового сигнала, чем дикий обелин, что облегчает детекцию в анализе. OLCGII практически не отличался по термостабильности от дикого обелина, при этом его удельная активность была на 5% выше. OLMCII показал несколько сниженную термостабильность, а его активность на 15% ниже по сравнению с обелином. Спектры биолюминесценции OLCGII и OLMCII имели максимумы 476 нм и 455 нм, соответственно, что также можно использовать в анализе с одновременным определением двух компонентов, используя подходящие фильтры. Оба химерных белка обладали сходной с диким обелином чувствительностью к ионам кальция.

OLwt	TPEQTKRHQVCVEAFFRGCGMEYKGKIEAFPQFLDGWKQLATSELKKWAR
OLCGII	S.A..Q...EA.....KKI.LD....VE..A.VN...E..KHD..L.SQ
OLMCII	SE...R...K...D..G.A.L..D.DTTW.EYIE...R..KT..ERHSK
CGwt	..A..Q...EA.....KKI.LD....VE..A.VN...E..KHD..L.SQ
MCwt	.E...R...K...D..G.A.L..D.DTTW.EYIE...R..KT..ERHSK

Рис.1 Аминокислотные последовательности II EF-hand диких и химерных фотопротеинов.

Таким образом, с помощью перестановок гомологичных фрагментов в фотопротеинах одной группы можно как получить сведения о роли отдельных аминокислотных кластеров, так и пополнить пул маркерных молекул для аналитического применения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Bovolenta S. et al., SLAS Discovery, V.12, P. 694-704 (2007).

Эффективность комплементации фрагментов люциферазы при сборке иммунотомплексов на вирусе клещевого энцефалита

Бондаренко Е.И.

Сибирский федеральный университет

Институт биофизики СО РАН

Разработка быстрых и высокочувствительных методов выявления вируса клещевого энцефалита (ВКЭ) является актуальной задачей для экстренной профилактики инфекции. Перспективный подход основан на использовании сплит-системы NanoBiT, в которой комплементация фрагментов люциферазы NanoLuc происходит при взаимодействии биоспецифичных молекул-партнеров [1]. Целью настоящей работы стала проверка влияния разных спейсеров между доменами в специфичных гибридных белках на образование сэндвич комплекса с вирусом ВКЭ (рисунок 1а).

Объектами исследования служили гибридные белки, содержащие одноцепочечное миниантитело 14D5 (специфичное к гликопротеину Е ВКЭ) и фрагменты люциферазы NanoLuc. Варианты с малой субъединицей (SmNLuc) различались типом линкера: жесткий аланин-пролиновый – 14D5-(AP)₆-SmNLuc, или удлиненный гибкий – 14D5-GSSG₄SG₄SSG-SmNLuc. Варианты с большой субъединицей (LgNLuc) различались положением миниантитела (14D5-LgNLuc и LgNLuc-14D5). Были сконструированы плазмиды, включающие гены, кодирующие эти гибридные белки и рекомбинантные штаммы-продуценты *E. coli* Rosetta-gami. Целевые белки очищали металл-аффинной хроматографией, молекулярную массу и чистоту определяли электрофоретически (по Лэммли). Комплементацию оценивали в четырех комбинациях пар гибридных белков (два варианта с малой субъединицей на два варианта большой субъединицей) в эквимоларных растворах по биолюминесцентному сигналу при добавлении субстрата фуримазина. В качестве антигена использовали Клещ-Э-Вак вакцину (ИПивЭ им. М. П. Чумакова РАН) (рисунок 1б). Наибольшее отношение сигнал/фон (27,15) показала пара 14D5-(AP)₆-SmNLuc (жесткий линкер) и 14D5-LgNLuc.

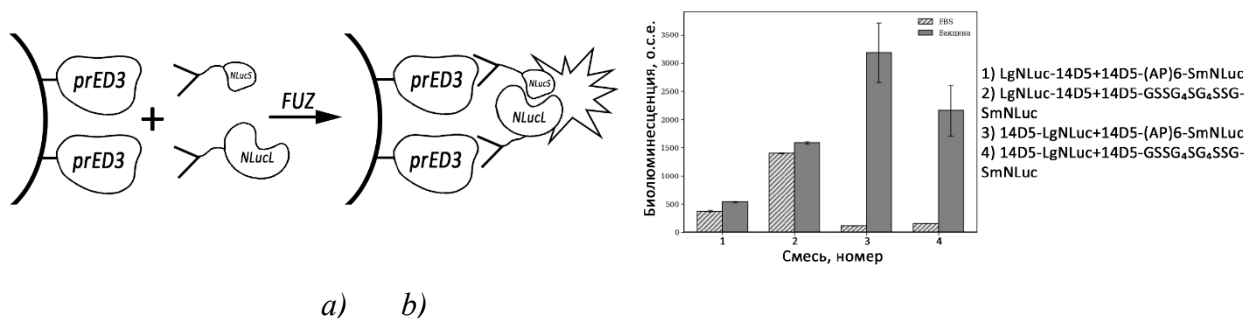


Рис. 1. Схема сборки иммунотомплекса (а); биолюминесцентный сигнал эквимоларных бинарных смесей полученных гибридных белков (б). Справа показан состав смесей. FUZ – фуримазин. N=3.

Таким образом, наиболее удачная комплементация фрагментов люциферазы на вирусной частице происходит в случае гибридов, где домен антитела находится на N конце молекулы, а также в одном из гибридов домены связаны жестким линкером (пара 14D-LgNLuc + 14D5-AP₆-SmNLuc).

Автор выражает благодарность соавторам работы: научному руководителю д.б.н. Л.А. Франк, научным консультантам А.Н. Кудрявцеву и Н.С. Панамареву (ИБФ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kudryavtsev A.N., et al., Analytical and Bioanalytical Chemistry, V.417, P. 5931–5939 (2025).

Ассоциация полиморфизма генов воспалительных цитокинов в крови с клиническими проявлениями инвазии *Opisthorchis felineus*

Веселова Н.Е., Цуканов В.В., Смольникова М.В.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное
подразделение Научно-исследовательский институт медицинских
проблем Севера.

Введение. Клинические проявления инвазии *Opisthorchis felineus* характеризуются выраженным полиморфизмом и могут включать поражения различных органов и систем [1, 2]. Возникает вопрос: какие патофизиологические механизмы могут быть ассоциированы с разнообразием проявлений паразитоза? С учетом важности роли цитокиновой регуляции в патогенезе заболеваний печени, определение ассоциации полиморфизмов генов *TNFA*, *IL6*, *IFNG* и *IL28b* с клиническими проявлениями инвазии *Opisthorchis felineus* является безусловно актуальным.

Цель. Изучение ассоциации клинических проявлений инвазии *Opisthorchis felineus* (*O. felineus*) с полиморфизмами генов цитокинов *TNFA*, *IL6*, *IFNG* и *IL28b* крови.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 362 больных с инвазией *O. felineus* (170 мужчин и 192 женщины, средний возраст $42,1 \pm 0,7$ лет) и 124 лица контрольной группы (65 мужчин и 59 женщин, средний возраст $48,3 \pm 1,1$ лет). Диагностика инвазии *O. felineus* осуществлялась при помощи микроскопического исследования дуоденальной желчи и кала. Всем больным проводились клинический и биохимический анализы крови, ультразвуковое исследование органов брюшной полости и эластометрия печени с оценкой фиброза печени по шкале METAVIR. Генотипирование однонуклеотидных полиморфизмов генов *TNFA* (rs1800630), *IFNG* (rs2069705), *IL28b* (rs12979860) и *IL6* (rs12979860) в крови осуществляли с помощью метода ПЦР в режиме реального времени.

Результаты. В результате исследования были зарегистрированы превалирование аллеля G полиморфизма rs1800795 гена *IL6* у пациентов с инвазией *O. felineus* в сравнении со здоровыми лицами ($p=0,03$). Была обнаружена выраженная ассоциация фиброза печени с гетерозиготным генотипом TC по полиморфизму rs2069705 *IFNG* ($p<0,001$) у лиц с инвазией *O. felineus*. Частота фиброза печени F1-2-3 по METAVIR с полиморфизмом rs1800630 гена *TNFA* составила 61,1% у гомозигот AA, 39,2% у гетерозигот CA ($p=0,18$) и 23,2% у гомозигот CC ($p=0,002$).

Заключение. Таким образом, впервые показано, что больные с инвазией *O. felineus*, имеющие полиморфизм rs2069705 гена *IFNG* и полиморфизм rs1800630 гена *TNFA* (аллель A) должны выделяться при диспансерном наблюдении в качестве группы риска возникновения фиброза печени. Пациенты с инвазией *O. felineus* и полиморфизмом rs1800795 гена *IL6* (аллель G) нуждаются во внимательном, пролонгированном наблюдении и лечении для профилактики хронического течения патологии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Karbysheva N., Nikonorova M., Matros O., Kiushkina I., Nemilostiva E., Choroshilova I. et al. Clinical polymorphism in patients with *Opisthorchis felineus* infection in the Western Siberia. IDCases. 2021;24:e01064.
- [2] Huang Y.L., Zhang K.Y., Sun Y.L., Qian M.B., Wang Z. The risk of hepatobiliary complications in *Clonorchis* and *Opisthorchis* infection: A systematic review and meta-analysis. Acta Trop. 2024;260:107457.

Реологические свойства качества муки из зерна сибирский и зарубежных сортов пшеницы

Герасимова Н.С., Козулина Н.С.

*Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН*

Для оценки качества хлебопекарной пшеницы необходимо изучить реологические свойства пшеничной муки на приборе альвеограф. Главным показателем альвеографа является «сила» муки (W), в единицах альвеографа (далее е. а.). Показатель отношение упругости к растяжимости свидетельствует о сбалансированности упругости теста и растяжимости. Исследование значений на альвеографе, предоставляет возможность оценить свойства теста, имитируя деформацию теста в процессе брожения и подъема [1, 2, 3]. Цель - определить показатели реологических свойств муки из зерна сибирских и зарубежных сортов яровой пшеницы.

Исследования проводились в КрасНИИСХ, ФИЦ КНЦ СО РАН на основании ГОСТ 34702-2020. Влажность зерна измерялась в соответствии с ГОСТ 13586.5-93. Реологические свойства пшеничного теста определяли по ГОСТ Р 51415-99 (ИСО 5530 - 4:91) с применением альвеографа модели Y05. Объект исследования - мука из зерна сортов мягкой пшеницы сибирской селекции (Красноярская 12, Канская, Бейская, Свирель) и зарубежной селекции (Аквилон, Джетстрим, Сансет, Торридон).

Из исследуемых сортов требованиям на сильную и ценную пшеницу по показателю отношения упругости к растяжимости соответствовал сорт Красноярская 12 (0,97 е. а.). Значительное варьирование величины отношения упругости к растяжимости теста отмечено у сортов КВС Джетстрим ($V=25,40\%$) и Красноярская 12 ($V=22,68\%$). Средняя степень вариации отмечалась у сорта КВС Торридон ($V=16,40\%$), у остальных сортов отмечена незначительная степень вариации. Сила муки по альвеографу у изучаемых сортов по среднему значению варьировалась в пределах от 196 е. а. до 441 е. а. Максимальный показатель силы муки отмечался у сортов Красноярская 12 (441 е. а.) и КВС Джетстрим (431 е. а.). Все изучаемые сорта соответствовали требованиям ГОСТ на сильную пшеницу, за исключением Свирель (229 е. а.) – ценная пшеница и КВС Торридон (196 е. а.) - филлер. Незначительная степень вариации отмечалась у большинства изучаемых сортов. Коэффициент вариации признака сила муки средней степени наблюдался у сортов КВС Джетстрим ($V=11,53\%$), Красноярская 12 ($V=15,65\%$). В результате проведенных исследований реологических свойств муки из сибирских и зарубежных сортов мягкой пшеницы установлено, что в местных условиях Сибири можно получать сорта пшеницы и муку из них с высоким качеством, не уступающими зарубежным аналогам по своим технологическим свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Белкина Р. И. Показатели хлебопекарной силы муки сортов пшеницы, выращенных в условиях северной лесостепи Тюменской области / Р. И. Белкина, Ю. А. Летяго, В. В. Выдрин, Т. К. Федорук // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 10(175). – С. 88-93. – DOI 10.36718/1819-4036-2021-10-88-93. – EDN .
- [2] Руднев С. Д., Мещанинов А.В., Иванов В.В., Крюк Р.В. О влиянии структурообразования теста при замесе на реологические свойства хлеба // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 3. С. 124-137. DOI 10.36107/spfp.2019.146.
- [3] Shewry, P. R. What do we really understand about wheat gluten structure and functionality? // Journal of Cereal Science. 2024. Vol. 117.

Использование изопропанола в качестве замены этанола в процедурах химической фиксации тканей растений

Данилюк Ю.В.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Наиболее распространенным компонентом фиксаторов в ботанике является этанол. Он может использоваться как в качестве однокомпонентного фиксатора, обычно в концентрациях 50% или 70%, так и в смесях с уксусной кислотой, формалином, глицерином и другими компонентами, направленными на улучшение фиксирующих свойств. Цель фиксации заключается в быстром умерщвлении клеток с минимальными структурными изменениями и максимальной сохранностью морфологии ткани [1, 2]. Этанол показал свою эффективность и универсальность, однако из-за жесткого регулирования его оборота и использования на территории Российской Федерации, задача поиска альтернативных фиксирующих агентов, не попадающих под государственные ограничения, становится всё более актуальной. В качестве замены этанолу нами был предложен изопропанол. Зрелые двухлетние побеги сосны и клена (*Pinus sylvestris* L. и *Acer negundo* L.) нарезали на кусочки и фиксировали в спиртах разной концентрации. На поперечных срезах измеряли толщину клеточной стенки поздних трахеид ксилемы 2-го года у сосны и толщину стенок колленхимы у клёна после фиксации в течение недели в 50% и 70% растворах этанола и 40%, 50%, 60%, 70% растворах изопропанола. В каждом варианте измерено не менее 30 клеток (таблица 1).

Таблица 1. Средние значения и стандартные отклонения толщины клеточной стенки поздних трахеид *Pinus sylvestris* и стенок колленхимы *Acer negundo* в зависимости от использованного фиксатора.

Фиксатор/ объект	40% изопроп.	50% изопроп.	60% изопроп.	70% изопроп.	50% этанол	70% этанол
<i>Pinus sylvestris</i>	3,4±0,7 мкм	3,1±0,8 мкм	3,0±0,6 мкм	2,9±0,7 мкм	3,5±0,7 мкм	3,1±0,6 мкм
<i>Acer negundo</i>	4,5±1,0 мкм	3,9±0,8 мкм	3,6±0,6 мкм	3,5±0,8 мкм	4,4±0,7 мкм	3,1±0,6 мкм

При фиксации изопропанолом стенки трахеид сосны сжимаются в среднем на 9% больше, чем при фиксации этанолом, стенки клеток колленхимы клёна сжимаются в изопропанолу в среднем на 12% меньше чем в этаноле, однако сжатие сильно зависит от концентрации спиртов. Необходимо дальнейшее изучение применения изопропанола в качестве замены этанола в фиксаторах и подбор оптимальных концентраций для различных тканей.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0028 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Барыкина И. П., Веселова Т. Д., Девятков А. Г. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы, 2004.
- [2] Chamberlain C.J. Methods in plant histology. University of Chicago Press, 1924.

Трансформация устойчивости видов рода *Populus* L. в условиях смены типа техногенного загрязнения (на примере Уфимского промышленного центра)

Двинянинова В.Г., Кулагина Л.С.

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

В условиях урбанизации зеленые насаждения подвергаются комплексному техногенному стрессу, характер которого динамично меняется. Представители рода *Populus* L., являясь ключевым элементом озеленения, демонстрируют видоспецифичные реакции на эти изменения [2]. Цель работы - оценить устойчивость шести видов тополей (*P. balsamifera*, *P. alba*, *P. nigra*, *P. tremula*, *P. maximowiczii* и гибрида *P. × bashkirica*) к сдвигу типа загрязнения в Уфимском промышленном центре (УПЦ) за периоды 2013–2015 и 2022–2024 гг.

Анализ данных мониторинга выявил трансформацию структуры индекса загрязнения атмосферы (ИЗА). Если в 2013–2015 гг. доминировал «органо-азотный» тип (высокий вклад формальдегида – 30,5% и бенз(а)пирена – 17,5%), то к 2022–2024 гг. сформировался «смешанный хлоридный» тип. Доля хлорид-иона (HCl) возросла в 2,5 раза (с 8,4% до 23,5%) на фоне тенденции к аридизации климата (снижение осадков в вегетационный период на 17%, рост скорости ветра на 32%).

Для оценки реакции использовался индекс подавления роста побегов (GSI), валидированный через традиционную оценку жизненного состояния [1], и коэффициент кумулятивного эффекта (CAF). Результаты показали, что видовая принадлежность объясняет 89,1% вариативности GSI ($p < 0,001$), тогда как модели, учитывающие только количественные показатели ИЗА, статистически незначимы ($R^2 = 0,045$), что подтверждает приоритет качественного состава поллютантов над их суммарным количеством [3].

Выявлена четкая дифференциация отклика на рост концентрации хлоридов: 1. Наибольшую чувствительность проявила *Populus tremula* L. Зафиксировано значимое ухудшение состояния ($\Delta GSI = +8,0$ п.п., $p < 0,05$) и наличие кумулятивного эффекта накопления стресса ($CAF > 1$). Это обусловлено синергизмом хлоридного загрязнения и атмосферной засухи, нарушающих ионный гомеостаз вида [4]. 2. Высокую устойчивость продемонстрировал локальный гибрид *Populus × bashkirica*. Несмотря на рост хлоридной нагрузки, вид показал улучшение показателей ($\Delta GSI = -2,6$ п.п.) и компенсаторную реакцию ($CAF < 1$), что свидетельствует об эффективности детоксикационных систем. 3. Виды *P. alba* и *P. maximowiczii* также подтвердили стабильность, не показав значимого снижения жизнеспособности. Таким образом, переход к «смешанному хлоридному» типу загрязнения требует пересмотра ассортимента древесных растений. Использование *P. tremula* в зонах с высоким уровнем выбросов HCl и дефицитом увлажнения рекомендуется ограничить. Приоритетными видами для условий современного УПЦ являются *P. × bashkirica*, *P. alba* и *P. maximowiczii*. Исследование выполнено при поддержке Фонда научно-технологического развития ХМАО – Югры (проект № 2025-604-04).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. № 4. С. 51–57 (1989).
- [2] Кулагин А. Ю., Тагирова О. В. Лесные насаждения Уфимского промышленного центра. Уфа: Гилем, 2015.
- [3] Chapman P.M. Integrating toxicology and ecology. Marine Pollution Bulletin. Vol.44, PP. 7–15 (2002).
- [4] Rosso L. et al. Responses to drought stress in poplar. Life. V.13, № 2, PP. 533 (2023).

Получение и исследование наночастиц поли(3-гидроксibuтирата-со-3-меркаптопропионата)

Дорохин А.С.

Институт биофизики СО РАН

Полигидроксикалкоанаты (*PHAs*) – это класс биodeградируемых полиэфигов микробного происхождения, обладающий комплексом уникальных свойств: высокой биосовместимостью, контролируемой скоростью биodeградации в биологических средах, высокой степенью кристалличности и минимальной иммуногенностью. *PHAs* активно изучаются в качестве матриц для получения биоразлагаемых наночастиц, способных эффективно инкапсулировать различные лекарственные препараты, обеспечивая из пролонгированное высвобождение и защиту от преждевременной деградации. Введение в структуру *PHAs* принципиально новых мономеров, таких как 3-меркаптопропионовая кислота (*ЗМР*), существенно влияет на их свойства: изменяет физико-химические характеристики (гидрофильность, степень кристалличности, молекулярно-массовое распределение), модифицирует чувствительность к внешним стимулам (*pH*, ферменты опухолевого микроокружения, глутатион) и позволяет существенно расширить их функциональные возможности.

Наночастицы поли(3-гидроксibuтирата-со-3-меркаптопропионата) (*P(ЗНВ-со-ЗМР)*) (M_w 240,4 *kDa*, 39,0 *mol. % ЗМР*) [1] были получены эмульсионным методом. Для этого раствор полимера в хлороформе (2,5 мг/мл) по каплям добавляли к раствору поливинилового спирта в воде (1 %) на ультразвуковом гомогенизаторе, обрабатывали ультразвуком в течение 15 мин на мощности 20 % и оставляли на магнитной мешалке на 8 часов до полного испарения органического растворителя. Полученные наночастицы собирали центрифугированием, отмывали деионизированной водой, лиофилизировали и хранили при -20 °С. Средний гидродинамический диаметр и дзета-потенциал частиц определяли методами динамического и электрофоретического рассеяния света. Анализ морфологии поверхности частиц проводили методом сканирующей электронной микроскопии (*Hitachi SU3500*, Япония).

Полученные наночастицы имели средний диаметр 172 ± 7 нм, индекс полидисперсности 0,219, гладкую поверхность и правильную сферическую форму. Дзета-потенциал частиц составил -25,5 мВ, что характеризует их растворы как агрегативно стабильные.

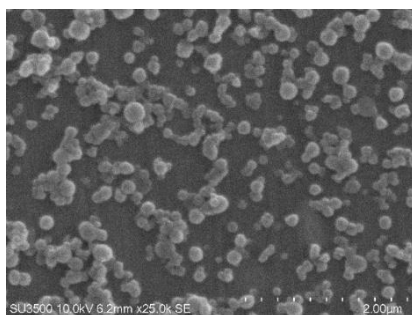


Рис. 1. SEM-снимок P(ЗНВ-со-ЗМР)-NPs

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № *FWES-2026-0006*). Работы проведены с использованием аналитического оборудования, являющегося собственностью Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Zhila N.O., Sapozhnikova K.Y., Berezovskaya A.V., *Polymers*, V.15, 1005 (2023).

Сорта пивоваренного ячменя сибирской селекции выращенные в условиях Красноярской лесостепи

Дружинин А.Г.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства ОП ФИЦ КНЦ
СО РАН, г. Красноярск, Россия

1. Ключевые положения:

Ячмень (*Hordeum*) – вторая по площади посева культура после пшеницы, используется как кормовое, продовольственное и техническое (пивоваренное) растение

Для пивоварения предъявляются повышенные требования: экстрактивность, энергия прорастания, низкое содержание белка, натура, масса 1000 зёрен, чистота, цвет, запах

Объекты исследования – два сорта ярового пивоваренного ячменя сибирской селекции: Ача (стандарт) и Абалак

Условия выращивания – Красноярская лесостепь (2011–2025 гг.)

2. Основные результаты:

По сорту Ача (стандарт): Масса 1000 зёрен – 34–56 г. Урожайность – 36,9–39,5 ц/га. Vegetационный период – 70–85 дней (среднеспелый). Высокая устойчивость к полеганию, средняя засухоустойчивость. Восприимчив к гельминтоспориозным пятнистостям и стеблевой ржавчине, сильновосприимчив к пыльной головне

По сорту Абалак: Масса 1000 зёрен – 42–55 г. Средняя урожайность – 26,8–30,4 ц/га (прибавка к стандарту Ача 2,2 ц/га). Максимальная урожайность – 62,6 ц/га (Красноярский край, 2011 г.). Vegetационный период – 72–89 дней (среднеранний, созревает на 2–3 дня раньше Ачи). Содержание белка – 9,1–14,5%. Умеренно восприимчив к головне и полосатой пятнистости, сильно восприимчив к корневым гнилям

3. Практическая значимость: Расширение зон возделывания пивоваренного ячменя в Красноярском крае экономически выгодно – снижаются затраты на перевозку зерна. Наличие плодородных почв и адаптированных сортов сибирской селекции позволяет региону стать поставщиком высококачественного сырья для пивоварения. Сорт Абалак перспективен для получения ранней продукции с приемлемым содержанием белка. Сорт Ача остаётся стандартом по стабильности урожая и устойчивости к полеганию

4. Перспективы исследований: Разработка зональных технологий возделывания пивоваренного ячменя применительно к почвенно-климатическим условиям Красноярской лесостепи. Селекционная работа по повышению устойчивости к корневым гнилям и головне. Изучение влияния предшественников, норм высева и удобрений на пивоваренные качества сортов Ача и Абалак.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Фомина М.Н. СРЕДНЕСПЕЛЫЙ СОРТ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ АБАЛАК. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015;(5):48-55.
- [2] Куркова И. В., Кузнецова А. С., Терехин М. В. Параметры экологической пластичности сортов и сортообразцов ярового ячменя амурской селекции // Вестн. НГАУ. – 2015. – № 3 (36). – С. 19–24.
- [3] Адаптивный потенциал ячменя восточно-сибирской селекции / Н. А. Сурин, Н. Е. Ляхова, С. А. Герасимов, А. Г. Липшин // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 28, № 5. – С. 28–31.

Управление свойствами полигидроксиалканоатов для биомедицинских применений: от биосинтеза до 3D-печати

Дудаев А.Е.

Институт биофизики СО РАН

Полигидроксиалканоаты (ПГА) – семейство биоразрушаемых и биосовместимых полиэфиров микробного происхождения, перспективных для тканевой инженерии и систем доставки лекарств. Однако высокая кристалличность и гидрофобность гомополимера поли-3-гидроксибутирата (П(ЗГБ)) ограничивают его применение. Цель работы – разработка научных основ направленного конструирования функциональных изделий из ПГА путём управления химическим составом полимеров на стадии биосинтеза, выбором метода переработки и последующей лазерной модификацией поверхности.

В специализированных режимах культивирования *Cupriavidus necator* B-10646 [1] с контролируемой подачей прекурсоров (γ -бутиролактон, валерат и гексаноат калия) впервые синтезированы сополимеры с высоким содержанием вторых мономеров (до 75 мол.%) и рекордно низкой степенью кристалличности (от 16 %) при сохранении термостабильности (разрыв между $T_{пл}$ и $T_{дег}$ $>100^{\circ}\text{C}$) и молекулярной массы (M_v 660–840 кДа). Это позволило перерабатывать полимеры как из растворов, так и из расплава.

Методами полива растворов и электроспиннинга получены наливные пленки и нетканые наномембраны. Введение сомономеров (особенно 4ГБ) снижает гидрофобность (с 92° до $70\text{--}80^{\circ}$), повышает эластичность (удлинение при разрыве до 700% против 3% у П(ЗГБ)) и улучшает адгезию/пролиферацию фибробластов *NIH 3T3*. На основе низкокристалличного сополимера П(ЗГБ-со-4ГБ) сконструированы композитные пленки и наномембраны с антибиотиками (цефтазидим, дорипенем) и стимулятором регенерации (актовегин). Полученные депо-системы проявляют антибактериальную активность против *S. aureus* и *E. coli* и при этом поддерживают жизнеспособность фибробластов (МТТ-тест).

Впервые исследована модификация поверхности ПГА-пленок CO_2 -лазером в непрерывном и квазиимпульсном режимах. Показано, что квазиимпульсная обработка формирует микрорельеф (лунки), снижает краевой угол до $68\text{--}76^{\circ}$, увеличивает шероховатость и достоверно повышает количество адгезированных клеток в 1,3–1,8 раза по сравнению с необработанными пленками, тогда как непрерывный режим приводит к оплавлению и ухудшению клеточной адгезии.

Методом послойного наплавления (*FDM*) из сополимера П(ЗГБ-со-3ГБ) получены 3D-скаффолды с различной геометрией каналов (треугольник, квадрат, шестиугольник, кривая Гильберта). Все конструкции обеспечивали пролиферацию и остеогенную дифференцировку мезенхимальных стволовых клеток, а в эксперименте *in vivo* на свиньях – полное восстановление дефекта бедренной кости через 150 суток без признаков воспаления. Разработанные 3D-имплантаты имеют механическую прочность на сжатие 19–22 МПа, сопоставимую с губчатой костью.

Таким образом, комплексный подход, объединяющий направленный биосинтез, выбор метода переработки и лазерную обработку, позволяет создавать широкий спектр функциональных биоматериалов из ПГА для регенеративной медицины.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках Госзадания № *FWES-2026-0006*.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Волова Т.Г., Шишацкая Е.И., Патент № 2439143 (2012).

Влияние антропогенных и природных факторов на состояние сосны обыкновенной в Нижневартовском районе

Егорова В.И.

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

Изучение состояния сосны в условиях совместного антропогенного и природного воздействия представляет собой важную и актуальную проблему современности. *Pinus sylvestris* L. играет ключевую роль в формировании северной экосистемы России, являясь основным лесообразующим видом. Возрастная структура *Pinus sylvestris* L. отражает общее состояние и динамику лесных экосистем. Она определяет способность популяции адаптироваться к изменениям внешней среды. Рост промышленного освоения северных территорий, увеличение объемов добычи полезных ископаемых, расширение транспортных сетей, загрязнение атмосферы и воды предприятиями существенно ухудшают условия произрастания *Pinus sylvestris* L. и влияют на общую жизнеспособность деревьев. Природные явления также оказывают существенное влияние на состояние сосны. Климатические аномалии, частые заморозки, сильные ветры, холодные зимы, наводнение, заболоченность территорий создают дополнительные нагрузки на деревья, снижают их продуктивность и способствуют распространению болезней и вредителей. Таким образом, проблема изучения состояния сосны при совместном влиянии антропогенных и природных факторов крайне важна для поддержания устойчивых природных комплексов.

Цель настоящей работы – выявить особенности изменения в возрастной структуре древостоя под воздействием неблагоприятных факторов. В качестве объекта исследования была выбрана *Pinus sylvestris* L.. Исследование проводилось в Нижневартовском районе и было заложено 13 пробных площадок в сосновых древостоях, каждая из которых находилась непосредственно вблизи от источников различного антропогенного и природного влияния. В качестве относительного контроля была заложена пробная площадка в 29 км. от города Нижневартовска. Пробные площадки закладывались по общепринятым методикам [1,2].

Результаты исследования показали, что таксационные характеристики отдельных деревьев на всех исследуемых участках очень близки. Однако различия проявляются в структуре древостоя, что отражается на количестве стволов на гектар и объеме запаса древесины. Наиболее высокие показатели диаметра ствола и высоты выявлены у деревьев, произрастающих на первой надпойменной террасе реки Вах. Оценка жизненного состояния древостоя показало, что древостои восьми участков относятся к категории «сильно ослабленных», одного участка - «полностью разрушен», четырех участков - «ослабленные». Возрастная структура характеризуется средневозрастным древостоем, кроме двух участков, где преобладает молодой древостой. Среднее значение ширины годичного кольца у деревьев на первой надпойменной террасе реки Вах выше, чем на остальных участках.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда научно-технологического развития Югры в рамках научного проекта № 2025-604-04.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гетко Н. В. Растения в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1989.
- [2] Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961.

Влияние генотипических факторов на качество молока коров голштинской породы

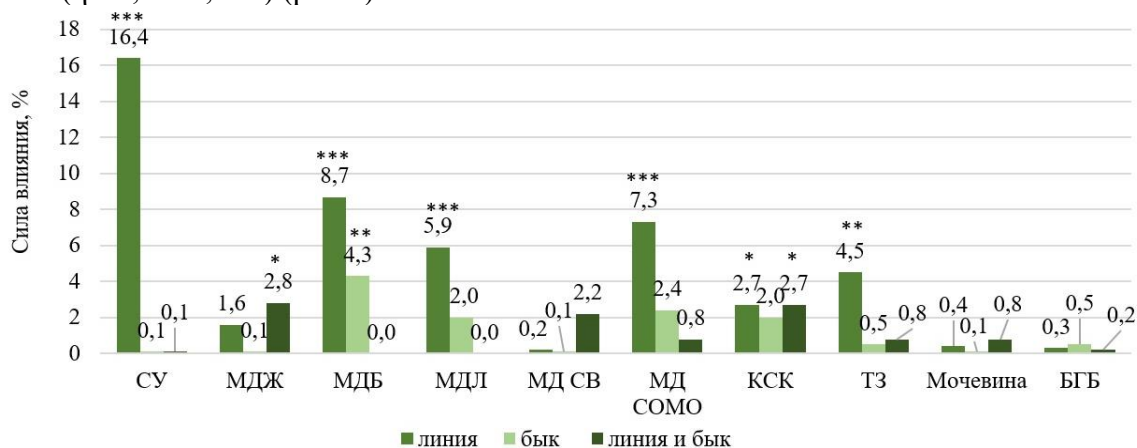
Зазнобина Т.В., Ефимова Л.В.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
ФИЦ КНЦ СО РАН

Молоко и молочная продукция необходимы человеку, поскольку служат основными источниками полноценных белков, незаменимых аминокислот, витаминов и многих других питательных веществ. Качественный состав молока обуславливается генетическими особенностями животных [1].

Научные исследования проведены в Канском районе Красноярского края. Объектами исследований были коровы голштинской породы в возрасте второй лактации (n=60) и молоко. Для изучения влияния линейной принадлежности на признаки были сформированы 2 группы коров по 15 голов в каждой: первая группа – животные линии Вис Бек Айдиал 1013415, вторая группа – коровы линии Рефлекшн Соверинг 198998. Влияние отцовской наследственности изучено на 4 группах коров по 15 голов в каждой: в первую группу вошли дочери быка Акселя 79433, во вторую – дочери Байка 1798 (линия Вис Бек Айдиал), в третью – дочери быка Адаманта 5524, в четвертую – дочери Джотана 1531 (линия Рефлекшн Соверинг).

В результате было установлено, что коровы линии Вис Бек Айдиал превосходили коров линии Рефлекшн Соверинг по среднесуточному удою на 4,6 кг, массовой доле жира и сухих веществ соответственно на 0,08 и 0,11 п.п., однако разница не была достоверной. Дочери Адаманта превосходили дочерей других быков по большинству показателей: по массовой доле белка на 0,03-0,06 п.п., лактозы 0,04-0,07 п.п., СОМО 0,08-0,13 п.п., по количеству соматических клеток на 83,06-89,86 тыс/см³. Выявлено достоверное влияние линии на удой, содержание белка, лактозы, СОМО и соматических клеток ($\eta^2=16,4$; 8,7; 5,9; 7,3; 2,7; 4,5 % соответственно), быка-производителя – на белковость молока ($\eta^2=4,3$ %) и совместное влияние линии и быка – на жирномолочность и содержание соматических клеток ($\eta^2=2,8$ и 2,7 %) (рис.1).



СУ – среднесуточный удой, МДЖ – массовая доля жира, МДБ – массовая доля белка, МДЛ – массовая доля лактозы, МДСВ – массовая доля сухих веществ, МДСОМО – массовая доля сухого обезжиренного молочного остатка, КСК – количество соматических клеток.

Рис 1. Сила влияния факторов на удой и качество молока коров

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ государственного учёта НИОКТР: 125020601647-4).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ерофеев В.И., Андреев А.И., Шолин С.Ю. Влияние генотипа животных на молочную продуктивность и качество молока коров. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, № 3 (43), С. 122-125 (2018).

Влияние вязких сред на структурную динамику светляковой люциферазы

Зайцева А.В.

Сибирский федеральный университет
Институт биофизики СО РАН

Вязкие среды с сахарами широко используются для стабилизации ферментов и повышения их активности, однако молекулярные механизмы их действия остаются зачастую не до конца ясными. В данной работе изучали влияние сред с глюкозой и сахарозой на термостабильную мутантную форму светляковой люциферазы *Luciola mingrelica* (Lm-4TS), которая обладает потенциалом для биотехнологических и биосенсорных применений [1].

Были использованы методы молекулярного моделирования. Молекулярную динамику Lm-4TS (100 нс) рассчитывали в программном пакете GROMACS 2024.6 с силовым полем CHARMM36, при 298 K и 1 атм. Моделируемые системы включали белок, воду и сахара в концентрациях, соответствующих вязкости среды 2, 3 и 4 сП. Оценку структурных изменений белка проводили по параметрам RMSD (среднеквадратичное отклонение), SASA (площадь поверхности), R_g (радиус инерции) и $RMSF_\alpha$ (среднеквадратичная флуктуация C_α атомов).

Анализ $RMSF_\alpha$ выявил несколько локальных участков, наиболее чувствительных к действию сахаридов, в частности, 187–193 и 199–206 а. о. (Рис. 1). Последний содержит консервативный участок, задействованный в связывании АТФ [1]. Получено, что сахароза снижает подвижность в этих областях ($\Delta RMSF_\alpha < 0$), тогда как глюкоза её повышает ($\Delta RMSF_\alpha > 0$).

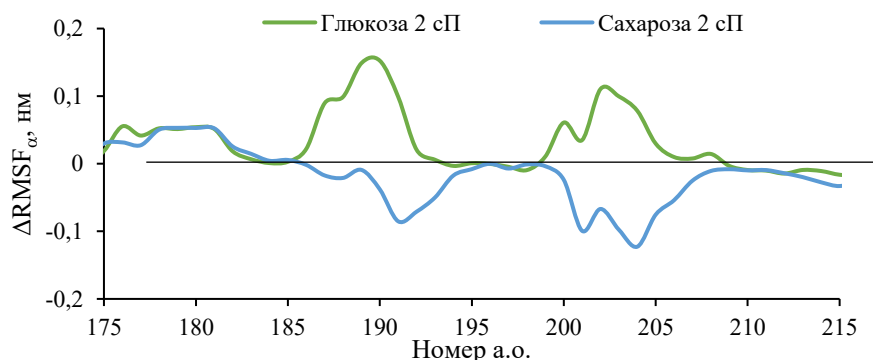


Рис 1. Изменение $RMSF_\alpha$ для Lm-4TS в средах с вязкостью 2 сП в присутствии глюкозы (зелёным) и сахарозы (синим) по сравнению с водным окружением

Ранее экспериментальные данные показали диффузионную зависимость скоростей некоторых стадий реакции Lm-4TS. Однако молекулярно-динамическое моделирование выявило, что в присутствии сахарозы происходит *компактизация* белка, тогда как в присутствии глюкозы – *разрыхление*. Полученные данные свидетельствуют о том, что влияние сахаридов на структурную динамику белка Lm-4TS определяется не только вязкостью среды, но и их специфическими взаимодействиями с поверхностью белка.

