наука

№ 4 (23) | 2026 год
Издание СО РАН

СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РАН

СДЕЛАНО В ЯКУТИИ, СДЕЛАНО ДЛЯ РОССИИ

ЧАСТЬ 2



и технологии Сибири

наука
и технологии
Сибири

НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ СИБИРИ

Выпуск 4 (23) — Сделано в Якутии, сделано для России, часть 2

Ноябрь 2026 г.

Издается с декабря 2021 года.
Выходит 4 раза в год.

Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук». Адрес учредителя: 630090, Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, дом 17.

Издатель:
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук». Адрес издателя: 630090, Россия, Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, дом 17.

Главный редактор:
Академик РАН Валентин Николаевич Пармон.

Редакционный совет:
Академики РАН С.В. Алексеенко, И.В. Бычков, М.И. Воевода, А.П. Деревянко, Н.А. Колчанов, Д.М. Маркович, В.И. Молодин, В.М. Фомин, д.ф.- м.н. С.Р. Сверчков, генеральный директор ООО «Газпром трансгаз Томск» В.И. Бородин, генеральный директор АО «Академпарк» Д.Б. Верховод, заместитель полномочного представителя Президента РФ в СФО В.М. Головко, руководитель НИИ МК НГТУ, д.т.н., профессор, Н.В. Пустовой, основатель АФК «Система» В.П. Евтушенков.

Редакционная группа:
Заместитель главного редактора Сергей Сверчков, Лариса Деева, Владимир Ларин, Андрей Соболевский, Любовь Батраева, Юлия Андреева, Светлана Винокурова.

Фото
авторов представленных материалов и из открытых источников.

Правообладатель фото на обложке: ГБУ «Академия наук Республики Саха (Якутия)». Фотограф: Пудов Алексей Григорьевич.

Дизайн:
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств имени А.Д. Крячкова», ректор Багрова Наталья, арт-директор Чешева Татьяна, дизайнер Теряева Анна.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77–82311 от 03.12. 2021 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Адрес редакции: 630090, Россия, Новосибирск, проспект Лаврентьева, 17
Контактные данные редакции: тел.: (383) 217-45-78, e-mail: l.batraeva@sb-ras.ru

Типография: ООО «СЛАВЯНОЧКА»
Адрес типографии: 394026, ВОРОНЕЖСКАЯ ОБЛАСТЬ, г.о. ГОРОД ВОРОНЕЖ, Г ВОРОНЕЖ, ПР-КТ ТРУДА, Д. 46Д, ПОМЕЩ. 1, КОМ. 3, тел.: +7-473-290-45-17, e-mail: SL4505990@YANDEX.RU

Дата выхода в свет: 27.11.2026 г.
Бумага мелованная. Печать офсетная.
Тираж 500 экз. Свободная цена.

Перепечатка материалов только с письменного разрешения редакции.
Изданию присвоен номер ISSN: 2782-4969

Журнал индексируется в РИНЦ.

© Сибирское отделение РАН, 2026



ОФОРМИТЬ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ



в номере 22 (часть 1)



стр. 4 Обращение Исполняющего обязанности председателя СО РАН академика РАН Д.М. Марковича

стр. 6 Обращение Главы Республики Саха (Якутия) А.С. Николаева



стр. 8 Приоритетные и перспективные направления научно-технологического развития Республики Саха (Якутия)



стр. 20 Интеллектуальная собственность ФИЦ ЯНЦ СО РАН: анализ патентного портфеля и направлений внедрения



стр. 28 Георадиолокационная технология картирования толщины и строения ледяного покрова северных рек с борта воздушного судна

стр. 32 Полимерные композиционные материалы на основе ПТФЭ для надежной работы в условиях Арктики

стр. 37 Способ консервации и мониторинга состояния ископаемых костных объектов на основе комбинированного озоно-радиационного воздействия и спектроскопического контроля



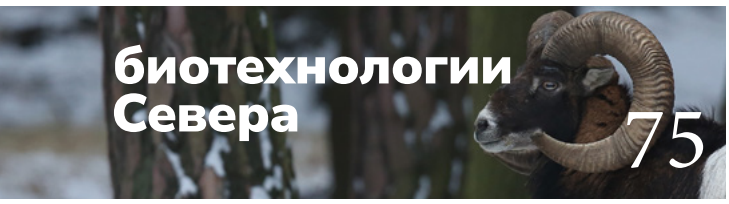
стр. 46 Языки народов Якутии в цифровой среде: информационно-аналитическая платформа для интеграции полевых данных и вычислительных методов



стр. 56 Модель цифровой образовательной среды распределенного обучения как инструмент интеграции формального и неформального образования в арктических регионах РФ



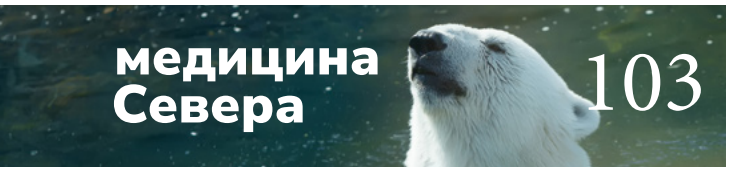
стр. 68 Программное обеспечение для расчета гибридной системы солнечного теплоснабжения в природно-климатических условиях Якутии



стр. 76 Биовосстановление нефтезагрязненных грунтов в условиях криолитозоны

стр. 83 Способ получения гибридных самцов F_1 рода Ovis nivicola

стр. 96 Научное сопровождение соболеводства в Якутии: исследования механизмов поведенческой и морфофизиологической адаптации соболя



стр. 104 Мобильный комплекс, включающий многоразовый цервикальный электрод и биоимпедансный анализатор

стр. 108 Исследование влияния холода на организм человека в условиях Севера: изучение особенностей физиологии периферического кровообращения методом оптической тонометрии



стр. 116 Непонятные экспериментальные результаты как возможность открытия

в номере 23 (часть 2)



стр. 4 Обращение Исполняющего обязанности председателя СО РАН академика РАН Д.М. Марковича

стр. 6 Обращение Главы Республики Саха (Якутия) А.С. Николаева

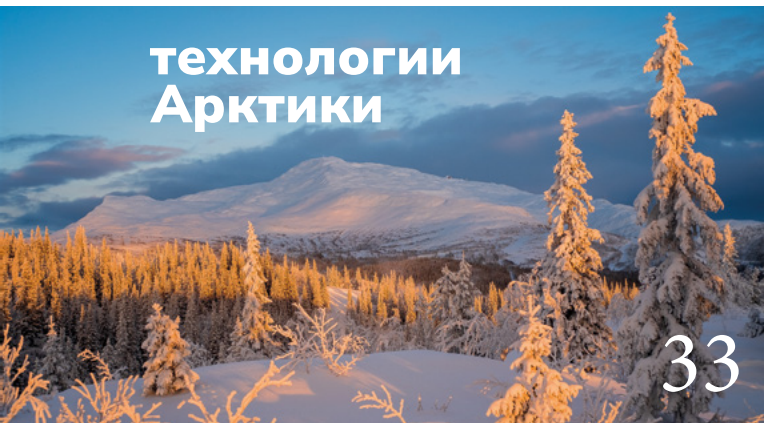


стр. 8 О реализации комплексных отраслевых проектов научных исследований в Республике Саха (Якутия)



стр. 15 Приоритетные разработки ФИЦ ЯНЦ СО РАН: вклад в научно–технологическое развитие России

стр. 22 Молодежные лаборатории ЯНЦ СО РАН: результаты, перспективы, интеграция в российскую науку



стр. 34 Технология оперативной сварки с закладными нагревателями полиэтиленовых труб для газопроводов при низких температурах окружающего воздуха

стр. 43 Технология мониторинга участков развития криогенных процессов в грунтах оснований инженерно-технических сооружений методом георадиолокации

стр. 50 Разрабатываемое инновационное дробильно-измельчительное оборудование

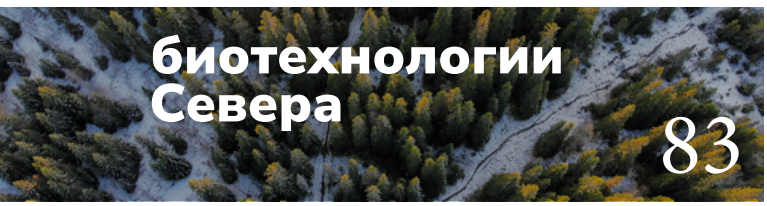
стр. 56 Способ производства углеродного материала для суперконденсаторов методом двухстадийного быстрого джоулева нагрева



стр. 66 Национальный корпус якутского языка



стр. 74 Разработка новых подходов математического моделирования природных и техногенных процессов, происходящих на территории Арктического региона и Северо-Востока России



стр. 84 Комплекс машин для очистки семян зерновых, зернобобовых и кормовых многолетних трав

стр. 89 Разработка биологических препаратов для обеспечения ветеринарного благополучия, биологической и продовольственной безопасности, повышения продуктивности отраслей сельского хозяйства



стр. 102 Способ молекулярно-генетической диагностики варианта c.5741G>A гена *NBAS*, вызывающего SOPH-синдром



стр. 108 Первый музей Якутии

Уважаемые коллеги!

Такое обращение связано с пониманием целевой аудитории журнала Сибирского отделения РАН «Наука и технологии Сибири» — исследователей, специалистов высокого уровня и квалификации, руководителей государственных структур, наукоемких компаний и производств. Перед вами — еще один номер издания СО РАН, посвященный научным идеям, методикам и разработкам с определенной территориальной привязкой.

Теперь в фокусе нашей редакции Республика Саха (Якутия). Ее климатическая, географическая и экономическая специфика чётко отображены в обращении к читателям главы РС (Я) Айсена Сергеевича Николаева, а основные направления научных исследований и инновационной сферы — в экспертной статье, подготовленной Аналитическим центром СО РАН. Это не только климатология, геология и палеонтология, не только материаловедение, медицина и агрикультура экстремальных условий: в Якутии гармонично развиваются исследования по всему контуру современной науки, многие из которых воплощаются в высокотехнологичные разработки. Отмечу также серьезные гуманитарные изыскания, нацеленные на сохранение языков и культур коренных народов Сибири и Крайнего Севера.

Журнал, который вы держите в руках, демонстрирует достижения, прежде всего, якутских исследователей, однако и Якутский научный центр СО РАН во главе с академиком Михаилом Петровичем Лебедевым, и Северо-Восточный университет им. М. К. Аммосова, и другие организации работают в тесной коллаборации с коллегами со всей страны, равно как и Академия наук РС (Я), оказавшая серьезное содействие в подготовке этого выпуска. Поэтому название номера «Сделано в Якутии, сделано для России» логично было бы завершить словами «... и всей Россией» Надеюсь, содержание этого выпуска будет для вас интересным и практически ценным.

Желаю вам, уважаемые коллеги, мира и здоровья, успехов и достижений, благополучия и счастья!

С уважением, академик РАН
Дмитрий Маркович Маркович
Исполняющий обязанности председателя
Сибирского отделения РАН





Уважаемые читатели!

Рад приветствовать вас на страницах выпуска журнала «Наука и технологии Сибири», посвященного нашей Республике Саха (Якутия).

Якутия исторически является форпостом Российского государства на Северо-Востоке. Сегодня республика развивается как один из ключевых экономических центров страны, научный, интеллектуальный и культурный центр российской Арктики. Главное богатство и гордость многонациональной Якутии — наши люди, которые своим талантом и энергией вместе строят будущее родной республики.

Республика Саха (Якутия), крупнейший по территории регион страны с огромным ресурсным потенциалом, активно вовлечена в современную общегосударственную повестку. Это создание трансконтинентальных транспортных коридоров и коммуникационных систем, развитие инфраструктуры Северного морского пути, наращивание энергетических и промышленных мощностей на Дальнем Востоке и в Арктике. Якутия по праву признается авторитетом в деле сохранения языков, культуры, хозяйственного уклада северных народов, в вопросах адаптации к изменениям климата и экологической устойчивости. Республика является одним из лидеров в стране в области цифровизации и креативной экономики, внедрения технологий искусственного интеллекта в управление, в отрасли экономики, жизнеобеспечения и социальной сферы.