Благодарности:

Автор выражает благодарность за помощь в проведении молекулярного моделирования научному консультанту Деевой А.А. (СФУ) и научному руководителю Немцевой Е. В.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Koksharov M.I., Ugarova N.N., Protein Engineering, Design and Selection, V.24, № 11, P. 835-844 (2011).

Люминесцентные бактерии для контроля содержания селена в окружающей среде

Зеньков А.В.

Институт биофизики СО РАН, Сибирский федеральный университет

В последние годы растет интерес к биоремедиации селеновых загрязнений с помощью селено-восстанавливающих микроорганизмов, трансформирующих токсичные селенит-ионы в менее токсичные биогенные наночастицы элементарного селена (БиоSeНЧ) [1].

Люминесцентные бактерии способны восстанавливают селенит-ионы [2], поэтому могут стать основной многоцелевого биопрепарата для: (1) биомониторинга токсичности растворимых форм селена, (2) детоксикации растворов селен-содержащих соединений и (3) синтеза наночастиц селена.

Мы изучили эффективность биовосстановления Na_2SeO_3 люминесцентными бактериями *Photobacterium phosphoreum*, в модельных растворах Na_2SeO_3 с исходной токсической концентрацией 1,0 мМ. Содержание Na_2SeO_3 уменьшилось на 65% за 24 часа биовосстановления, что сопоставимо с эффективностью биоремедиации другими селено-восстанавливающими микроорганизмами. Результаты биолюминесцентного биотестирования демонстрируют детоксикацию раствора (рис.1А): переход $I^{\text{отн}}$ от 0,3 до 1,6 при увеличении времени биовосстановления.

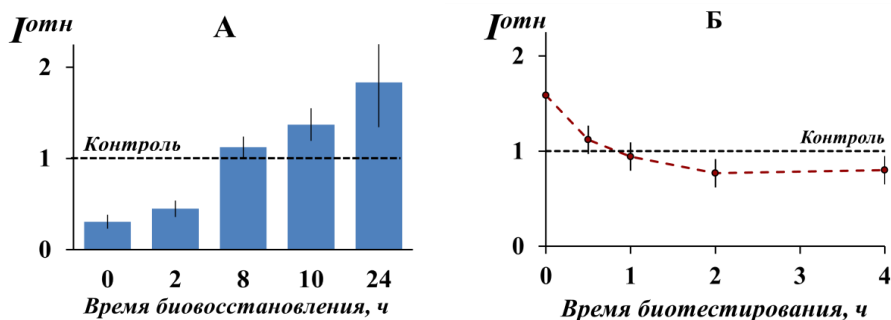


Рис. 1. Зависимость интенсивности бактериальной биолюминесценции ($I^{\text{отн}}$) от времени биовосстановления Na_2SeO_3 ($C_0=1,0$ мМ) (А) и времени биотестирования в присутствии БиоSeНЧ ($C_0=0,01$ г/л) (Б).

В ходе биоремедиации высвобождаются БиоSeНЧ. Важно оценить чувствительность биолюминесцентного биотеста к этим БиоSeНЧ. Из рисунка 1Б видно, что $I^{\text{отн}}$ в присутствии БиоSeНЧ (0,01 г/л) изменялась от 1,5 до 0,7.

Таким образом, люминесцентные бактерии чувствительны к токсическим формам селена (короткие времена тестирования) и способны к биотрансформации этих форм в наночастицы селена (долгие времена инкубирования – до 24 часов). Наши результаты расширяют представление о люминесцентных бактериях как многоцелевого биопрепарата при контроле селеновых загрязнений.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта № 26-14-20001. Автор благодарит соавтора работы Мутагирова Р.И. и научного руководителя Кудряшеву Н.С.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tugarova A.V. et al., New biotechnology, V.58, P. 17-24 (2020).
- [2] Zenkov A.V. et al., Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, V.325, P. 125078 (2025).

Термическое поведение разрушаемых полигидроксиалканоатов (ПГА)

Ипатова Н.Д.

Институт биофизики СО РАН

Полигидроксиалканоаты — это семейство биоразрушаемых полимеров микробиологического происхождения [1], физические свойства которых, включая термическое поведение, тесно связаны с химическим составом и степенью кристалличности, зависящих от соотношения аморфной и кристаллической фаз. Выявление факторов, влияющих на кинетику кристаллизации ПГА, имеет решающее значение для применимости термических методов с целью получения полимерных изделий из расплавов, а также для конечных свойств и качества получаемых изделий [2].

Цель данной работы — исследование термического поведения полигидроксиалканоатов различного химического состава.

Объект исследования различные ПГА: поли(3-гидроксibuтират) (П(ЗГБ)) и сополимеры поли(3-гидроксibuтират-*co*-3-гидроксивалерат) (П(ЗГБ-*co*-ЗГВ)), поли(3-гидроксibuтират-*co*-4-гидроксibuтират) (П(ЗГБ-*co*-4ГБ)) с различным соотношением мономеров. Полимеры синтезированы природным штаммом *Cupriavidus necator* B-10646 по запатентованной технологии [3].

Изучение термического поведения ПГА включало исследование кинетики кристаллизации и образование сферолитов в изотермическом режиме. Температурные характеристики изучены с помощью дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа. Соплимерные образцы с содержанием мономеров ЗГВ 10,7 и 18,9 мол.% имели пониженную степень кристалличности 50,4 и 30,2 % соответственно. Соплимеры П(ЗГБ-*co*-4ГБ) имели самые низкие значения степени кристалличности (16-42 %) при сохранении термостабильности и молекулярно-массовых характеристиках типичных для ПГА.

В процессе изотермической кристаллизации анализировали морфологию и скорость роста сферолитов оптической поляризационной микроскопией. Выявлено, как зависит кристаллизация ПГА от набора и соотношения мономеров. Скорость роста сферолитов П(ЗГБ) при кристаллизации имела экстремум при 80 °С и была максимальной 3,6 мкм/с. Скорости роста сферолитов при кристаллизации сополимерных образцов снижались с повышением содержания мономеров ЗГВ или 4ГБ. Максимальное значение этого показателя зарегистрировано у образца с самым низким содержанием мономеров ЗГВ (10,7 мол.%) при температуре 90 °С и составило 0,65 мкм/с. Максимальное значение скорости роста сферолитов 4ГБ (6,1 мол.%) зафиксировано при температуре, близкой к 85 °С и составило 0,95 мкм/с. При увеличении содержания мономеров в сополимерах скорость роста уменьшалась до 0,27 и 0,01 мкм/с соответственно для образцов с ЗГВ 58,8 мол.% и 4ГБ 19,0 мол.%.

На этой основе отработана технология конструирования композитов из полимерных расплавов, наполненных растительными отходами. Получено пионерное семейство полностью разрушаемых композитных материалов, физико-механические свойства которых сопоставимы с коммерческими продуктами, востребованными в строительстве, мебельной промышленности и др.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2026-00006).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Koller M. et al., Chemical and Biochemical Engineering Quarterly, V.34. P. 115-129. (2020).
- [2] Nair L.S., Laurencin C.T., Progress in Polymer Science, V.32, P. 762–98 (2007).
- [3] Волова Т.Г., Шишачкая Е.И., Патент 2439143 (2012).

Наночастицы золота для усиления люминесценции люцифераз

Кириллова М.А.

Сибирский федеральный университет

Очень часто снижение чувствительности биолюминесцентных ферментативных систем происходит из-за низкого светового сигнала, что может происходить в силу недостаточно высокого квантового выхода люциферазы или высокого фонового свечения. В этом случае повысить чувствительность можно путем усиления светового излучения с помощью наночастиц благородных металлов, золота или серебра.

Синтезировали наночастицы золота двумя способами с образованием наночастиц, покрытых цитратом (*AuNP*), и наночастиц, покрытых оболочкой АТФ (*AuNP-ATP*) [1,2]. Для стабилизации наночастиц, покрытых цитратом, использовали липидную смесь 1 (*AuNP-L*).

В присутствии *AuNP* и *AuNP-L*, интенсивность свечения люциферазы светляков *Luciola mingrelica* (*FLuc*) оставалась на уровне чуть ниже уровня контроля, то есть не отличалась от интенсивности света в системе без *AuNP* (рис. 1). Это может свидетельствовать о том, что происходил безизлучательный перенос энергии между *FLuc* и *AuNP*, и как следствие тушение люминесценции наночастицами золота. Увеличение интенсивности свечения биферментной системы светящихся бактерий люцифераза + *NADH:FMN*-оксидоредуктаза (*Red* + *BLuc*) в 1,6 раз наблюдалось в присутствии *AuNP* и *AuNP-L* (рис. 1). Полученные результаты показали небольшое усиление сигнала, что говорит о потенциальной возможности изменения люминесценции путем варьирования формы и размера наночастиц золота с целью поиска оптимальных параметров частиц.

При использовании *AuNP-ATP* взаимодействия с *FLuc* не наблюдалось. Было показано, что *FLuc* может взаимодействовать только со свободным АТФ в растворе, при этом концентрация свободного АТФ в растворе *AuNP-ATP* примерно в 50 раз меньше концентрации АТФ, используемой при синтезе частиц.

Таким образом, в работе продемонстрирована возможность использования наночастиц золота, синтезированных с цитратом, в качестве метода увеличения интенсивности свечения биферментной системы светящихся бактерий *Red* + *BLuc* с целью повышения чувствительности биолюминесцентного анализа.

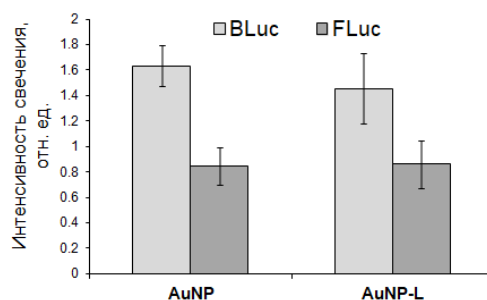


Рис. 1. Интенсивность свечения *FLuc* и *Red* + *BLuc* в присутствии образцов наночастиц золота: *AuNP* и *AuNP-L*. Контролем выступает интенсивность свечения в системе в отсутствие *AuNP*.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abhijith K.S., Sharma R., Ranjan R., Photochemical & Photobiological Sciences, V.13, No.7, P. 986–991 (2014).
- [2] Zhao W., Gonzaga F., Li Y., Advanced Materials, V.19, No.13, P. 1766–1771 (2007).

Рекомендации по поливу яблони ягодной в зеленых насаждениях г. Красноярска, разработанные на основе дендроклиматического анализа

Кладько Ю.В.

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН

Цель работы – на основании анализа климатического отклика радиального прироста яблони ягодной (*Malus baccata* (L.) Borkh.) разработать рекомендации по поливу ее посадок в зеленых насаждениях г. Красноярска.

Исследования проводились в г. Красноярске на 5 пунктах наблюдения (ПН), различающихся по степени и характеру техногенного загрязнения: ПН «Ветлужанка» (условно чистый), ПН «Академгородок» (условно чистый), ПН «Центр» (средний уровень загрязнения, преимущественно от автотранспорта); ПН «КрАЗ» (сильный уровень загрязнения, преимущественно от предприятий цветной металлургии); ПН «КрасТЭЦ» (сильный уровень загрязнения, преимущественно от предприятий химической промышленности и теплоэнергетического комплекса).

Для исследования на каждом ПН было отобрано 10 кернов стволовой древесины с 10 экземпляров яблони ягодной. Измерение ширины годовых колец (ШГК) и обработка данных производились общепринятыми в дендрохронологии методами на измерительном комплексе LINTAB-V 3.0 «Frank Rinn-Rinntech» (Германия) с пакетом программного обеспечения TSAP V 3.6 (точность 0.01 мм).

Индексирование хронологий радиального прироста для удаления возрастного тренда проводилось с применением экспоненциальной функции.

Реакция растений на климатические факторы выявлялась при построении и анализе скользящих корреляционных климатических функций отклика индексов радиального прироста. Они рассчитывались в «окне» длительностью в 20 дней и шагом в 5 дней с 1 апреля по 1 сентября.

Анализ климатических функций отклика выявил, что у яблони ягодной, произрастающей на разных ПН (в условиях разного техногенного загрязнения), периоды времени в пределах сезона роста со значимым влиянием на прирост климатических факторов (в данном случае, атмосферных осадков) могут существенно различаться.

Для разработки рекомендаций по поливу выделялись периоды, где радиальный прирост достоверно отрицательно коррелирует с величиной атмосферных осадков.

Рекомендовано ввести дополнительный полив яблони ягодной в следующие сроки:

1. На ПН «Ветлужанка»: с 15 по 31 мая;
2. На ПН «Академгородок»: с 20 по 31 августа;
3. На ПН «Центр» с 15 июля по 10 августа;
4. На ПН «КрАЗ» с 20 по 31 июля;
5. На ПН «КрасТЭЦ» с 1 по 10 мая и с 10 по 20 августа.

Автор выражает благодарность соавторам работы: Беньковой А.В. и Беньковой В.Е.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Schweingruber F. N. Tree Rings and Environment. Brimensdorf ; WSL/FNP: Bern, Stuttgart: Viena Haupt Publ., 1996.
- [2]. Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б. и др. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации. Красноярск: КрасГУ, 2000.
- [3]. Официальный сайт ВНИИГМИ–МЦД [Электронный ресурс]. URL: <http://meteo.ru>
- [4]. Fritts H.C. Tree Rings and Climate. London: Academic Press, 1976.

Оценка продукции ручейников *Apatania crymophila* р. Енисей на двух типах субстрата

Коновалова Д.А.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН (ИБФ СО РАН)

Водный мох *Fontinalis antipyretica* Hewd. вегетирует на проточных участках р. Енисей, образуя экологическую нишу для водных макробеспозвоночных, в число которых входят личинки ручейников. Недавние исследования показали, что личинки ручейников *Apatania crymophila*, McLachlan, 1880, входящие в рацион ценной промысловой рыбы – хариуса, образуют массовые скопления на водном мхе в р. Енисей **Ошибка! Источник ссылок не найден..** Поэтому возникло предположение, что обитающие на водном мхе ручейники могут вносить значимый вклад в общую продукцию макробеспозвоночных р. Енисей.

Цель данной работы – оценить продукцию личинок ручейников *A. crymophila*, обитающих на водном мхе и на минеральном донном субстрате.

Пробы личинок ручейников собирали в р. Енисей в июне-ноябре с водного мха и с минерального донного субстрата на расстоянии около 19 км ниже плотины Красноярской ГЭС. Участок, методика отбора и анализа проб описаны нами ранее **Ошибка! Источник ссылок не найден..** Для оценки биомассы водного мха на участке отбора проб была выполнена аэрофотосъемка участка с последующим распознаванием ортофотоплана с использованием алгоритмов машинного обучения и наложением изображений мха на рельеф дна [2]. По формуле, предложенной в работе 0, была рассчитана биомасса личинок ручейников, обитающих на водном мхе, на квадратный метр дна. Продукция биомассы личинок, обитающих на водном мхе и на минеральном донном субстрате была рассчитана по методике, описанной в работе 0, и представлена в г сырой биомассы / м² дна.

Биомасса личинок ручейников, ассоциированных с водным мхом, варьировалась в диапазоне 54-100% от суммарной биомассы личинок на площади дна. Продукция личинок, обитающих на водном мхе, за летне-осенний сезон превышала продукцию личинок, обитающих на минеральном донном субстрате в 2,8 раза.

Таким образом, показатели биомассы и продукции ручейников *A. crymophila*, обитающих на водном мхе, существенно превышали таковые для личинок, обитающих на минеральном донном субстрате. Учёт продукции личинок ручейников на водном мхе позволит повысить оценки кормовых ресурсов для ихтиофауны в р. Енисей.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта № 25-27-20051.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Коновалова Д.А., Зотина Т.А., Анищенко О.В., Сибирский экологический журнал, Т.33, №1, С.91-105 (2026).
- [2] Zotina T.A., Erunova M.G., Konovalova D.A., Environmental Monitoring and Assessment, V.198, P.164 (2026).

Варианты замены II EF-hand в фотопротеине акворине для создания Ca²⁺-регулируемых белков с новыми свойствами

Коновалова О.В.

Сибирский федеральный университет

Ca²⁺-связывающие белки семейства EF-hand играют ключевую роль в передаче внутриклеточных сигналов. Особый интерес представляют фотопротеины гидромедуз, которые образуют стабильный комплекс апобелка с целентеразином. Ионы кальция связываются в петлях EF-hand доменов, что приводит к инициации биолюминесценции. Для этой группы белков характерен высокий уровень гомологии и разные физико-химические показатели: квантовый выход, кинетика биолюминесцентной реакции и чувствительность к Ca²⁺. Фотопротеины используются как аналитический инструмент для внутриклеточной детекции ионов Ca²⁺.

В фотопротеинах гидромедуз II EF-hand в процессе эволюции утратил способность связывать Ca²⁺, однако в данном участке находятся несколько консервативных аминокислот, определяющих спектр излучения, а также участвующих в координации субстрата [1]. Мы предлагаем подход, основанный на замене целых EF-hand мотивов между гомологичными фотопротеинами. Этот метод сохраняет общую структуру белка и уже доказал свою эффективность при создании химерного белка Photina® с улучшенными аналитическими характеристиками [2]. Нами была предпринята попытка заменить этот мотив в рекомбинантном фотопротеине акворине из *Aequorea victoria* на аналогичный из фотопротеинов обелина, митрокомины и клитина.

Целью работы являлось сравнить свойства полученных химерных белков, сделать вывод о роли II EF-hand в их функционировании и оценить их потенциал для аналитического применения.

В результате было получено 3 варианта химерных белков: AVOLII, AVMCII и AVCGII (Рис.1). Во всех случаях замена II EF-hand привела к значительному замедлению скорости снижения биолюминесцентного сигнала. Удельная биолюминесцентная активность AVMCII была на уровне AVwt, а у AVOLII и AVCGII несколько снизилась. Спектральный сдвиг наблюдался у AVOLII и AVCGII. AVMCII отличался более высокой термостабильностью. Для AVMCII была решена пространственная структура, которая не имела значительных отличий от таковой дикого акворина.

	62	72	82	92	102
AVwt	TPEQAKRHKDAVEAFFGGAGMKYGVETEWPEYIEGWKRLASEELKRYSKNQI				
AVOLII	S...T...QVC...R.C...E...K.IAF.QFLD...Q...TS...KWAR.EP				
AVCGII	S.A.TQ...QE...KKI...LD...K.V.F.AFVN...E...KHD...LW.Q.KP				
AVMCII	SE...TR...QKC...D...LE.DKD.T.....				

Рис. 1 – Сравнение фрагментов (II EF-hand) аминокислотных последовательностей химерных белков и дикого акворина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Inouye S. et al., The Journal of Biochemistry, V.160, P. 59-68 (2016).
- [2] Bovolenta S. et al., Journal of Biomolecular Screening, V.12, P. 694-704 (2007).

Применение белка YebF для высокопроизводительного скрининга мутантных форм люциферазы копепоид *Metridia* в *E. coli*

Коротов И.А., Маркова С.В.
Институт биофизики СО РАН

Люцифераза *MLuc* из копепоид *Metridia longa* представляет собой небольшой секретируемый высокоактивный белок (~22 kDa), катализирующий простую реакцию окисления целентеразина. Данный фермент успешно применяется в качестве биолуминесцентного репортера в различных биомедицинских исследованиях [1]. Однако, для расширения области его применения требуется разработка новых мутантных форм с улучшенными характеристиками. *MLuc* содержит множественные дисульфидные связи, корректное формирование которых затруднено в восстановительных условиях цитоплазмы *E. coli*. При использовании различных систем экспрессии показано, что люцифераза *MLuc* присутствует в бактериальных клетках преимущественно в неактивной форме в виде телец включения, а использование различных сигнальных пептидов для транспортировки в периплазму, где возможен корректный фолдинг люциферазы, не улучшает выход активного белка [1]. Низкий уровень синтеза активной люциферазы *MLuc* в *E. coli* существенно ограничивает эффективность скрининга мутантных вариантов в этой наиболее простой и экономичной системе.

YebF - маленький бактериальный белок с неизвестной функцией длиной 118 аминокислотных остатков, включая сигнальный пептид, для которого показано, что он может служить белком-носителем, обеспечивая секрецию в культуральную среду амилазы и фосфатазы в составе гибридов с *YebF* [2]. Использование гибридной конструкции *YebF-MLuc* может представлять собой подход к решению проблемы получения активной формы люциферазы *MLuc* за счет формирования корректных паттернов дисульфидных связей в параплазматическом пространстве.

Возможности *YebF* направлять секрецию гибридных конструкций исследована на гибридах с *MLuc* и зеленым флуоресцентным белком (*GFP*). Однако ни при варьировании условий культивирования, ни при использовании различных штаммов *E. coli* значительной секреции в культуральную среду выявлено не было, но выход активной люциферазы был на порядок выше. При этом анализ флуоресценции различных клеточных фракций *GFP* и биолуминесценции *MLuc* показал, что *YebF* обеспечивает экспонирование слитого белка вблизи или на поверхность клетки.

Полученные результаты позволяют предположить, что *YebF* ассоциируется с внешней мембраной *E. coli*, обеспечивая вынос слитого белка к поверхности клетки. Это существенно повышает эффективность скрининга мутантных вариантов люциферазы *Metridia* и позволяет осуществлять высокопроизводительный скрининг на уровне колоний, поскольку, во-первых, создаются условия для корректного формирования дисульфидных связей, а во-вторых, отпадает необходимость транспорта субстрата внутрь клетки.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-44-00009 и гранта FWES-2024-0018 Министерства науки и высшего образования РФ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Markova S.V., Larionova M.D., Vysotski E.S. Photochem. Photobiol, V.95, P. 705-721 (2019).
- [2] Zhang G., Brokx S., Weiner J.H., Nature biotechnology, V.24, P. 100-104 (2006).

Влияние биоудобрений на основе опилок на микробиологическую активность почвы и развитие сеянцев хвойных в условиях вегетационного опыта

Кузьмина Е.В.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Важным компонентом почв является микробиота, которая участвует в процессах трансформации органического вещества, минерализации элементов питания растений, синтезе биологически активных соединений и формировании структуры почвы [1, 2]. Изучение количественного и структурного состава почвенной микробиоты позволяет оценить биологическую активность почвы и ее пригодность к лесовыращиванию. Для увеличения биогенности/продуктивности почвы в настоящее время применяют экологически чистые удобрения. В лаборатории микробиологии и экологической биотехнологии ИЛ СО РАН разрабатываются биоудобрения на основе опилок, путем их компостирования с различными добавками. Проведение экспериментов по выращиванию хвойных с помощью биоудобрений позволяет оценить их эффективность и возможность использования в лесном хозяйстве. Целью исследования было оценить биологическую активность почвенных микробоценозов и состояние сеянцев хвойных при внесении в почву двух биоудобрений в условиях *in vitro*.

Для достижения поставленной цели был спланирован и поставлен в лабораторных условиях вегетационный эксперимент по определению пригодности разработанных биоудобрений при выращивании посадочного материала. В пластиковые кюветы помещали почву с добавлением двух видов биоудобрений на основе опилок (опыт): с добавлением микродоз мочевины (М) и сульфата аммония (СА), почва без удобрений служила контролем. Во все кюветы с почвой производили посев семян сосны обыкновенной и ели сибирской в следующих вариантах: КЕ, КС (контроль, ель и сосна), ОЕ и ОС (почва с опилками, ель и сосна), МЕ и МС (удобрение с мочевиной, ель и сосна), САЕ и САС (удобрение с сульфатом аммония, ель и сосна). До посева семян и в конце эксперимента в почве определяли общую численность и эколого-трофические группы микроорганизмов. Систематически учитывали количество всходов и сеянцев сосны и ели (через 10-14 дней). Морфометрию сеянцев проводили в конце эксперимента.

Установлено, что численность микроорганизмов в почве зависит от варианта опыта. Так, перед началом эксперимента ОЧМ в среднем была $2.3 \cdot 10^7$, а в конце снизилась в 2 раза до $1.1 \cdot 10^7$ КОЕ /г почвы. В опытных вариантах увеличилась доля микроорганизмов олиготрофно-гидролитической группы, в то время как в контрольных – олиготрофно-копиотрофной. Отмечено, что минерализационные процессы интенсивнее протекали в почве опытных вариантов. Биоудобрения повысили всхожесть семян, сохранность проростков и устойчивость их к полеганию. Наибольшая всхожесть семян отмечена в опытных вариантах: ЕМ (72%), САЕ (89%), в то время как контрольные (КС, КЕ) и с опилками (ОС, ОЕ) демонстрировали более низкие и нестабильные результаты. Морфометрические показатели сеянцев в опыте (длина мутовки, стволика и корня, диаметр корневой шейки) существенно превышали таковые контрольных.

Таким образом, результаты свидетельствуют о том, что внесенные биоудобрения способствовали активизации процессов минерализации почвы, увеличению сохранности сеянцев сосны и ели, улучшали их морфометрические показатели в 2-3 раза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chen Q., Song Y., An Y., Lu Y., Zhong G. Soil Microorganisms: Their Role in Enhancing Crop Nutrition and Health. *Diversity*, 16, 734 (2024).
- [2] Adal Y.M. The Impact of Beneficial Microorganisms on Soil Vitality: A Review. *Frontiers in Environmental Microbiology*, 10(2), PP. 45-53 (2024)

Ингибирующее действие фунгицидов на прорастание конидий грибов *p. Fusarium*

Кукушкина К. В.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Грибы *p. Fusarium* – опасные патогены, вызывающие заболевания зерновых культур, в частности пшеницы [1]. Обработка семенного материала коммерческими фунгицидами перед посевной, остается наиболее эффективным методом. Однако применяемые химические средства не всегда способны обеспечивать полную защиту, так как постоянное применение препаратов способствует развитию резистентности у патогенов [2]. Фиксация дозировок препаратов и результатов обработок помогают вовремя заметить снижение эффективности и снизить риски развития резистентности у патогенов [3]. Поэтому крайне важно проводить регулярный мониторинг эффективности применяемых в обработке семян фунгицидов. **Цель:** изучить ингибирующее воздействие растворов некоторых коммерческих фунгицидов на прорастание конидий грибов *p. Fusarium*. **Объекты исследования:** конидии 18 штаммов грибов *p. Fusarium*, выделенных из зерен яровой пшеницы, трех районов Красноярского края урожая 2022, 2023 и 2024 гг. В качестве тестируемых препаратов использовали препараты АО Фирма "Август" : Стерлинг, Оплот, Оплот Трио, Хет-Трик. Исследование проводили капельным экспресс методом. Наибольшее ингибирующее воздействие на прорастание конидий *Fusarium* проявил препарат «Оплот» (90 % ингибирования), демонстрирующий высокую эффективность даже при низких концентрациях. Это делает его оптимальным выбором для практического применения в сельском хозяйстве, особенно в условиях необходимости снижения пестицидной нагрузки. «Оплот Трио» (80 %) и «Хет-Трик» (66 %) могут рассматриваться как альтернативные варианты, однако требуют тщательного подбора дозировок из-за риска стимуляции прорастания на минимальных концентрациях. «Стерлинг» (49 %) показал наименьшую эффективность и нестабильный эффект, включая случаи обильного прорастания конидий при низких концентрациях, что ограничивает его практическое применение. Межгодовая изменчивость эффективности препаратов подчёркивает необходимость регулярного мониторинга активности фунгицидов и корректировки схем их применения. Результаты могут быть использованы для разработки схем предпосевной обработки семян или защиты растений от фузариоза с подбором оптимальных доз препаратов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Костерина, Н. А. Анализ современного состояния проблемы фузариоза колоса и зерна пшеницы в Российской Федерации / Н. А. Костерина // Аграрный вестник Урала. – 2023. – Т. 23, № 5. – С. 49-60. – DOI 10.32417/1997-4868-2023-234-05-49-60. – EDN LQLAOZ
- [2] Щербакова, Л. А. Развитие резистентности к фунгицидам у фитопатогенных грибов и их хемосенсибилизация как способ повышения защитной эффективности триазолов и стробилуринов / Л. А. Щербакова // Сельскохозяйственная биология. – 2019. – Т. 54, № 5. – С. 875-891. – DOI 10.15389/agrobiology.2019.5.875rus. – EDN MLUFKS..
- [3] Доронин, В. Г. Влияние фунгицидов и их смесей с регулятором роста на урожайность и качество зерна яровой пшеницы / В. Г. Доронин, Е. Н. Ледовский // Агрохимия. – 2021. – № 10. – С. 17-21. – DOI 10.31857/S0002188121100057. – EDN DXMJOP.
- [4] Дьяков, Ю. Т. Общая фитопатология : учебное пособие для вузов / Ю. Т. Дьяков, С. Н. Еланский. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 230 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01170-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [Электронный ресурс]. — URL: <https://urait.ru/bcode/536368> (дата обращения: 09.04.2026).

Оценка биосовместимости микрочастиц поли(3-гидроксибутират-со-3-гидроксивалерата)

Липайкин С.Ю.

Сибирский федеральный университет

Биосовместимость полимерных систем доставки лекарственных препаратов играет ключевую роль в обеспечении безопасности и эффективности их применения. Микрочастицы, нагруженные лекарственными препаратами, контактируя с тканями и жидкостями организма, могут вызывать воспаление или негативный иммунный ответ. Оценка биосовместимости, в свою очередь, минимизирует риски для пациентов и повышает шансы на успешное применение таких систем в клинической практике.

Целью работы является оценка цитосовместимости микрочастиц поли(3-гидроксибутират-со-3-гидроксивалерата) (*NAP*-МЧ), нагруженных метил-3-(4-бромбензоил)-4-гидрокси-1-(1,5-диметил-3-оксо-2-фенил-2,3-дигидро-1*H*-пиразол-4-ил)-5-оксо-2-хлор-1*H*-пиррол-2-карбоксилатом (*NAP*), по отношению к клеточной линии миобластов *C2C12*, а также оценка их гемосовместимости. Оценке подвергались также свободный *NAP* и ненагруженные микрочастицы (МЧ).

Для определения цитосовместимости проведены анализы *MTT* и *LDH*. Согласно результатам *MTT*-анализа, на метаболическую активность клеток *C2C12* не оказывали влияния ни свободный *NAP*, ни микрочастицы (при исследуемых концентрациях от 34,1 мкг/мл до 852,7 мкг/мл) МЧ и *NAP*-МЧ. Полученные результаты согласуются с данными исследования [1], в котором показано, что наночастицы поли(3-гидроксибутират-со-3-гидроксивалерата) не влияют на жизнеспособность клеток *C2C12*. Согласно результатам *LDH*, *NAP*, МЧ и *NAP*-МЧ не влияли на целостность клеточной мембраны *C2C12*, что согласуется с результатами *MTT*-анализа.

Для оценки гемосовместимости определяли высвобождение свободного гемоглобина из человеческих эритроцитов, подвергнутых воздействию *NAP*, МЧ и *NAP*-МЧ. Согласно *ASTM F756-17 «Standard Practice for Assessment of Hemolytic Properties of Materials»*, образцы с концентрациями гемоглобина более 5% считаются гемолитическими [2]. Было показано, что ни чистый *NAP*, ни тестируемые микрочастицы не проявляют гемолитической активности в диапазоне концентраций от 5 до 125 мкг/мл.

Согласно результатам экспериментов *in vitro*, как свободный *NAP*, так и полученные микрочастицы (пустые и нагруженные *NAP*), не проявляли гемолитической активности и цитотоксичности по отношению к клеточной линии миобластов *C2C12*. Полученные данные формируют основу для дальнейших исследований, направленных на создание микро- и наночастиц, применимых в качестве систем для доставки лекарственных препаратов.

Благодарности: Работы проведены с использованием аналитического оборудования, являющегося собственностью Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dorokhin A.S., Lipaikin S.Y., Ryltseva G.A., ADMET DMPK, V.13, P.2723 (2025).
- [2] Ryltseva G.A., Dudaev A.E., Lipaikin S.Y., Journal of Polymers and the Environment, V.33, P. 1984-2000 (2025).

Организация рабочей памяти влияет на эффективность нейросетевых модельных объектов при реагировании на временные ряды

Маркова Г.М.
Институт биофизики СО РАН

Выживание организмов в условиях изменяющейся среды возможно благодаря адаптации, в том числе на уровне поведения, что требует от организма наличия, хранения и использования внутренних репрезентаций среды, т.е. рефлексии в широком смысле. Для реализации этих процессов необходима рабочая память (РП), которая, в свою очередь, зависит от двух основных факторов: структуры связей организма и входных стимулов [1]. В работе оценивается, как наиболее простые варианты организации РП, различающиеся по способу подачи и обработки входных стимулов, влияют на точность отклика эвристических модельных объектов в задаче, имитирующей выживание организма в потоке кусочно-регулярных событий.

Модельные объекты – рекуррентные 30-нейронные сети (РНС), работающие по тактам: 1) обычные SRN, которым на каждом такте подаются входные стимулы и регистрируется отклик; 2) NoInp, которым подается только однократный иницирующий стимул; 3) DTRN, аналогичные SRN, но отклик регистрируется после двух внутренних тактов обработки стимула – «времени на размышление».

Задача, имитирующая выживание в потоке кусочно-регулярных событий – реагирование на фиксированные последовательности стимулов (ряды), что требует хранить репрезентации рядов в РП [2]. Использовались 4 ряда с повторяющимся звеном из 6 символов, одинаковые для всех РНС. Обучение по алгоритму backpropagation длилось 100 000 тактов, со сменой рядов в случайном порядке. Задача заключалась в предсказании следующего символа. Эффективность обученных РНС проверялась в тестах с теми же рядами при условии фиксированных либо модифицируемых весовых коэффициентов РНС.

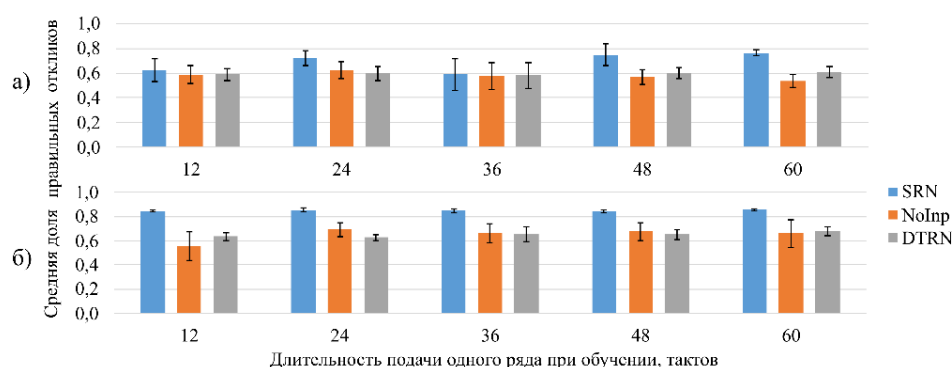


Рис. 1. Средние доли правильных откликов РНС в тесте: а) с фиксированными весовыми коэффициентами, б) с модифицируемыми весовыми коэффициентами.

Наиболее эффективны оказались РНС типа SRN, следовательно, способ организации РП, при котором входные стимулы поступают на каждом такте функционирования, способствует хранению репрезентаций и их применению для решения задачи, т.е. рефлексии в широком смысле.

Автор выражает благодарность соавтору и научному руководителю работы Барцеву Сергею Игоревичу (Институт биофизики СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Stroud J., Duncan J., Lengyel M., Trends Cogn. Sci., V.28, P. 614-627 (2024).
- [2] Markova G.M., Bartsev S.I. Studies in Computational Intelligence, V.1241, P. 563-575 (2026).

Эволюционные линии водяных лютиков (*Ranunculus sect. Batrachium*, *Ranunculaceae*) р. Енисей в контексте скрытого разнообразия и сетчатой эволюции

Минаков И.Д.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН

Водяные лютики (секция *Batrachium* в роде *Ranunculus*) – это одна из самых распространённых групп макрофитов в сибирских водных объектах. В последние годы в Европе, благодаря подробным исследованиям разнообразия водяных лютиков морфологическими и филогенетическими методами, была выявлена частая встречаемость многочисленных ранее неизвестных гибридов и скрытых таксонов, не вписывающихся в нынешние таксономические концепции [1]. Нашей целью было провести тщательное изучение енисейских популяций водяных лютиков, которое может выявить существование эволюционных линий, отличных от известных для региона видов.

Материалами для исследования послужили популяции водяных лютиков р. Енисей, а также алтайские образцы близкородственных видов, взятые для сравнения. Всего было изучено свыше 350 образцов растений из 25 локаций. У всех образцов были измерены вегетативные морфологические параметры, у цветущих растений были изучены также важные таксономические признаки цветков. У 23 популяций была изучена форма и фертильность пыльцы. Молекулярно-генетическими методами были изучены 14 образцов.

В результате проведённой инвентаризации флоры водяных лютиков р. Енисей и их сравнения с литературными данными, было установлено широкое распространение в реке видов *R. subrigidus* и *R. kauffmanii*. Помимо этих видов, также наблюдалась частая встречаемость популяций, состоящих из особей, комплекс морфологических признаков и нуклеотидные последовательности которых не идентичны таковым у других известных ранее видам [2]. Первая группа растений была подобна встречающемуся в Сибири виду *R. mongolicus*, однако отличалась от него характером обволоснения побега, формой надводных листьев, формой нектарников, более деформированной пыльцой, а также наличием некоторых нуклеотидных замен в ITS регионе ядерной ДНК и psbA-trnH межгенном спейсере пластидной ДНК. Вторая группа растений подобна ранее упомянутому *R. kauffmanii*, однако она несколько менее крупная вегетативно, отличается формой нектарника, более деформированной пыльцой и нуклеотидными заменами в пластидной ДНК, которые могли быть унаследованы по материнской линии от других видов. Третья группа растений подобна распространённому в Сибири *R. trichophyllus*, однако филогенетический анализ показал близкое родство этих растений с эндемичным для Северной Европы видом *R. confervoides*. Если сопоставить имеющиеся данные по морфологии, палинологии и филогенетике исследованных нами в р. Енисей и Алтае водяных лютиков между собой, а также с данными исследователей из других регионов мира, можно составить сеть эволюционных взаимоотношений. Изученные нами образцы с неописанными ранее комплексами признаков вписываются в эту сеть как самостоятельные и уникальные эволюционные линии.