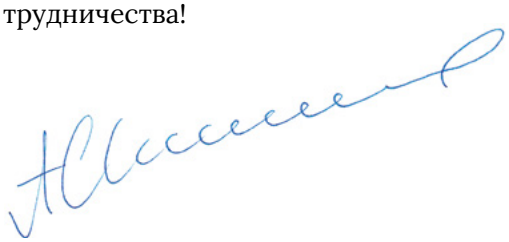
Важнейшим фактором достижения целей перспективного развития республики, увеличения нашего вклада в развитие всей страны, является научное сопровождение проектов по всем направлениям. Особое значение для нас имеет многолетнее, неразрывное сотрудничество с Сибирским отделением Российской академии наук. Фундаментальные исследования и прикладные разработки сибирской академической науки в советский период заложили фундамент индустриализации Якутии, вовлечения в экономический оборот неисчислимых богатств недр, в целом, достижения нового качества жизни якутян.

Сегодня совместная работа продолжается, многое уже сделано с участием научных учреждений СО РАН. В республике активно ведутся стратегически важные исследования в области геологии, мерзлотоведения, изучения биологических ресурсов, продуктивности и устойчивости арктических и субарктических экосистем, эксплуатации техники на Севере, комплексного изучения Арктики и Субарктики. Важнейшей задачей остается создание экологически чистых, рентабельных технологий и материалов для воспроизводства ресурсов, глубокой переработки минерального сырья.

В числе научных направлений, имеющих мировую значимость, важным и перспективным является изучение мамонтовой фауны. В декабре 2025 года мы утвердили концепцию создания Всемирного центра мамонта в городе Якутске с криохранилищем мамонтовой фауны, научно-лабораторным и музейно-выставочным комплексами, с ландшафтным полигоном. Безусловно, научно-методическая и технологическая поддержка этого уникального проекта структурами Сибирского отделения РАН крайне важна.

Научные школы Якутии, сформированные вместе со всей сибирской наукой в ответ на вызовы освоения Северо-Востока страны, и дальше будут усиливать общий вклад науки в достижение национальных целей. Специальный выпуск журнала знакомит вас с передовыми достижениями, смелыми проектами и уникальным опытом нашего северного края. Мы бережно храним традиции и ценности народов, живущих в Якутии, и вместе смотрим вперед, опираясь на знания и передовые технологии.

Дорогие друзья, желаю вам увлекательного чтения, новых профессиональных открытий и вдохновения для смелых идей. Уверен, что материалы журнала станут полезным источником информации и стимулом для дальнейшего сотрудничества!



Айсен Сергеевич Николаев

Глава Республики Саха (Якутия)



О РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСНЫХ ОТРАСЛЕВЫХ ПРОЕКТОВ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Государственное бюджетное учреждение «Арктический научно-исследовательский центр Республики Саха (Якутия)»

677000, г. Якутск, ул. Курашова, д. 22, 2 подъезд, 2 этаж



Присяжный Михаил Юрьевич

доктор географических наук, директор ГБУ «Арктический научно-исследовательский центр Республики Саха (Якутия)»

Республика Саха (Якутия) является арктическим регионом с большим научно-технологическим потенциалом, состоявшейся академической и инновационной инфраструктурой, а также одним из крупных центров притяжения творческой энергии на Дальнем Востоке.

На данной территории одновременно работают следующие субъекты научной и научно-технической деятельности: Академия наук Республики Саха (Якутия), Арктический научно-исследовательский центр Республики Саха (Якутия), Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Якутский научный центр комплексных медицинских проблем, Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, Арктический государственный агротехнологический университет, Арктический государственный университет искусств, культуры и креативных индустрий, Чурапчинский государственный институт физической культуры и спорта, Федеральный институт родных языков народов Российской Федерации, Научно-практический центр «Фтизиатрия»,

Научно-исследовательский и проектный институт алмазодобывающей продукции «Якутнипроалмаз» акционерной компании «АЛРОСА» (ПАО), филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно- исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Якутский государственный проектный научно-исследовательский институт строительства.

Республика гордится ведущими научными школами мирового уровня, например, такими как:

- школа по технологии и разработке газогидратных месторождений Николая Васильевича Черского;
- школа мерзлотоведения Павла Ивановича Мельникова;
- школа сварки и прочности материалов, конструкций в условиях Севера Владимира Петровича Ларионова;
- школа космофизических исследований и аэрономии Гермогена Филипповича Крымского;
- экологическая школа Никиты Гавриловича Соломонова.

Перед республикой стоят задачи по реализации стратегических документов, в том числе Стратегии научно-технологического развития РФ, Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности, основных задач в целях достижения технологического суверенитета. Мы нацелены на получение качественно новых результатов совместной работы науки и практики. Важнейшим из современных проектов является «Программа комплексных научных исследований в Республике Саха (Якутия), направленных на развитие её производительных сил и социальной сферы в 2016-2020 гг.» (далее — КНИ). В 2016-2017 годы был проведен I этап «Оценка современного состояния природной среды, человеческого потенциала и социально-экономических комплексов Республики Саха (Якутия)».

Впервые в Якутии в современный период проведена комплексная оценка различных факторов, влияющих на состояние и перспективы социально-экономического развития Республики Саха (Якутия).

Оценка проводилась по трём направлениям: «Природа», «Человек», «Экономика, включая капитал, промышленность, энергетика, транспорт, агропромышленный комплекс». В том числе в пяти проектах, выполненных в 2017 году, была проведена комплексная оценка по трем группам вышеуказанных характеристик в разрезе пяти социально-экономических зон Республики Саха (Якутия): центральной, западной, южной, восточной и арктической.

1. По направлению «Природа» проведена оценка состояния природных комплексов (экосистем), включая мерзлотный комплекс во всех пяти экономических зонах в условиях глобальных изменений климата и повышения уровня антропогенной нагрузки.

Особое внимание было обращено на оценку экологической ситуации в зонах техногенного воздействия и потенциальных рисков возникновения чрезвычайных ситуаций. Отдельно проведена оценка состояния экосистем и природных ресурсов в районах компактного проживания малочисленных народов Севера, испытывающих повышенную техногенную нагрузку в результате развития горнодобывающей промышленности и трубопроводных систем. Также проведен анализ полноты вовлечения биологических ресурсов в хозяйственный оборот экономических зон Республики Саха (Якутия).

Территория Якутии имеет большой запас потенциала природных ресурсов для дальнейшего освоения. Отраслью специализации республики в перспективе остается добывающая промышленность, в том числе на основе вовлечения в оборот новых месторождений минерального сырья в соответствии с потребностями мировой экономики (серебро, олово, редкоземельные металлы, апатиты, графит). Полученные по направлению «Природа» результаты указывают на необходимость продолжения начатых исследований минерально-сырьевых ресурсов республики для наращивания сырьевой базы, исследований по снижению уровня антропогенной нагрузки в целях развития новых проектов на территории республики.

2. По направлению «Человек» проведена оценка демографической ситуации, состояния здоровья населения по основным нозологическим формам наиболее распространенных и социально значимых групп заболеваний, по состоянию адаптационного потенциала, определяющего устойчивость организма человека к неблагоприятным природным, экологическим и социальным условиям среды проживания и качество жизни человека на Севере. Проведена оценка комфортности среды проживания с учетом качества жилищных условий; структуры занятости в разрезе дефицита либо избыточности тру-

довых ресурсов по отдельным муниципальным образованиям и спектру профессий; состояния образовательной сферы; анализ археологических, исторических и биосоциальных аспектов формирования населения на Северо-Востоке Евразии, выявления и сохранения исторических, культурных и археологических памятников. Также в отчетах представлены результаты комплексной оценки уровня и качества жизни, которые позволяют в сконцентрированном виде рейтинговать экономические зоны и муниципальные районы республики по уровню социально-экономического состояния. В рамках исследований по экономическим зонам и отдельной темы по многофакторному исследованию состояния здоровья коренного и пришлого населения РС (Я) с целью оптимизации региональных программ по улучшению качества жизни жителей республики с учетом территориальных, этнических особенностей в условиях современного социально-экономического развития, была дана комплексная оценка состояния здоровья коренного и пришлого населения Республики Саха (Якутия), оценка заболеваемости и распространения болезней, оценки физического развития и инвалидизации населения Якутии. Изучен уровень медицинской обеспеченности, доступности и качества оказания медицинской помощи населению Якутии.

3. По направлению «Экономика, включая капитал, промышленность, энергетика, транспорт, агропромышленный комплекс» проведена комплексная характеристика социально-экономического развития выделенных экономических зон Республики Саха (Якутия), включая анализ факторов конкурентоспособности экономики.

Полученный в результате реализации I этапа КНИ аналитический материал систематизирован в созданной пространственной базе данных оценки современного состояния и основных тенденций изменения ресурсных источников Республики Саха (Якутия): природной среды, человеческого потенциала и социально-экономических комплексов.

База данных о природном и социально-экономическом состоянии, человеческом потенциале Республики Саха (Якутия) структурирована по экономическим зонам: Центральная, Западная, Восточная, Южная и Арктическая; административно-территориальным единицам, годам и видам ресурсов региона. Данные систематизированы в соответствующие таблицы и отдельные базы по названиям административно-территориальных единиц и морфологическим характеристикам, что позволяет ее использовать в качестве инструмента получения данных о количественных характеристиках ресурсных источников региона с привязкой к координатам и карте с возможностью поиска и вывода этих данных. Приведенная информация, позволит рассматривать различные варианты сценариев социально-экономического развития Республики Саха (Якутия).

В целом результаты первого этапа комплексных научных исследований показали следующее:

1. Основной отраслью, обеспечивающей социально-экономическое развитие республики, остается добыча полезных ископаемых. Данная отрасль нуждается в поиске новых решений по разведке, добыче и глубокой переработке ископаемых. Технологии должны отвечать жестким требованиям экологической безопасности и высокой экономической рентабельности. При этом должны быть соблюдены интересы всех категорий населения, которых может затронуть процесс промышленного освоения территорий. Требованиям всеобъемлющей экологической безопасности должны отвечать территории городов и поселков Якутии, особенно наиболее интенсивно развивающиеся городские агломерации, в первую очередь «Большой Якутск», в котором проживает в настоящее время около 1/3 населения республики, а также поселки, находящиеся в зоне влияния горнодобывающей промышленности и трубопроводных систем.

2. Наиболее полная реализация имеющегося ресурсного потенциала республики возможна при создании необходимой инфраструктуры, включающей энергетику, транспорт, связь.

3. Обеспечение продовольственной безопасности региона остается наиболее важным вопросом, требующим научного подхода. При этом необходимо сохранить баланс между решениями, направленными на интенсивное

развитие отраслей АПК и сберегающими уникальные ресурсы республики.

4. Здоровье населения, проживающего в условиях Крайнего Севера, также требует особого подхода. При этом научные результаты должны быть направлены не только на диагностику и способы лечения заболеваний, а в первую очередь, на здоровьесбережение наших граждан.

Далее в 2021-2024 гг. в регионе реализован II этап Программы КНИ, которая была направлена на формирование перспективных задельных исследований в рамках подготовки 100-летия Якутской АССР и разработку Прогноза научно-технологического развития Республики Саха (Якутия), обеспечение высокого уровня подготовленности к разработке и внедрению глобально конкурентно способных продуктов, услуг и технологий для развития базовых и новых отраслей экономики Республики Саха (Якутия), устойчивого развития региона и повышения уровня жизни населения.

Важным результатом второго этапа комплексных научных исследований с учетом основных задач социально-экономического развития Республики Саха (Якутия), определенных Указом Главы РС (Я) от 27 октября 2018 г. № 145 «О стратегических направлениях социально-экономического развития Республики Саха (Якутия)» и реализации национальных проектов, разработанных в целях реализации положений Указа Президента РФ от 07 мая 2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года».