Автор выражает благодарность соавторам работы: Путилину И.Р., Зотиной Т.А., Ямских И.Е., Киприяновой Л.М., Куцеву М.Г.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Prančl J. et. al, Scientific Reports, V.15, №1. P. 1-16 (2025).
- [2] Wiegleb G., Bobrov A.A., Zalewska-Gałosz J., Phytotaxa. V.319, №1. P. 1-55 (2017).

Утилизация отходов лесоперерабатывающего комплекса как фактор снижения экологической нагрузки на лесные территории

Нанакин Д.С., Демиденко Н.Ю.

Сибирский государственный университет науки и технологий
им. М.Ф.Решетнева, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

До недавнего времени в лесной промышленности признавался ценным только ствол, а все остальное считалось отходами, которые загромождали лесосеки и создавали благоприятную среду для обитания и размножения вредителей леса, а также для возникновения лесных пожаров [1]. Наиболее эффективным с точки зрения экономики и экологии, является внедрение технологий по переработке таких отходов.

Благодаря грибам с высокой целлюлолитической активностью можно переработать отходы лесозаготовки и лесопереработки путем биоконверсии с получением ценных биологически активных продуктов [3].

Сегодня само по себе производство субстратов и компостов для промышленного выращивания грибов из отходов различных производств (в том числе и лесозаготовки, и лесопереработки) является инвестиционно привлекательным [2].

В качестве растительных субстратов для культивирования грибов вида *Pleurotus ostreatus* в данной работе были использованы смеси опилок различных пород древесины (хвойные (Х) и березовые (Б)) и растительного сырья недревесного происхождения (костра конопли технической (К)). Об эффективности утилизации субстрата судили по изменению содержания трудноутилизуемых компонентов субстрата, результаты определения которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав растительных субстратов и продуктов культивирования

Состав субстрата (соотношение компонентов, % от массы)	К/ХВ (80/20)	К/ХВ (50/50)	К/ХВ (20/80)	К/Б (80/20)	К/Б (50/50)	К/Б (20/80)
Содержание трудногидролизуемых полисахаридов, % (субстрат/продукт)	49.21/ 26.77	50.16/ 30.14	58.21/ 29.37	45.87/ 27.61	44.62/ 31.09	45.86/ 28.81
Содержание лигнина, % (субстрат/продукт)	30.53/ 20.91	28.75/ 18.19	36.00/ 22.51	26.77/ 12.17	27.94/ 11.47	31.74/ 15.02

Полученные данные о снижении содержания трудноутилизуемых компонентов растительного сырья свидетельствуют о высокой эффективности базидомицетов как инструмента снижения экологической нагрузки на лесные массивы путем биотехнологической переработки отходов с одновременным получением биологически активных и ценных продуктов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ КНЦ СО РАН (FWES-2024-0028 «Биоразнообразие лесов Сибири: эколого-динамический, генетико-селекционный, физико-химический и ресурсно-технологический аспекты»).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Зырянов М. А., Медведев С. О., Андреева А. А., Швецов В. Ю. UNIVERSUM: Экономика и юриспруденция, № 6 (93), С. 42-25 (2022).
- [2] Абузов А. В., Дахова Е. В., Шевчук А.С. Возможность использования отходов лесной промышленности для создания биоудобрений. Инженерный вестник Дона, № 8 (104), С. 272-282 (2023).
- [3] Лазарева Т. Г., Александрова Е. Г. Вестник Евразийской науки, Т. 11, № 1, С. 22-30 (2019).

Магнитные частицы, полученные методом полиольного синтеза, с функционализированной поверхностью для сепарации клеток

Никифорова И.А.

Сибирский Федеральный университет, Институт фундаментальной биологии и биотехнологий, кафедра биофизики.

ФГБНУ ФИЦ Красноярский научный центр СО РАН (МНЦИЭСО)

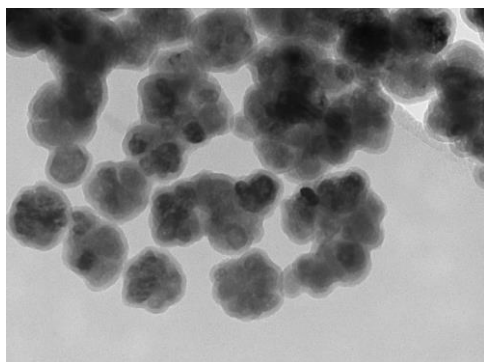
Разработка метода магнитной сепарации клеток на основе синтезированных наночастиц позволит медикам быстро и эффективно выделять клетки из биологических образцов даже при низкой концентрации. Это очень важно для проведения диагностики или мониторинга различных заболеваний. Сейчас не существует технологии магнитной сепарации клеток рака мочевого пузыря из мочи пациентов. Однако разработка данной технологии позволила бы неинвазивно осуществлять диагностику или контроль эффективности терапии у пациентов с данным заболеванием [1].

Целью данного исследования является синтез магнитных наночастиц с функционализированной поверхностью для сепарации клеток.

Синтез частиц осуществляли посредством полиольного синтеза. Частицы покрывали оксидом кремния по технологии обратной эмульсии. Поверхность функционализировали стрептавидином для последующего захвата клеток при помощи стрептавидин-биотинового взаимодействия.

В ходе работы были успешно синтезированы магнитные наночастицы Fe_3O_4 размером около 100 нм, покрытые аморфным SiO_2 (Рис. 1А). После функционализации стрептавидином частицы продемонстрировали успешное взаимодействие с биотинилированным зеленым флуоресцентным белком (Рис. 1Б), что позволяет с дальнейшим ожидать успешный захват клетки через биотинилированные специфические антитела.

А



Б

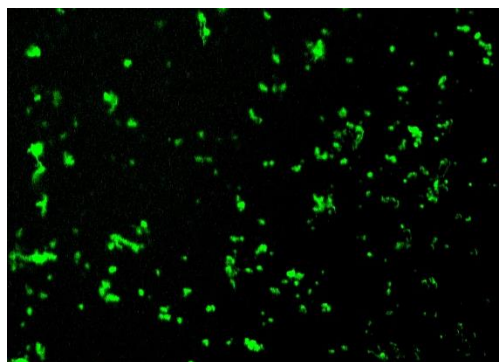


Рис. 1. Наночастицы, покрытые SiO_2 . А – ПЭМ изображение частиц, Б – флуоресценция GFP на частицах после иммобилизации через стрептавидин-биотин.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Wang J., Shah Z.H., Zhang S., Nanoscale, V.6, P. 4418-4437 (2014).

Высвобождение и накопление элементов (включая тяжелые металлы и биогены) разлагающейся биомассой *Myriophyllum spicatum* (урути колосистой) в Абаканской протоке р. Енисей.

Новицкая (Анищенко) Ю.Д.¹, Анищенко О.В.¹, Иванова Е.А.²

¹Институт биофизики СО РАН

²Сибирский федеральный университет

Водные экосистемы испытывают антропогенное воздействие: эвтрофирование из-за поступления азота и фосфора, загрязнение тяжёлыми металлами (ТМ). Высшая водная растительность (ВВР) аккумулирует загрязнители, но при разложении может вызывать вторичное загрязнение. Уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L., 1753) в Абаканской протоке р. Енисей (г. Красноярск), подверженной влиянию ТЭЦ и рыбоводческого хозяйства, является одним из доминирующих видов ВВР. В центральной части протоки ранее было отмечено повышенное содержание Cu, Pb и Sr в биомассе растения [1].

Цель: исследовать накопление и высвобождение элементов при разложении биомассы *M. spicatum* на участке антропогенного воздействия. В задачи входило: оценить скорость разложения биомассы урути; определить элементы, накапливающиеся и высвобождающиеся при разложении.

Отбор растений (16.08.2024) проводился в центральной части протоки. В подготовку образцов растений входило: промывка растений в лаборатории, подсушивание для определения сырой биомассы, заморозка растений (–80 °С, 4 дня). Около 9 г подготовленной биомассы помещали в мешки с размером ячеек 1 мм (всего 30 шт) и закрепляли на сетке, которую разместили на подводной опоре рыбоводческого хозяйства (21.08.2024). Пакеты с разлагающейся биомассой урути (в трех повторностях) отбирали на 2й, 3й, 6й, 8й, 15й, 29й, 44й и 66й дни эксперимента, в дни отбор проб проводили измерение параметров воды (температура, электропроводность, содержание кислорода, pH), также отбирали пробы воды для химического анализа.

В период проведения эксперимента в воде протоки общее содержание Al, Cu и температура в среднем превышали ПДК и рекомендованный показатель (20 °С) для рыб.-хоз. На 15й день эксперимента разложилось 54%, а на 44й день – 92,7% исходной биомассы урути. Индекс аккумуляции (AI) позволяет оценить чистое высвобождение или накопление элементов в биомассе [2]. При AI>1 наблюдается аккумуляция Al, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, Li, Mo, Ni, Se, Sr, Ti, V, Zn в первые две недели; при AI<1 - высвобождение Ba, Cd и Zn (к 29-му дню), As, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Se, Zn (к 44-му дню), In, K, Mg, Mn, Na, Pb, S, Tl, N и C в ходе всего эксперимента.

Уруть колосистая эффективно аккумулирует элементы из воды (в т.ч. из отходов рыбоводческого хозяйства). Разложение биомассы вызывает высвобождение C, N и ряда ТМ, что создаёт риск вторичного загрязнения вод. Разлагающаяся биомасса *M. spicatum*, вероятно, может способствовать поступлению ТМ в пищевые цепи через беспозвоночных.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Анищенко Ю.Д., и др., Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, Т.16, №1, С.87–108 (2023).
[2] Deng H. et al., Journal of Environmental Sciences, V.42, P. 71–78 (2016).

Использование данных сетного лова для калибровки гидроакустического метода оценки биомассы

Олешко У.А.

Сибирский Федеральный Университет

Рыба является ценным источником животных белков и других микроэлементов. Вследствие рыбного промысла заметна явная тенденция к часто ошибочным или неверным статистическим данным, что способствует массовому перелову и ухудшению состояния мировых запасов [1], а также к усложнению оценки целостности и сохранности отдельных экосистем [2].

Цель исследования – оценить степень расхождения ихтиомассы при использовании пассивных орудий лова (сети) и метода гидроакустической съемки в сравнении с математической моделью, в качестве которой был выбран виртуально-популяционный анализ (ВПА).

Лов сетью и гидроакустическая съемка проводилась на озере Ойское (заповедник Еграки) 16-17 июля 2023 года. Сеть с параметрами: длина – 30 м, высота – 1.6 м, ячеи – 25 мм, устанавливалась на глубине 3-6 м дважды: на 6 и 12 часов.

Гидроакустическая съемка проводилась с использованием научного эхолота Simrad EK80 с антенной ES120-7C, которая имеет рабочую частоту 120 кГц, расщепленный луч, круговую диаграмму направленности, угол луча составлял 7°. Путь, прошедший при помощи эхолота, равнялся 21 728 м³.

С помощью сетного лова всего было поймано 33 особи, принадлежавшие к семейству *Thymallus*, из которых у 25 была измерена масса тела, сняты линейные характеристики, а также изъята чешуя для определения возрастной группы.

Гидроакустическим методом было обнаружено 9 особей, также, вероятнее всего, принадлежавшие к тому же семейству *Thymallus*.

Для проведения расчетов с использованием ВПА использовались данные о зависимости абсолютных радиусов чешуи от линейных характеристик рыб, об отношении длины-массы и учета коэффициентов смертности на основе параметров роста: L_{∞} и K . Начальные данные для использования ВПА были взяты исходя из сетных уловов.

Результаты сетного лова, были преобразованы в массу на основании данных о размерных характеристиках сетей, озера, времени лова и коэффициентов, описанных в статье Кушнarenко, 1983.

Эхограмма, полученная во время гидроакустической съемки, была обработана и путем эхосчета преобразована в сигналы, на основании которых были полученные данные о длине, находящихся в озере рыб. Далее длина была переведена в биомассу.

Выявлено, что наибольшее значение биомассы было получено путем использования сетей (33 кг/га), а меньшее – гидроакустическим путем (4.6 кг/га.). Данные, полученные при помощи ВПА (5.5 кг/га) были значительно меньше, чем сетные уловы и имели сродство со значениями гидроакустической съемки и отличались от них менее чем в полтора раза, что говорит о высокой сопоставимости этих результатов.

Возможными причинами этого может низкая селективность сетей, что способствует неравномерной выборке и завышению средних показателей, таких как масса и длина. Гидроакустический метод же имеет хоть и малую выборку, но более репрезентативную, вероятнее всего потому, что различает особей в широком диапазоне размеров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pauly D., Zeller D., Nature communications, V.7, P. 10244 (2016).
- [2] Dolbeth M. et al., Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, V.69, P. 1230-1253 (2012).

Биолюминесцентный иммуноанализ онкомаркера сурвивина в моче пациентов при раке мочевого пузыря

Панамарев Н.С.

Институт биофизики, ФИЦ КНЦ СО РАН

Диагностику рака мочевого пузыря (РМП) проводят с использованием дорогих, длительных и инвазивных методов (цистоскопия, цитология клеточного осадка мочи). Лабораторного способа диагностики РМП в настоящее время не существует. Сурвивин, металлопротеин, выполняющий функции регулирования клеточного деления и ингибирования апоптоза, сверхэкспрессируется при различных формах онкологических заболеваний [1]. При РМП он активно выделяется злокачественным эпителием опухоли, попадая в мочу, что делает его перспективным маркером для создания неинвазивного способа диагностики данного заболевания.

В рамках исследования разработан твердофазный иммуноанализ сурвивина на основе искусственной люциферазы *NanoLuc*, обладающей уникально ярким и длительным свечением [2]. Схема анализа представлена на рис. 1а. Предел обнаружения данной тест-системы составил 10,6 пг/мл (0,64 пМ), что позволяет выявлять сурвивин в диагностически значимом диапазоне концентраций (15,6-1000 пг/мл). Пользуясь полученной зависимостью как калибровочной кривой, исследовали содержание сурвивина в моче пациентов с диагнозом немышечно-инвазивный (НМИРМП, $N=77$), мышечно-инвазивный (МИРМП, $N=51$) рак мочевого пузыря, а также в 60 образцах мочи группы здоровых в отношении РМП добровольцев (рис. 1б).

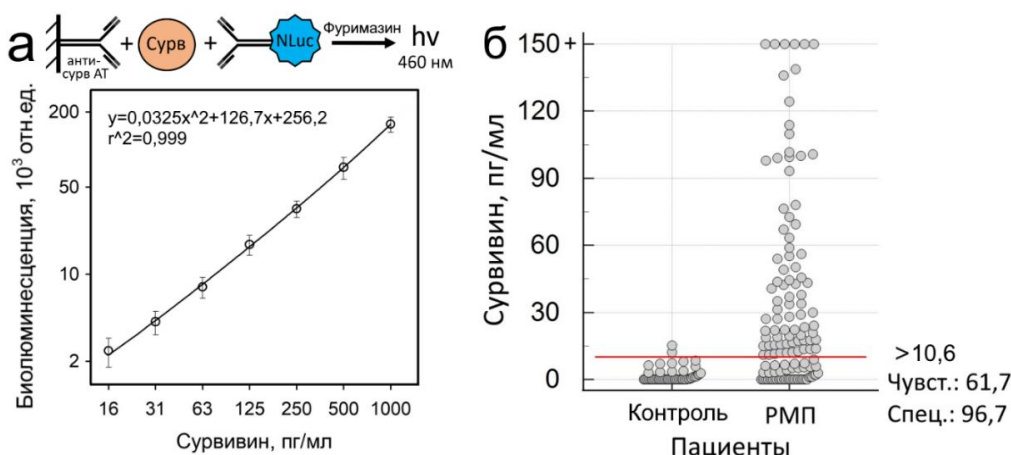


Рис. 1. а) Биолюминесцентный иммуноанализ сурвивина в стандартных образцах мочи; б) концентрация сурвивина в образцах мочи больных РМП и здоровых пациентов.

Общая чувствительность сурвивина как онкомаркера для диагностики РМП составила 61,7%, при этом для пациентов с МИРМП – 76,5%, а с НМИРМП – 51,9%. Специфичность анализа составила 96,7%. Таким образом, содержание сурвивина в моче является показателем, на основе которого возможно создание неинвазивного лабораторного способа диагностики РМП, что позволит проводить скрининг групп высокого онкологического риска, способствуя раннему выявлению заболевания.

Исследование выполнено при финансировании Российского научного фонда и Красноярского краевого фонда поддержки научной и научно-технической деятельности, проект № 25-15-20021.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Siragusa G., et al., Life Sciences, V.350, P.122788 (2024).
- [2] England C.G., Ehlerding E.B., Cai W., Bioconjugate Chemistry, V.27, P. 1175-1187 (2016).

Селекционный прогресс в повышении урожайности сортов яровой мягкой пшеницы в Красноярском крае (2000 – 2025 гг.)

Поляков А.О., Бутковская Л.К., Количенко А.А.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

ФГБУ «Госсорткомиссия» по Красноярскому краю, Республике Хакасия и Республике Тыва

Яровая мягкая пшеница является основной зерновой культурой Красноярского края, занимая около 66% площадей зерновых и более 600 тыс. га. Значительная протяжённость края (3000 км с севера на юг) обуславливает разнообразие почвенно-климатических условий и выделяет шесть природных зон для сортоиспытания. Цель – провести комплексную оценку селекционного прогресса и факторов формирования урожайности за период 2000–2025 гг.

Исследования проводились согласно Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Проанализированы данные по урожайности раннеспелых (75–85 дней), среднеранних (86–95 дней) и среднеспелых (96–105 дней) сортов в восьми природно-климатических зонах. Оценку экологической стабильности выполняли по коэффициенту вариации урожайности.

Установлен рост средней урожайности с 2,0–2,5 т/га (2000–2010 гг.) до 3,4–4,8 т/га (2011–2025 гг.) в наиболее благоприятных зонах. Наибольшая стабильность отмечена в VI зоне (лесостепь Причулымья) – 3,75–4,43 т/га, тогда как в III зоне (подтайга низменности) урожаи минимальны (1,11–1,81 т/га). В V зоне (Канско-Красноярская лесостепь) урожайность возросла до 4,80 т/га благодаря внедрению интенсивных сортов. В передовых хозяйствах края достигнута урожайность 5,5–6,5 т/га.

Изменчивость урожайности на 26,5–74,8% обусловлена природно-климатическими условиями зон. Ключевые метеорологические факторы: температура 2-й декады июня, осадки 2-й декады июля и относительная влажность воздуха в июне–июле. В результате селекции масса 1000 зёрен увеличилась с 36 г до 39 г, число продуктивных стеблей – с 380 до 455 шт./м², продуктивная кустистость – с 1,2 до 1,3.

В структуре посевов доминируют среднеранние сорта (~63%), среди которых ведущая роль принадлежит новосибирской селекции (Новосибирская 29, 31, 41). Выделены сорта с высокой экологической стабильностью: Красноярская 12, Новосибирская 31, Курагинская 2 (коэффициент вариации 22–28%). Современные сорта характеризуются улучшенным качеством зерна: содержание белка – 15,5–17,5%, клейковины – 32–38%. К сильным пшеницам относятся: Новосибирская 29, 31, Омская 33, Красноярская 12; к ценным – Новосибирская 41, Канская, Бейская, Омская 32.

Вывод: за 25 лет достигнут значительный селекционный прогресс (рост урожайности на 70–90%). Приоритетными направлениями остаются: повышение потенциала урожайности до 6–7 т/га, увеличение доли сильных пшениц до 40–50%, создание сортов с комплексной устойчивостью к абиотическим стрессам и болезням.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Никитина В.И., Количенко А.А. Урожайность раннеспелых сортов яровой пшеницы в различных природных зонах Красноярского края // Вестник КрасГАУ. 2022. № 4. С. 3–11.
- [2] Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. М.: Росинформагротех, 2024. 512 с.
- [3] Зенкина К.В. Параметры адаптивности пшеницы мягкой яровой в условиях Восточной Сибири // Вестник КрасГАУ. 2025. № 7. С. 35–43.

Индукция каллусообразования у сортов картофеля Садон и Краса Мещеры

Помыткин Н.С., Луговцова С.Ю.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства
ФИЦ КНЦ СО РАН

Каллусные культуры картофеля могут использоваться в фундаментальных исследованиях, каллусной селекции и генетической трансформации. Индукция каллусообразования проводится на питательных средах с добавлением регуляторов роста растений (РРР). Так как реакция различных сортов картофеля на РРР является сортоспецифичной, требуется подбор гормональных сред для различных сортов картофеля. Цель работы: индукция каллусообразования у сортов картофеля Садон и Краса Мещеры.

В качестве растительного экспланта были использованы межузловые сегменты микрорастений картофеля сортов Садон и Краса Мещеры. В качестве питательной среды была использована среда Мурасиге-Скуга (МС) с добавлением гормонов 2, 4-дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), бензиламинопурина (БАП), нафтилуксусной кислоты (НУК) в четырёх вариантах:

1. Не содержащая гормонов (контроль).
2. 3 мг/л 2,4 Д [1].
3. 2 мг/л БАП.
4. 2 мг/л НУК в сочетании с 2 мг/л БАП [2].

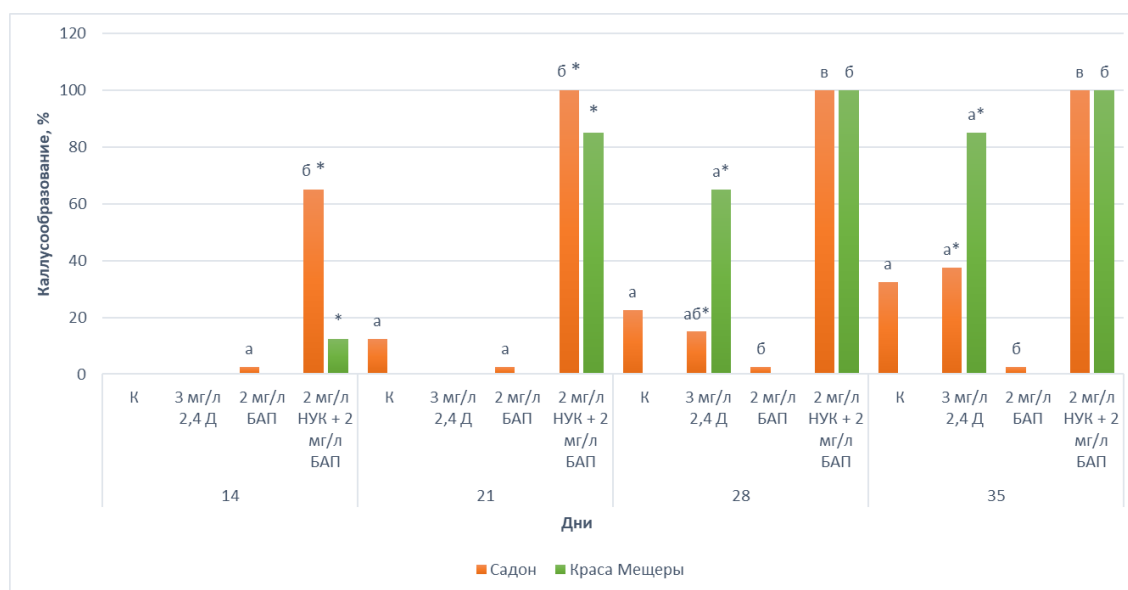


Рис. 1. Каллусообразование на стеблевых сегментах картофеля сортов Садон и Краса Мещеры на средах с различной концентрацией гормонов. Разными буквами отмечены статистически значимо различающиеся значения для разных концентраций гормонов при $p < 0,05$ внутри одного сорта, * - между сортами внутри одной концентрации гормонов.

Определено, что подходящей средой для индукции каллуса у сортов Садон и Краса Мещеры оказалась среда, содержащая 2 мг/л НУК в сочетании с 2 мг/л БАП. Среда с 3 мг/л 2,4 Д индуцировала каллус медленнее. Среда с 2 мг/л БАП не приводила к индукции каллуса.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shirin F. et al., World J. Agric. Sci. V. 3 (1), pp. 01-06 (2007).
[2] Mishra K. et al., Potato Research. V 68 (3), pp. 3147-3160 (2025).

Особенность прорастания соматических зародышей лиственницы сибирской (*Larix sibirica*)

Помыткин Н.С., Пак М.Э.

Институт леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН

Технология соматического эмбриогенеза позволяет получать большое количество качественного и генетически однородного посадочного материала. Однако, одной из проблем этой технологии является слабое корнеобразование у соматических проростков. Цель данной работы заключалась в изучении корнеобразования у регенерантов лиственницы сибирской под действием регуляторов роста и геотропизма

Для эксперимента использовали эмбриогенную клеточную линию 24.44.2 полученную в 2024 году из зиготических зародышей дерева лиственницы сибирской № 10, произрастающего в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачёва СО РАН.

Для вызревания соматических зародышей кусочки ткани эмбриогенной культуры пересаживались на среду АИ с добавлением 500 мг/л глутамина, 32 мг/л абсцизовой кислоты (АБК), 100 г/л полиэтиленгликоля и 4 мг/л геллановой камеди.

Технология прорастания включала ряд модификаций:

1. Прорастание соматических зародышей на среде АИ без гормонов. (контроль);
2. Прорастание соматических зародышей на среде АИ добавлением 0,6 мг/л нафтилуксусной кислоты (НУК) и 1 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК).
3. Прорастание соматических зародышей при ориентации их под углом в 17°.

Через 45 дней прорастания соматических зародышей на агаризированной среде АИ было выявлено, что образование корней у регенерантов на безгормональной среде и средах с НУК и ИМК составило 81%, 66% и 58% соответственно. Различия не достоверны- $p < 0,05$.

При ориентации проростков под углом 17° корнеобразование у проростков не отличалось от контроля (77% и 85% соответственно). Иммуногистохимическое исследование накопления гормонов (индолилуксусной кислоты (ИУК), зеатина и АБК) в тканях регенерантов показало, что ИУК, цитокинины и АБК накапливаются в семядолях и гипокотилиях регенерантов и не содержатся в нижних доменах, связанных с корнеобразованием. Это свидетельствует о нарушении закладки базального домена (корня).

При высадке проростков лиственницы в почвенную смесь (торф, песок, вермикулит в соотношении 1:1:1) проводили наблюдения за ростом сеянцев. Через 2 мес. число выживших проростков в почве оказалось 57% пророщенных на НУК, 46% пророщенных на ИМК и 50% пророщенных на безгормональной среде, что так же статистически значимо не отличалось между собой при $p < 0,05$.

Таким образом, угол наклона в 17° и добавление в среду НУК и ИМК не способствуют корнеобразованию у соматических проростков лиственницы. Это может быть связано с нарушениями в закладке базального домена при созревании соматических зародышей, следовательно, основными факторами, влияющими на процент корнеобразования, могут являться генотип клеточной линии и условия созревания соматических зародышей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Третьякова И. Н. Способ микроклонального размножения лиственницы сибирской в культуре *in vitro* через соматический эмбриогенез на среде АИ для плантационного лесовыращивания (2012).
- [2] Qi L. et al. Effects of maltose, NAA and ABA on somatic maturation and radicle rooting of *Larix principis-Rupprechtii* // Scientia Silvae Sinicae, T. 40, №. 1, PP. 53-60 (2004).

Сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для принятия решений в нестационарной игровой среде

Посаженников Е.А.

Сибирский Федеральный университет, Институт фундаментальной биологии и биотехнологий, кафедра биофизики

Практическая значимость работы заключается в демонстрации того, что структурная декомпозиция задачи на специализированные модули при равной вычислительной ёмкости даёт устойчивое преимущество над архитектурами с меньшим разделением когнитивных функций.

Цель работы – экспериментально оценить эффективность ансамбля из трёх многослойных перцептронов (специализированных на атаке, защите и тактике) перед агентами с более простой архитектурой при обучении агента в нестационарной среде на примере модифицированной игры «Крестики-нолики». Подход сочетает модульную архитектуру с методом апостериорной генерации обучающих данных на основе self-play [1].

Как показали результаты, ансамбль из трёх специализированных сетей статистически значимо превосходит как конфигурацию без сети тактики, так и агента с одной универсальной сетью при равном общем количестве параметров агентов (весов нейросетей) (рис. 1, распределение смещено влево, что говорит о превосходстве агента с полным набором сетей перед агентом с универсальной сетью). Так же в работе был продемонстрирован аналогичный результат для агентов с разным числом внутренних параметров.

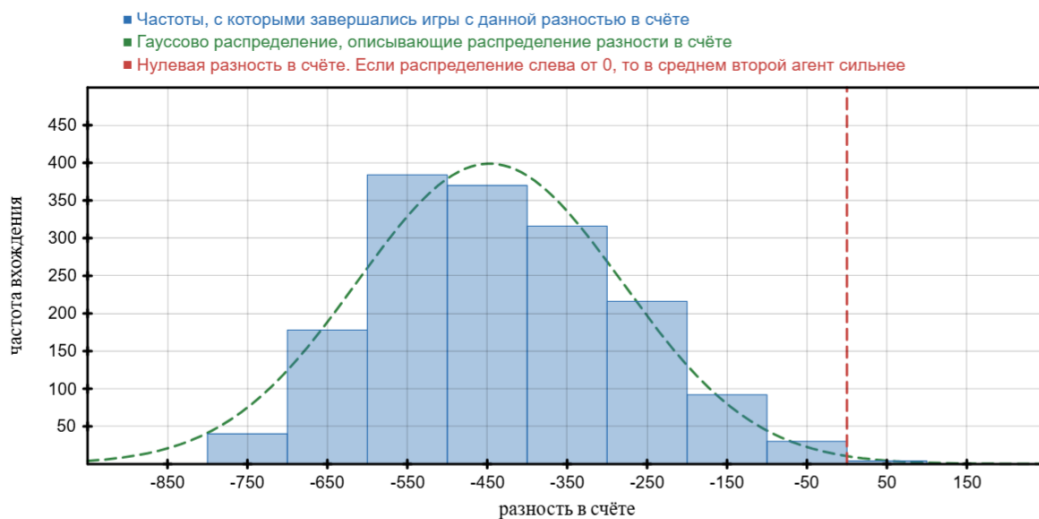


Рис. 1. Гистограмма распределения разности в счёте.

Автор выражает благодарность научному руководителю: Барцеву Сергею Игоревичу (Институт биофизики СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН) и научному консультанту Марковой Галие Муратовне (Институт биофизики СО РАН - обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН)

ЛИТЕРАТУРА

[1] Liu S. et al., Neurocomputing, V.449, P. 207-213 (2021).

Внеклеточные оксидазы базидиального гриба *Neonothopanus nambi*

Посохина Е.Д.

Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН

Широкий спектр катализируемых ферментами высших грибов реакций указывает на перспективность их использования в разработке эффективных технологий биоремедиации окружающей среды от техногенных загрязнений и создании тест-систем для аналитических приложений [1,2]. Это стимулирует исследователей к поиску среди базидиомицетов перспективных продуцентов ферментов с новыми свойствами и оценке их применимости в практических целях.

Цель работы заключалась в выделении из мицелия высшего гриба *Neonothopanus nambi* внеклеточных ферментов с оксидазной активностью и изучении их свойств.

В работе использован штамм базидиального гриба *N. nambi* IBSO 2391 из Коллекции культур микроорганизмов CCIBSO 836 Института биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН (Красноярск). Биомассу мицелия получали при глубинном культивировании гриба в картофельно-сахарозной среде по технологии, разработанной ранее [3]. Внеклеточные ферменты экстрагировали из мицелия при его обработке β -глюкозидазой. Экстракт концентрировали ультрафильтрацией через мембрану 30 кДа, удаляя при этом низкомолекулярные компоненты. Разделение внеклеточных ферментов с оксидазной активностью проводили гель-фильтрационной хроматографией ферментного концентрата на колонке с Sephacryl S-200. Белковый состав финальных препаратов внеклеточных оксидаз, выделенных из гриба *N. nambi*, и их молекулярные массы в денатурирующих условиях оценивали с помощью SDS-электрофореза в 12.5% полиакриламидном геле.

В результате исследований из базидиомицета *N. nambi* выделены три внеклеточных фермента с оксидазной активностью, которые условно названы E1, E2, E3 и различаются физико-химическими свойствами и субстратной специфичностью к ароматическим соединениям. Установлено, что все ферменты являются моносубъединичными белками с молекулярными массами 80, 60 и 67 кДа для E1, E2 и E3, соответственно. Фермент E1 не имеет в своей структуре хромофорных компонентов и наиболее эффективен в реакции окисления вератрилового спирта, имеет оптимумы температуры 22–35°C и pH 6. Оксидаза E2 содержит в своей структуре ФАД, наиболее эффективно функционирует в реакции окисления гидрохинона и имеет оптимумы температуры 55–70°C и pH 5. Фермент E3 не содержит хромофорных компонентов, имеет наибольшую активность в реакции соокисления фенола с 4-аминоантипирином и обладает оптимумами температуры 60–70°C и pH 5.

Экспериментально установлено, что выделенные из гриба *N. nambi* внеклеточные оксидазы проявляют свою каталитическую функцию без добавки в реакционную смесь пероксида водорода. Это представляет потенциальное преимущество при практическом использовании данных оксидаз, по сравнению с пероксидазами.

Благодарности: Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2024-0018). Автор выражает благодарность соавторам работы: О.А. Могильной, Н.О. Ронжину и В.С. Бондарю.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shelke D. B. et al., Land Remediation and Management: Bioengineering Strategies, P.147–160 (2023).
- [2] Li F. et al., Analyt. Bioanalyt. Chem., V.410, P.543–552 (2018).
- [3] Mogilnaya O. et al., The Prot. J., V.40, P.731–740 (2021).

Влияние рельефа поверхности многокомпонентных ПГА-пленок на биосовместимость с эндотелиальными клетками и тромбоцитами

Рыльцева Г.А.

Институт биофизики СО РАН

Разработка гемосовместимых биополимеров для сосудистых имплантатов требует оптимизации топографии поверхности для обеспечения эндотелизации и минимизации тромбообразования. Многокомпонентные полигидроксиалканоаты (ПГА) с мономерами 4ГБ, 3ГВ, 3ГГ в цепи ПЗГБ обладают уникальной вариабельностью рельефа, определяющей клеточное взаимодействие. Цель исследования — установить связь между шероховатостью и пористостью ПГА-пленок и их биосовместимостью с HUVEC и тромбоцитами.

Изучены пленки ПЛА (контроль), ПЗГБ, П(ЗГБ/3ГВ/3ГГ) 53:32:15 и 73:15:12, П(ЗГБ/3ГВ/4ГБ/3ГГ) 64:19:12:5 и 85:7:5:2. Оценивали метаболическую активность HUVEC методом ССК-8 на 2-8 дни, морфологию сканирующей электронной микроскопией, адгезию иммунофлуоресценцией на CD31, винкулин и актин, а также адгезию и агрегацию тромбоцитов методом СЭМ в обычной и кондиционированной среде HUVEC.

Рельеф поверхности определяет клеточное поведение. Четырехкомпонентные ПГА обладали максимальной шероховатостью и пористостью с крупными и мелкими порами, что усилило адгезию HUVEC. Клетки имели полигональную распластанную морфологию с ламеллоподиями и межклеточными контактами. Интенсивное ИФ-окрашивание CD31 и актина, периферическая локализация винкулина свидетельствовали о стабильных фокальных адгезиях и формировании монослоя. Однако повышенный рельеф снижали пролиферацию: на 8-й день ССК-8 на П(ЗГБ/3ГВ/4ГБ/3ГГ) 64:19:12:5 показал минимум ($p < 0,05$). Трехкомпонентные ПГА наиболее активно поддерживали метаболическую активность.

Тромбоциты на всех пленках из многокомпонентных ПГА распределялись равномерно без агрегатов (СЭМ, маркер 20 мкм), адгезия была на 30-40% ниже ПЛА и ПЗГБ, в кондиционированной среде HUVEC – адгезия ко всем ПГА пленкам была снижена по сравнению с ПЛА.

Топография ПГА-пленок является одним из ключевых факторов биосовместимости. Шероховатость четырехкомпонентных образцов максимизирует адгезию HUVEC и эндотелизацию, минимизируя тромбообразование, а трехкомпонентные ПГА балансируют пролиферацию и адгезию. Результаты исследования могут быть использованы для создания новых скаффолдов для регенерации тканей и других биомедицинских изделий с улучшенными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Volova T. et al., Int. J. Biol. Macromol, V.182, P. 98–114 (2021).

Когда «ключ» подошел к «замку»: прорывной эксперимент по гибридизации двух опасных вредителей хвойных лесов – сибирского и соснового шелкопрядов

Рязанова М.А.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Шелкопряды сибирский (*Dendrolimus sibiricus*) и сосновый (*D. pini*) – вредители хвойных лесов, первый является карантинным видом в РФ. Внешне виды схожи, их ареалы перекрываются в европейской части России и Сибири. Учитывая родство видов, возникает ряд вопросов: может ли «ключ» одного вида подойти к «замку» другого (т.е. могут ли виды скрещиваться), насколько жизнеспособны гибриды, какими биологическими особенностями они могут обладать и как их отличить от родительских видов. Возможность скрещивания *D. sibiricus* и *D. pini* впервые была экспериментально показана В.И. Кузнецовым в 1956 г. [1]. Однако им были получены гибридные особи только одной линии (при скрещивании самок *D. pini* с самцами *D. sibiricus*) и только одной генерации.