Основные принципы формирования тем научных исследований, выполняемых в целях реализации Программы одобрены Главой РС (Я) и Председателем Правительства. Предложен отраслевой подход к определению направлений исследований, в частности, отмечено, что потенциал научного сообщества должен быть направлен на получение знаний и разработку технологий по следующим отраслям: разведка, добыча и переработка полезных ископаемых; Формирование и развитие сопутствующей производству инфраструктуры; продовольственная безопасность Республики Саха (Якутия); медицина и здоровьесбережение.

В основу тем заложена необходимость создания в регионе единой системы — объединение «Правительство РС(Я) — научная организация (координатор) — объекты технологического развития (производственные предприятия и организации и пр.)».

Главная цель создания данной системы — интегрирование интересов и ресурсов федерального и республиканского бюджета, промышленности, научного сообщества и потребителей для выработки единой стратегии инновационного и научно-технологического развития республики, интеграция Программой деятельности Межрегионального НОЦ мирового уровня «Север: территория устойчивого развития».

Использование данного современного инструмента технологического развития в республике может происходить по следующим направлениям.

1. Приоритетными направлениями экономики республики являются добывающая промышленность и создание новых несырьевых производств. Необходимо развивать технологическую базу по переработке полезных ископаемых, основанную на результатах научных исследований. Наряду с развитием производственных отраслей необходимо обеспечить эффективную систему природосберегающих технологий, природопользования, экологической безопасности Республики Саха (Якутия) и сохранения экосистемы региона в целом.

   Экономическое развитие Республики Саха (Якутия) связано, с одной стороны, с разработкой и промышленным освоением месторождений на территории, с другой стороны, с решением проблем сохранения исконной среды обитания коренных народов, основанном на природопользовании, социальной организации проживания.

2. Развитие экономики республики, как геополитически значимой территории Российской Федерации, обусловливает повышение уровня всей системы базовых инфраструктур и ее отдельных элементов. В республике сегодня достигнуты высокие показатели по строительству автодорог, в развитии цифрового пространства. Научно обоснованный подход к реализации проектов в сфере транспорта, энергетики и коммуникаций обеспечит достижение параметров стратегических документов России и республики.

3. Механизм реализации проекта по обеспечению продовольственной безопасности Республики Саха (Якутия) направлен на обеспечение использования и скорейшего внедрения результатов научных исследований в производство. Это, в свою очередь, послужит повышению конкурентоспособности продукции, улучшению ее качества, увеличению доходности сельскохозяйственных товаропроизводителей, улучшению качества жизни населения; созданию новых рабочих мест; поддержке малых форм хозяйствования; развитию социальной структуры села.

4. Эффективность реализации научно-технического потенциала научных учреждений Республики Саха (Якутия) в области биотехнологии, медицины, ветеринарии, генетики и т.д., может быть достигнута в рамках технологической платформы «Медицина будущего».

Считаем важным развитие и укрепление взаимодействия институтов Российской академии наук с Академией наук Республики Саха (Якутия) по вопросу научного и экспертного обеспечения реализации Госпрограммы научно-технологического развития РС (Я), Программы комплексных научных исследований в РС (Я), направленных на развитие ее производительных сил и социальной сферы, конкретных научных проектов по развитию Арктической зоны республики и страны.

Особое место в выстраивании взаимодействия реального сектора экономики и групп исследователей вокруг решения крупных народнохозяйственных задач занимает проект Программы «Комплексные научные исследования экологического состояния Вилюйской группы улусов и здоровья населения, проживающего на этих территориях, на период 2019-2023 годы». Он был реализован за счет целевых средств акционерной компании «АЛРОСА». Исполнителем работ по подготовке технических заданий на выполнение научно-исследовательских работ и по их научно-техническому сопровождению была определена Академия наук РС(Я).

В 2020-2021 гг. в рамках Программы была проведена комплексная эколого-медицинская экспедиция, в ходе которой:

- собраны, проанализированы и проинтерпретированы результаты за 1989-2021 гг. состояния водных (поверхностные воды, донные отложения, зоопланктон, фитопланктон, зообентос, и ихтиофауна, включая гистологические и паразитологические исследования рыб) и наземных (почвенно-растительный покров и животный мир) пойменных экосистем реки Вилюй и ее притоков.

- собраны и проанализированы сведения о сбросах сточных вод и проведены замеры для оценки современных гидрологических условий р. Вилюй на участке Светлинская ГЭС — г. Вилюйск — п. Промышленный и р. Мархa.

Считаем целесообразным, в интересах обеспечения экологической безопасности и сохранения здоровья людей, использовать сложившуюся команду экологов, биологов и медицинских работников, апробированный методологический и методический комплекс для проведения аналогичных комплексных работ и в других регионах Республики Саха (Якутия) и других субъектов страны, в которых происходят экологические изменения, влияющие на здоровье людей, связанные не только с промышленным освоением, но и с глобальными изменениями климата, наиболее резко проявляющимися в высоких широтах Арктики и Субарктики.

Секретариат президиума Академии наук РС(Я) осуществляет научно-методическое обеспечение Совета по науке. Проведенное 11 июня 2025 года Годичное Общее собрание Академии наук с участием Главы республики А. С. Николаева отметило важную роль академии в деятельности НОЦ мирового уровня «Север — территория устойчивого развития».

В марте и декабре 2025 года проведены расширенные заседания в форме общественных слушаний, обсуждались результаты проектов Российского научного фонда и проектов в рамках Общественного заказа на научные исследования по запросам в рамках социально-экономического развития региона.

Основными актуальными исследованиями в рамках Общественного заказа в 2026 г. являются:

1. Исследование проблем деменции в Республике Саха (Якутия) для выработки рекомендаций по созданию экосистемы здорового старения населения региона.

2. Разработка комплексного географического атласа Эвено-Бытантайского национального улуса и его изданию.

3. Изучение совместной уживаемости домашних северных оленей и овцебыков, и влияния овцебыков на пастбища оленей.