В 2025–2026 гг. нами проведен эксперимент по скрещиванию *D. sibiricus* и *D. pini* с целью изучения биологических и морфологических характеристик гибридов. Материал для эксперимента был собран в очагах вредителей: гусеницы старших возрастов *D. sibiricus* – в Республике Тыва, *D. pini* – в Алтайском крае в июне 2025 г. Природных гусениц содержали в инсектарии, полученных бабочек скрещивали, выведенных гусениц гибридов и родительских видов (в сумме 6 тысяч особей) содержали на хвое сосны *Pinus sylvestris* (рисунок 1).



Рис. 11. А – Содержание гусениц шелкопрядов в контейнерах и чашках Петри; Б – гусеницы гибридов; В – ежедневный учет параметров роста и развития гусениц. Фото автора.

Впервые в истории изучения данных видов шелкопрядов было получено три генерации их гибридов, причем обеих линий ($\text{♀ } D. pini \times \text{♂ } D. sibiricus$ и $\text{♀ } D. sibiricus \times \text{♂ } D. pini$). Выживаемость гибридов превосходила таковую *D. sibiricus*. Гусеницы гибридов показывали наилучший рост на сосне по сравнению с *D. sibiricus*. Полученные данные необходимы для понимания насколько гибриды могут оказаться опасными для хвойных лесов и как их можно отличить от родительских видов. В совокупности результаты эксперимента важны для лесозащитных и карантинных служб.

Исследование выполнено при поддержке РНФ (№ 22-16-00075-П). Автор благодарит своего научного руководителя д.б.н. Н.И. Кириченко за всестороннюю поддержку, Н.С. Бабичева и А.А. Ефременко за помощь в содержании гусениц и к.б.н. Ю.Н. Баранчикова за ценные советы.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Кузнецов В. И., Зоологический журнал, Т. XLI, № 4, С. 571-585 (1962).

Жиросодержащие источники углерода как субстрат для биосинтеза полигидроксиалканоатов

Сапожникова К.Ю.

Институт биофизики СО РАН
Сибирский федеральный университет

Полигидроксиалканоаты (ПГА) как семейство биосовместимых и биоразлагаемых полимеров микробного происхождения, являются одними из актуальных и социально значимых продуктов биотехнологии. Благодаря их физико-химическим свойствам и разнообразному составу, они рассматриваются в качестве альтернативы синтетическим пластикам [1]. Тем не менее, высокая стоимость производства ограничивает круг их применения. Актуальным направлением является использование более дешевых жиросодержащих источников углерода. В настоящее время, в качестве углеродного субстрата для синтеза ПГА рассматриваются жиросодержащие источники углерода. Известно, что ежегодно генерируется порядка 29 млн т низкосортного жиросодержащего сырья (непосредственно жиры различного происхождения, отработанные кулинарные жиры, жиросодержащие отходы и пр.) [2, 3].

Для синтеза ПГА в культуре природного штамма *Cupriavidus necator* B-10646 в качестве источника углерода исследованы жировые субстраты различного происхождения: отдельные жирные кислоты, растительные масла, низкосортные животные жиры и жировые отходы рыбопереработки. В результате сравнительного анализа углеродных субстратов, установлено, что наиболее эффективными с точки зрения продукционных показателей культуры бактерий, сопоставимых с результатами процесса на сахарах, являются: из группы растительных масел – пальмовое масло, из группы жирных кислот – олеиновая кислота, из группы животных жиров – жир, полученный из голов копченой кильки (*Sprattus sprattus balticus*), отход рыбопереработки. Показано, что указанные источники углерода позволяют достичь урожаев биомассы бактерий до 6,5-8,3 г/л при внутриклеточном содержании ПГА на уровне 65-85 %.

Показана высокая эффективность усвоения бактериями исследованных жировых субстратов при значениях экономического коэффициента по урожаю биомассы до $0,78 \pm 0,05$ г/г, что значительно превышает показатели на сахарах ($0,30-0,33$ г/г).

Выявлены особенности мономерного состава ПГА в зависимости от использованного субстрата, заключающиеся в синтезе гомополимера П(ЗГБ) на насыщенных жирных кислотах и сополимеров с минорными включениями мономеров 3-гидроксивалерата и 3-гидроксигексаноата на жировых субстратах сложного состава растительного и животного происхождения.

Результаты свидетельствуют о перспективности и эффективности привлечения жиросодержащих источников углерода, в частности низкостоймых отходов пищевой промышленности, в качестве нового и малоисследованного субстрата для синтеза биополимеров и являются основой для дальнейшего масштабирования процесса.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-64-10007.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Behera S., Priyadarshane M., Vandana D.S., Chemosphere, V.294. P.133723 (2022).
- [2] Gutschmann B. et al., Microbial Biotechnology, V.16., №2, P.295-306 (2023).
- [3] Khatami K. et al., Waste Management, V.119, P. 374-388 (2021).

Оценка совместных эффектов пестицидов методом ингибиторного анализа

Сатир Д.В.

Институт биофизики СО РАН

В сельском хозяйстве для борьбы с болезнями и вредителями используют так называемые «баковые» смеси пестицидов, при этом вопрос о комбинированном эффекте пестицидов зачастую остается открытым [1]. Для решения этой проблемы предлагается использование методов ингибиторного анализа [2], основанного на способности загрязняющих веществ изменять активность ферментов.

В представленной работе выявлены закономерности влияния смесей пестицидов, содержащих хлорокись меди (в составе препарата «Абига-Пик») и глифосат (в составе препаратов «Спрут» и «Торнадо Экстра») на параметры биолюминесценции биферментной системы НАД(Р)Н:ФМН-оксидоредуктаза и люцифераза (*Red* + *Luc*). Показано, что эффекты смеси пестицидов на биферментную систему *Red* + *Luc* различны (от антагонизма до синергизма) и зависят от соотношения пестицидов в реакционной смеси (Рис. 1).

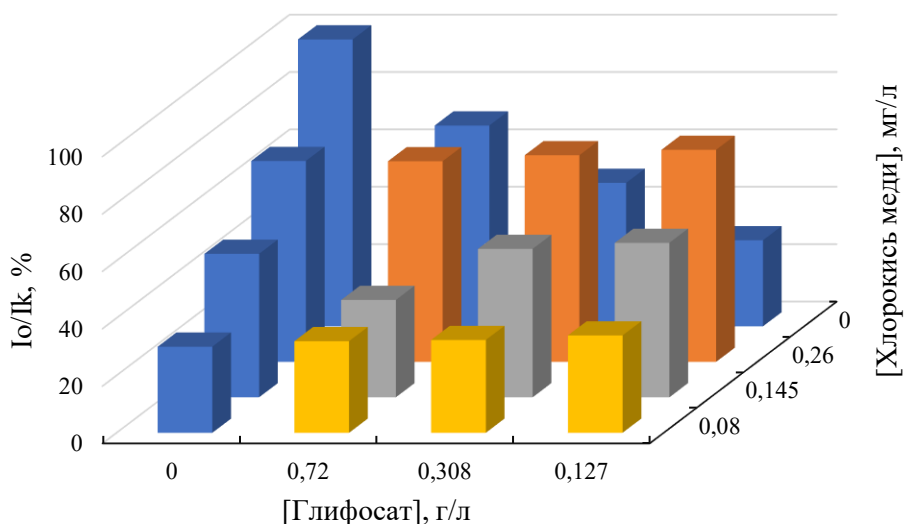


Рис. 1. Зависимость остаточного свечения биферментной системы *Red* + *Luc* от соотношения хлорокиси меди и глифосата в составе пестицида «Спрут».

Пестициды, содержащие одинаковое действующее вещество – глифосат, различаются по степени действия на параметры биолюминесценции биферментной системы *Red* + *Luc*, что подтверждает гипотезу о существенном вкладе добавочных компонентов в составе коммерческих препаратов пестицидов в общий токсикологический эффект, оказываемый пестицидами [3].

Благодарности: Исследование выполнено в рамках Госзадания № FWES-2024-0018. Автор выражает благодарность соавтору и научному руководителю Есимбековой Елене Николаевне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Peng F.-J. et al., Chemosphere, V.303, P.135059 (2022).
- [2] Есимбекова Е.Н. и др., Сибирский экологический журнал, Т.28, №3. С.364-382 (2021).
- [3] Есимбекова Е.Н., Сатир Д.В., Кратасюк В.А., Доклады Российской академии наук, Т.521, №1. С.293–298 (2025).

Влияние социальной изоляции и интраназального введения цинка на контекстуальную память страха у мышей

Смаль А.Н.

Институт биофизики

Сибирский федеральный университет

Актуальность. Социальная изоляция вызывает когнитивные нарушения, однако влияние обонятельной депривации на гиппокамп-зависимую память изучено недостаточно.

Цель. Оценить влияние интраназального введения $ZnSO_4$ на контекстуальную память страха у мышей в условиях изоляции.

Методы. Мыши линии CD1: контроль (n=5), изоляция (n=5), изоляция + $ZnSO_4$ (интраназально, n=7). Использован протокол fear conditioning [1]. На 2-й и 7-й дни после обучения регистрировали количество эпизодов замирания в тесте контекста. Данные: $M \pm SEM$, t-критерий Стьюдента.

Результаты. В группе изоляции замирание было снижено по сравнению с контрольной на 2-й день ($6,6 \pm 3,1$ vs $23,0 \pm 5,3$; $p=0,034$) и на 7-й день ($22,6 \pm 5,8$ vs $46,0 \pm 2,5$; $p=0,012$). Введение цинка увеличило замирание по сравнению с изоляцией на 2-й день ($36,7 \pm 8,2$ vs $6,6 \pm 3,1$; $p=0,010$). На 7-й день группа с цинком не отличалась от контроля ($43,6 \pm 8,7$ vs $46,0 \pm 2,5$; $p=0,796$).

Вывод. Цинк предотвращает дефицит гиппокамп-зависимой памяти, вызванный изоляцией.

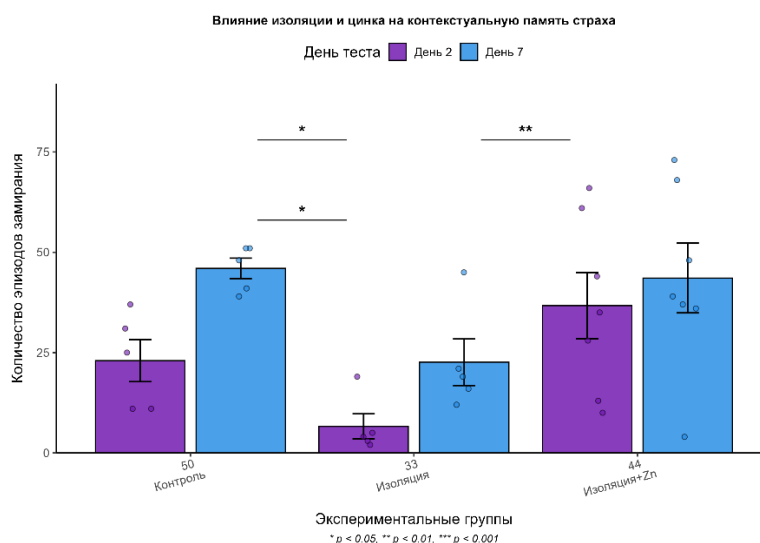


Рис. 1. Влияние изоляции и введения цинка на контекстуальную память страха. Представлены средние значения количества эпизодов замирания ($\pm SEM$) в тесте контекста через 1 сутки (День 2) и 7 суток (День 7) после обучения. * $p < 0,05$ по сравнению с контролем; # $p < 0,05$ по сравнению с группой изоляции.

Благодарности: Автор благодарит научного руководителя д.б.н. Лопатину О.Л. и сотрудников лаборатории за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Gorina Ya.V., et al., Advances in Gerontology, V.7, P. 137-142 (2017).

Особенности технологии возделывания нового сорта ячменя Морион для получения урожайных и качественных семян в условиях Красноярской лесостепи

Сурина Е.А.

Красноярский НИИСХ – ОП ФИЦ КНЦ СО РАН

На опытных полях Красноярского НИИСХ изучалось влияние сроков посева, норм высева и доз минеральных удобрений на сорта ярового ячменя Такмак (стандарт) и Морион (передан в Госсортиспытание в 2026 г.).

Таблица 1 – Влияние сроков посева и норм высева на урожайность, массу 1000 зерен и всхожесть новых сортов ячменя, 2023-2025 гг.

Сорт	Норма высева, млн всх. зер. га	Урожайность, т/га		Среднее, т/га	± к I сроку	Масса 1000 зёрен, г		Среднее, г	Всхожесть, %	
		I*	II**			I	II		I	II
Такмак	3,5	3,89	3,29	3,59	0,60	46,4	48,4	47,4	93	94
	4,0	3,82	3,68	3,75	0,14	43,9	46,0	45,0	90	89
	4,5	3,99	3,73	3,86	0,26	43,6	46,3	45,0	94	90
Морион	3,5	4,50	4,11	4,31	0,39	48,3	49,5	48,9	94	89
	4,0	4,29	3,90	4,10	0,39	47,3	48,5	47,9	93	96
	4,5	4,23	3,88	4,06	0,35	47,5	47,9	47,7	93	89
НCR _{0,5} сорт (A) – 0,4 НCR _{0,5} срок посева (B) – 0,2; НCR _{0,5} нормы высева (C) – 0,1										

Срок посева во второй декаде мая (17), нормы высева 3,5-4,0 млн всх. зерен на га и доза удобрений N₆₀P₃₀K₃₀ увеличили урожайность семян сорта Морион на 0,3-0,4 т/га по сравнению со стандартом Такмак.

Таблица 2 – Влияние сроков посева и различных доз удобрений на урожайность, массу 1000 зерен и всхожесть новых сортов ячменя, 2023-2025 гг.

Сорт	Удобрения	Урожайность, т/га		Среднее, т/га	± к I сроку	Масса 1000 зёрен, г		Среднее, г	Всхожесть, %	
		I*	II**			I	II		I	II
Такмак	Контроль	3,97	3,61	3,79	0,36	44,8	45,0	44,9	90	91
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	3,92	3,64	3,78	0,28	46,0	44,2	45,1	90	92
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	4,29	4,17	4,23	0,12	44,4	47,0	45,7	93	93
Морион	Контроль	4,25	3,87	4,06	0,38	46,3	48,1	47,2	91	92
	N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	4,30	4,13	4,22	0,17	48,0	47,1	47,6	92	93
	N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	4,47	3,97	4,22	0,50	47,5	48,5	48,0	94	92
НCR _{0,5} сорт (A) – 0,2 НCR _{0,5} срок посева (B) – 0,2; НCR _{0,5} нормы высева (C) – 0,2										

В разреженных посевах масса 1000 зерен увеличивалась на 1-2 грамма, удобрения не оказывали достоверного влияния на данный показатель.

Во всех вариантах опыта сформировались кондиционные семена со всхожестью 89-96%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
- [2] Сурин Н.А., Зобова Н.В., Ляхова Н.Е., Нешумаева Н.В., Плеханова Л.В., Чуслин А.А., Онуфриенко Т.В., Герасимов С.А., Липшин А.Г. Источники ценных признаков в селекции ячменя на адаптивность // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – №6. – С. 36-40.
- [3] Ламажап, Р. Р. Изучение влияния норм высева и сроков посева на урожайность сортов ярового ячменя // The Scientific Heritage. – 2021. – № 74. – С. 8-10.

Натурная верификация измерений влажности почв аппаратурой SMAP в условиях криолитозоны

Сыроежко М.Ю.

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН

Арктические экосистемы уязвимы к воздействию внешних факторов. Состояние почв в условиях криолитозоны выступает ключевым индикатором устойчивости экосистем. Влажностный режим приповерхностных слоев почвы можно контролировать на основе обзорных спутниковых данных в микроволновом диапазоне. Продукт спутниковой миссии SMAP (англ. Soil Moisture Active Passive) характеризует объемную влажность почвы ($\text{м}^3/\text{м}^3$) методом пассивного микроволнового (L-диапазона, 1,41 ГГц) зондирования [1]. Актуально выполнить валидацию материалов SMAP применительно к арктическим ландшафтам, характеризующимся сложным рельефом, на основе натурных измерений влажности почв.

Территория исследования относится к Норильскому промышленному району. Выделено 7 пробных площадей (ПП), приуроченных к местам полевых исследований, характеризующихся неоднородностью ландшафта. Фоновый участок (ПП1) был расположен в пределах тундровой равнины. Участок со значительными изменениями растительного покрова (ПП5), расположенный в ландшафте плоскобугристых торфяников, характеризовался фрагментами травяно-злаковой растительности и кустарников.

В качестве исходных данных использовались продукты SMAP L3 (пространственное разрешение 9 км, период июнь–август 2015–2025 гг.). Валидация выполнялась по полевым измерениям влажности почв портативной системой HydraGO (глубина замера 0-5 см, период 1–10 августа 2025, $\text{м}^3/\text{м}^3$). В программном обеспечении QGIS проведена классификация сцены Landsat-8 методом максимального подобия с целью предварительного анализа неоднородности участков [2].

Данные SMAP для участков с наличием трансформации показали систематическое занижение влажности приповерхностного слоя почвы относительно фоновых значений ($W_{\text{ф}}=0,286\pm0,035 \text{ м}^3/\text{м}^3$) в пределах 5,7–19%, что свидетельствует о устойчивости выявленных аномалий. В окрестности данного участка (в границах пространственного разрешения 9 км) доля поверхности, лишённой растительности, составляла от 5 до 34% (горные участки), водной поверхности – от 2,5 до 40%. Установлено, что значения влажности поверхности по SMAP коррелируют с долей открытых поверхностей ($R^2 = 0,65$, $p < 0,05$).

Сопоставление натурных замеров влажности (0-5 см) со спутниковыми оценками SMAP выявило зависимость от ландшафтов, на которых располагались почвенные разрезы. Наилучшая связь ($R^2 = 0,84$) зафиксирована для участков, окрестности которых в пределах охвата пиксела SMAP не включают зоны обводнения и сложные горные территории. Полученные результаты позволяют заключить, что применение продукта SMAP без учета ландшафтных особенностей может приводить к ошибкам интерпретации данных. Однако после соответствующей калибровки данные SMAP могут применяться для обзорной интерпретации влажностного режима ландшафтов криолитозоны.

Благодарности: Автор выражает благодарность Пономарёву Евгению Ивановичу за научное руководство и редактировании материалов. Госзадание: FWES 2024-0007 (ИЛ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Entekhabi D., et al. Proceedings of the IEEE, V. 98, PP. 704-716 (2010).
- [2] Сыроежко М. Ю. и др. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, Т. 22, № 3, С. 182-192 (2025).

Морфобиохимический профиль и микробиом рубца коров как факторы реализации продуктивного потенциала при использовании фитосырья

Терещенко В.А., Иванов Е.А., Любимова Ю.Г., Ефимова Л.В.

Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН

Разработка новых кормовых добавок для крупного рогатого скота, содержащих побочные продукты переработки леса и лекарственные растения, является актуальным и востребованным направлением исследований, поскольку животноводство нуждается в дополнительных недорогих и доступных источниках биологически активных веществ. Исследования продолжительностью 100 дней выполнялись в ОПХ «Михайловское» – филиале ФИЦ КНЦ СО РАН на пяти группах (контрольная и четыре опытные, по 10 голов) дойных коров черно-пестрой породы в возрасте второго отела. Животные контрольной группы получали основной рацион, опытным группам в дополнение к основному рациону скармливали кормовую добавку (сосновая хвойная мука, измельченная скорлупа кедрового ореха, кипрей узколистный) (рис. 1) в разных дозировках и разными способами: 1-й группе – в сухом виде (130 г/гол/сут.), 2-й – в сухом виде (150 г/гол/сут.), 3-й – в виде водного экстракта (150 мл/гол/сут.), 4-й – в виде водного экстракта (200 мл/гол/сут.). Морфологический состав крови определяли на гематологическом анализаторе «DxH 500», биохимический состав – на автоматическом биохимическом и иммуноферментном анализаторе «Chem Well 2910 с», состав рубцового содержимого – на секвенаторе MiSeq (Illumina), молочную продуктивность – ежемесячно методом контрольных доений, физико-химические показатели молока – на анализаторе молока «Эксперт Супер Племя» (Комбо).

В результате исследований установлено, что наиболее эффективным было скармливание добавки в сухом виде в дозировке 150 г/гол/сут., поскольку это позволило достоверно увеличить в крови коров содержание общего белка на 15,0 % ($p \leq 0,01$), глюкозы – на 21,3 % ($p \leq 0,05$), кальция – на 27,0 % ($p \leq 0,01$), фосфора – на 17,3 % ($p \leq 0,05$), железа – на 15,6 % ($p \leq 0,05$), эритроцитов – на 10,5 % ($p \leq 0,01$), гемоглобина – на 8,7 % ($p \leq 0,01$), а также повысить долю целлюлозолитических (*Fibrobacter*, *Lachnospira*), гемицеллюлозолитических (*Prevotellaceae*) и пектинолитических (*Lachnospiraceae*) микроорганизмов в рубце коров, уровень которых был связан с удоем за 100 дней лактации, массовыми долями жира, белка и лактозы в молоке (коэффициенты корреляции составили 0,753-0,998).

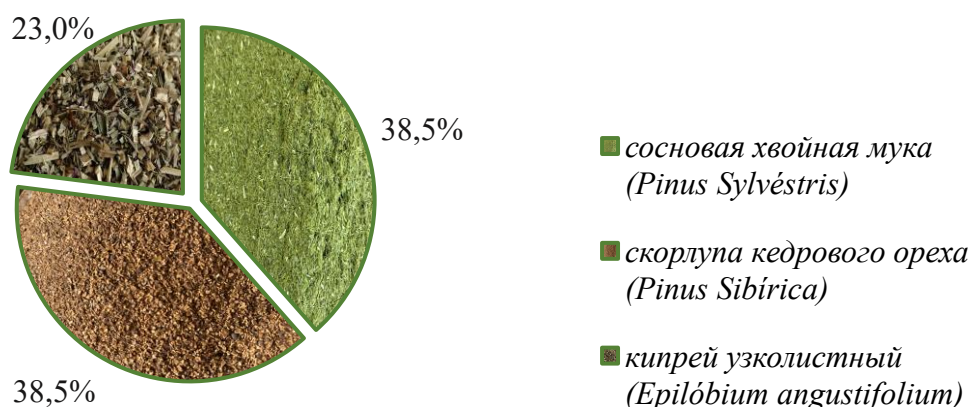


Рис. 1 – Состав и соотношение компонентов исследуемой кормовой добавки.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда №25-26-20152, <https://rscf.ru/project/25-26-20152/>, гранта Красноярского краевого фонда науки.

Биоаккумуляция тяжелых металлов тополем дрожащим (*Populus tremula* L.) на урбанизированных территориях Нижневартовска

Томилов А.С.

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет»

Древесные растения, такие как широко распространенный тополь дрожащий (*Populus tremula* L.), выступают в роли живых биоиндикаторов, аккумулируя загрязняющие вещества и наглядно демонстрируя последствия их воздействия. Целью работы было изучение закономерности накопления в осине (*Populus tremula* L.) тяжелых металлов на урбанизированной территории города Нижневартовск.

Отбор проб проводился с девяти пробных площадок в черте города Нижневартовск в сентябре 2025 года. Определение содержания тяжелых металлов (Fe, Cu, Mn, Cd, Cr, Zn, Ni) в различных органах растения (корни, древесина, кора, листва, побеги) осуществлялось методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Для наглядного представления биоаккумуляции тяжелых металлов тополем дрожащим (*Populus tremula* L.) были определены исходные данные модельного дерева и полнота усредненного древостоя; отобран древесный материал; проведен расчет сухой массы фракций; выполнен анализ содержания поллютантов; вычислена их масса в модельном дереве и рассчитана аккумулирующая способность 1 га древостоя [1]. Данные по сухой массе и массе поллютантов в модельном дереве приведены в таблице 1.

Таблица 1. Данные массы частей среднего дерева и массы поллютантов в частях дерева

Часть дерева	Сухая масса, кг	Масса поллютантов, мг/кг	Итоговое значение, г
Корни	192,3	1 207,0	232,106
Кора	20,1	324,2	6,516
Древесина	153,3	158,3	24,270
Ветви, сучья	185,3	782,8	145,052
Листва	7,2	803,6	5,785
Итого:	-	-	413,729

Исходные данные модельного дерева тополя, дрожащего (*Populus tremula* L.): высота - 20 м; диаметр ствола - 16 см; полнота древостоя - 1700 шт/га.

Установлено, что распределение поллютантов в структуре модельного дерева неравномерно: максимальные концентрации зафиксированы в корнях и листве, тогда как основная абсолютная масса токсикантов депонирована в корнях и ветвях вследствие их высокой доли в фитомассе. Древесина ствола характеризуется минимальной аккумуляцией. Суммарная масса поллютантов в одном дереве составила 414 г, что в пересчете на древостой полнотой 1700 шт./га соответствует 703,8 кг/га при общей фитомассе порядка 1 млн. кг. Выявленная способность корневой системы иммобилизовать основную часть поллютантов позволяет рассматривать *Populus tremula* в качестве перспективного вида для фитостабилизации загрязненных территорий, а высокая концентрация в листве обосновывает его использование в целях биомониторинга в условиях Севера. Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда научно-технологического развития Югры в рамках научного проекта № 2025-604-04.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Щепаченко Д. Г., Швиденко А. З., Шалаев В.С. Биологическая продуктивность и бюджет углерода лиственных лесов Северо-Востока России: монография. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2008.

Влияние N-концевого полигистидинового фрагмента на восстановление биолюминесцентной активности иммунного комплекса белков тест-системы на ВКЭ

Федоронько А.А.

Сибирский федеральный университет
Институт биофизики СО РАН

В ИБФ СО РАН разработана однофазная тест-система для детекции вируса клещевого энцефалита (КЭ) на основе гибридных белков, содержащих N-концевой полигистидиновый фрагмент, миниантитело и антиген, генетически слитые с большим и малым фрагментом люциферазы NanoLuc. Восстановление биолюминесценции обеспечивается образованием иммунокомплекса миниантитело–антиген (рис. 1, А) [1]. Восстановленная активность составляет лишь 2,5% от таковой полноразмерной люциферазы. Цель работы – определить влияние электростатического отталкивания положительно-заряженных His₆-фрагментов на комплементацию фрагментов люциферазы, а также на конкурентное связывание свободного антигена с антителом гибридного белка.

Сконструированы плазмиды с генами гибридных белков и сайтом TEV-протеазы для удаления His₆, получены рекомбинантные штаммы-продуценты *E. coli* Rosetta-gami. Белки очищены металл-аффинной хроматографией, их молекулярную массу и чистоту подтверждали электрофорезом. В результате гидролиза протеазой получены варианты белков без His-tag. Восстановление фуримазин-зависимой биолюминесценции исследовали в эквимольных растворах гибридных белков (рис. 1, Б). При удалении His-tag в обоих гибридах (обр. 2) биолюминесценция комплекса увеличивалась в 3 раза по сравнению с исходными гибридами (обр. 1). Максимальный её рост – в 4,2 раза, наблюдался в обр. 3 (His-tag отсутствует только в гибриде с мини-антителом). Т.е., наличие His-tag влияет на образование иммунокомплекса и, как следствие, эффективность комплементации.

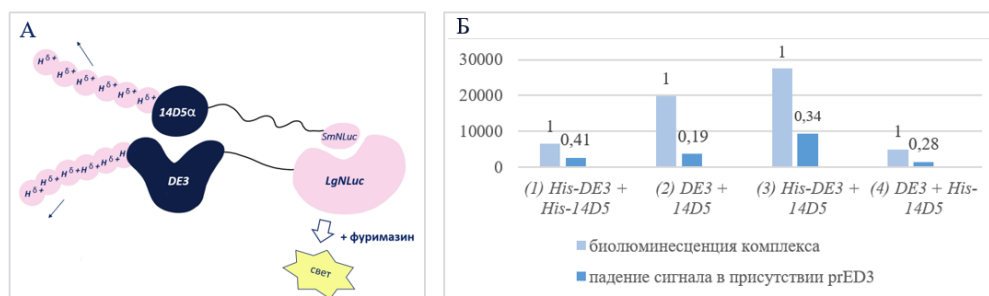


Рис. 1. А) Биолюминесценция гибридных иммунокомплексов Б) Восстановление биолюминесцентной активности (отн. ед.) иммунокомплексов разного состава: 1 – оба белка содержат His-tag, 2 – His-tag отсутствует в обоих белках, 3 – His-tag отсутствует в белке с мини-антителом, 4 – His-tag отсутствует в белке с антигеном.

Падение сигнала комплексов при конкурентном связывании с модельной мишенью (prED3, капсидный белок ВКЭ) наиболее выражено для смеси 2 – биолюминесценция падает более чем в 5 раз. Таким образом, использование гибридных белков без His-tag при разработке однофазного конкурентного иммуноанализа на ВКЭ является оптимальным, обеспечивая эффективное комплексообразование и высокую чувствительность к мишени.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kudryavtsev A.N. et al., Anal. Bioanal. Chem., V.417, P. 5931-5939 (2025).

Биологические характеристики природных популяций сибирского и соснового шелкопрядов

Цырендоржиева А.Б.

Сибирский государственный университет науки и технологий им.

М. Ф. Решетнёва, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Центр лесной пирологии ФБУ ВНИИЛМ

Исследованию биологии популяций серьезных вредителей леса – сибирского (*Dendrolimus sibiricus*) и соснового (*D. pini*) шелкопрядов – посвящено немало работ, но многие из них датируются прошлым веком. Получение новых данных позволяет оценивать состояние популяций видов в современный период времени, что важно для мониторинговых исследований и реализации мероприятий по борьбе с вредителями.

В 2025 г. на юге Сибири действовали очаги вредителей: сибирского шелкопряда – в Республике Тыва (в регионе, граничащем с Монголией), соснового – на юге Алтайского края (вблизи с границей с Казахстаном). В ходе экспедиций в эти регионы было собрано 534 и 375 гусениц *D. sibiricus* и *D. pini*, соответственно, с целью оценки следующих популяционных характеристик: смертности гусениц, массы куколок, соотношения полов, периода отрождения самцов и самок во времени, плодовитости (фактической и потенциальной). Для оценки вышеуказанных параметров гусениц содержали в июне-августе 2025 г. в инсектарии на хвое привычных кормовых растений: сибирского шелкопряда на хвое лиственницы *Larix sibirica*, а соснового на хвое сосны *Pinus sylvestris*.

Смертность гусениц старших возрастов и куколок составила около 20% в популяции сибирского шелкопряда, и около 70% в популяции соснового. Причинами смертности являлись возбудители заболеваний (в большей степени у *D. pini*) и паразитоиды (мухитахины и наездники у *D. sibiricus* и только мухитахины у *D. pini*). Масса куколок самок у обоих видов была достоверно выше, чем масса куколок самцов. У соснового шелкопряда куколки обоих полов были в среднем на 15% тяжелее таковых сибирского шелкопряда. Соотношение полов (самки к самцам) составило 1:1 у *D. sibiricus* и 3:2 у *D. pini*. Отрождение бабочек в популяциях шелкопрядов было растянутым и занимало по времени примерно три недели. В лабораторных условиях у *D. sibiricus* отрождение бабочек началось 28 июня с пиком 9 июля (у самцов) и 14 июля (у самок) и закончилось 20 июля, тогда как у *D. pini* оно началось 6 июля с пиком 16-18 июля (у обоих полов) и окончилось 26 июля. У *D. sibiricus* самцы выходили раньше самок на 4 суток, а отрождение самцов заканчивалось на 9 суток раньше отрождения самок, тогда как у *D. pini* выход обоих полов происходил синхронно, равно как и окончание срока отрождения самцов и самок (в один день). Фактическая плодовитость самок составляла 210 ± 10 яиц у *D. sibiricus* против 165 ± 10 у *D. pini*, а потенциальная 274 ± 9 яиц против 202 ± 8 яиц, соответственно. Самки *D. sibiricus* откладывали на 21% больше яиц, чем *D. pini* (при учете фактической плодовитости) и на 26% (при учете потенциальной). После откладки яиц в половых путях самок оставалось около 18% яиц (у *D. pini*) и 23% яиц (у *D. sibiricus*). Полученные данные важны для оценки жизненного состояния популяций и могут использоваться в прогнозе динамики численности данных видов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Филиала ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии» (№ гос. задания 124080700008-8) (сбор насекомых в природе) и проекта РНФ (№ 22-16-00075-П) (выращивание насекомых). Автор выражает благодарность своим научным консультантам – к.с.-х.н. А.А. Агееву, к.б.н. С.А. Астапенко и д.б.н. Н.И. Кириченко.

Пространственное распределение фекальных станолов в донных отложениях озера Шира, как основа для оценки антропогенной нагрузки

Шмурова А.А.

Сибирский Федеральный университет, Институт фундаментальной биологии и биотехнологий, кафедра биофизики
Институт биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН

В поверхностных донных отложениях меромиктического озера Шира проведен анализ пространственного распределения фекальных станолов (копростанола, эпикопростанола) методом газовой хромато-масс-спектрометрии [1]. Цель работы - оценка современной антропогенной нагрузки и факторов, влияющих на сохранность биомаркеров.

Установлено, что содержание станолов крайне неоднородно и зависит от окислительно-восстановительных условий: в окисленных прибрежных осадках их концентрации минимальны (до 10 мкг/г органики) вследствие деградации, тогда как в восстановленных глубоководных илах сероводородной зоны они достигают 1700 мкг/г органики. Низкие значения индексов антропогенной нагрузки (R1, R2) на литорали обусловлены окислительным разложением маркеров, а не отсутствием источников загрязнения. Показано, что анализ станолов в анаэробных отложениях глубоководной части озера дает надежные результаты, что подтверждает перспективность метода для палеоэкологических реконструкций и мониторинга фекальных поступлений в озеро Шира.

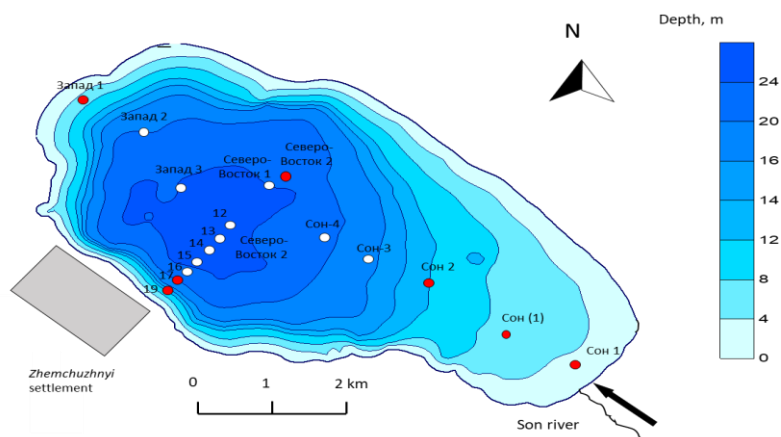


Рис. 1. Карта Глубин озера Шира с точками пробоотбора. Красным цветом выделены точки, где отложения не содержали сероводород.

Благодарности: Автор благодарен Сотруднику ИБФ СО РАН к.б.н. Бульхину А.О. за помощь при отборе проб донных отложений. Исследование выполнено за счет средств Российского Научного Фонда, грант № 22-17-00185-П.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Синнер Е.К., Бояндин А.Н., Рогозин Д.Ю., Сибирский экологический журнал, Т.31, № 2, С. 200-207 (2024).

Создание и оптимизация синтетического Ca^{2+} -регулируемого фотопротейина

Юнусова П.В.

Сибирский Федеральный Университет

В природе существуют тысячи видов светящихся организмов, биолюминесцентные системы которых различны. Однако природные молекулы не всегда удовлетворяют всем условиям для использования их в качестве аналитического инструмента. К настоящему времени получен ряд искусственных люцифераз с новыми свойствами [1]. Создание же искусственных Ca^{2+} -регулируемых фотопротейинов, в том числе для внутриклеточной индикации Ca^{2+} , является более сложной задачей. На данный момент известен только один такой пример – Photina [2] - комбинация диких вариантов фотопротейинов обелина из *Obelia longissima* и клитина из *Clytia gregaria*. Фотопротейинов *de novo*, пока не существует, поэтому получение синтетических аналогов с заданными свойствами является актуальной биотехнологической задачей. Цель работы – получить синтетический фотопротейин (SPhP1), оптимизированный относительно биолюминесцентных, спектральных и физико-химических свойств.

Аминокислотную последовательность SPhP1 разработали методами молекулярного моделирования с применением AlphaFold2 и пакетов Swiss-Model и I-Tasser. Идентичность искусственного белка с обелином составила только 23,5% (Рис. 1).