4. Оценка и основные тенденции развития рынка труда Республики Саха (Якутия) и его отдельных отраслей, демографических изменений в сложившейся социально-экономической ситуации.

5. Разработка методики установления ставок арендной платы земельных участков, находящихся в государственной собственности Республики Саха (Якутия).

6. Разработка комплекса лечебно-профилактических мероприятий в целях повышения уровня здоровья студентов призывного возраста, страдающих избыточной массой тела и ожирением.

7. Создание цифрового двойника сельского поселения и оценка возможности моделирования процессов жизнеобеспечения (на примере села Асыма МР «Горный улус» Республики Саха (Якутия).

8. Выявление закономерностей развития лесных пожаров на основе больших данных и их прогнозирование.

Главная цель — ускорение трансфера технологий, знаний и кадров в различные отрасли экономики северных регионов. Одной из главных задач является создание экологически чистых, рентабельных технологий и материалов, использование их технологическими партнерами, коммерциализация имеющихся научных технологических достижений мирового уровня, воспроизводства ресурсов и глубокой переработки минерального сырья, адаптация технологий к условиям Арктики.

В 2023 году по инициативе Министерства образования и науки Республики Саха (Якутия) был инициирован и разработан паспорт комплексного отраслевого проекта целевой подготовки «1000 лидеров науки и технологий Республики Саха (Якутия)». Основным принципом проекта является подготовка кадров высшей квалификации по программам подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре для системы среднего профессионального образования Республики Саха (Якутия).

Цель проекта — увеличение доли молодых ученых и подготовка научных кадров высшей квалификации в Республике Саха (Якутия).

Задачи проекта:

- обеспечение высококвалифицированными кадрами общеобразовательных учреждений, учреждений среднего профессионального образования, академической, университетской науки, а также организаций реального сектора экономики, ведущих деятельность на территории Республики Саха (Якутия);

- создание условий для эффективной подготовки кадров в аспирантуре, гарантированное закрепление специалистов по месту осуществления трудовой деятельности в соответствии с квалификацией, полученной в результате освоения образовательной программы на территории Республики Саха (Якутия). поддержка научной и научно-технической деятельности и профессионального роста молодых исследователей путем предоставления на конкурсной основе грантов на реализацию научных и научно-технических проектов по приоритетным направлениям научно-технологического развития Российской Федерации;

- поддержка социально ориентированных некоммерческих организаций, реализующих программы по поддержке молодых ученых Республики Саха (Якутия).

Целевая подготовка научных и научно-педагогических кадров осуществляется в ведущих научных образовательных организациях Российской Федерации в целях их последующего трудоустройства в организациях и предприятиях Республики Саха (Якутия).

По результатам реализации проекта доля молодых ученых в возрасте до 39 лет должна составить к 2033 году не менее 45% в общем числе исследователей.

Также существенным результатом работы в рамках проекта должно стать удовлетворение потребностей общеобразовательных учреждений, учреждений среднего профессионального образования, академической, университетской науки, а также организаций реального сектора экономики, ведущих деятельность на территории Республики Саха (Якутия), в высококвалифицированных кадрах.

Не менее важным итогом проводимой деятельности станут реализованные научно-исследовательские проекты молодых исследователей.

Участниками отраслевого проекта являются научные учреждения, вузы на территории республики (СВФУ, АГАТУ, АГУИККИ), а также школы, колледжи и техникумы.

В рамках проекта ведется подготовка научных кадров по специальностям и направлениям подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), ординатуре и ассистентуре-стажировке:

- инженерное дело,
- технологии и технические науки;
- математические и естественные науки;
- педагогические науки;
- сельское хозяйство и селскохозяйственные науки;
- науки об обществе;
- образование и педагогические науки;
- гуманитарные науки;
- культура и искусство.

Достижение к 2033 г. нарастающим итогом 1000 высококвалифицированных научных кадров и поддержанных по результатам конкурсных отборов молодых исследователей из расчета в среднем по 100 человек ежегодно.

Особое внимание уделено созданию условий для развития талантов и способностей среди детей и молодежи. В целях подготовки будущей интеллектуальной элиты республики создана Малая академия наук. В целом увеличился охват школьников мероприятиями для одаренных детей. Для поддержки молодых талантов с 2016 года учреждены ежемесячные стипендии для 100 действительных членов и 100 членов-корреспондентов Малой академии наук, 10 грантов для обучающихся на проведение научно-исследовательских работ, включая научные экспедиции.

Также важным связующим элементом профессионального образования и технологических запросов отдельных отраслей экономики стал республиканский форум молодых исследователей «Шаг в будущую профессию».

Одним из существенных конкурентных преимуществ Якутии является функционирование Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова — флагмана высшего образования республики, призванного стать ведущим научно-исследовательским и образовательным центром на Северо-Востоке России.

Мы ведем последовательную работу по реализации направлений научно-технологического сотрудничества, предусмотренных ранее подписанными документами стратегического планирования. Прежде всего, продолжается исполнение Соглашения между Республикой Саха (Якутия) и Сибирским отделением Российской академии наук, Перечня поручений по итогам рабочих встреч руководства Республики Саха (Якутия) с представителями Российской академии наук, Сибирского отделения РАН.

Социально-экономическое развитие Республики Саха (Якутия) призвано задействовать эффективный механизм согласования интересов различных субъектов пространственного развития, целью которого является формирование перспективного экономического каркаса Республики Саха (Якутия).

ПРИОРИТЕТНЫЕ РАЗРАБОТКИ ФИЦ ЯНЦ СО РАН:

ВКЛАД В НАУЧНО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677027, г. Якутск,
ул. Петровского, д. 2



Лебедев Михаил Петрович

академик РАН, генеральный директор

На основе данных о текущей деятельности ФИЦ ЯНЦ СО РАН оценивается его вклад в решение социально-экономических задач региона. Особое внимание уделено современным практическим разработкам ученых, междисциплинарной программе по устойчивому развитию Арктики, координируемой ФИЦ ЯНЦ СО РАН. Показано, что научные исследования и внедряемые решения ФИЦ ЯНЦ СО РАН формируют интеллектуальную основу технологического суверенитета северных территорий РФ.