	10	20	30	40	50	60
OLwt	MSSKYAVKLKTFDNPRIKRWKHKH	MFDL	LDINGNKITL	DETVSKASDDICAK	-LEATPEQTKRHQ	
SPhP1	MAEG-GALLYGVAPTDSL	EAFARMRDL	DDQDKGVLSQAD	FD	AKIKLVKMYAGL	TEDDPR
	76	86	96	106	116	126
OLwt	VCVEAF	FRGCGMEY	GKEIAFPQ	FLDGWKQLAT	SELKKWARNEPTL	IREWGDAVFDFDKDGS
SPhP1	AVVDKFWAALKEAAGT	DASR---	LTREQVVAAMVALARSPQLADL	ITAWGKATMAIV	DKDGDGTIS	
	142	152	162	172	182	192
OLwt	LDEWKAYGKISGISPSQ	EDCEATFR	HC	DLNSGDL	DVD	EMTRQHLGFWYTL
SPhP1	KEEWARYTK--	EVLGID	ADASVIFDR	VD	TG	DGAMTVEEMTA

Рис.1. Сравнение аминокислотных последовательностей SPhP1 и обелина из *Obelia longissima*. Ca^{2+} -связывающие участки выделены жирным шрифтом с подчеркиванием

По аминокислотной последовательности была выведена кодирующая нуклеотидная последовательность и осуществлен синтез ДНК для создания экспрессионной конструкции рЕТ19b-SPhP1, содержащей His10-taq и сайт узнавания для TEV-протеазы. Белок при экспрессии в клетках *E. coli* накапливался в цитоплазме, после аффинной хроматографии с последующим удалением His10-taq апобелок связывал целентеразин и обладал Ca^{2+} -индуцируемой биолюминесцентной активностью. Оптимизация заключалась в удлинении С-концевого участка белка с последующим введением ряда мутаций. Удлинение привело к увеличению удельной активности на 3 порядка и некоторому повышению термостабильности, однако наблюдалось снижение выхода активного белка. Дополнительные аминокислотные замены несколько увеличили выход фотопротейинового комплекса, а инсерция 3 аминокислот в середине последовательности увеличила термостабильность, но привела к снижению удельной активности. Таким образом, в данной работе показаны возможность создания Ca^{2+} -регулируемого фотопротейина *de novo* и возможные направления его оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kim S.B. et al., ACS Comb Sci., V.19, P. 594-599 (2017).
- [2] Bovolenta S. et al., J Biomol Screen., V.12, P. 694-704 (2007).

Исследование динамики распределения магнитных наночастиц оксида железа в органах мышей методом ЭПР

Яковлева Ю.А.

Международный научный центр исследований экстремальных состояний организма КНЦ СО РАН

Магнитные наночастицы (МНЧ) оксида железа перспективны для визуализации, адресной доставки и терапии, однако их применение зависит от особенностей биораспределения *in vivo*, определяющих эффективность и возможную токсичность. После системного введения такие наночастицы преимущественно накапливаются в печени и селезёнке, а их содержание в лёгких и почках зависит от размера, покрытия и биотрансформации [1]. Цель работы: оценка динамики распределения МНЧ в лёгких, печени, селезёнке и почках лабораторных мышей на 1, 3 и 14 сутки после внутривенного введения методом ЭПР. **Материалы и методы.** Исследование выполнено на лабораторных мышках после однократного внутривенного введения магнитных наночастиц оксида железа в дозе 40 мг/кг. Для анализа отбирали лёгкие, печень, селезёнку и почки, из которых готовили гомогенаты и регистрировали ЭПР-сигнал. Результаты представлены в полуколичественном формате как доля сигнала каждого органа в суммарном сигнале исследованных органов. **Результаты.** На 1-е и 3-и сутки наибольший вклад в суммарный сигнал вносила печень – 45,5 и 47,3% соответственно (Рис.1 А). При этом на 3-и сутки возрастал вклад почек до 24,1%, тогда как доля селезёнки снижалась до 12,4%, а лёгких составляла 16,2%. К 14-м суткам увеличивался относительный вклад селезёнки и лёгких до 30,7 и 24,8% соответственно, при сохранении ведущей роли печени (40,4%) и снижении вклада почек до 4,2%.

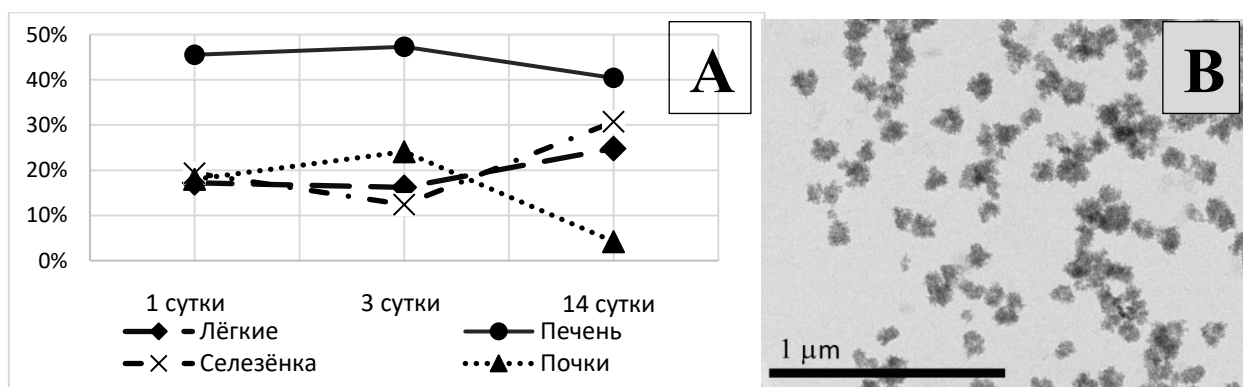


Рис. 12. А – Относительное распределение ЭПР-сигнала по органам (%); В – микрофотография наночастиц магнетита.

Выводы. Полученные данные демонстрируют, что в ранние сроки после введения основным органом накопления остаётся печень. В более поздний срок возрастает относительный вклад селезёнки и лёгких, тогда как вклад почек снижается. Такая динамика согласуется с литературными данными о перераспределении и биотрансформации магнитных наночастиц после внутривенного введения [2].

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kumar M., Kulkarni P., Liu S., Chemuturi N., Shah D. K. Nanoparticle biodistribution coefficients: A quantitative approach for understanding the tissue distribution of nanoparticles. *Advanced Drug Delivery Reviews*, Т. 194, Ст. 114708 (2023).
- [2] Yaremenko A. V., Zelepukin I. V., Ivanov I. N. и др. Influence of magnetic nanoparticle biotransformation on contrasting efficiency and iron metabolism. *Journal of Nanobiotechnology*, Т. 20, № 1, Ст. 535 (2022).

Секция «Математическое моделирование и фундаментальная математика»

Конференция молодых учёных 2026 по математическому моделированию, информационным технологиям и фундаментальной математике проводится при поддержке Красноярского математического центра, финансируемого Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение № 075-02-2026-735).

Алгоритмы для двумерной задачи упаковки с запрещенными областями и центром тяжести

Абрамов М.А.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Рассматривается задача упаковки, которая учитывает важные прикладные аспекты. Дано множество предметов и контейнер, внутри которого находится множество запрещенных областей. Все предметы, контейнер и запрещенные области имеют прямоугольную форму. Необходимо найти подмножество предметов и их расположение в контейнере, чтобы максимизировать суммарную ценность упакованных предметов и минимизировать отклонение суммарного центра тяжести упакованных предметов от геометрического центра контейнера. Предметом исследования являются алгоритмы решения рассматриваемой задачи. Цель исследования заключается в разработке алгоритмов решения поставленной задачи.

Частный случай задачи рассматривался в [1]. Задача упаковки в контейнеры с запрещенными областями рассматривалась в [2]. Для решения этих задач авторы использовали алгоритм имитации отжига.

Для решения рассматриваемой задачи упаковки разработан алгоритм имитации отжига и генетический алгоритм. Решение представляется приоритетным списком предметов. Процедура декодирования решения в упаковку использует модель потенциальных контейнеров из [3].

Для вычислительных экспериментов используется реализованное программное обеспечение и подобранные оптимальные параметры алгоритмов. Вычислительные эксперименты демонстрируют высокую эффективность разработанных алгоритмов и возможность их использования для решения практических задач. Во всех случаях суммарные стоимости получаемых решений более 90 % от максимальных, отклонения центра тяжести менее 15 % от максимально возможных отклонений.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю к. ф.-м. н. Баранову Сергею Николаевичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шперлинг С.М., Кочетов Ю.А. Дискретный анализ и исследование операций, Т. 29, № 3, С. 102-115 (2022).
- [2] Руднев А.С. Дискретный анализ и исследование операций, Т. 17, № 4, С. 43-66 (2010).
- [3] Чеканин В.А., Чеканин А.В. Информационные технологии и вычислительные системы, № 2, С. 37-45 (2014).

Математическое моделирование сильного изгиба балки из высокопористого материала

Амосов К.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Высокопористые материалы имеют обширную область научно-технических приложений. В судостроении и авиастроении применяются сферопластики (сферопласты) — лёгкие и прочные композитные материалы с включениями в виде тонкостенных пустотелых стеклянных сфер в эпоксидной матрице [1, 2]. В автомобилестроении, аэрокосмической и других отраслях промышленности используются пористые металлы (металлические пены) — новые искусственные материалы, которые обладают рядом важных свойств, таких как низкая плотность и теплопроводность, хорошие демпфирующие и звукопоглощающие свойства [3]. В электронике применяются ультралёгкие металлические пены, плотность которых ниже 10 мг/см^3 [4].

В работе рассматривается математическая модель сильного изгиба балки из высокопористого материала. На основе полярного разложения тензора дисторсии в произведение ортогонального и симметричного тензоров, из вариационного принципа Лагранжа выведены уравнения плоского изгиба балки из высокопористого материала при малых деформациях и больших прогибах. Учитываются эффект Тимошенко поперечного сдвига сечений и эффект Коссера независимых поворотов пор относительно изогнутой центральной оси. Задача симметричного изгиба балки под действием двух сосредоточенных усилий на торцах приводится к задаче Коши для нелинейного обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка, решение которой строится численно с помощью метода Рунге–Кутты.

Задача решается для двух случаев:

- для балки постоянной жесткости проводится верификация вычислительного алгоритма (сравнение численного решения с аналитическим);
- для балки, жесткость которой зависит от кривизны, приводятся конфигурации изогнутой оси и графики распределения по толщине зон упругой деформации, пластичности и схлопывания пор в разных сечениях.

В качестве конкретного материала в обоих случаях используется пеноалюминий.

Благодарности:

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ (Соглашение 075-02-2026-735).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Аннин Б.Д. Механика деформируемого твердого тела: Избранные труды. Новосибирск: СО РАН, 2022.
- [2] Застрогина О.Б., Долматовский М.Г., Швец Н.И. и др. Авиационные материалы и технологии, № 2, С. 55-63 (2005).
- [3] Прохорчук Е.А., Леонов А.А., Власова К.А. и др. Труды ВИАМ, № 12(106), С. 21-30 (2021).
- [4] Schaedler T.A., Jacobsen A.J., Torrents A. et al. Science, V. 334, № 6058, P. 962-965 (2011).

О строении трехмерных полуполей

Антошкин А.А.

Сибирский федеральный университет

Полуполя и квазиполя изучаются взаимосвязанно с недезарговыми проективными плоскостями с начала XX века [1,2].

Алгебраическая система $(Q, +, \cdot)$ называется *полуполем*, если:

- 1) $(Q, +)$ — абелева группа;
- 2) $Q^* = (Q \setminus \{0\}, \cdot)$ — лупа;
- 3) $c(a + b) = ca + cb$ и $(a + b)c = ac + bc$ для всех $a, b, c \in Q$.

Пусть Q — неассоциативное полуполе порядка p^3 (p — простое число). Д. Меничетти доказал [3], что тогда Q изотопно скрученному полю (см. также определение А. Альберта и гипотезу И. Капланского).

Регулярное множество трехмерного полуполя содержится в объединении $p + 1$ различных полей-компаньонов порядка p^3 . Правый и левый порядки любого ненулевого элемента такого полуполя делят $p^3 - 1$. Перечислены все, с точностью до изоморфизма и анти-изоморфизма, полуполя порядков 27 и 125, найдены правые и левые минимальные многочлены ненулевых элементов.

Пусть D — оператор дифференцирования, то есть линейный оператор, удовлетворяющий тождеству Лейбница ($x, y \in Q$):

$$D(xy) = D(x)y + xD(y).$$

Доказано, что трехмерное полуполе допускает только нулевое дифференцирование.

Оператор Рота–Бакстера веса λ — это линейный оператор, удовлетворяющий тождеству:

$$R(x)R(y) = R(R(x)y + xR(y) + \lambda xy).$$

В ассоциативном случае оператор Рота–Бакстера можно рассматривать как «интегральный» аналог производной. Прямыми вычислениями показано, что полуполя порядков 27 и 125 допускают только тривиальные операторы Рота–Бакстера, заданные как умножение на скаляр из основного поля.

Благодарности:

Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение 075-02-2025-1790).

Автор выражает благодарность научному руководителю Ольге Вадимовне Кравцовой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hughes D.R., Piper F.C. Projective planes. Springer–Verlag New–York Inc., 1973.
- [2] Levchuk V.M., Kravtsova O.V. Lobachevskii Journal of Mathematics, V. 38, № 4, P. 688-698 (2017).
- [3] Menichetti G. Journal of Algebra, V. 47, № 2, P. 400-410 (1977).

Почти простые группы с цоколем $PSL(3, q)$ для нечетного q как струнные C -группы

Бактыбеков Б.Б.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Определение 1. Группа G называется простой, если она не содержит нетривиальных нормальных подгрупп.

Определение 2. Группа M называется почти простой, если $G \leq M \leq \text{Aut}(G)$, где G — конечная простая неабелева группа. Подгруппа G называется цоколем группы M .

Определение 3. Группа, порождённая инволюциями $\{\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}\}$ называется C -группой, если:

$$\forall J, K \subseteq \{0, 1, \dots, n-1\}, \langle \rho_j \mid j \in J \rangle \cap \langle \rho_k \mid k \in K \rangle = \langle \rho_i \mid i \in J \cap K \rangle.$$

Определение 4. C -группа, порожденная множеством инволюций $\{\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}\}$ называется струнной C -группой ранга n или, просто, n -струнной, если:

$$(\rho_i, \rho_k)^2 = 1 \quad \forall j, k \in \{0, 1, \dots, n-1\}$$

при $|j - k| \geq 2$.

Критерий 3-струнности установлен в работе [1]. В 2021 году Д. Лиманс поставил следующую задачу [2, проблема 5].

Определить максимальный ранг представления группы G в виде струнной C -группы, если G простая группа с цоколем $PSL(3, q)$, то есть если $PSL(3, q) \leq G \leq \text{Aut}(PSL(3, q))$.

В докладе рассматриваются случаи, когда $G = SL(3, q) \lambda \langle \delta \rangle$ и $G = SL(3, q) \lambda \langle d \rangle$, где δ и d — графовый и диагональный автоморфизмы соответственно.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314). Автор выражает благодарность профессору Я. Н. Нужину за постановку задачи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Baktybekov B.B., Conder M.D.E., Nuzhin Ya.N., Rezantseva A. V. Journal of Siberian Federal University. Mathematics Physics, V. 18, P. 498-505 (2025).
- [2] Leemans D. Contemporary Mathematics, V. 764, P. 157-178 (2021).

Оценка рисков компонентов автоматизированной системы управления технологическим процессом

Белозерский И.Е.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В условиях цифровой трансформации объектов критической информационной инфраструктуры несоответствие традиционных методов анализа уязвимостей (полный перебор) актуальным требованиям ФСТЭК (Приказ №31, методики 2025-2026 гг.) обуславливает необходимость внедрения риск-ориентированного подхода. На примере Системы измерения количества и качества нефти (СИКН) продемонстрировано, что данная методология позволяет оптимизировать распределение ресурсов защиты, приоритезируя нейтрализацию угроз, обладающих наибольшей значимостью для технологического процесса.

Целью работы является разработка методологии оценки рисков на основе выявления взаимосвязи технических параметров уязвимостей с потенциальными последствиями для производственной деятельности. Реализация данного подхода обеспечит переход от формализованного учёта угроз к анализу их воздействия на устойчивость технологических процессов.

Предлагаемая методология реализуется посредством четырёх последовательных этапов. Первый этап — определение недопустимых для предприятия последствий: нарушение точности учёта, потеря управления запорной арматурой, искажение отчётных данных. Второй этап — идентификация критических компонентов: автоматизированное рабочее место оператора, контроллеры учёта, сетевые шлюзы. Третий этап — целенаправленный анализ уязвимостей данных компонентов с использованием Банка данных угроз ФСТЭК. Четвёртый этап — построение сценариев реализации угроз с учётом актуального нарушителя (внешний злоумышленник или инсайдер).

Практическим результатом внедрения данной методологии является формирование ранжированного реестра рисков, обусловленного реальными последствиями для технологического процесса перекачки нефти. Такой подход позволяет оптимизировать ресурсы служб безопасности и автоматизации за счёт концентрации усилий на защите компонентов, отказ которых является критическим, что соответствует современным подходам в данной области.

Перспективным направлением развития методологии является цифровизация процесса анализа рисков посредством автоматизированного сбора конфигураций оборудования и интеграции с экспертными системами поддержки принятия решений. Это обеспечит автоматический пересчёт уровней риска в режиме, близком к реальному времени, при актуализации Банка данных угроз ФСТЭК.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Методика оценки уровня критичности уязвимостей программных, программно-аппаратных средств [Электронный ресурс]. URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-30-iyunya-2025-g> (дата обращения: 21.02.2026).

Возникновение конвекции в двухслойной системе несмешивающихся жидкостей в цилиндре со свободной границей

Бондаренко Г.А.

Институт математики и фундаментальной информатики, СФУ

Рассматривается цилиндрический контейнер конечных размеров, заполненный двумя покоящимися теплопроводящими жидкостями с общей деформируемой поверхностью раздела. Также верхняя граница жидкости является свободной и деформируемой, таким образом учитываются капиллярные эффекты на обеих межфазных поверхностях. Боковые стенки и нижнее основание сосуда являются твердыми, при этом на боковой поверхности выполняется условие просачивания жидкости. Граница раздела и свободная поверхность обладают поверхностным натяжением, которое линейно зависит от температуры. В результате нагрева нижнего основания цилиндра, когда температура достигает некоторого критического значения, внутри области возникает движение жидкостей.

В рамках модели Обербека-Буссинеска получены линеаризованные уравнения для монотонных возмущений и соответствующие граничные условия. Данная задача решена методом разделения переменных. В результате получено дифференциальное уравнение шестого порядка с постоянными коэффициентами. Найдена зависимость критического значения температуры, задаваемой на нижнем основании цилиндра, от геометрических параметров контейнера и физических параметров жидкости.

Для конкретной системы жидкостей, «муравьиная кислота — трансформаторное масло» установлено, что, например, при увеличении теплообмена верхней жидкости с окружающей средой, критическое значение температуры на нижней стенке цилиндра возрастает.

Также поставленная задача решена для случая, когда система находится в состоянии невесомости. Показано, что при тех же значениях параметра, отвечающего за теплообмен с окружающей средой, рост критических значений температуры на нижнем основании, при которых внутри системы будет возникать движение, оказывается более интенсивным. При этом качественный характер зависимости сохраняется.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Smith M.K., Davis S.H. Journal of Fluid Mechanics, V. 132, P. 145-162 (1983).
- [2] Магденко Е.П. Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа, № 2, С. 105-112 (2018).
- [3] Андреев В.К., Захватаев В.Е., Рябицкий Е.А. Новосибирск: Наука, 2000.

Финитарность унификации в некоторых расширениях интуиционистской и модальной логик

Брылякова Е.В.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Одной из актуальных задач в исследовании интуиционистских и модальных логик является унификация. Для заданной логической системы L и произвольной формулы $\varphi(p_1, \dots, p_n)$ задача унификации заключается в поиске такой подстановки $\sigma: p_i \mapsto \sigma(p_i)$ (называемой *унификатором*), что результат её применения $\varphi(\sigma(p_1), \dots, \sigma(p_n))$ является теоремой логики L .

Унификатор σ формулы $\varphi(p_1, \dots, p_n)$ называется *максимальным*, если для любого другого унификатора σ_i из множества всех унификаторов AU_φ в случае $\sigma \leq \sigma_i$ имеет место $\sigma_i \leq \sigma$. Унификатор σ формулы $\varphi(p_1, \dots, p_n)$ называется *наиболее общим* (н.о.у.), если для любого другого $\sigma_i \in AU_\varphi$ выполняется $\sigma_i \leq \sigma$.

Классификация логик по типам унификации строится на основе структуры множества максимальных унификаторов:

- *унитарный тип* — для любой унифицируемой формулы существует наиболее общий унификатор;
- *финитарный тип* — существуют формулы без н.о.у., но для каждой из них имеется лишь конечное число максимальных унификаторов;
- *инфинитарный тип* — имеются формулы с бесконечным числом максимальных унификаторов;
- *нулевой тип* — некоторые унифицируемые формулы порождают бесконечные цепочки более общих унификаторов.

В работе исследуется проблема унификации в некоторых расширениях интуиционистской логики Int , а также в соответствующих классах модальных логик. Основным результатом является доказательство того, что если логика L (интуиционистская или модальная) обладает конечной глубиной и свойством слабого ко-накрытия, то она имеет финитарный тип унификации. Данный результат существенно обобщает известные ранее положения, полученные для отдельных классов расширений. Доказательство базируется на методе n -характеристических моделей В. В. Рыбакова [1], и предлагает единый подход к установлению финитарности для широкого класса конечнослойных логик, охватывающего как интуиционистские, так и модальные системы.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rybakov V.V. Admissibility of logical inference rules. New York: Elsevier, 1997.

Сравнительный анализ методов восстановления предпочтений на основе порядковых экспертных оценок

Булатов Д.В.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Задача восстановления предпочтений по экспертным оценкам является актуальной в области рекомендательных систем, риск-менеджмента и машинного обучения. В работе исследуются модели предпочтений на множестве объектов, заданных набором экспертных отношений. Цель — построение агрегированного отношения, наилучшим образом приближающего целевое предпочтение.

В работе были реализованы и проанализированы три метода восстановления результирующего ранжирования на основе набора экспертных матриц попарных сравнений. Первый метод основан на аппроксимации целевой матрицы предпочтений Z_0 линейной комбинацией экспертных матриц Z_i . Веса w_i находятся путем минимизации квадратичной ошибки, затем результирующее ранжирование объектов восстанавливается на основе взвешенной суммарной матрицы $Z = \sum_{j=1}^n Z_j \cdot w_j$. Второй метод, ранговый, работает не с самими матрицами предпочтений, а с векторами рангов объектов R_i , что позволяет существенно снизить размерность задачи с m^2 до m . Оптимальные веса находятся из условия минимизации квадратичной ошибки между целевым вектором рангов R_0 и взвешенной комбинацией. Третий метод — жадный алгоритм упорядочивания (*Order-By-Preferences*), итеративно выстраивает объекты, основываясь на агрегированных попарных предпочтениях [2]. В отличие от первых двух подходов, минимизирующих квадратичную ошибку, данный алгоритм направлен на оптимизацию количества инверсий в итоговом ранжировании, что тесно связано с ранговой корреляцией Кендалла.

Для генерации экспертных матриц используются три подхода с контролируемыми параметрами: вероятностное доминирование, иерархические уровни и внесение шума в эталонный порядок. Для оценки эффективности описанных методов будут проведены вычислительные эксперименты на синтетических данных. Каждый эксперимент состоит из нескольких этапов:

1. Генерация данных: наборы экспертных матриц предпочтений генерируются с использованием трех описанных подходов при различных значениях параметров.
2. Восстановление предпочтений: для каждого сгенерированного набора данных каждым из трех методов восстанавливается агрегированное ранжирование.
3. Оценка качества: качество восстановленных ранжирований оценивается путем сравнения с целевым порядком с использованием различных метрик.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что ранговый метод, благодаря снижению размерности, демонстрирует наилучшее соотношение точности и скорости. Матричный метод показывает сопоставимую с ранговым точность восстановления, однако существенно уступает ему по времени выполнения. Жадный алгоритм [1] обеспечивает высокую точность на данных, близких к линейному порядку, но оказывается наиболее чувствительным к структуре исходных предпочтений и имеет наибольшее время выполнения среди всех рассмотренных методов.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю, к.ф.-м.н., доценту Семенову Д. В. за постановку задачи, ценные замечания и помощь в интерпретации результатов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cohen W.W., Schapire R.E., Singer Y. Journal of Artificial Intelligence Research, V. 10, P. 243-270 (1999).

Нейросетевые модели временных рядов для прогнозирования уровня CO₂ в атмосфере Центральной Сибири

Буряк Н.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В работе представлены результаты прогнозирования величины концентрации CO₂ в атмосфере Центральной Сибири на основании метеорологических параметров с помощью моделей рекуррентных нейронных сетей разновидности *LSTM* [1]. Проведено сравнение с ансамблевыми моделями.

Данные по объему CO₂ взяты с метеостанции ZOTTO [2] (600 км к северу от Красноярска) за 13 лет с 2009 по 2022 гг. Метеопараметры получены с сайта NASA за аналогичный период. Проведен анализ зависимости объема CO₂ от пожаров.

Модель *LSTM* (Long short-term memory) представляет собой цепочку повторяющихся блоков, каждый из которых состоит из двух слоёв, взаимодействующих между собой при помощи вентилей забывания, входа, выхода и внутреннего состояния.

Для оценки качества прогнозирования проверка проводилась в два этапа. Первый этап — стандартное разделение на обучающую и тестовую выборку, результаты: MAE: 2.87, RMSE: 3.91, R²: 0.833. Второй этап — модель обучалась на периоде 2009-2018 гг., после чего её веса были сохранены, далее она была протестирована на новом периоде 2019-2022 гг. без дообучения. Это позволило оценить способность модели к прогнозированию на будущих данных в условиях, максимально приближенных к реальному применению. Результаты второго этапа, со следующими оценками: MAE: 4.39, RMSE: 4.45, R²: 0.663, представлены на рис. 1.



Рис. 13. Применение обученной LSTM к новым данным.

Научный руководитель — к.ф.-м.н., доцент, Володько О.С.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rezaei Z. et al. Environmental Modelling & Software, V. 192, P.106533 (2025).
- [2] Timokhina A. V. et al. Russian Meteorology and Hydrology, T. 43, №. 5, С. 288-294 (2018).

**Финитная аппроксимируемость для нетранзитивной
нерефлексивной временной логики с движением в прошлое,
допускающей отношения агентов**

Бушакова Ю.А.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Неклассические логики, в частности, временные, являются активно развивающейся областью, предоставляя формальные средства для рассуждений о временных зависимостях и эволюции систем. Их приложения охватывают широкий спектр задач — от верификации программных и аппаратных комплексов до спецификации поведения интеллектуальных агентов и обработки временной информации в базах знаний. Наиболее известными представителями этого класса являются логики линейного времени *LTL* [1] и ветвящегося времени *CTL* [2].

Логика, позволяющая описывать такие процессы, характеризуется нерефлексивной и нетранзитивной природой перехода во времени между состояниями. Класс всех таких логик обозначим *Ext(LTL.sl)* — расширение логики *LTL.sl* [3]. В докладе описана семантика логики с нерефлексивным нетранзитивным отношением между временными сгустками, с временными операторами *N* и *P*, обязывающими проверять истинность формулы в следующем и предыдущем сгустке моделей Крипке соответственно. Определена р-морфная модель, доказана теорема о сохранении истинности на полученной модели, описана дальнейшая её фильтрация для доказательства финитной аппроксимируемости этой логики.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314). Автор выражает благодарность соавтору работы: научному руководителю Степану Игоревичу Башмакову.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vardi M.Y. Logics for concurrency: Structure versus automata, Springer Berlin Heidelberg, 2005.
- [2] Башмаков С.И., Смелых К.А., Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика, Т. 47, С. 78-92 (2024).
- [3] Башмаков С.И., Зверева Т.Ю., Сиб. электрон. матем. изв., Т. 20, № 2, С. 1361-1373 (2023).

Разработка ресурсосберегающей модели аутентификации для протокола MQTT в распределенных IoT-системах

Ветчинников А.Ю.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В распределённых IoT-системах и промышленных сегментах АСУ ТП протокол MQTT широко применяется благодаря минимальному служебному заголовку (2 байта), модели publish/subscribe и низким требованиям к полосе пропускания [1]. Однако базовая спецификация MQTT не предусматривает встроенного механизма взаимной аутентификации и авторизации сообщений подвергая компрометации одного из свойства информации — целостности. На практике безопасность обеспечивается использованием TLS, что приводит к росту вычислительной нагрузки, увеличению времени установления соединения и энергопотребления конечных устройств.

Для микроконтроллерных платформ (ARM Cortex-M, ESP32 и др.), применяемых в промышленном IoT, использование классических криптографических примитивов (RSA, ECDSA, AES-GCM в полном стеке TLS) может приводить к увеличению энергопотребления на 20–40 % и росту задержки установления соединения до 500–900 мс, что неприменимо для технологического трафика с минимальной допустимой задержкой.

В работе предлагается модель взаимной аутентификации узла и брокера MQTT, основанная на легковесных математических преобразованиях [2,3] (алгоритмы финалистов процесса NIST LWC) и механизме challenge–response.

Таблица 1. Ключевые характеристики модели.

Параметр	TLS	Предлагаемая модель
Размер ключа	> 200 КБ	< 40 КБ
Время установления соединения	500–900 мс	< 120 мс
Количество обменов	6–8	3
Энергопотребление	высокое	снижено на 25–35 %

Особую актуальность разработка имеет для распределенных систем мониторинга и управления в промышленном IoT, где применяются устройства с ограниченными ресурсами и критичны требования к задержке передачи данных.

Разработка и экспериментальная апробация модели планируется на микроконтроллерной платформе с оценкой следующих показателей: энергопотребление, время установления соединения, объём памяти, устойчивость к сетевым атакам.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] OASIS. MQTT Version 5.0. OASIS Standard, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата обращения: 21.02.2026).
- [2] Suryateja P. S., Venkata Rao K. V. [Электронный ресурс] URL: <https://reference-global.com/article/10.2478/cait-2024-0002> (дата обращения: 14.02.2026).
- [3] Muhammad R. [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167739X21004404> (дата обращения: 14.02.2026).

О разрешимости кластерных темпоральных логик с операторами надёжности информации

Грекович К.В.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Ранее нами исследовались многоагентные темпоральные логики с различными ограничениями модальных операторов [1], а также логики с операторами надёжности информации [2]. Для указанных систем были получены результаты о разрешимости и финитной аппроксимируемости. Это ставит естественный вопрос о построении более общей кластерной темпоральной модели, объединяющей линейную динамику времени и количественные характеристики устойчивости знаний.

В настоящей работе вводится кластерная линейная многоагентная темпорально-эпистемическая логика, основанная на двусторонне направленной дискретной шкале времени без начальной точки. Развиваемый подход продолжает исследования разрешимости для темпоральных и логик надёжности информации [1,2], но переносит их в кластерную временную структуру.

Язык логики включает булевы связки, операторы знания K_j , темпоральные операторы будущего и прошлого, а также градуированные модальности достижимости. Вводится параметризованный оператор динамической надёжности $Rel_j^n(\varphi)$, интерпретируемый как количественная устойчивость истинности формулы относительно будущих эпистемических альтернатив агента.

Основным результатом является доказательство разрешимости задачи выполнимости и установление свойства конечной модели. Несмотря на двустороннюю бесконечность временной шкалы, истинность формулы определяется конечным фрагментом кластерной модели. Доказательство основано на фильтрации по множеству подформул с учётом модальной глубины и числовых параметров градуированных операторов, что позволяет получить экспоненциальную оценку размера модели.

Предложенная логика может рассматриваться как формальная модель анализа динамической надёжности знаний в многоагентных системах.

Благодарности: Работа поддержана Российским научным фондом и Красноярским краевым фондом науки, проект № 25-21-20011, (<https://rscf.ru/project/25-21-20011/>). Автор выражает благодарность научному руководителю Рыбакову Владимиру Владимировичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Grekovich K.V., Rybakov V.V., Rimatskiy V.V. Известия Иркутского государственного университета. Серия Математика, Т. 51, С. 141-150 (2025).
- [2] Rybakov V.V., Kiyatkin V. R., Grekovich, K.V. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, V. 18, № 5, P. 680-686 (2025).

Теорема о двойственности пространств Харди

Давыдова В.А.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Пусть D односвязная область в $\mathbb{C}$ (комплексном пространстве). $O(D)$ пространство голоморфных функций в D с топологией равномерной сходимости на компактах из D . $O(\hat{\mathbb{C}}\overline{D})$ пространство голоморфных функций в $\hat{\mathbb{C}}\overline{D}$ (дополнении области D (на сфере Римана), равных нулю в бесконечности,) со стандартной топологией индуктивного предела.

Согласно теореме, полученной в 1950-х независимо А. Гротендиком, Г. Кёте и Ж. Себастиан и Сильва, см. например [1], об изоморфизме двойственного пространства $O(D)$ и $O(\hat{\mathbb{C}}\overline{D})$, а именно: если граница области D односвязная, то $(O(D))^* \cong O(\hat{\mathbb{C}}\overline{D})$, где $(O(D))^*$ множество непрерывных линейных функционалов на $O(D)$.

Пространствами Харди [2-3], степени p внутри области D ($\mathcal{H}^p(D)$) называются пространства голоморфных функций $u(z)$ ($z \in \mathbb{C}$) в односвязной области D , для которых $\sup_{\varepsilon > 0} \int_{\partial D} |u(z - \varepsilon \mu(z))|^p dS < +\infty$, где $\mu(z)$ вектор нормали к D . Причем, тогда $u|_{\partial D} = u_0 \in L^p(\partial D)$, где сужение на границу понимается в смысле слабых граничных значений.

Пространствами Харди степени q в $\hat{\mathbb{C}}\overline{D}$ ($\mathcal{H}^q(\hat{\mathbb{C}}\overline{D})$) называются пространства голоморфных функций $v(z)$ ($z \in \mathbb{C}$) в $\hat{\mathbb{C}}\overline{D}$, для которых $\sup_{\varepsilon > 0} \int_{\partial D} |u(z + \varepsilon \mu(z))|^q dS < +\infty$, где $\mu(z)$ вектор нормали к D . Причем, тогда $v|_{\partial D} = v_0 \in L^q(\partial D)$, где сужение на границу понимается в смысле слабых граничных значений.

Нами получена теорема о двойственности пространств Харди, схожая по своей конструкции с описанной выше двойственностью Гротендика, Кёте и Сильва.

Теорема. Если граница односвязной области D дважды непрерывно дифференцируема, то $(\mathcal{H}^p(D))^* \cong \mathcal{H}^q(\hat{\mathbb{C}}\overline{D})$, где $\frac{1}{p} + \frac{1}{q} = 1$, $1 < p < \infty$, $(\mathcal{H}^p(D))^*$ множество непрерывных линейных функционалов на $\mathcal{H}^p(D)$. А отношение двойственности вводится так: $\langle v, u \rangle = \int_{\partial D} u_0 v_0 dz \quad \forall u_0 \in \mathcal{H}^p(D)$.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Grothendieck A. Journal für die reine und angewandte Mathematik, V. 1953, № 192, P. 35-64 (1953).
- [2] Riesz F. Mathematische Zeitschrift, V. 18, P. 87-95 (1923).
- [3] Duren P.L. Theory of Hp spaces. Dover Publications, 2000.

Теорема о парах Рунге для обобщённых стационарных операторов Стокса

Киселева У.С.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

В работе доказывается теорема аппроксимации типа Рунге для решений обобщенных стационарных операторов Стокса S с гладкими коэффициентами. Исследуемые операторы связаны с комплексом де Рама на дифференциальных формах над областью X в $\mathbb{R}^n$, являются эллиптическими по Дуглису-Ниренбергу и при естественных предположениях обладают двусторонним фундаментальным решением. Для ограниченной области D в $\mathbb{R}^n$ пространство $S_s(D)$ решений однородного уравнения, связанного с обобщенным оператором Стокса в D , наделяется топологией равномерной сходимости на компактных подмножествах D . Аналогично операторам, эллиптическим по Петровскому, решения оператора Стокса в области D_2 являются плотными в пространстве решений в области $D_1 \subset D_2$ тогда и только тогда, когда множество $D_2 \setminus D_1$ не имеет компактных компонент в D_2 .

Теоремы аппроксимации представляют собой мощный инструмент анализа и теории обыкновенных дифференциальных уравнений, а также уравнений в частных производных (см. классические работы Рунге, Мальгранжа, Мергеляна, а также [1, гл. 4-5]). Классический оператор Стокса в $\mathbb{R}^n$ играет важнейшую роль в гидродинамике [2], являясь основной линейной частью уравнений Навье–Стокса. Некоторые обобщения классического оператора Стокса в рамках эллиптических дифференциальных комплексов впервые появились в [3]. Позднее для них были обнаружены свойства, аналогичные свойствам классического оператора Стокса. Статья [4] представляет дальнейшее обобщение, подкрепленное примерами из гидродинамики, электродинамики и квантовой физики, где эти операторы возникают.

Основное внимание в работе уделяется построению явно заданных двусторонних фундаментальных решений для таких операторов Стокса, а также парам Рунге и «рациональной аппроксимации».

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tarkhanov N. The Analysis of Solutions of Elliptic Equations. Springer, 1997.
- [2] Ладыженская О. А. Математические вопросы динамики вязкой несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1970.
- [3] Mera A., Shlapunov A.A., Tarkhanov N. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, V. 12, № 1, P. 3-27 (2019).
- [4] Shlapunov A.A., Polkovnikov A.N., Mironov V.L. J. Math. Phys., V. 66, P. 011513 (2025).

Анализ масштабов в задаче испарительной конвекции

Кобычева В.С.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Рассматривается задача о нестационарных конвективных течениях в системе жидкость–газ с деформируемой границей раздела Γ_t . Поверхность Γ_t допускает перенос массы за счет испарения и/или конденсации. В рамках сопряженной постановки задачи испарительной конвекции на основе приближения Буссинеска исследуются различные подходы к обезразмериванию, позволяющие выявить доминирующие механизмы и оценить влияние масштабов характерных скоростей и времен на формирование конвективных режимов, возникающих при доминировании вязкости, инерции или нестационарных эффектов. Проведён параметрический анализ определяющих уравнений и граничных соотношений. В зависимости от условий, в которых протекают изучаемые процессы тепломассопереноса, используются разные варианты оценки масштаба давления.