Аннотация

В статье анализируется роль Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр СО РАН» как драйвера устойчивого развития Республики Саха (Якутия) и Арктической зоны РФ. На основе данных о текущей деятельности ФИЦ ЯНЦ СО РАН оценивается его вклад в решение социально- экономических задач региона. Особое внимание уделено современным практическим разработкам ученых, междисциплинарной программе по устойчивому развитию Арктики, координируемой ФИЦ ЯНЦ СО РАН. Показано, что научные исследования и внедряемые решения ФИЦ ЯНЦ СО РАН формируют интеллектуальную основу технологического суверенитета северных территорий РФ.

Ключевые слова: Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», Арктическая зона РФ, социально- экономические задачи, практические разработки, междисциплинарная программа, технологический суверенитет.

Научные изыскания в Республике Саха (Якутия) имеют свою многолетнюю историю. Сосредоточенный в республике потенциал квалифицированных кадров, научных разработок, инфраструк-



Шиц
Елена Юрьевна

доктор технических наук, доцент, член Научного совета РАН по газохимии, заместитель генерального директора по науке



Лукачевская
Ирина Григорьевна

кандидат технических наук, главный ученый секретарь

туры учреждений науки — результат последовательной работы нескольких поколений ученых. Якутия по праву может гордиться своими научными школами, которые наглядно демонстрируют постоянную связь между наследием предшественников и современностью.

История Якутского научного центра начинается с конца 40-х годов XX века, когда было принято решение организовать научно-исследовательскую базу Академии наук СССР в Якутске. Это было связано с необходимостью систематического изучения природы, природных ресурсов, истории, языка и культуры народов Якутии, а также для объединения и координации научных работ в регионе.

В 1947 году была официально организована Якутская научно-исследовательская база Академии наук СССР (ЯНИБ АН СССР), которая позже была переименована в Якутский филиал Академии наук СССР.

В 1957 году Якутский филиал был включен в состав Сибирского отделения АН СССР и стал называться Якутским филиалом Сибирского отделения Академии наук СССР.

С течением времени Якутский филиал претерпел несколько изменений и преобразований. В 1988 году он был преобразован в Якутский научный центр Сибирского отделения АН СССР, а после образования Российской академии наук в 1991 году — в Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук (ЯНЦ СО РАН).

В 2019 г. Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук преобразован в ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения РАН» (далее Центр, ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ЯНЦ СО РАН).

Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» является крупным научным центром на Северо-Востоке России, организующим и проводящим фундаментальные и прикладные научные исследования по проблемам естественных, технических, гуманитарных и общественных наук, обеспечивающим научно- технологическую поддержку освоения и устойчивого развития северных и арктических территорий России — критически важных для национальной безопасности, прирастания ресурсной базы и обеспечения геополитических интересов страны.

В настоящее время в составе ФИЦ ЯНЦ СО РАН семь институтов — обособленных подразделений: Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО РАН, Якутский институт сельского хозяйства им. М. Г. Сафронова ЯНЦ СО РАН, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Институт космофизических исследований и аэрономии им. Ю. Г. Шафера СО РАН, Институт физико-технических проблем Севера им. В. П. Ларионова СО РАН, Институт проблем нефти и газа РАН.

Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» располагается в городе Якутске, в Республике Саха (Якутия). Географическое положение Центра позволяет ученым непосредственно на месте изучать арктические и субарктические экосистемы, криолитозону, природные и человеческие ресурсы Крайнего Севера.

Учитывая суровые климатические условия региона, наличие уникальной и богатой ресурсами территории, многолетней мерзлоты, специфических условий жизни населения, основное внимание в Якутском научном центре СО РАН уделялось и уделяется исследованиям в области естественных, технических и гуманитарных наук, а также решению задач, способствующих социально-экономическому развитию Республики Саха (Якутия).

Значительный масштаб научной деятельности ФИЦ ЯНЦ СО РАН подтверждается текущей реализацией более 50 тематик государственного задания (ГЗ).

Все исследования выстроены в строгом соответствии с утвержденными направлениями работ Центра и нацелены на решение актуальных задач развития Республики Саха (Якутия), Крайнего Севера и Арктической зоны Российской Федерации.

Необходимо отметить, что практические разработки (Таблица 1) являются закономерным следствием проводимых в ФИЦ ЯНЦ СО РАН фундаментальных научных исследований. И что особенно важно — эти разработки не остаются на бумаге: они крайне актуальны для Севера и АЗРФ (Арктической зоны Российской Федерации) и уже сегодня помогают решать самые на-

ТАБЛИЦА 1. СОВРЕМЕННЫЕ РАЗРАБОТКИ ФИЦ ЯНЦ СО РАН ПО КЛЮЧЕВЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Название разработки	Институт-обособленное подразделение ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Способ брикетирования каменных углей Южно-Якутского угольного бассейна	ИГДС СО РАН им. Н. В. Черского
Методика углового георадиолокационного сканирования на участках со сложно пересечённой местностью, обеспечивающая построение 3D-карт строения массива горных пород для решения задач эксплуатационной разведки россыпных месторождений	ИГДС СО РАН им. Н. В. Черского
Программный комплекс расчета теплового и вентиляционного режимов сети горных выработок шахт и рудников криолитозоны с учетом теплообменных процессов и фазовых переходов влаги во вмещающем породном массиве	ИГДС СО РАН им. Н. В. Черского
Вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12 с проектной производительностью до 12 т/ч, не уступающий по своим характеристикам российским и зарубежным аналогам	ИГДС СО РАН им. Н. В. Черского
Георадиолокационный программно-аппаратный и интерпретационный комплекс для детального исследования ледяного покрова рек (толщина, строение)	ИГДС СО РАН им. Н. В. Черского
Композиционный материал повышенной прочности на основе ледяной матрицы и базальтовой армирующей фибры для строительства временных зимних переправ, дамб и других объектов инфраструктуры	ИФТПС СО РАН им. В. П. Ларионова
Программное обеспечение для расчета и выбора технических решений гибридных систем солнечного теплоснабжения, работающих совместно с традиционными в природно-климатических условиях Республики Саха (Якутия)	ИФТПС СО РАН им. В. П. Ларионова
Термоадгезионный сепаратор для автоматического отделения и поштучного извлечения зерен алмазов из природного алмазосодержащего концентрата, размерностью –5 +1мм	ИФТПС СО РАН им. В. П. Ларионова
Высокомодульный эластомерный композиционный материал повышенной прочности и жесткости и способ его получения для резиновой промышленности	ИФТПС СО РАН им. В. П. Ларионова
Способ ультразвуковой ударной послесварочной обработки монтажных стыковых соединений труб класса прочности К60 для снижения остаточных напряжений	ИФТПС СО РАН им. В. П. Ларионова
Карты плотности грозовых разрядов за период 2009–2023 гг. вдоль трубопроводов на территории Якутии с разрешением 0,25 · 0,25 географических градуса	ИКФИА СО РАН им. Ю. Г. Шафера
Программный комплекс спутникового мониторинга природных пожаров и параметров атмосферы	ИКФИА СО РАН им. Ю. Г. Шафера
Программно-аппаратный комплекс «Фазаграф» для биофизических мониторинговых наблюдений функционального состояния здоровых людей	ИКФИА СО РАН им. Ю. Г. Шафера