Определены и классифицированы основные характерные скорости (вязкая, тепловая, капиллярная, капиллярно-вязкая, термокапиллярная, диффузионная, скорость фазового перехода) и времена (вязкой, тепловой и массовой диффузии, капиллярного баланса, капиллярных колебаний, термокапиллярной релаксации и фазового перехода), определяющие динамику системы. Рассмотренные масштабы непосредственно влияют на величину коэффициентов, входящих в уравнения и определяющих вклад различных физических механизмов.

Для трех типов рабочих жидкостей рассчитаны значения характерных скоростей и времен в системах с различной толщиной жидкого слоя. Проанализировано влияние масштаба f_* деформации поверхности Γ_t на скорость фазового перехода и показано, что ее масштаб не зависит от выбора величины f_* .

Член, определяющий скачок давления при переходе через межфазную границу, входит в динамическое условие с коэффициентом, который естественным образом зависит от выбора масштаба давления p_* и принимает значения, совпадающие со значениями различных критериев подобия (капиллярного числа Ca или числа Вебера We , или их комбинаций). Из кинематического условия вклад нестационарных эффектов определяется параметром, обратно пропорциональным числу Струхала St . Выбор масштаба деформации поверхности определяет вид этой величины, вводя поправочные коэффициенты, содержащие числа Бонда и/или Марангони.

Проведенный анализ безразмерных критериев подобия подтверждает существенную зависимость соотношения различных сил и механизмов переноса от масштаба, типа жидкости и наличия термокапиллярного эффекта. В условиях малых масштабов доминируют капиллярные силы и термокапиллярные эффекты, а при больших масштабах — гравитационные и, в некоторых случаях, инерционные силы.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ в рамках мероприятий по созданию и развитию региональных НОМЦ, Соглашение 075-02-2026-735.

О полиномиальной классификации конечных полуполей

Кузьмин И.К.

Сибирский федеральный университет

Изучение конечных полуполей с начала XX века (Л.Е. Диксон, 1905) пока не привело к значительному продвижению в их классификации [1]. Отсутствие ассоциативности умножения является причиной их аномальных свойств в сравнении с конечными полями и даже почти-полями.

Алгебраическая система $(Q, +, \cdot)$ называется *полуполем*, если:

- 1) $(Q, +)$ — абелева группа;
- 2) $Q^* = (Q \setminus \{0\}, \cdot)$ — лупа;
- 3) $c(a + b) = ca + cb$ и $(a + b)c = ac + bc$ ($a, b, c \in Q$).

Полуполе порядка p^n является n -мерным векторным пространством над его простым подполем $\mathbb{Z}_p$. Операция умножения определяется на нем с помощью специального семейства линейных преобразований — регулярного множества.

Пусть Q — полуполе порядка p^n , $a \in Q$, A — ассоциированная матрица из регулярного множества, правый минимальный многочлен [2] элемента a есть неприводимый многочлен степени n над $\mathbb{Z}_p$. Множество матриц

$$F_a = \{x_1 E + x_2 A + x_3 A^2 + \dots + x_n A^{n-1} \mid x_i \in \mathbb{Z}_p, i = 1, \dots, n\} \cong GF(p^n)$$

будем называть *полем-компаньоном* полуполя Q с представителем a . Представляется удобной классификация полуполей по числу их полей-компаньонов и колец-компаньонов, с учетом пересечений их пересечений с регулярным множеством.

Показано, что все 23 попарно неизоморфных полуполя порядка 16 разбиваются на 8 классов полиномиальной эквивалентности, составляя два класса изотопизма (по числу координатизируемых полуполевыми проективных плоскостей). Перечислены регулярные множества всех 40 попарно неизоморфных полуполей порядка 81, допускающих автоморфизм порядка 2. Такие полуполя группируются в 8 классов изотопизма и в 18 классов полиномиальной эквивалентности. Таким образом, полиномиальная классификация позволяет объединять неизоморфные полуполя в подмножества с рядом общих структурных свойств [3].

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение 075-02-2025-1790). Автор выражает благодарность научному руководителю Ольге Вадимовне Кравцовой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lavrauw M. et al. Finite semifields. Current research topics in Galois Geometry, Hauppauge, NY : Nova Science Publishers, 2011.
- [2] Kravtsova, O.V. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, V. 11, № 5, P. 588-596 (2018).
- [3] Kravtsova O.V., Kuzmin I.K. On spectra and minimal polynomials in finite semifields. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, V. 18, № 1, P. 41-50 (2025).

Об одной двойственности для пространств гармонических соболевских функций в шаре

Левский А.Б.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

В работе доказана двойственность для пространства соболевских функций, голоморфных на области $D \subset \mathbb{C}^n$ (представляющей собой открытый n -мерный открытый шар) и пространства соболевских функций, гармонических на $\mathbb{C}^n \setminus D$, стремящихся к нулю в бесконечности и удовлетворяющих CR-условию на границе области ∂D . Исследование являет собой вспомогательный результат на пути к доказательству такой же двойственности для более широкого класса ограниченных областей $D \subset \mathbb{C}^n$.

Пересечение пространства Соболева $W^{s,p}(D)$ и множества гармонических функций $h(D)$ на области $D \subset \mathbb{C}^n$ обозначим как: $h^{s,p}(D)$.

Пространство функций, гармонических в $\mathbb{C}^n \setminus \bar{D}$, соболевских во всех областях $G \setminus \bar{D}$, где $G \supset \bar{D}$, а также удовлетворяющих CR-условию на ∂D и стремящихся к нулю в бесконечности, обозначим через: $\tilde{h}_{CR}^s(\mathbb{C}^n \setminus \bar{D})$.

Теорема. Пусть $D \subset \mathbb{C}^n$ — n -мерный шар ($n > 1$). Тогда

$$(O^{s,p}(D))^* \cong \tilde{h}_{CR}^{2-s,q}(\mathbb{C}^n \setminus \bar{D}) \text{ для любых } s \in \mathbb{R}.$$

Для её доказательства используем разложение функций в ряд из однородных гармонических многочленов (многочленов Гаусса) в шаре D и отношение двойственности:

$$\langle u, v \rangle = \int_{\partial D} \sum_{j=1}^n \overline{\partial_v} u dS,$$

$$u \in O^{s,p}(D), v \in \tilde{h}_{CR}^{2-s,q}(\mathbb{C}^n \setminus \bar{D}).$$

Мы доказываем инъективность, сюръективность и непрерывность индуцируемого ею отображения:

$$f: \tilde{h}_{CR}^{2-s,q}(\mathbb{C}^n \setminus \bar{D}) \rightarrow (O^{s,p}(D))^*.$$

Подобные результаты для пространств голоморфных функций в ограниченной липшецевой области со связным дополнением получены в [1]. А для голоморфных соболевских одной комплексной переменной аналогичная двойственность доказана в [2].

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хорьякова Ю. А. Математический сборник, Т. 215, № 8, С. 120-140 (2024).
- [2] Shlapunov A. A. Journal of Siberian Federal University. Mathematics & Physics, V. 17, № 4, P. 1-6 (2024).

Динамический алгоритм поиска всех максимально полных единичных подматриц (0,1) матрицы

Максимов Р.Д.

Институт математики и фундаментальной информатики

Задача поиска всех максимально полных единичных подматриц (0,1)-матрицы в терминах анализа формальных понятий соответствует поиску формальных понятий. Область применения формальных понятий включает в себя анализ текстов, контекстов предметных областей, онтологический анализ и выявление скрытых взаимосвязей [1]. В работе рассматривается динамическое расширение задачи поиска всех максимально полных единичных подматриц (0, 1)-матриц.

Постановка классической задачи звучит следующим образом.

Дано: (0, 1)-матрица I .

Найти: все максимально полные единичные подматрицы матрицы I .

Данная задача решается алгоритмом HFindMCS [2]. Основная идея алгоритма заключается в выделении всех подматриц размера по одной стороне от 1 до Δ , где Δ является максимальным количеством единиц в строке, и дальнейшем выделении из них максимально полных.

Рассмотрим задачу поиска всех максимально полных единичных подматриц на случай, когда исходная матрица расширяется путем добавления новых строк, при уже вычисленном множестве всех максимально полных единичных подматриц. Такое расширение задачи назовем динамический и сформулируем следующим образом.

Дано: исходная (0, 1)-матрица I , последовательность новых строк q , множество всех максимально полных единичных подматриц матрицы I .

Найти: все максимально полные единичные подматрицы матрицы I с новыми строками q .

Алгоритм, решающий динамическую задачу, проверяет все единичные подстроки новых строк на вхождение в существующие полные подматрицы, рассматривая каждую строку по отдельности.

Проведен вычислительный эксперимент — сравнение времени работы нового алгоритма, с временем работы алгоритма HFindMCS при пересчете множества всех максимально полных единичных подматриц с нуля, при добавлении новой строки в матрицу. В таблице 1 приведены результаты эксперимента.

Таблица 1. Результаты сравнения алгоритма HFindMCS и динамической модификации.

Максимально число единиц в строке	Число столбцов	Число строк	Число максимально полных единичных подматриц	Время работы динамической модификации алгоритма, с.	Время работы HFindMCS, с.
7	1000	100	6344	1,107	10,818
	1000	1000	2264	0,645	10,526
10	1000	100	16879	7,054	69,215
	1000	1000	3266	4,665	69,023

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Солдатенко Александру Александровичу (Институт математики и фундаментальной информатики).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ganter B., Wille R. Formal Concept Analysis. Springer, 1999.
- [2] Солдатенко А.А., Семенова Д.В. Вестн. Том. гос. ун-та. Управление, вычислительная техника и информатика, № 56, С. 90-99 (2021).

Дрейф несферических оптических частиц в вязкой среде под действием встречно распространяющихся лазерных пучков

Машинец Ю.О.

Сибирский федеральный университет

Сегодня оптический пинцеты — зрелая технология, позволяющая захватывать, сортировать и перемещать частицы в лазерных полях. Для сферических частиц решения для оптических сил и моментов, действующих на диэлектрическую сферу, известны в литературе [1]. Важным эффектом в движении оптических частиц является связь между поступательными и вращательными степенями свободы. Динамика несферических частиц, под воздействием оптических сил, рассматривалась в течение последних 20 лет [2].

В рамках данной работы были исследованы сфероидальные диэлектрические микрочастицы, подверженные воздействию радиационных сил и моментов, создаваемых двумя линейно поляризованными слабо сфокусированными встречно распространяющимися гауссовыми пучками. Обнаружено, что в случае сплюснутых сфероидов существует определенное соотношение полуосей, которое приводит к аномальному дрейфу частиц как в поперечном, так и в продольном направлениях.

На Рис. 1 (А) показано геометрическое положение частиц в конечный момент времени $T = 1,9 \text{ ns}$ в зависимости от соотношения сторон a_z/a_x .

На Рис. 1 (В) представлен пример траектории с аномально большим смещением на расстояние, превышающее десять длин волн. Слева показана зависимость полярной оси сфероида от времени, а справа — зависимость от времени переменных положения x , y , z . Параметры частиц и начальные условия z_0 , α_0 , β_0 указаны на вставке.

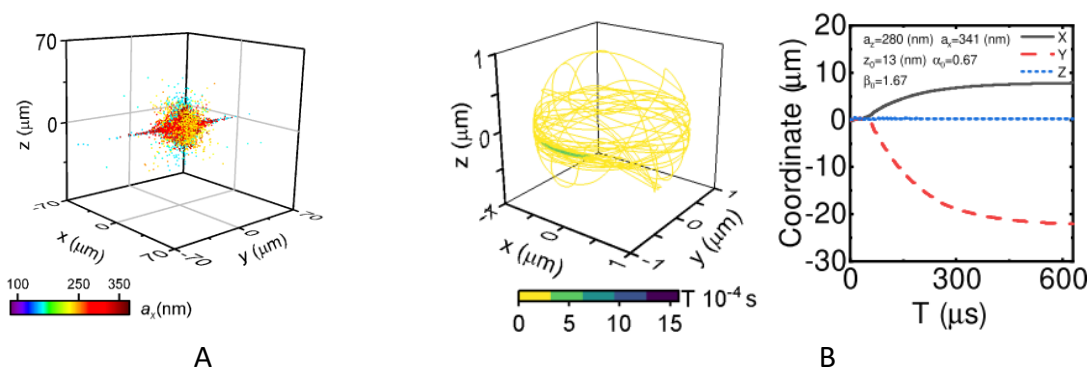


Рис. 1. (А) Положение частиц в конечный момент времени; (В) Пример траектории с аномально большим смещением.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 22-12-00070-Р. Автор выражает благодарность соавторам работы: Е.Н. Булгакову (ИФ СО РАН), Д.Н. Максимова (ИФ СО РАН, СФУ), В.С. Герасимову (ИВМ СО РАН, СФУ) и научному руководителю А.Е. Ершову (ИВМ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Neves A.A.R., Cesar C.L., Journal of the Optical Society of America B, V. 36, № 6, P. 1525-1537 (2019).
- [2] Qu T., Wu Z.-S., Shang Q.-C., Li Z.-J., Bai L., Gong L. Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer, V. 162, P.103-113 (2015).

Построение оценок параметра копулы методом минимальной дивергенции

Мосова Х.Ю.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

В задачах современного анализа данных и машинного обучения фундаментальную роль играет моделирование сложных многомерных зависимостей. Традиционно для оценки параметров таких моделей применяется метод максимального правдоподобия (ММП). Однако на практике исследователи сталкиваются с зашумленными выборками и аномалиями (выбросами), к которым ММП крайне чувствителен. В связи с этим высокую актуальность приобретают робастные методы статистического вывода, основанные на минимизации дивергенции (расстояния) между распределениями. Методы минимальной дивергенции сегодня активно применяются в алгоритмах машинного обучения (обучение генеративных моделей, вариационных автокодировщиков (*VAE*)), задачах снижения размерности (*t-SNE*) и факторном анализе, позволяя достичь оптимального баланса между статистической эффективностью и устойчивостью к аномалиям в данных.

Метод ϕ -дивергенции. В основе данной работы лежит общая теория статистического вывода на базе ϕ -дивергенций, развитая в трудах Л. Пардо (*L. Pardo*) [1]. Мера ϕ -дивергенции оценивает близость между эмпирическим и теоретическим (модельным) распределениями и задается через класс выпуклых функций ϕ . Это широкое семейство включает в себя дивергенцию Кульбака-Лейблера (асимптотически эквивалентную ММП), расстояние Хеллингера, семейство степенных дивергенций Кресси-Рида и др. Выбор конкретной функции ϕ позволяет гибко управлять робастными свойствами получаемых оценок.

Моделирование зависимости с помощью копул. Для описания структуры зависимости случайных величин используется аппарат копул [2]. Согласно теореме Склера, любое многомерное распределение может быть декомпозировано на одномерные маргинальные распределения (поведение отдельных признаков) и копулу, улавливающую исключительно саму структуру их взаимосвязи. В работе рассматриваются различные классы копул: эллиптические (в частности, гауссова копула) и семейство архимедовых копул. Последние (например, копулы Клейтона, Гумбеля, Франка) вызывают особый интерес в анализе данных, так как способны моделировать сложные нелинейные и асимметричные зависимости в хвостах распределений.

Постановка задачи. В общем виде задача оценки многомерной модели сводится к совместному нахождению параметров маргиналов и параметра копулы θ . На данном этапе исследования рассматривается изолированная задача оценивания исключительно параметра копулы. Предполагается, что одномерные маргинальные распределения уже известны и представляют собой независимые стандартные равномерные распределения на отрезке $[0, 1]$. Оценка параметра копулы строится как аргумент, минимизирующий выбранную ϕ -дивергенцию между непараметрической оценкой плотности по выборке наблюдений и параметрическим семейством копул.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Семеновой Дарье Владиславовне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Pardo, L. *Statistical Inference Based on Divergence Measures*. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC, 2006.
- [2] Joe, H. *Dependence Modeling with Copulas*. Boca Raton: CRC Press, 2015.

Полуполевыми проективные плоскости нечетного порядка p^4 , допускающие подгруппу автоморфизмов A_4

Окунева Д.А.

Институт математики и фундаментальной информатики

Решается задача построения и исследования конечных проективных плоскостей, координатизируемых неассоциативными алгебраическими системами — полуполевыми (подробнее в [1]).

Полуполе Q порядка p^n (p — простое число) является векторным пространством размерности n над полем $\mathbb{Z}_p$, умножение на фиксированный элемент $u \in Q$ есть линейное преобразование $\theta(u) \in GL_n(p) \cup \{0\}$. Множество $R = \{\theta(u) | u \in Q\}$ будем называть *регулярным множеством* полуполя Q и полуполевого проективного пространства π , координатизируемого этим полуполем. Предполагая выполнение некоторых ограничений на автоморфизмы плоскости π , можем получить матричное представление регулярного множества и построить примеры искомых плоскостей (при условии их существования).

Обсуждая известную проблему Хьюза 1959 года о разрешимости группы автоморфизмов полуполя (эквивалентно, группы автоморфизмов полуполевого проективного пространства), мы рассматриваем полуполевыми проективными пространствами нечетного порядка p^4 , группа автоморфизмов которых содержит подгруппу, изоморфную знакопеременной группе A_4 [2].

Теорема 1. Если π — недезаргова полуполевого проективного пространства порядка p^4 , $p > 2$ — простое, допускающая подгруппу автоморфизмов $H \simeq A_4$, то базис линейного пространства может быть выбран так, что $H = \langle \tau, \sigma, \alpha \rangle$, где $\tau = \text{diag}(T, T)$, $\sigma = \text{diag}(S, S)$, $\alpha = \text{diag}(A, A)$,

$$T = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, S = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

При этом регулярное множество плоскости состоит из матриц вида

$$\theta(x, y, z, t) = \begin{pmatrix} t & z & cy & cx \\ cz & t & x & cy \\ y & cx & t & cz \\ x & y & z & t \end{pmatrix}, x, y, z, t, c \in \mathbb{Z}_p.$$

Теорема 2. Недезаргова полуполевого проективного пространства порядка p^4 ($p > 2$ — простое) не допускает подгруппы автоморфизмов, изоморфной симметрической группе S_4 .

Теорема 3. Если группа автоморфизмов недезарговой полуполевого проективного пространства нечетного порядка p^4 допускает подгруппу автоморфизмов $H \simeq A_4$, то хотя бы одно из координатизирующих полуполей допускает подгруппу автоморфизмов $\langle T, S, A \rangle \simeq A_4$ и содержит 7 подполей порядка p^2 .

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314). Автор выражает благодарность научному руководителю Ольге Вадимовне Кравцовой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hughes D. R., Piper F. C. Projective planes. Springer-Verlag New-York Inc., 1973.
- [2] Кравцова О.В. Изв. вузов. Матем., № 9, С. 10-25 (2016).

Алгоритмы моделирования сетевых графиков проектов для задачи календарного планирования

Пастушенко А.В.

Институт математики и фундаментальной информатики

Задача календарного планирования проектов с ограниченными ресурсами (RCPSP) относится к классу оптимизационных задач. Ее цель — разработать оптимальное расписание выполнения работ, исходя из заданных критериев. Важной областью исследования является создание генераторов сетей проектов и набора тестовых задач для анализа алгоритмов решения. Уже существующие генераторы и библиотеки тестовых задач [1] преимущественно ориентированы на задачи минимизации длительности проекта. Однако для активно развивающихся задач RCPSP с ограниченными ресурсами в денежной форме и критерием чистой приведенной стоимости NPV [2] не существует специализированных библиотек тестовых экземпляров.

Целью работы является разработка генераторов сетей проектов для задачи календарного планирования проектов с ограниченными ресурсами в денежной форме и критерием чистой приведённой стоимости NPV и создания библиотеки тестовых экземпляров задач для анализа эффективности методов и алгоритмов решения.

В качестве основы используется алгоритм генерации сети проектов типа AoN [3], на вход которого подаются число промежуточных работ, а также источник и сток. На основе базового алгоритма разработаны две модификации. В первой сохраняется заданная схема распределения вершин по уровням, однако число входящих дуг выбирается случайным образом, что позволяет получать сети различной плотности связей. Во второй вершины распределяются по уровням равномерно, а появление дуг между соседними уровнями определяется заданной вероятностью, что позволяет управлять топологической сложностью сети и варьировать степень взаимосвязанности работ.

Следующей частью работы является генерация длительности работ. Каждой работе сети назначается длительность случайным образом. Момент начала каждой работы определяется моментом завершения всех ее непосредственных предшественников. После этого выполняется их корректировка таким образом, чтобы итоговый проект удовлетворял ограничению на максимальную продолжительность.

Таким образом, в ходе работы были реализованы алгоритмы генерации сетевых графиков проектов типа AoN и алгоритм генерации длительностей работ. Перспективным направлением дальнейших исследований является моделирование потоков платежей.

Благодарности: Автор выражает благодарность соавторам работы: научному руководителю Семеновой Дарье Владиславовне, кандидату физико-математических наук, доценту кафедры высшей и прикладной математики СФУ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Kolisch R., Hartmann S. Project scheduling: Recent models, algorithms and application. Berlin: Springer, 1999.
- [2] Russell A. H. Cash Cows in networks. Management Science, P. 357-373 (1970).
- [3] Булавчук А.М., Семенова Д.В., Солдатенко А.А. ИТ. Наука. креатив: Материалы I Международного форума, Т. 5, С. 366-372 (2024).

Унификация в линейной модальной логике $LTL.sl$

Поляков А.А.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Одной из наиболее актуальных задач в области модальных логик уже продолжительное время является задача унификации. Большой интерес представляют задачи определения типа унификации в отдельно взятых логиках, поиска эффективных алгоритмов построения унификаторов и сопутствующие вопросы. Для их решения применяются различные подходы. Так, в [1] для модальной логики Alt_I была введена нестандартная семантика, основанная на кортежах из множеств пропозициональных переменных, с помощью которой был составлен алгоритм проверки унифицируемости формулы.

Доклад посвящён применимости данного подхода в случае временной логики $LTL.sl$, родственной модальной логике Alt_I , и тем не менее существенно от неё отличающейся — пока логика Alt_I характеризуется любыми нерефлексивными нетранзитивными линейными шкалами Крипке, $LTL.sl$ характеризуется исключительно сериальными шкалами того же вида — в них из каждого мира достижим один и только один следующий. Будет показана финитная аппроксимируемость такой логической системы, установлена эквивалентность семантики Крипке и семантики кортежей, а также доказана проективность унификации и, как следствие, унитарный тип унификации в логике $LTL.sl$.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Balbiani P., Tinchev T. Advances in Modal Logic, V. 11, P. 117-134 (2016).

О кластерной логике с точками-модераторами

Проценко Н.А.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Ранее мы рассматривали интервальные логики с ограничениями действия основных модальных операторов до границы интервала [1]. В дальнейшем при исследовании мультизначенных моделей мы перешли к изучению $MLinML_N$ логик [2]. Для обеих этих логик было доказано, что они разрешимы.

На данный момент остается открытым широкий круг вопросов, в том числе проблемы унификации и допустимости для этих логик.

В данной работе мы переходим к исследованию проблемы разрешимости для логики $L_{N,R}^{Ac+Cl}$, в основе которой находится линейная кластерная структура с отдельными точками-модераторами. Она включает в себя операторы типа NextTime (Завтра) и Previously (Вчера). Оператор Next устроен следующим образом: если текущий момент является точкой-модератором, то следующими моментами времени (достижимыми) являются все состояния в ближайшем кластере. Формула $Next\phi$ истинна в текущий момент тогда и только тогда, когда ϕ истинна хотя бы в одном состоянии следующего кластера. Если текущий момент состояние кластера, то следующим моментом является ближайшая точка-модератор на временной шкале. Точки между кластерами связаны отношением линейного порядка.

В докладе будет представлено семантическое построение данной логической системы, а также обсуждены результаты исследования разрешимости.

Благодарности: Работа поддержана Российским научным фондом и Красноярским краевым фондом науки, проект № 25-21-20011, <https://rscf.ru/project/25-21-20011/> Автор выражает благодарность научному руководителю Рыбакову Владимиру Владимировичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Protsenko N.A., Rybakov V.V., Rimatskiy V.V. The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics, V. 44, № 2, P. 98-107 (2023).
- [2] Protsenko N.A., Rybakov V.V. Siberian Electronic Mathematical Reports, V. 22, № 2, P. 1154-1163 (2025).

Подгруппы аддитивной группы поля, замкнутые относительно взятия обратного элемента по умножению

Сенько В.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В [1] при описании групп, лежащих между группами Шевалле над несовершенными полями характеристики 2, возникали аддитивные подгруппы основного поля коэффициентов со следующими условиями:

А) A — подгруппа аддитивной группы поля F , содержащая его единицу 1;

Б) $a^{-1} \in A$ для любого ненулевого элемента $a \in A$;

В) A — линейное пространство над подполем K поля F , для которого F — его алгебраическое расширение.

Примеры аддитивных подгрупп с условиями А)–В), которые не являются полями, указаны в [2]. Там же, используя эти примеры, построены простые бесконечные группы, параметризуемые двумя подгруппами аддитивной группы несовершенного поля характеристики 2, очень похожие по свойствам на группы Шевалле типа B_n или C_n при любом $n \geq 2$, но не изоморфные им.

Основными результатами являются следующие две теоремы.

Теорема 1. Пусть A — подгруппа аддитивной группы поля F , причем для A выполняются условия А) и Б). Тогда:

1) $A^2A \subseteq A$;

2) если $\text{char}(F) \neq 2$, то A — подполе поля F ;

3) если $\text{char}(F) = 2$, то A — линейное пространство над B^2 , где B — минимальное подполе, содержащее A и $B^2 = \{b^2 | b \in B\}$.

Теорема 2. Пусть A — минимальная подгруппа аддитивной группы поля F характеристики 2, содержащая элементы $1, x_1, \dots, x_n$ и удовлетворяющая условиям А) и Б), тогда A — линейное пространство, порожденное $\{1, x_1, \dots, x_n\}$ над полем $\mathbb{Z}_2(x_1^2, x_2^2, \dots, x_n^2)$.

Теорема 1 описывает подгруппы аддитивной группы поля F , удовлетворяющие условиям А) и Б). Теорема 2 характеризует минимальные по включению подгруппы с условиями А) и Б) и содержащие заданный конечный набор элементов в случае, когда $\text{char } F = 2$.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Нужин Я.Н. Сиб. матем. журн., Т. 54, № 1, С. 157-162 (2013).

[2] Нужин Я.Н., Степанов А.В. Алгебра и анализ, Т. 31, № 4, С. 198-224 (2019).

Метод проектирования оптимальной сети Интернета вещей на трехмерной модели здания с использованием меметического подхода

Сиротинин А.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В работе рассматривается задача автоматизированного проектирования гибридной беспроводной сенсорной сети (БСС) для технологии Интернета вещей (IoT). Актуальность работы обусловлена необходимостью обеспечения стабильной работы сетей СВЧ-диапазона в условиях сложной архитектуры зданий, где материалы стен и перекрытий вносят существенное затухание. Целью исследования является разработка метода и программного комплекса для оптимальной расстановки точек доступа (хабов) на трехмерной модели здания, комбинирующего стандарты Wi-Fi (для базовой инфраструктуры) и ZigBee (для энергоэффективной сети датчиков).

Задача оптимизации является многокритериальной и заключается в максимизации уровня мощности сигнала (RSS) во всех точках пространства, минимизации затрат на оборудование и коммуникации, а также минимизации интерференции между точками доступа [1]. Для учета влияния строительных конструкций используется дополненная модель Мотли-Кинана [2], позволяющая рассчитывать затухание сигнала с учетом количества и типов стен, а также межэтажных перекрытий.

Для решения поставленной задачи разработан программный комплекс, включающий три модуля: графический модуль предобработки планов этажей (для автоматического формирования матриц препятствий и расстояний), вычислительный модуль и модуль формирования отчетов. Вычислительное ядро реализует меметический подход, сочетающий глобальный поиск на основе классического генетического алгоритма (турнирный отбор, скрещивание, мутация) с последующими алгоритмами локального поиска (имитация отжига и градиентный спуск) для уточнения квазиоптимальных решений. Хромосома представлена бинарным вектором, кодирующим наличие хабов в дискретных ячейках трехмерной модели здания.

Апробация работы выполнена на двух зданиях различной конфигурации. Разработанный программный комплекс позволяет не только проектировать новые сети, но и оптимизировать существующие, например, после перепланировки помещений, что подтверждает его практическую значимость.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Zhang Y., Wang F., Shen Y. et al. Information Computing and Applications: Second International Conference, Qinhuangdao, China. Proceedings, Part I 2, P. 458-465 (2011).
- [2] Сиротинин А.А., Володько О.С. Информационные и математические технологии в науке и управлении, № 2 (34), С. 135-143 (2024).

Почти простые группы с цоклом $\text{PSL}(3, 2^n)$ как струнные С-группы

Скобелев К.В.

Институт математики и фундаментальной информатики СФУ

Определение 1. Группа, порождённая инволюциями $\{\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}\}$ называется С-группой, если:

$$\forall J, K \subseteq \{0, 1, \dots, n-1\}, \langle \rho_j \mid j \in J \rangle \cap \langle \rho_k \mid k \in K \rangle = \langle \rho_i \mid i \in J \cap K \rangle.$$

Определение 2. С-группа, порожденная множеством инволюций $\{\rho_0, \rho_1, \dots, \rho_{n-1}\}$ называется струнной С-группой, кратко n -струнной или просто струнной, если:

$$(\rho_j \rho_k)^2 = 1 \quad \forall j, k \in \{0, 1, \dots, n-1\}, \text{ при } |j-k| \geq 2.$$

Определение 3. Группа называется простой, если она не имеет нетривиальных нормальных подгрупп.

Определение 4. Группа M называется почти простой, если $G \leq M \leq \text{Aut}(G)$, где G — конечная простая неабелева группа. В этом случае подгруппа G называется цоклом группы M .

Д. Лиманс в обзорной статье [1] сформулировал следующую проблему.

Проблема. Определить максимальный ранг представления группы G как струнной С-группы, где

$$\text{PSL}(3, q) \leq G \leq \text{Aut}(\text{PSL}(3, q)).$$

В настоящей работе рассматривается задача о том, какие почти простые группы с цоклом $\text{PSL}(3, 2^n)$ допускают представление в виде струнных С-групп. Получены следующие результаты.

Теорема 1. Пусть δ — графовый автоморфизм группы $\text{SL}(3, 2^n)$. Тогда группа $\text{SL}(3, 2^n) \rtimes \langle \delta \rangle$ является 3-струнной и 4-струнной.

Лемма 1. Класс n -струнных групп замкнут относительно гомоморфных образов.

Объединяя теорему 1 и лемму 1, получаем следующий результат, который дает частичный ответ на указанную выше проблему Д. Лиманса.

Теорема 2. Пусть δ — графовый автоморфизм группы $\text{PSL}(3, 2^n)$. Тогда группа $\text{PSL}(3, 2^n) \rtimes \langle \delta \rangle$ является 3-струнной и 4-струнной.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314). Автор выражает благодарность профессору Я. Н. Нужину за постановку задачи.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Leemans D., Contemporary Mathematics, V. 764, P. 157-178 (2021).

Разработка модели адаптивного управления светофорными объектами на основе марковских процессов принятия решений

Тисленко Т.И.

Институт математики и фундаментальной информатики ИМиФИ, СФУ

В работе представлены результаты разработки программного комплекса MARLIN24, предназначенного для адаптивного управления светофорными объектами [1]. Архитектура комплекса включает функциональные модули: имитационного моделирования транспортных потоков, адаптивного управления, валидации и визуализации. Модуль имитационного моделирования воспроизводит движение автомобилей на дорожной сети с использованием модели «разумного водителя» (IDM) [2] и требует данных об интенсивности входных потоков. Модуль адаптивного управления формирует решения по переключению светофоров на основе состояния потоков и данных детекторов. В MARLIN24 предусмотрена имитация показаний оптических датчиков полос (Рис. 1) с помощью модуля валидации, предназначенного для численного моделирования зависимых случайных величин, описывающих интенсивность движения.

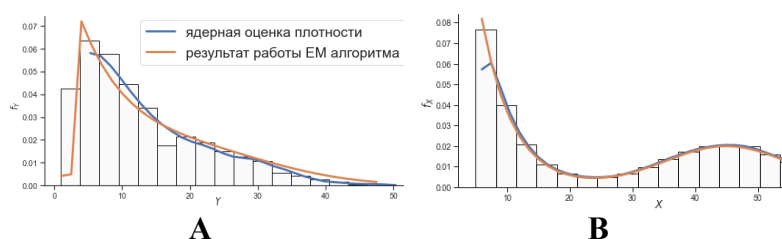


Рис. 1. Оценки плотностей маргинальных плотностей для полосы А и В.

Использование модуля увеличивает объём выборки (Рис. 2) при вычислительных экспериментах, за счет варьирования параметров копулы Маршалла–Олкина [3].

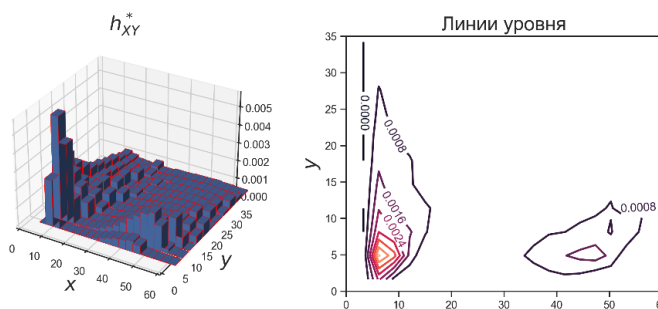


Рис. 2. Эмпирическая функция плотности распределения, построенная с использованием копулы Маршалла–Олкина с параметрами $\underline{\theta} = \left(\frac{9}{10} \frac{1}{4}\right)$.

Благодарности: Работа поддержана Красноярским математическим центром, финансируемым Минобрнауки РФ (Соглашение № 075-02-2026-1314). Автор выражает благодарность научному руководителю: к.ф.-м.н., Семеновой Дарье Владиславовне.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тисленко Т.И., Семенова Д.В. УБС, Вып. 115, С. 298-323 (2025).
- [2] Treiber M., Hennecke A., Helbing D. Transp. Phys. Rev. E., V. 62, P. 1805-1824 (2000).
- [3] Marshall A.W., Olkin I. Journal of the American Statistical Association, V. 83, №. 40, P. 834-841 (1988).

Нейросетевая модель прогнозирования интегральных параметров течения наномодифицированных буровых растворов в кольцевом канале

Шебелев А.В., Филимонов С.А., Минаков А.В.
Сибирский федеральный университет

Процесс бурения нефтегазовых скважин сопровождается формированием шлама – твёрдых частиц разрушенной породы, которые необходимо эффективно выносить на поверхность. Традиционные методы расчёта требуют значительных вычислительных ресурсов, что затрудняет оперативную оптимизацию параметров бурения.

В работе рассматривается задача о течении бурового раствора в эксцентричном кольцевом канале с вращающейся внутренней трубой (рис. 1А). Система описывается девятью управляющими параметрами: расходом Q , диаметром частиц шлама d , типом добавки, скоростью вращения ω , углом наклона α , концентрацией шлама C , эксцентриситетом Ecc , отношением диаметров d_2/d_1 и концентрацией нанодобавки n_{cs} .

На основе серии численных расчётов (159 вариантов), используя одножидкостную модель смеси [1] построена корреляционная матрица Пирсона (рис. 1В), позволившая выделить семь значимых параметров. Анализ показал, что на перепад давления Δp преимущественно влияют отношение диаметров и эксцентриситет, тогда как коэффициент выноса шлама Cd/Ca чувствителен прежде всего к углу наклона скважины.

Данные нормализованы методом MinMax. Разработана трёхслойная полносвязная нейронная сеть с функцией активации ReLU, обученная на фреймворке PyTorch [2]. Архитектура сети: входной слой (7 нейронов), два скрытых слоя (по 64 и 32 нейрона), выходной слой (2 нейрона). Оптимизация выполнялась методом SGD с MSE-функцией потерь на протяжении 20 000 эпох.

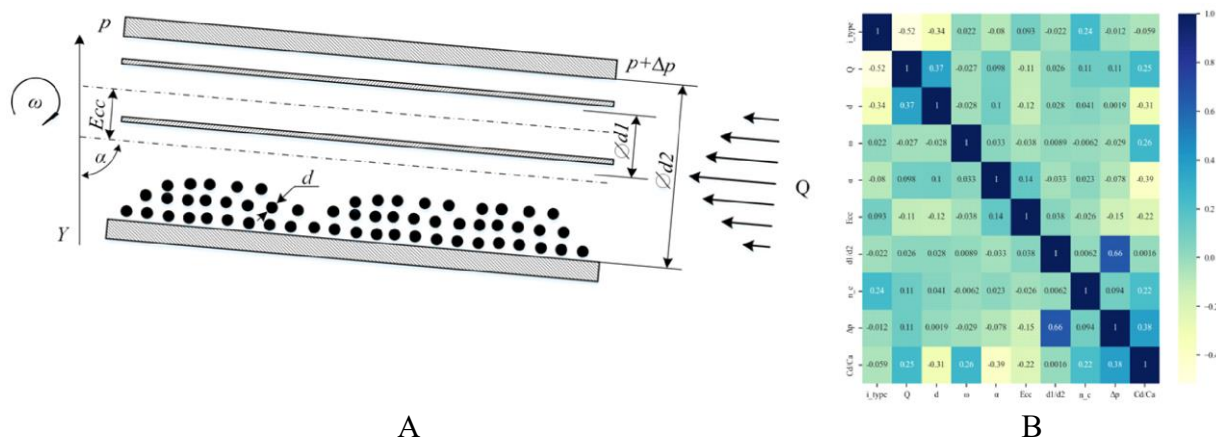


Рис. 1. А – постановка задачи о течении в кольцевом канале; В – матрица корреляций управляющих параметров.

Обученная модель достигла точности предсказаний 89,5 % при отсутствии переобучения (контрольная точность стабилизировалась к 11 000-й эпохе). Реализован механизм ранней остановки с сохранением весов модели максимальной точности.

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-79-30022.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гаврилов А.А., Шебелев А.В. Известия РАН. Механика жидкости и газа, № 2, С. 84-98 (2018).
- [2] Paszke A. et al. NIPS-W, P.1-4 (2017).

Разработка математической модели микрофлюидных тензиометров для измерения коэффициента межфазного натяжения нефтепромысловых жидкостей

Шебелев А.В., Лобасов С. А., Минаков А. В.

Сибирский федеральный университет

Измерение коэффициента межфазного натяжения (КМН) критично для нефтепромысловой химии и физики пласта. Традиционные методы (висящая капля, кольцо Дю-Нуи) требуют больших объёмов пробы и времени. Микрофлюидика открывает путь к экспресс-анализу малых объёмов (Lab-on-a-Chip), однако требует точного математического моделирования для верификации геометрии.

В качестве основного инструмента исследования выбран VOF–метод [1] (Volume of Fluid), позволяющий моделировать несмешивающийся многокомпонентный поток жидкость-жидкость. Метод решает уравнения импульса и использует объёмную долю каждой фазы для определения пространственного распределения фаз в пределах расчётной области. Для учёта сил поверхностного натяжения применён CSF–алгоритм [2] (Continuum Surface Force) с введением дополнительной объёмной силы $F_s = \sigma k \nabla F$. Здесь σ — коэффициент поверхностного натяжения, k — кривизна свободной поверхности.

Исследованы различные конфигурации микроканалов: Т-образные соединения, змеевиковые структуры с поперечными соединениями и внезапным расширением, крестообразные пересечения. В качестве рабочих жидкостей использовались системы вода-масло и вода+SDS 0.1%-масло.

Разработана и верифицирована математическая модель микрожидкостного тензиометра для измерения коэффициента межфазного натяжения нефтесодержащих жидкостей. Модель сочетает теоретические, вычислительные и экспериментальные подходы, обеспечивая высокую точность измерений при минимальных объёмах пробы. Полученные результаты могут быть использованы при разработке новых микротензиометров и проектировании микрожидкостных систем для оперативного контроля эффективности ПАВ в нефтедобывающей промышленности.

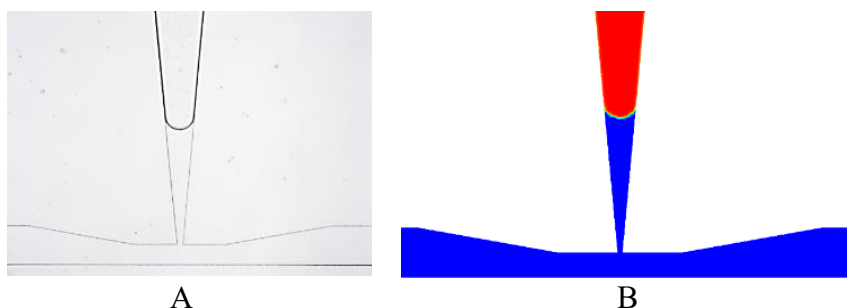


Рис. 1. Образование мениска жидкости в подводном канале Т-образного соединения при давлении 737 Па: А — эксперимент В — расчет.

Как видно из представленных данных (рис. 1), результаты расчёта и эксперимента согласуются с достаточно высокой степенью точности.

Благодарности: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (FSRZ-2020-0012).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hirt C.W., Nichols B.D. Journal of Computational Physics, V.39, P. 201-226 (1981).
- [2] Brackbill J.U., Kothe D.B., Zemach C. Journal of Computational Physics, V. 100, P. 335-354 (1992).

Приближенное решение для дальних областей турбулентного слоя смешения

Юргенсон К.С.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

Для описания течения в дальних областях турбулентного слоя смешения привлекается k - ε модель турбулентности [1]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} &= 0, \\ U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \frac{\partial U}{\partial y} \right), \\ U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{C_\mu}{\sigma_k} \frac{k^2}{\varepsilon} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - \varepsilon, \\ U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} &= \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{C_\mu}{\sigma_\varepsilon} \frac{k^2}{\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + C_{\varepsilon 1} C_\mu k \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k},\end{aligned}\tag{1}$$

где x — переменная, вдоль которой преимущественно развивается слой смешения, y — поперечная координата, U — продольная компонента скорости осредненного движения, V — поперечная компонента скорости осредненного движения, k — кинетическая энергия турбулентности, ε — скорость диссипации кинетической энергии турбулентности, $C_{\varepsilon 1}$, $C_{\varepsilon 2}$, σ_k , σ_ε , C_μ — эмпирические постоянные.

Получена автомодельная редукция уравнений (1) к системе обыкновенных дифференциальных уравнений. С помощью процедуры сшивания [2-4] асимптотического разложения решения редуцированной системы обыкновенных дифференциальных уравнений на границе слоя смешения со степенным разложением решения на его оси построено приближенное решение соответствующей краевой задачи. Сравнение построенного в виде усечений рядов Пьюизё приближенного решения и численного решения, полученного с помощью модифицированного метода стрельбы, показывает, что максимальная относительная погрешность между ними не превышает 1%. Проведено сопоставление приближенного решения с доступными экспериментальными данными [5], получено удовлетворительное соответствие.

Благодарности: Автор выражает благодарность научному руководителю Шмидту Алексею Владимировичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Launder, B.E.; Spalding, D.B. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. V. 3, № 2, P. 269-289 (1974).
- [2] Шмидт А.В. ПМТФ, № 6, С. 53-59 (2023).
- [3] Shmidt A.V. J. SFU Math. & Phys., V. 17, № 2, P. 229-237 (2024).
- [4] Шмидт А.В. Материалы докладов V Конференции математических центров России, С. 155-161 (2025).
- [5] Гарбарук А.В. Курс лекций «Моделирование турбулентности». Лекция 7 «Свободные сдвиговые течения».

Методологический подход к анализу и визуализации данных DDoS-атак по протоколу DNS

Юров А.Р.

Институт вычислительного моделирования СО РАН

В условиях современной цифровизации атаки типа «отказ в обслуживании» (DDoS), нацеленные на инфраструктуру DNS, становятся критической угрозой для функционирования интернет-сервисов. Исследование направлено на решение проблемы отсутствия систематизированных методических подходов к анализу дампов DNS-трафика для образовательных и научно-прикладных задач.

Основные аспекты исследования:

Методология анализа: Предложен пятиэтапный процесс, включающий системный сбор данных, предварительную очистку (фильтрация дубликатов и нормализация), статистический анализ, визуализацию и интерпретацию результатов.

Инструментарий: в ходе сравнительного анализа систем *Yandex DataLens*, *Grafana* и *Apache Superset* для исследовательских задач был выбран *Apache Superset*. Ключевым преимуществом стала гибкость модуля SQL Lab, позволяющего проводить глубокий анализ через произвольные SQL-запросы для выявления новых паттернов атак.

Апробация: Метод протестирован на реальном дампе трафика объемом более 429 млн записей, содержащем атаку типа *DNS Amplification* (май–июнь 2024 г.).

Визуализация: Разработаны специализированные дашборды, отображающие динамику ежедневных запросов и *RPS* (Рис. 1), распределение типов запросов (*A*, *TXT*, *ANY*), топ-20 атакующих IP-адресов и почасовые профили нагрузки.

Результатом исследования стала формализация эвристических критериев аномальности трафика и создание масштабируемого программного обеспечения на базе *Node.js* для первичной обработки больших массивов сетевых данных. Предложенный подход позволяет существенно сократить разрыв между теорией и практикой в подготовке специалистов по сетевой безопасности.



Рис. 1. Ежедневные запросы и RPS.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Исаев С. В., Кононов Д. Д. Сибирский аэрокосмический журнал, Т. 23, № 4, С. 593-601 (2022).
- [2] Смирнов А.А., Иванов В.И. Защита от DDoS-атак: современные методы и средства. М.: ДМК Пресс, 2020.
- [3] The Apache Software Foundation. Apache Superset Documentation. — 2025. - URL: <https://superset.apache.org/> (дата обращения: 02.02.2026).

Секция «Школы РАН»

Азопроизводные лигнина как поверхностно-активные вещества для подавления угольной пыли

Авулова Д.А.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Угольная пыль является одним из наиболее опасных факторов в горнодобывающей промышленности, вызывая взрывы, профессиональные заболевания и нанося урон окружающей среде. Эффективным методом борьбы является гидрообеспыливание с использованием водных растворов поверхностно-активных веществ (ПАВ). Перспективной альтернативой синтетическим ПАВ выступает лигнин – крупнотоннажный возобновляемый полимер, который является компонентом древесины. Однако лигнин не растворим в воде, и требуется его химическая модификация. Цель работы – оценить применимость азопроизводных лигнина в качестве ПАВ для подавления угольной пыли.

Синтез азопроизводного лигнина проводили реакцией азосочетания с сульфаниловой кислотой по ранее разработанным методам [1, 2]. На первом этапе осуществляли диазотирование сульфаниловой кислоты с получением катиона сульфодиазония. Полученный раствор по каплям добавляли к щелочному раствору этаноллигнина сосны при 0-5°C для азосочетания. Продукт очищали методом диализа. Успешность модификации подтверждена элементным анализом: в образце значительно возросло содержание серы и азота, что соответствует введению сульфогрупп и азогрупп.

Смачивающую способность исследовали методом капиллярного впитывания в угольную пыль. Сравнивали 1 и 2 % растворы синтезированного азопроизводного лигнина и лаурилсульфата натрия. Лаурилсульфат натрия эффективно смачивает угольную пыль, в то время как растворы модифицированного лигнина не проявили поверхностно-активных свойств и не смачивали уголь. Отсутствие эффекта объясняется особенностями строения макромолекулы лигнина, где гидрофильные фрагменты ориентируются хаотично, не создавая гидрофобной области для снижения поверхностного натяжения (рис. 1). Такая модификация лигнина не обеспечивает требуемых поверхностно-активных свойств. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию структуры, расширение диапазона исследуемых концентраций.

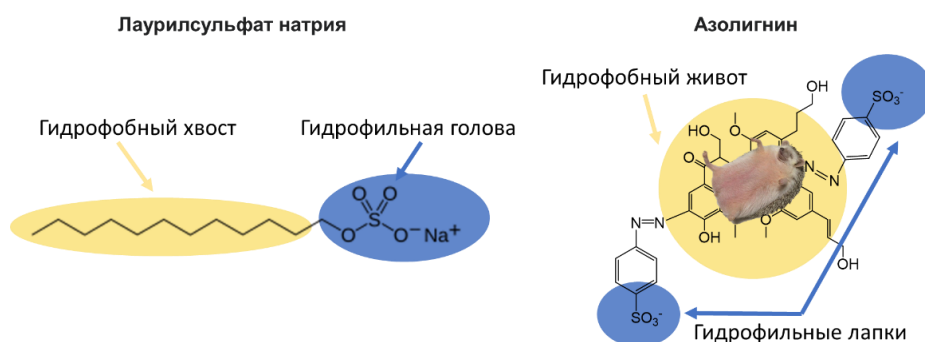


Рис. 1. Сравнение структур ПАВ – лаурилсульфата натрия и азопроизводного лигнина.

Исследование выполнено под руководством Михейкиной А.А. и Голубкова В.А. Автор выражает благодарность к.х.н. Фетисовой О.Ю. за проведение элементного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Golubkov, V.A., Borovkova, V.S., Lutoshkin, M.A., Nikolay A. Zos'ko, Natalya Yu. Vasilieva & Yuriy N. Malyar. Wood Science and Technology. V.58, PP. 1861–1879 (2024).
- [2] Голубков В.А., Сиделева А.Р., Михейкина А.А., Танаева А.С., Смирнова М.А., Новикова С.А., Маляр Ю.Н., Таран О.П. Химия растительного сырья, № 4., С. 444-455 (2025).

Оценка влияния субстрата для культивирования *Medusomyces gisevii* на антибактериальные свойства его культуральной жидкости

Болтаевская Е.¹, Иванова Т.¹, Мартыанова С.¹, Медведева А.¹,
Меньшикова Д.¹, Русяев С.¹, Сапожникова К.Ю.^{1,2}

¹МАОУ "Гимназия №13 "Академ", Красноярск, Россия;

²Институт Биофизики ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия

Чайный гриб (медузомицет, *Medusomyces gisevii*) – это природный симбиотический консорциум дрожжеподобных грибов и бактерий, образующий на поверхности сбраживаемых питательных растворов толстую слоисто-аморфную пленку [1]. Как известно, культуральная жидкость чайного гриба обладает антимикробными свойствами и проявляет активность против широкого спектра патогенов (грамположительных и грамотрицательных) [2]. Актуальность исследования антибактериальной активности чайного гриба продиктована потребностью в альтернативных противомикробных агентах для терапии различных инфекций [3]. Цель работы заключалась в оценке влияния углеродного субстрата, используемого для культивирования *Medusomyces gisevii*, на антибактериальную активность культуральной жидкости.

Культуру *Medusomyces gisevii* выращивали в стеклянных сосудах объемом 3 л (объем питательной среды – 1 л) 14 сут. на различных субстратах: черный чай сорта ассам (контроль, 10 г/л), зеленый чай сорта улун (10 г/л), настой ромашки (10 г/л), фруктовые соки (яблочный) с добавлением сахара и без. Содержание сахаров во всех субстратах составило 110 г/л. Определяли сырую массу медузомицета, pH среды. Антибактериальную активность в отношении *Micrococcus luteus* и *Escherichia coli* определяли модифицированным диско-диффузионным методом, нагружая диски культуральной жидкостью [4].

Наибольший прирост сырой массы медузомицета ($24,6 \pm 1,5$ г/л) получен при использовании классического субстрата (черный чай), на альтернативных субстратах – значимо ниже (от $5,2 \pm 1,1$ до $15,4 \pm 1,2$ г/л, $p \leq 0,05$). Кислотность среды значимо не отличалась ($p > 0,05$) и составила 3,0–4,0. Установлено, что антибактериальная активность культуральной жидкости *Medusomyces gisevii* зависит от субстрата, используемого для культивирования: в отношении *M. luteus* значимое ($p \leq 0,05$) повышение этого показателя относительно контроля отмечено при использовании зеленого чая в качестве субстрата (зона задержки роста $13,7 \pm 1,9$ мм); в отношении *E. coli* все альтернативные субстраты позволили достичь более высоких показателей (от $16,0 \pm 0,8$ до $20,7 \pm 0,7$ мм) в сравнении с контролем ($12,2 \pm 0,7$ мм).

Таким образом, замена классического субстрата (черный чай) на альтернативные (зеленый чай, настой ромашки, фруктовые соки) для культивирования *Medusomyces gisevii* приводит к снижению скорости роста культуры, но позволяет повысить антибактериальную активность культуральной жидкости. Максимальная эффективность против *E. coli* зафиксирована при использовании настоя ромашки; против *M. luteus* – при использовании зеленого чая.

Авторы выражают благодарность научному консультанту: к.б.н., Смольниковой Марине Викторовне (НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Адиатуллина, И.Н., [и др.]. Вест. ПНИПУ. № 2., С. 5-17 (2023).
- [2] Кароматов, И.Д. European Science Review. № 3-4., С. 47-49 (2014).
- [3] Халимова, Ф.Т., [и др.]. Биология и интегративная медицина. №. 6(71)., С. 372-417 (2024).
- [4] Прудникова С.В. [и др.]. Микробиология: учебно-методическое пособие для лабораторного практикума (2018).

Синтез супрамолекулярных самосборок меламина и барбитуровой кислоты с инкапсулированием азокрасителей

Бочкарева Е., Лазунов З., Мутовина В.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Супрамолекулярные соединения представляют собой структуры, образующиеся за счет нековалентных взаимодействий – водородных связей, электростатического притяжения и гидрофобных эффектов. Перспективным классом таких систем являются самосборки меламина и барбитуровой кислоты, обладающие биосовместимостью и способностью к контролируемому высвобождению молекул-гостей при изменении pH [1]. Цель работы – изучение инкапсулирования азокрасителя метилового оранжевого в супрамолекулярные сборки меламина и барбитуровой кислоты.

Синтез самосборок (МЕБА) проводили смешением водных растворов меламина и барбитуровой кислоты в одинаковой молярной концентрации. Для получения инкапсулированных форм в реакционную смесь добавляли метиловый оранжевый в различных количествах. Выпавший осадок отделяли центрифугированием, трижды промывали дистиллированной водой и высушивали на воздухе. Визуально заметно, что с увеличением концентрации красителя окраска осадка меняется от белой до ярко-розовой, что свидетельствует о включении метилового оранжевого в структуру МЕБА.

Количественное определение доли инкапсулированного красителя проводили методом спектрофотометрии на спектрофотометре «Эковью» УФ-6900. Поскольку метиловый оранжевый является кислотно-основным индикатором и его спектр зависит от pH, калибровочный график строили в 0,1 М растворе NaOH – в той же среде, где в дальнейшем растворяли синтезированные сборки. Получена линейная градуировочная зависимость поглощения от концентрации метилового оранжевого. Образцы МЕБА с инкапсулированным красителем растворяли в 0,1 М NaOH и регистрировали спектры поглощения (рис. 1). Расчет по калибровочному графику показал, что доля инкапсулированного метилового оранжевого в синтезированных сборках составила менее 1%. Необходима оптимизация условий синтеза (соотношения реагентов, pH, времени выдерживания) для увеличения выхода инкапсулированной формы

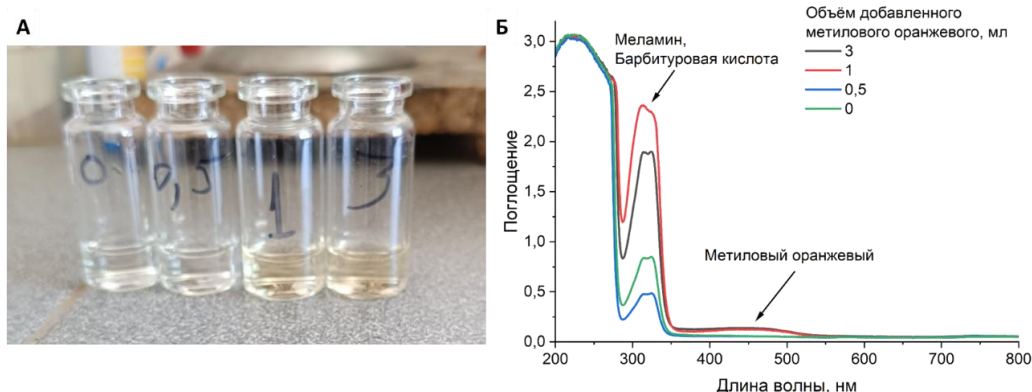


Рис. 1. А – Фотография растворённых самосборок с различным количеством метилового оранжевого; Б – Спектры растворённых самосборок.

Авторы выражают благодарность научному руководителю Голубкову Виктору Александровичу.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Timralieva A. A., Moskalenko I. V., Nesterov P. V., Shilovskikh V. V., Novikov A. S., Konstantinova E. A., Kokorin A. I., Skorb E. V., ACS Omega, V.8, PP. 8276–8284. (2023).

Анализ характера питания и уровня двигательной активности подростков города Красноярска

*Бушина В.¹, Потехина У.¹, Исмагилов А.¹, Афоничева К.В.^{1,2},
Смольникова М.В.^{1,2}*

¹МАОУ "Гимназия №13 "Академ"

*²Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера –
обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской
академии наук»*

Современные тенденции ухудшения здоровья подростков в значительной степени связаны с нарушением структуры питания и снижением уровня двигательной активности. В условиях урбанизированной среды эти факторы приобретают особое значение, однако региональные особенности пищевого поведения и физической активности подростков Сибири остаются недостаточно изученными. Целью работы была оценка характера питания и уровня повседневной физической активности подростков, обучающихся в 8–11 классах гимназии №13 «Академ» г. Красноярска, с использованием адаптированных международных опросников.

В исследовании приняли участие 56 учащихся в возрасте $15,7 \pm 2,5$ года. Для оценки структуры питания применялись адаптированные русскоязычные версии опросников Short Food Frequency Questionnaire (SFFQ) [1] и Nutrition Questionnaire for Adolescents (NQA) [2], для оценки двигательной активности – The Physical Activity Questionnaire for Adolescents (PAQ-A) [3]. Адаптация включала культурно-ориентированную модификацию продуктов, исключение вопросов о табаке и алкоголе. Сбор данных проводился с помощью платформы Google Forms, статистический анализ – в MS Excel.

По результатам SFFQ установлено, что 35% респондентов покупают еду на вынос в ресторанах быстрого питания два и более раз в неделю. Более 42% подростков пропускают завтрак три и более раз в неделю. Выявлено высокое потребление продуктов, содержащих простые углеводы: торты и пирожные на прошлой неделе употребляли 68% опрошенных. Напитки с кофеином ежедневно употребляют 57% опрошенных. Установлено, что 22% подростков за последний год прибегали к экстремальным методам снижения массы тела (с помощью рвоты или таблеток), 54% отмечают проблемы с аппетитом, 42% обеспокоены собственным весом. При этом 35% респондентов ужинают в кругу семьи четыре и более раз в неделю.

При оценке характера пищевого поведения с использованием NQA показано, что 63% подростков принимают пищу три раза в день, 42% – пять раз (3 основных приема и 2 перекуса). Использование телефона во время еды отмечено у 74% респондентов, причём большинство (68%) указали, что перед экраном цифрового устройства им требуется больше еды для достижения чувства насыщения. Выявлено, что 52% учащихся либо не едят пищу в школе, либо ограничиваются закусками из буфета.

Анализ физической активности (PAQ-A) выявил низкий уровень двигательной активности: 46% подростков проявляют физическую активность после школы 1 раз в неделю, 40% никогда занимаются спортом по вечерам, 78% не имеют физической активности по вечерам, а 43% не занимаются спортом и другой двигательной активностью в выходные дни. Показано проявление гендерных различий: так, диетические ограничения чаще отмечали девушки, тогда как занятия профессиональным спортом и более высокий уровень физической активности – юноши.

Полученные данные подтверждают гипотезу о наличии половозрастных особенностей пищевого поведения и недостаточного уровня двигательной активности у

современных подростков. Структура рациона характеризуется избыточным потреблением фастфуда, сладких продуктов и кофеина, дефицитом овощей и фруктов, нерегулярным приёмом пищи, особенно завтрака. Высокая распространённость использования гаджетов во время еды связана с нарушением регуляции насыщения. Низкая физическая активность отмечается и на уроках физкультуры, и в свободное время. Выявленные экстремальные способы достижения контроля над весом требуют особого внимания в рамках профилактической работы.

Результаты исследования имеют практическую значимость для планирования программ здорового образа жизни в образовательных учреждениях, оптимизации школьного питания и разработки материалов о пользе ведения здорового образа жизни для родителей и обучающихся.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cleghorn C.L., Harrison R.A., Ransley J.K., Wilkinson J.C., Thomas J., Cade J.E. Can a dietary quality score derived from a short-form FFQ assess dietary quality in UK adult population surveys? *Public Health Nutrition*. 2016;19(16):2915-2923. DOI: 10.1017/S1368980016001099.
- [2] Rockett H.R., Breitenbach M., Frazier A.L., Witschi J., Wolf A.M., Field A.E., Colditz G.A. Validation of a youth/adolescent food frequency questionnaire. *Preventive Medicine*. 1997;26(6):808-816. DOI: 10.1006/pmed.1997.0200.
- [3] Kowalski K.C., Crocker P.R.E., Kowalski N.P. Convergent validity of the Physical Activity Questionnaire for Adolescents. *Pediatric Exercise Science*. 1997;9(4):342-352. DOI: 10.1123/pes.9.4.342.

Комплексный анализ минеральной воды

Волкова Г.А., Шишкин А.М., Литвяк А.Д.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Минеральные воды традиционно применяются человеком в лечебных целях, однако рост техногенного загрязнения и общее ухудшение экологической обстановки ведут к снижению качества природных источников и диктуют необходимость более строгого контроля их состава [1-2].

Минеральные (лечебные) воды представляют собой подземные воды, чье терапевтическое действие обусловлено повышенным содержанием биологически активных компонентов, спецификой газового или общего ионно-солевого состава. Формируясь в результате сложных геохимических процессов в земной коре, они выходят на поверхность в виде источников либо извлекаются буровыми скважинами [3].

По медицинскому назначению воды делятся на два вида: питьевые и бальнеологические. Ведущими признаками при определении питьевых вод являются общая минерализация, ионный состав и (или) наличие биологически активных компонентов; бальнеологических вод - газовый состав, общая минерализация, биологически активные компоненты, физические факторы (температура, радиоактивность, реакция среды). По степени общей минерализации они делятся на воды слабой минерализации - 1-2 г/л, малой - 2-5 г/л, средней - 5-10 г/л, высокой - 10-35 г/л, рассолы - 35-150 г/л, крепкие рассолы - свыше 150 г/л. Воды слабой минерализации обычно относятся к столовым, поскольку лечебного действия они практически не оказывают; и только в том случае, если они содержат в повышенном количестве какой-либо специфический бальнеоактивный компонент, их можно отнести к лечебным. Воды малой и средней минерализации - от 2 до 10 г/л - относятся к лечебно-столовым и используются для внутреннего применения. Воды с более высокой минерализацией используются для наружного применения [4].

В рамках работы был проведен комплексный анализ образцов минеральной воды: «Вотжомі», «Нарзан», «Карачинская», «Ханкуль». Выполнены качественные реакции на содержание анионов (хлоридов, сульфатов, гидрокарбонатов), катионов (магния), а также измерено значение pH.

Результаты показали, что все исследуемые минеральные воды имеют щелочную или слабощелочную среду. Сульфаты обнаружены во всех образцах, кроме «Боржоми». Хлориды присутствуют во всех исследованных минеральных водах. Гидрокарбонаты в высоких концентрациях выявлены у «Нарзана» и «Боржоми». Содержание магния во всех образцах оказалось низким, что требует применения более чувствительных методов анализа для его точного определения.

В целом все исследованные образцы минеральной воды по основным показателям соответствуют характеристикам, заявленным производителями.

Благодарности: Авторы выражают благодарность научному руководителю Капаевой С.Н.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Малюкова Н. Н. Бишкек: КРСУ, С. 95-97 (2012).
- [2] Помеляйко И. С. Водные ресурсы, Т. 46, №. 2, С. 178-190 (2019).
- [3] Синдыхеева Н. Г. Современные проблемы ревматологии, №. 6, С. 39-49 (2014).
- [4] Ионов П. К Анапская региональная курортная ассоциация Анапский филиал Сочининского гос. ун-та туризма и курортного дела (2008).

Вольтамперометрическое определение бетулина и его производных в органических средах на твердых электродах

Волкова С.А.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Бетулин – природное органическое соединение, выделяемое из биомассы [1]. Он находит широкое применение в производстве БАДов. Одной из важных задач является контроль их чистоты. Большинство аналитических методов либо не справляются с этой задачей, либо слишком дорогостоящие. В этом может помочь вольтамперометрия. Бетулин плохо растворим в воде, поэтому с ним лучше работать в органических средах.

Цель работы: поиск оптимальных условий вольтамперометрической идентификации бетулина и его производных при совместном присутствии в неводных средах на твердых электродах.

Методом циклической вольтамперометрии установлены электрохимические характеристики бетулина и его производных: бетулиновой и бетулоновой кислот, ацетата бетулина, дифталата аллобетулина на Pt и СУ электроде в ацетонитиле. Показано, что для большинства наблюдаются процессы окисления и/или восстановления. Благодаря тому, что СУ электрод обладает наибольшим рабочим диапазоном, то в дальнейшем исследовании использовали его. На примере бетулина показано, что процесс диффузионно-контролируемый, что позволяет использовать СУ электрод в аналитических целях.

Для дальнейшего исследования смеси бетулина и его производных, как наиболее вероятных веществ, которые могут входить в состав исходного бетулина, использовались бетулиновая и бетулоновая кислота. Показана возможность их совместного определения из-за большой разницы редокс потенциалов.

Изучены редокс-свойства бетулина, бетулиновой и бетулоновой кислот с добавлением донора протонов. Методом электролиза при контролируемом потенциале (ЭКП) с последующей идентификацией полученных продуктов методом ВЭЖХ показано, что бетулин окисляется в бетулоновую кислоту, а затем, в присутствии протонов, восстанавливается до бетулиновой. Предложена редокс-схема.

Таким образом, изучены редокс-свойства бетулина и его производных в ацетонитриле на твердых электродах, показана возможность их совместного определения. Методами вольтамперометрии, ЭКП и ВЭЖХ установлено, что бетулин окисляется до бетулоновой кислоты, а её дальнейшее восстановление происходит с образованием бетулиновой кислоты.

Авторы выражают благодарность научному руководителю Зимонину Д.В. и Сычёву В.В. за проведение хроматографического анализа.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Г.А. Толстиков, О.Б. Флехтер, Э.Э. Шульц, Л.А. Балтина, А.Г. Толстиков // Химия в интересах устойчивого развития. – 2005. – Т. 13. – С. 1–30.

Утилизация отходов сахарного производства в твердые кислотные катализаторы для процессов гидролиза сахарозы

Вохидова Ю.Р., Троегубова П.А., Темкина А.Г.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Сахарная отрасль относится к материалоемким и энергоемким видам производства. При среднем выходе сахарозы (10-12%) к массе переработанной свеклы образуется около 83 % свекличного жома, и др. отходов, которые практически не утилизируются, что приводит к многотоннажному накоплению отходов.

Одним из перспективных методов утилизации сахарного жома может быть получение твердых кислотных катализаторов для гидролиза сахарозы в продукты с добавленной стоимостью (глюкозу и фруктозу).

Традиционно в процессе гидролиза используют коррозионно-активные и экологически опасные минеральные кислоты (серная, соляная), которые трудно выделить из реакционной среды. Использование твердых кислотных катализаторов решает задачу разделения продуктов и катализатора, а также повышает экологическую безопасность.

Целью данной работы является синтез твердых кислотных катализаторов из свекличного жома для процесса гидролиза сахарозы до глюкозы и фруктозы.

В качестве исходного сырья для получения катализаторов использовали коммерческий свекличный жом. Карбонизацию жома проводили в трубчатом реакторе (500 °C, 1 ч, Ar) (УМ). Модифицирование карбонизованного жома для создания кислотности проводили в колбе с обратным холодильником (200 °C, 10 ч, в конц. H₂SO₄) (модифицированный УМ). Гидролиз сахарозы проводили в колбе с обратным холодильником в жидкостном термостате при температуре 80 °C. Анализ продуктов реакции гидролиза проводили методом ВЭЖХ.

Установлено, что без катализатора и в присутствии карбонизованного углеродного материала (УМ) гидролиз сахарозы практически не идет (Рис.1). В присутствии модифицированного УМ H₂SO₄ полная конверсия сахарозы наступает за 160 мин эксперимента. Выход фруктозы и глюкозы составляет практически теоретический максимум 49 и 48 % мас. соответственно.

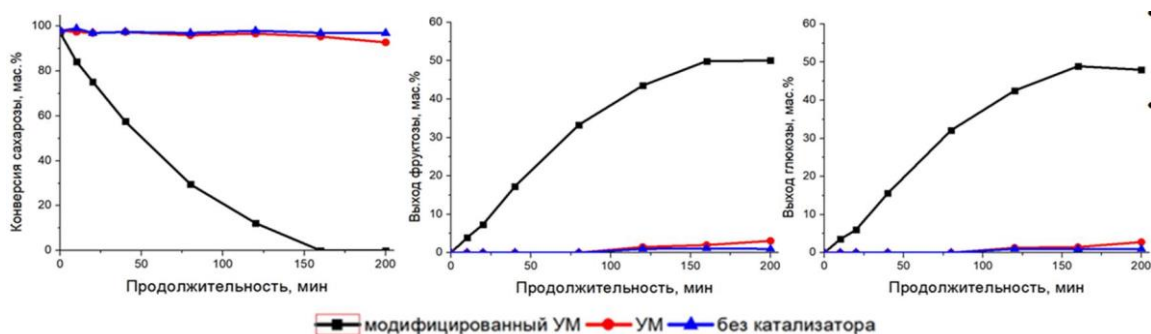


Рис.1. Кинетические кривые конверсии сахарозы и выходов фруктозы и глюкозы.

Предложено утилизировать отходы сахарного производства в экологически безопасные твердые кислотные катализаторы для гидролиза сахарозы до продуктов с добавленной стоимостью - фруктозы и глюкозы.

Моносахариды из сахарозы и твердые кислотные катализаторы из свекличного жома могут быть получены на сахарном производстве, что решит утилизацию отходов и повысит рентабельность производства.

Авторы выражают благодарность руководителю к.х.н., Скрипникову А.М.

Влияние фунгицида «бордоская смесь» на корневую систему растений пшеницы

Глебова К. А.¹, Жемкова А. А.¹, Зырянов М. А.¹, Зырянова М. А.¹,
Карпушкина К. Е.¹, Пак А. А.¹, Пятин С.А.^{1,2}

¹МАОУ "Гимназия №13 "Академ", Красноярск, Россия; ²Сибирский
федеральный университет, Красноярск, Россия

Современное сельское хозяйство зависит от применения фунгицидов различного химического состава. Одними из наиболее популярных и эффективных являются фунгициды на основе меди [1]. Примером такого фунгицида является фунгицид «бордоская смесь» в составе которого находятся такие химические соединения как сульфат меди и гидроксид кальция [2]. Несмотря на то, что эффективность данного типа фунгицида в защите растений от патогенных грибов доказана [3], а их токсичность в отношении человека и животных давно определена [4], исследований, посвящённых влиянию этого фунгицида на культурные растения, практически не проводилось.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния фунгицида «бордоская смесь» на корневую систему проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.). Все эксперименты проводились в условиях гидропонного культивирования. Были использованы концентрации фунгицида в 10 раз меньше рекомендованных производителем (0,1%; 0,25%; и 0,5%)

Наряду с классическими интегральными маркерами токсичности (длина корня и выход корневой биомассы) были оценены эффекты фунгицида «бордоская смесь» в системе пограничные клетки – корневая внеклеточная ловушка. Пограничные клетки учувствуют в защите корня от различных абиотических факторов, их количество и секреторная активность является важным показателем защищенности растения от неблагоприятных факторов [5].

В ходе работы было показано, что дозозависимые эффекты фунгицида «бордоская смесь» имели линейный характер для таких интегральных показателей токсичности, как активность прорастания и длина корня. Воздействие минимальной концентрации фунгицида (0,1%) приводит к уменьшению количества проросших зерновок и длины корня в 1,5 раза ($p < 0,05$). С увеличением концентрации фунгицида в среде культивирования эти показатели угнетаются в еще большей степени. Воздействие минимальной изученной концентрации (0,1%) приводило к резкому уменьшению сухой корневой биомассы в 4,6 раза ($p < 0,05$). При оценке эффектов фунгицида «бордоская смесь» относительно численности популяции пограничных клеток выявлено, что минимальная концентрация фунгицида приводит к увеличению количества пограничных клеток в 1,5 раза ($p < 0,05$) относительно контроля. Эти эффекты могут быть обусловлены включением адаптивных перестроек корневой системы растения, направленных на увеличение продукции пограничных клеток, в качестве защиты от проникновения химических соединений внутрь корня. Однако рост концентрации фунгицида в среде ожидаемо ингибировал продукцию пограничных клеток. Не смотря на то что при воздействии минимальной исследуемой концентрации фунгицида наблюдался рост количества популяции пограничных клеток, их секреторная активность была в 7 раз ниже ($p < 0,05$), чем в контрольных условиях культивирования.

Таким образом в настоящей работе было показано, что несмотря на широкое использование фунгицида «бордоская смесь» в качестве защиты от грибковых патогенов, данный фунгицид оказывает угнетающее действие на корневую систему защищаемого растения в целом и на процессы адаптации в частности.

Авторы выражают благодарность научному консультанту: к.б.н., Смольниковой Марине Викторовне (НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Калиновский, И. Н., Симоненкова, В. А. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, Т. 4 № 48, С. 161-164 (2014).
- [2] Ефремов, В. Н., [и др.]. (2019). Проблемы науки. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 150-летию Периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева и 60-летию Новомосковского института РХТУ им. Д.И. Менделеева, Т. 1, С. 6-15.
- [3] Плужникова, И. И., [и др.]. Достижения науки и техники АПК, Т. 30, № 1 С. 44-47 (2016).
- [4] Dalla Rosa, V. M., [et al.]. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, V. 12(4), PP. 470-474 (2017).
- [5] Hawes, M., [et al.]. Annual Review of Phytopathology, V. 54, PP. 143-161 (2016).

Ассоциация полиморфных вариантов генов *FTO*, *UCP3* и *MC4R* с избыточной массой тела у подростков

Деймунд Д.А.¹, Полуян Р.Д.¹, Дик Д.И.¹, Милейко А.Г.^{1,2}, Смольникова М.В.^{1,2}

¹МАОУ Гимназия №13 «Академ»,

² Научно-исследовательский институт медицинских проблем Севера –
обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный исследовательский центр
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии
наук»

Глобальный рост распространенности избыточного веса (ИВ) и ожирения, особенно среди подростков, представляет серьезную мировую проблему. Согласно оценке ВОЗ более 390 миллионов детей и подростков (5-19 лет) по всему миру имеют избыточный вес, распространенность которого резко возросла с 8% в 1990 году до 20% в 2022 году [1]. На текущий момент для борьбы с ИЗ и ожирением разрабатываются подходы, основанные на персонализированном питании, которые учитывают индивидуальные особенности человека [2]. Ключевая роль в этом вопросе отводится изучению генетических вариаций, влияющих на метаболизм [3].

Одним из условий создания такого подхода является изучение маркеров, связанных с изменениями метаболизма, включая полиморфные варианты гена белка, ассоциированного с жировой массой и ожирением (*FTO*), участвующего в контроле аппетита, разобщающего белка 3 (*UCP3*), ответственного за окислительное фосфорилирование в митохондриях и меланокортиновый рецептор 4 типа *MC4R*, являющимся ключевым звеном в контроле аппетита и энергического баланса [4,5].

Целью данной работы было выявить распространенность полиморфных вариантов rs9939609 гена *FTO* (A>T), rs1800849 гена *UCP3* (G>A) и rs17782313 гена *MC4R* (T>C) у подростков, определить связь представленных полиморфных локусов с избыточной массой тела и типом метаболизма. В исследование были включены 120 подростка, у которых были собраны образцы буккального эпителия, показатели индекса массы тела (ИМТ) и прошедшие тестирование на определение типа метаболизма. Из образцов буккального эпителия выделяли ДНК. Генотипирование осуществляли при помощи ПЦР в режиме реального времени. Статистическая обработка данных проводилась в программе RStudio 4.3.2 (Posit, США).

На основе показателей ИМТ подростки были разделены на две группы: с нормальным весом n=94 (18,5 – 25 кг/м²) и избыточным весом n=26 (25 – 30 кг/м²). Распределения аллелей и генотипов для трех полиморфизмов в исследуемой выборке подростков сравнили с данными в мировых выборках европеоидов. Статистически значимые различия (Таблица 1) наблюдались в рецессивной модели наследования между исследуемыми группами для rs17782313 гена *MC4R*. Для полиморфизмов rs9939609 гена *FTO*, rs1800849 гена *UCP3* наблюдалась тенденция в сверхдоминантной модели наследования.

Таблица 1. Частоты генотипов rs9939609 гена FTO, rs1800849 гена UCP3 в сверхдоминантной модели и rs17782313 гена MC4R в рецессивной модели наследования

Генотипы	Нормальный вес n =94	Избыточный вес n =26	ОШ (ДИ)	χ ²	p
<i>rs9939609</i> гена <i>FTO</i> (сверхдоминантная модель)					
ТТ+АА	83,0 (78)	65,4 (17)	1,00		0,61
АТ	17,0 (16)	34,6 (9)	2,58		

			(0,98– 6,81)		
rs1800849 гена UCP3 (сверхдоминантная модель)					
GG+AA	88,3 (83)	73.1 (19)	1,00		0,069
AG	11,7 (11)	26,9 (7)	2,78 (0,95 – 8,11		
rs17782313 гена MC4R (рецессивная модель)					
TT+TC	92,6 (87)	73.1 (19)	1,00		0,012
CC	7,4 (7)	26,9 (7)	4,58 (1.44 – 14,6)		

В результате настоящего исследования выявлены статистически значимые различия в распространенности генотипов *rs17782313* гена *MC4R* в группах подростков с нормальным и избыточной массой тела в рецессивной модели наследования. При этом минорный аллель С *rs17782313* гена *MC4R* встречается чаще в группе с избыточной массой тела. Это указывает на потенциальную роль данных генетических вариантов в патогенезе ожирения, других расстройств, связанных с изменениями массы тела.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Obesity and overweight; 2024. Доступно по: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- [2] Voruganti V.S. et al. Physiology. V.38, PP. 42–50 (2023).
- [3] Barrea L. et al. Int J Obes Suppl. V.10, PP. 1–13 (2020).
- [4] Álvarez-Martín C. et al. Nutr Rev. V.83, PP.e931-e946.
- [5] Fortes JS et al. BMC Pediatr. V. 23 (2023).

Выделение монтмориллонита из бентонитовых глин месторождений Енисейской Сибири – «10-ый Хутор» и «Кайбальское-2»

Жаконис П., Девляшова В., Матвеев Р.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Бентонитовая глина – это минеральное сырьё, направлений использования которого более 200. Но бентонит это не конкретное вещество – это смесь различных минералов, а основным компонентом является монтмориллонит, его структура представлена на рис. 1. Главные бентонитовые месторождения России – «10-ый Хутор» и «Кайбальское-2» находятся в Республике Хакасия неподалёку от города Абакан. Их бентонитовая глина содержит монтмориллонита примерно 60-70%. Чем его больше, тем ценнее материал. Природные руды содержат примеси и непригодны для высокотехнологичных производств (медицина, катализаторы, пищевая промышленность). Для месторождений Хакасии технология глубокой очистки монтмориллонита отсутствует. Её разработка и внедрение позволит перерабатывать глину в продукты с большей добавленной стоимостью.

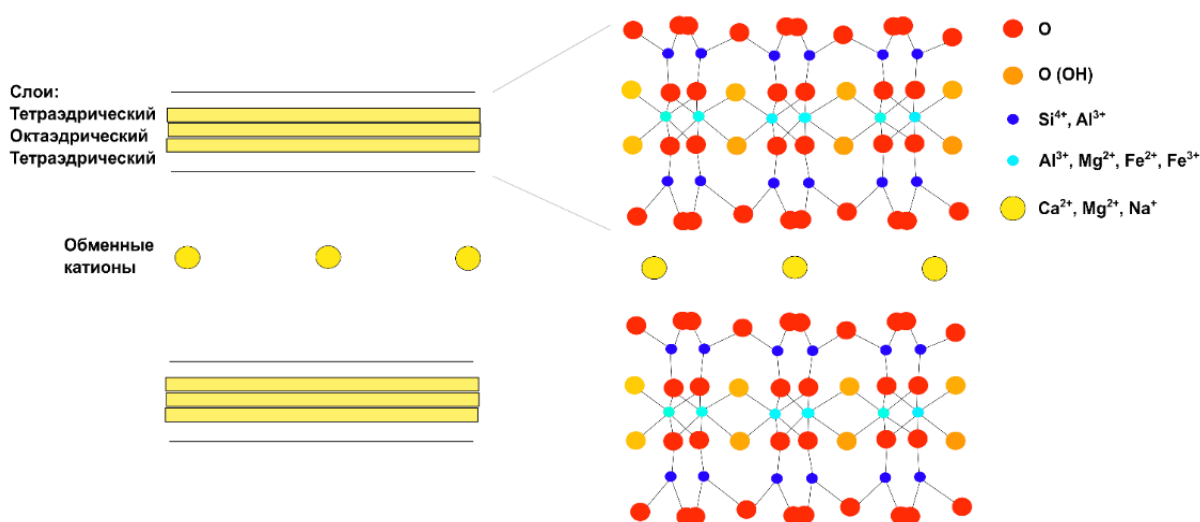


Рис. 14. Кристаллическая структура монтмориллонита

На основе литературных данных, качественного анализа на карбонаты был определен качественный состав бентонита, и с помощью метода порошковой рентгеновской дифракции определен состав глины количественно, в том числе содержание монтмориллонита.

Для очистки монтмориллонита, его обогащения использовался простой метод седиментации. Он основывается на следующих этапах: суспендирование глины в воде, отстаивание, отделение верхнего слоя, повторное осаждение, сушка. Для глины «10-ый Хутор»: выход очищенной фракции составил 2,6 %, содержание монтмориллонита выросло с 66 % до 81 %. «Кайбальское-2»: выход 5,7 %, содержание монтмориллонита изменилось с 65 % до 72 %. Основная масса глины (81–84 %) уходит в твёрдые отходы, 13 % – потери со стоками.

Таким образом, показано, что этот метод не эффективен для природной, не активированной глины. Объясняется это тем, что монтмориллонит успевает осесть вместе с примесями. Для улучшения разделения необходима предварительная активация (замена катионов Ca²⁺ и Mg²⁺ на Na⁺) – она повышает диспергируемость в воде.

Авторы выражают благодарность руководителю работы: Голубкову Виктору Александровичу.

Получение этилформиата на твердом кислотном катализаторе

Лапушова А.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Этилформиат является ценным компонентом пищевых ароматизаторов, растворителем в лакокрасочной промышленности и реагентом для тонкого органического синтеза. В последние годы он также рассматривается как экологичный фумигант для сельского хозяйства [1]. Традиционно этилформиат получают жидкофазной этерификацией муравьиной кислоты (МК) этанолом в присутствии гомогенных минеральных кислот (H_2SO_4 , HCl). Однако этот метод сопряжён с коррозией оборудования, образованием токсичных отходов и сложностью регенерации катализатора [2]. Альтернативой служит применение твёрдых кислотных катализаторов, которые легко отделяются от реакционной смеси, допускают многократное использование и соответствуют принципам «зелёной химии». В настоящей работе в качестве такого катализатора исследован оксид молибдена, синтезированный золь-гель методом.

Цель работы – получение этилформиата этерификацией муравьиной кислоты в этаноле в присутствии твёрдого кислотного катализатора – оксида молибдена и изучение его каталитических свойств.

Катализатор готовили золь-гель методом: гептамолибдат аммония $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ растворяли в дистиллированной воде с добавлением водного раствора аммиака, затем вводили стабилизирующую добавку этилсиликата-32 (32 мас.% SiO_2). После образования геля образец сушили при 100 °С (12 ч) и прокаливали при 500 °С (4 ч). Кислотность катализатора оценивали методом определения рН точки нулевого заряда ($\text{pH}_{\text{тнз}}$) по изменению рН водной суспензии при добавлении навесок порошка. Этерификацию проводили в круглодонной колбе при 80 °С и атмосферном давлении в течение 60 мин. Загрузка: 40 мл этанола, 0.2 г муравьиной кислоты, 0.2 г катализатора. Пробы отбирали каждые 15 мин, фильтровали и анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ). Идентификацию продукта подтверждали методом ГХ-МС. Установлено, что синтезированный оксид молибдена обладает выраженной кислотностью: $\text{pH}_{\text{тнз}}$ составил 2.2, что превышает кислотность многих углеродных и цеолитных катализаторов. В ходе реакции конверсия муравьиной кислоты за 60 мин достигла 60 %. По данным ГХ-МС единственным продуктом превращения является этилформиат, следовательно, его выход также составляет ~60 %.

Таким образом, золь-гель синтезированный оксид молибдена проявил себя как эффективный твёрдый кислотный катализатор для получения этилформиата в мягких условиях. Высокая селективность, простота отделения катализатора и возможность его регенерации делают предложенный метод перспективным для дальнейшей оптимизации и масштабирования.

Автор выражает благодарность научному наставнику – м.н.с. Лаборатории каталитических превращений возобновляемых ресурсов ИХХТ СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН Сычеву Валентину Владимировичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Agarwal M., Ren Y., Newman J. // Journal of Stored Products Research. 2024. V. 105. Art. 102334.
- [2] Liu Y.B., Johnson J.A., Burks C.S. // J. Agric. Food Chem. 2020. V. 68. № 8. P. 2534–2542.

Синтез и исследование оптических свойств углеродных квантовых точек

Лотц В.Д., Чувашова В.В., Кириллова Е.Д., Шкицкая А.Д.

МБОУ СОШ №10 имени академика Ю. А. Овчинникова

Углеродные квантовые точки (УКТ) — наночастицы размером 2–10 нм, обладающие флуоресценцией в видимой области. Они перспективны для биомедицины, сенсорики и оптоэлектроники. Однако традиционные методы синтеза часто требуют токсичных реагентов и дорогого оборудования. Наша работа направлена на разработку доступного, безопасного и экологичного способа получения УКТ из пищевого сырья. **Цель работы** – синтезировать УКТ из натуральных цитрусовых соков и лимонной кислоты, а также изучить их оптические свойства.

Всего было получено три образца: 5 мл апельсинового сока + 0,5 г мочевины; 5 мл мандаринового сока + 0,5 г мочевины; 0,2 г лимонной кислоты + 0,2 г мочевины. Синтез проводили термическим разложением (180 °С, 10-20 мин) [1]. Очистку выполняли центрифугированием (5000 об/мин, 10 мин). Флуоресценцию наблюдали визуально под УФ-лампой (365 нм). Спектры поглощения были измерены на спектрофотометре СКД-2 МУФ.

Все три образца после синтеза и очистки показали флуоресценцию (Таблица 1). Наиболее яркое голубовато-зелёное свечение дал мандариновый образец, апельсиновый – среднее, образец на основе лимонной кислоты – слабое. При дневном свете мандариновый раствор был тёмно-коричневым, апельсиновый – жёлто-оранжевым, лимонной кислоты – почти прозрачным. Было замечено, что чем темнее раствор, тем ярче флуоресценция – это может быть связано с содержанием природных сахаров и мякоти сока, способствующих карбонизации. Спектрофотометрия подтвердила наличие характерных для УКТ пиков поглощения: 230-280 нм ($\pi \rightarrow \pi^*$ -переходы C=C, характерные для центральной части УКТ) и плечо 300-400 нм (говорит о наличии карбонильных/карбоксильных групп на поверхности УКТ).

Таблица 1. Описание полученных образцов.

Образец	Цвет	Яркость флуоресценции	Пики поглощения, нм
Апельсиновый сок	жёлто-оранжевый	средняя	240; 310
Мандариновый сок	тёмно-коричневый	яркая	260; 330
Лимонная кислота	светло-жёлтый	слабая	235; 300

Таким образом, был развит простой и безопасный метод синтеза УКТ из доступного растительного сырья – цитрусовых соков. Показано, что природные сахара в цитрусовых соках существенно усиливают флуоресценцию. В качестве простого и наглядного применения мы предлагаем использовать полученные растворы в качестве невидимых чернил. Написанное ими становится видимым только под ультрафиолетовой лампой, что может быть интересно для секретных посланий или защиты информации.

В дальнейшем планируется измерение квантового выхода и расширение сырьевой базы (отходы пищевой промышленности).

Благодарности: Авторы выражает благодарность научному руководителю: Лукьяненко А.В.(ИФ СО РАН).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Strauss, V., Wang, H., Delacroix, S., Ledendecker, M., & Wessig, P. Chemical Science. T11, №. 31. С. 8256-8266 (2020)

Исследование влияния направления потоков электролита в фотореакторе на эффективность его работы

Рыжачков М., Шик К.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

На сегодняшний день, усилия исследователей сосредоточены на разработке высокоэффективных полупроводниковых фотокатализаторов, но крайне мало внимания уделяется масштабированию таких технологий. [1] Для масштабирования необходимо спроектировать фотореактор, подобрав температуру и давление в реакторе, режим работы, интенсивность и конфигурацию освещения таким образом, чтобы повысить выход, селективность и общую эффективность работы полупроводникового фотокатализатора [2].

Наша работа посвящена исследованию влияния направления потоков в двухкамерном фотореакторе на эффективность его работы. В качестве полупроводникового фотокатализатора использовался нанотрубчатый TiO_2 , катодом служила платиновая спираль, а потенциалы определялись относительно насыщенного хлорсеребряного электрода сравнения. В качестве анолита использовался 0.1M Na_2SO_4 с добавлением 10мМ этиленгликоля, а в качестве католита 0.5M Na_2SO_4 . Процесс проводили в течение 6 ч, при потенциале 0.7В и облучении лампой с длиной волны 380нм. Эффективность работы фотореактора оценивали по конверсии этиленгликоля и количеству выделившегося водорода. Исследовались 3 типа подачи электролита (схема 1), простая прокачка электролита при помощи перистальтического насоса (схема 2) и прокачка с использованием промежуточного ресивера (схема 3), в котором пузыри выделяющегося газа отделяются от потока электролита.

Полученные результаты представлены в таблице. В результате проведенных анализов установлено, что введение прокачки (схемы 2 и 3) повышает степень фотоконверсии этиленгликоля на 4.2% (24.7% и 28.9% для схемы 1, 2 и 3, соответственно). Количество выделяющегося водорода также увеличивается на 6%. В то же время использование схемы 3 в схему катодного циркуляционного контура привело к росту плотности фототока и увеличению количества выделившегося водорода при неизменной концентрации этиленгликоля, по сравнению со схемой с простой прокачкой. Такие результаты, по-видимому, связаны с большим вкладом реакции разложения воды, чем реакции окисления этиленгликоля, так как эти реакции для наших процессов являются конкурирующими.

Таблица Результаты процесса электрокатализа

Схема	Количество этиленгликоля в пробе, мМ	Количество выделившегося водорода, мл
1	7.18	2.74
2	6.78	2.91
3	6.72	3.00
В исходной пробе до реакции окисления содержалось 9.54 мМ этиленгликоля		

Так же установлено, что при использовании схемы 2 происходит завоздушивание пузырями газа циркуляционной линии катодной камеры, поэтому наиболее оптимальной схемой можно считать схему 3.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Degerli S.N., Gramegna A., Tommasi M., Ramis, G., Rossetti I., *Energies*, V. 17, Art. 3112 (2024).
[2] Ola O., Maroto-Valer M.M. J., *Photochem. Photobiol. C Photochem*, V. 24, PP. 16–42 (2015).

Получение новых материалов на основе хитозана с антибактериальным эффектом

Рыжакова Д.А., Гришкина А.А., Федорова М.А.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

В связи с тем, что полиэтиленовые плёнки и другие полимерные синтетические отходы наносят вред экологии из-за длительного их разложения и накопления, ведутся поиски новых альтернативных материалов. Создание пленок из возобновляемого сырья, которые способны разлагаться под воздействием природных факторов, является перспективным и актуальным направлением исследований. Наиболее распространенным сырьем для создания биоразлагаемых плёнок является хитозан – природный полисахарид, получаемый из хитина панцирей ракообразных. Известно, что хитозан уже применяется для изготовления биоплёнок в пищевой промышленности, медицине и в косметологии. Перспективным усовершенствованием таких плёнок является сшивание хитозана с дикарбоновыми кислотами, в частности, с лимонной и янтарной.

В данной работе проведен синтез новых пленочных материалов на основе хитозана и азелаиновой кислоты, как уникального соединения с антибактериальными и противовоспалительными свойствами. Для получения образцов плёнок были выбраны молярные соотношения хитозана и кислоты: 1:0,75, 1:1 и 1:1,25 (Рисунок 1). В результате исследований на гидрофильные и гидрофобные свойства установлено, что полученные пленки являются гидрофильными, что является хорошей характеристикой для медицинского применения, например, в качестве антибактериальных патчей для лица.



Рис.1. Образцы биоплёнок на основе хитозана, азелаиновой кислоты и глицерина.

Кроме того, хитозановые плёнки были исследованы на антибактериальные свойства со штаммом *E.coli* (Рисунок 2). В качестве положительного контроля использовали – канамицин, в качестве отрицательного – питательный бульон. Установлено, что через 24 часа в контроле наблюдается бактериальный газон, а в исследуемых средах с образцами плёнок колоний не наблюдалось, что свидетельствует о наличии антибактериального эффекта. Полученные результаты свидетельствуют о том, что новые био пленки на основе хитозана и азелаиновой кислоты имеют перспективы в использовании в различных сферах, в том числе – медицинской.

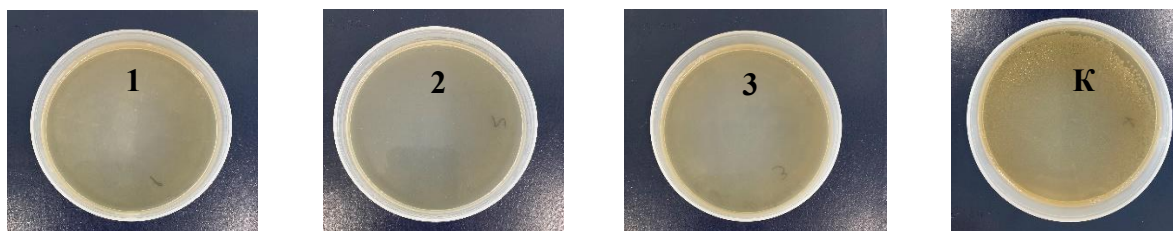


Рис.2. 1 – хитозан/азелаиновая кислота 1:0,75; 2 - хитозан/азелаиновая кислота 1:1; 3 - хитозан/азелаиновая кислота 1:1,25; К – питательная среда с колонией бактерий.

Авторы выражают благодарность научному руководителю к.х.н. Боровковой В.С., а также сотрудникам ИХХТ СО РАН.

Оценка эффективности применения золошлаковых материалов в качестве субстратных компонентов для растений

Себедаш М.Г.¹, Агеева О.А.¹, Ретюнская П.А.¹, Нижегородцева Э.Д.¹,
Капошко М.А.¹, Садыков Р.Т.^{1,2}

¹МАОУ Гимназия №13 «Академ», ²ИЛ ФИЦ КНЦ СО РАН

Образование огромных объёмов промышленных отходов, таких как золошлаковые материалы (ЗШМ) тепловых электростанций, создаёт серьёзную нагрузку на окружающую среду [1]. Их накопление на полигонах и шлаконакопителях ведёт к деградации земель, загрязнению атмосферы и гидросферы. Одновременно возникает проблема деградации земель в результате промышленной деятельности (отвалы, карьеры), требующая масштабной и экономически эффективной рекультивации [2]. В связи с этим актуальным является поиск подходов к вовлечению ЗШМ в хозяйственный оборот в качестве вторичного ресурса, в том числе оценка возможности их использования в качестве субстратных компонентов для растений, что позволит снизить техногенную нагрузку и сократить потребление природных ресурсов. Цель работы — оценить эффективность применения золошлаковых материалов в составе субстрата на растения-биоиндикаторы.

В качестве объектов исследования использовались растения кресс-салат «Аэлита», и руккола «Аэлита». Золошлаковые материалы представлены двумя образцами: бурый уголь марки Б2Р (Бородинский разрез), и бурый уголь марки 3Б (Балахтинский разрез). Биотестирование проводилось на экспериментальных кассетах, в качестве субстрата использовался универсальный грунт «Гарант» (ПК – «Темп 2») с добавлением ЗШМ в различной доле примеси: 10%, 25% и 50%. Для обеспечения фотосинтетической активности использовалось искусственное освещение на основе панелей с преобладанием красного и синего спектров, установленное с фотопериодом 12 часов.

Влияние различных концентраций ЗШМ в составе субстрата на растения оценивалось по состоянию фотосинтетического аппарата, как ключевого критерия жизнеспособности и продуктивности. Оценку его функциональной активности проводили по параметру скорости электронного транспорта (ETR) с использованием импульсного флуориметра Junior-PAM (Heinz Walz GmbH, Германия). Измерения выполнялись по стандартному протоколу Light Curve в программном обеспечении WinControl-3.

Таблица 1. Пиковые значения эффективности фотосинтеза растений на различных субстратах

Вид	Контроль	Б2Р			3Б		
		10%	25%	50%	10%	25%	50%
Кресс-салат	66,17	37,57	57,93	38,63	53,60	43,76	47,84
Руккола	89,03	46,30	68,35	52,30	60,27	46,63	78,97

Примечание: указаны значения ETR (скорость переноса электронов, ммоль/(м²·с))

На основе полученных значений ETR выявлена видовая специфичность реакции растений на присутствие золошлаковых материалов. Руккола демонстрирует более высокую толерантность: на субстрате с 50% ЗШМ 3Б значение ETR составило 78,97, что является наименьшим снижением среди всех вариантов. Кресс-салат оказался более чувствительным, однако для него выявлена оптимальная концентрация ЗШМ Б2Р — 25%, при которой ETR достигает 57,93, тогда как при 10% и 50% наблюдается более выраженное снижение.

Авторы выражают благодарность научному консультанту, к.б.н., руководителю группы молекулярно-генетических исследований НИИ МПС ФИЦ КНЦ СО РАН, Смольниковой М.В.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Осокин Н. А., Никитушкина Ю. В., Бачаев У. А. Стимулирование утилизации промышленных отходов в России: как может помочь зарубежный опыт //Всероссийский экономический журнал ЭКО. – 2021. – №. 9 (567). – С. 69-93.
- [2] Денисов Н. И., Саранчук А. П., Сеница А. А. Восстановление растительного покрова на техногенных ландшафтах Севера Приморского края (отвалах бурогольных месторождений) //Природообустройство. – 2016. – №. 5. – С. 114-122.

Исследование сорбции ионов тяжёлых металлов органическими сорбентами

*Черноусов Ф.А., Беспрозванных П.Д., Буханов С.В.
МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,
Институт химии и химической технологии СО РАН*

Загрязнение водных источников тяжелыми металлами остается одной из наиболее острых экологических проблем современности. В последние десятилетия его масштабы значительно возросли вследствие активной индустриализации, урбанизации и широкого применения химических соединений в различных отраслях промышленности. Несмотря на ужесточение нормативных требований и общую осведомленность о рисках, ситуация сохраняет актуальность: ионы тяжелых металлов обладают высокой токсичностью и способны наносить серьезный ущерб как здоровью человека, так и водным экосистемам. В связи с этим возрастает необходимость в совершенствовании методов очистки водных систем от данных поллютантов [1].

Для удаления ионов тяжелых металлов из загрязненной воды используют множество методов, включая химическое осаждение, экстракцию растворителем, ионный обмен, обратный осмос, мембранную фильтрацию, электрохимическую и фотокаталитическую обработку. Однако ионы тяжелых металлов в низких концентрациях по-прежнему трудно удалить с помощью этих методов, и адсорбция считается наиболее подходящей из-за ее высокой эффективности, чувствительности и низкой стоимости. В настоящее время активные исследования направлены на создание новых адсорбентов, в том числе на основе полисахаридов [2].

Адсорбенты из полисахаридов привлекают внимание своей биоразлагаемостью, возобновляемостью, дешевизной и высокими сорбционными характеристиками. Несмотря на превосходные свойства присущие крахмалу, нативный крахмал нельзя непосредственно использовать в качестве адсорбента. Поэтому его сначала химически модифицируют путем введения в него различных функциональных групп, а затем используют в качестве адсорбента [2].

Целью нашей работы являлось изучение сорбционных свойств сорбентов по отношению к ионам тяжелых металлов на примере сульфата никеля $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. В качестве объектов исследования использовали три сорбента: промышленный уголь БАУ, крахмал и синтезированный диальдегид крахмала (ДАК). Сравнивая три исследованных сорбента были получены следующие результаты. Для активированного угля БАУ установлено, что с увеличением навески от 0,5 до 1,5 г степень удаления ионов Ni^{2+} возрастает с 16 до 33%. Диальдегид крахмала демонстрирует схожую динамику: при максимальной массе (1,5 г) степень извлечения достигает 31%, что сопоставимо с показателями БАУ (33%). Исходный крахмал при массе 1 г показал степень удаления 26%.

Таким образом, по основным сорбционным параметрам синтезированный диальдегид крахмала не уступает традиционному сорбенту БАУ. Учитывая, что ДАК получен из возобновляемого растительного сырья и содержит функциональные альдегидные группы, он обладает потенциалом для дальнейшей оптимизации и использования в качестве эффективного и экологичного сорбента тяжелых металлов.

Благодарности: Авторы выражают благодарность научному руководителю Капаевой С.Н.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lakard S. Electrochemistry, T. 3, №. 2, С. 322-336 (2022).
- [2] Gunawardene O. H. P. Journal of Composites Science, T. 5, №. 2, С. 46 (2021).

Изучение взаимодействия гетероциклических дикетонов с некоторыми лантаноидами и глобулярными белками

Шишкина Елизавета Михайловна

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Перфторированные дикарбонильные лиганды являются селективным хелатирующими агентами для переходных и редкоземельных металлов. Благодаря наличию фторированных групп для этих соединений наблюдается значительный σ -индуктивный эффект, который напрямую влияет на кислотно-основные и комплексообразующие способности. В данной работе были исследованы два фторированных дикетона – теноил-трифторацетон и бензоил-трифторацетон и их равновесные процессы с гадолинием (+3) а также гемоглобином. Большинство работ посвящены изучению взаимодействия с металлами в водно-органических средах, в то время как использование спектрофотометрического метода позволяет исследовать мономерные системы в водных средах.

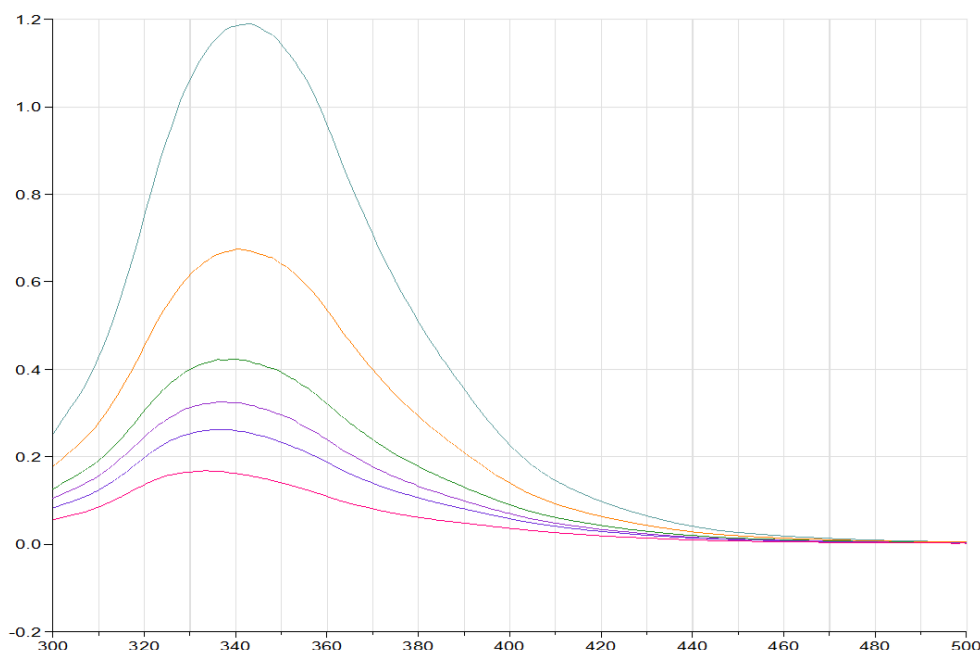


Рис. 15. – Спектр люминесценции гемоглобина в присутствии комплекса $Gd(III)$ -бензоил-трифторацетон (pH 7.2, I 0.5 моль/л, $NaCl$).

Исследование взаимодействия с гадолинием (+3) проводили в биологическом pH (7.2) с использованием трис-солянокислого буфера, при этом было показано, что взаимодействия с бензоил-трифторацетоном сильнее. Исследования взаимодействия с гемоглобином проводили в идентичных условиях, в области доминирования монокомплексов гадолиния, при этом предварительно было установлено, что гемоглобин в данных условиях не взаимодействует с металлом и лигандом. Как и в случае образования монокомплексов, большую интенсивность взаимодействия показал бензоил-трифторацетон, при этом изучение спектров в аммиачном и ацетатном буфере позволило показать, что для обоих лигандов характерна координация через аминокгруппы глобулы белка.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № FWES-2026-0011.

Метод экстракционного выделения лигнокислот и исследование их структуры

Шульга Я.Д.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Каталитическое окисление лигнина молекулярным кислородом является перспективным методом переработки растительной биомассы в химические продукты с высокой добавленной стоимостью [1]. Целевыми продуктами являются ароматические альдегиды (ванилин, сиреневый альдегид), востребованные в фармацевтической, пищевой и парфюмерной промышленности.

Нами проведено исследование процесса щелочного каталитического окисления опилок сосны обыкновенной, осины и костры льна, отходов лесопереработки и сельского хозяйства, которые могут служить сырьём для производства ценных химических продуктов, а также охватывают все 3 основных типа лигнина. При окислении опилок сосны ванилина образуется до 27 мас.% на лигнин. Сиреневый альдегид образуется в значимых количествах (12 мас.% на лигнин) только при окислении опилок осины. В качестве побочных продуктов с образуются *пара*-гидроксibenзальдегид, ацетованилин, ванилиновая кислота и сиреневая кислота. Вторым продуктом является целлюлозный остаток, выход которого составил ~23 мас.% на сырьё во всех случаях. Он состоит из целлюлозы на 85-90 %, содержание лигнина и гемицеллюлоз менее 10%.

Инновационным продуктом процесса, который только недавно получил внимание, являются лигнокислоты – окисленный водорастворимый лигнин [2]. Нами разработан метод выделения лигнокислот экстракцией смесью тетрагидрофурана и пентанола-1 (2:1) из кислого водного раствора. Содержание зольных примесей в лигнокислотах менее 1%. Был изучен групповой состав лигнокислот методом обратного кислотного-основного титрования (таблица 1). Элементный состав лигнокислот для все видов сырья отличается незначительно, 63-65% содержание углерода, 6-6,5% - водорода, 29-30% - кислорода.

Таблица 1. Содержание функциональных групп в лигнокислотах

Образец лигнокислот	Содержание, ммоль/г		
	Фенольные и карбоксильные группы	Фенольные группы	Карбоксильные группы
Опилки сосны	4,14	2,16	1,98
Опилки осины	6,43	2,39	4,04
Костра льна	6,50	4,52	1,98

Лигнокислоты имеют высокую антиоксидантную активность, изученную по способности подавлять стабильный радикал дифенилпикрилгидразил. Хотя у лигнокислот достаточно высокая активность, она значительно ниже контрольного образца – витамина С. Наибольшую антиоксидантную активность проявили лигнокислоты костры льна, наименьшую – лигнокислоты опилок сосны.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки в рамках проекта № 20250305-09093. Автор выражает благодарность научному руководителю Голубкову Виктору Александровичу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tarabanko VE, Tarabanko N., International Journal of Molecular Sciences, V.18, №11, P. 2421 (2017).
- [2] Golubkov V. A., Khimija rastitel'nogo syr'ja. №. 4, PP. 137-145 (2023).

Выделение целлюлозы из твердого остатка восстановительного каталитического фракционирования костры льна

Ярмоленко Н.А., Коц Е.Н.

МАОУ Лицей №7 г. Красноярск,

Институт химии и химической технологии СО РАН

Восстановительное каталитическое фракционирование (ВКФ) лигноцеллюлозной биомассы является перспективным подходом к получению жидких продуктов, а также твердого целлюлозосодержащего остатка [1]. Цель данной работы заключается в разработке методики очистки твердого целлюлозосодержащего остатка процесса восстановительного каталитического фракционирования костры льна.

В работе исследован твердый продукт, полученный после ВКФ костры льна в присутствии гранулированного и порошкового катализатора на основе углеродного материала, модифицированного Ru и Ni. Установлено, что содержание целлюлозы в твердом продукте не превышает 50 мас.%, присутствуют загрязнители: гемицеллюлозы (до 19 мас.%) и лигнин (до 21 мас.%). Разработана методика очистки твердого продукта, включающая стадии щелочной обработки, делигнификации пероксидом водорода и отбеливания гипохлоритом натрия. Полученная целлюлоза охарактеризована комплексом физико-химических методов. Данные ИК-спектроскопии (рисунок 1, а) подтверждают сохранение кристаллической структуры целлюлозы (1429 см^{-1}), отсутствие полос поглощения, относящихся к гемицеллюлозе и остаточное содержание лигнина (1596 см^{-1}). По данным рентгенофазового анализа, индекс кристалличности (рисунок 1, б) по методу Сегала составляет 0,75. Степень полимеризации выделенной целлюлозы достигает 284, содержание альфа-целлюлозы – до 54,6 мас.%.

Полученный целлюлозный продукт может быть рекомендован для производства сорбентов, строительных материалов, удобрений и платформенных молекул.

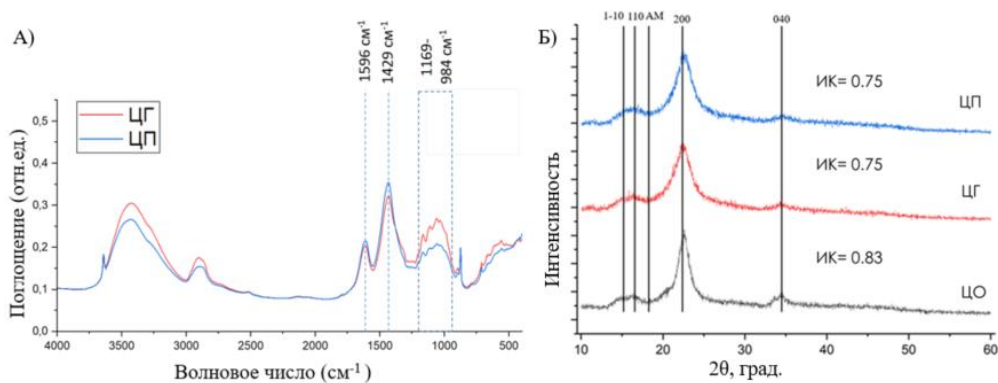


Рис. 1. А – ИК-спектры; Б – диффрактограммы отбеленных целлюлоз.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Красноярского краевого фонда науки № 20250304-09076. Авторы выражают благодарность соавторам работы: Троцкому Ю.А., Ионину В.А., Патрушевой А.А., Бондаренко Г.Н.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Kuznetsov B.N., Miroshnikova A.V., Kazachenko A.S., Baryshnikov S.V., Malyar Y.N., Yakovlev V.A., Skripnikov A.M., Fetisova O.Y., Xu Y., Taran O.P. Catalysts. 13(2), P. 413 (2023).

Тезисы докладов
Междисциплинарной конференции молодых
учёных ФИЦ КНЦ СО РАН (КМУ- XXIX)
г. Красноярск, 16 апреля 2026 г.

ISBN 978-5-6056648-0-2



Материалы конференции
публикуются в авторской редакции

Подписано в печать 16.04.2026 г.
Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура «Times New Roman».

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. 6,95. Уч.-изд. л. 6,82. Заказ № 4. Тираж 100 экз.
Отпечатано на Участке оперативной печати ИФ СО РАН. 660036, г. Красноярск,
Академгородок, 50/38.

Отв. редактор — Ю. В. Князев
Оформление — Д. С. Цикалов
Дизайн обложки — А. В. Шайхутдинова

ФИЦ КНЦ СО РАН
660036, г. Красноярск, ул.Академгородок, 50
тел. +7 (391) 290-79-88
e-mail: fic@ksc.krasn.ru