Название разработки	Институт- обособленное подразделение ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Программа для анализа и визуализации данных исследования синхронизации параметров реполяризации миокарда желудочков (по коэффициенту симметрии зубца Т электрокардиограммы) с параметрами космической погоды	ИКФИА СО РАН им. Ю. Г. Шафера
Технология и прототип аппарата с управляемым охлаждением для сварки полиэтиленовых труб при низких температурах	ИПНГ СО РАН
Асфальтобетоны с использованием минеральных порошков из природного сырья Якутии с улучшенной коррозионной стойкостью и теплофизическими свойствами для эксплуатации в северных и арктических регионах	ИПНГ СО РАН
Рецептуры резиновых смесей для изготовления морозостойких резин уплотнительного назначения для гидравлических, топливных, пневматических и других систем машин, приборов и технологического оборудования, эксплуатируемых в условиях Севера и Арктики	ИПНГ СО РАН
Биопрепараты и технологические проекты для очистки и рекультивации нефтезагрязненных земель	ИПНГ СО РАН
Уникальная сеть наблюдений SakhaFluxNet для параметризации компонентов мерзлотных экосистем и верификации баланса парниковых газов с использованием новейшей научной инновационной инструментальной базы, не имеющей аналогов в мире — комплексная система регионального и глобального экологического мониторинга баланса углекислого газа, потоков тепла и воды, входящая в мировую сеть наблюдений за циклическими процессами на Европейском и Азиатском континентах	ИБПК СО РАН
Технология длительного хранения семян растений в условиях многолетнемерзлых пород без снижения их жизнеспособности (всхожести), структурной и функциональной целостности генома	ИБПК СО РАН
Биотехнологии переработки природного растительного и животного северного биосырья: биопрепараты «Эпсорин», «Ягель», «Бетукладин» и др., лечебно-профилактическая хлебобулочная продукция (хлеб «Ягелевый», «Хлеб с бетулином») и тонизирующий напиток «YES» (Yakutia Energy Secret) с добавками «Эпсорина».	ИБПК СО РАН
Ряд биологических препаратов для ветеринарного применения, пищевой промышленности и охраны природы (бактериофаги, кормовые добавки, закваски кумыса, суората и других национальных продуктов)	ЯНИИСХ им. М. Г. Сафронова ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Препараты для лечения паразитарных болезней сельскохозяйственных животных с учетом ветеринарно-санитарного, гигиенического, экологического состояния естественных и сельскохозяйственных экосистем в условиях Якутии	ЯНИИСХ им. М. Г. Сафронова ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Технология защиты табунных лошадей от кровососущих насекомых и имаго желудочных оводов лошадей без опрыскивания животных инсектицидами	ЯНИИСХ им. М. Г. Сафронова ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Новые сорта и технологии для внедрения в сельскохозяйственное производство РС(Я) посредством ведения оригинального (суперэлиты и элиты) семеноводства районированных сортов картофеля (северный, тулунский ранний, вармас), зерновых (пшеница приленская 19, пшеница туймаада, ячмень тамми, овес виленский, озимая рожь чолбон) и кормовых культур (горох посевной сарыал, вика посевная ленская 15, кострец безостый эркээни, пырейник сибирский амгинский)	ЯНИИСХ Им. М. Г. Сафронова ФИЦ ЯНЦ СО РАН
Система персонализированного питания детского населения Арктической зоны Российской Федерации на основе комплексной оценки характера фактического питания, пищевого статуса, пищевых привычек, полиморфизма генов, связанных с алиментарно-зависимой патологией, состоянием микробиоты хозяина и ее функционального потенциала, метаболизмом пищевых веществ	ФИЦ ЯНЦ СО РАН, молодежная лаборатория нутригеномики
Способ поиска ископаемых костных остатков мамонтовой фауны на дне пресноводных водоемов Арктики с использованием метода георадиолокации	ФИЦ ЯНЦ СО РАН молодежная лаборатория технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны
Ресурсосберегающая технология хранения ископаемой мамонтовой кости после извлечения из вмещающих пород, при транспортировке и складировании	ФИЦ ЯНЦ СО РАН молодежная лаборатория технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны
Методика картографического обеспечения проведения этнографической экспертизы в РС(Я) с использованием ГИС технологии в виде системы оценочных индикаторов и серии тематических карт по традиционному природопользованию коренных малочисленных народов Севера Якутии	ИГИиПМНС СО РАН

МЕЖДУНАРОДНАЯ МЕГА-УСТАНОВКА SAKHAFLUXNET ИБПК СО РАН

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ТРАНСЕКТА: РЕПРЕЗЕНТАТИВНЫЕ МЕРЗЛОТНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ (ЛЕС-ЛЕСОТУНДРА-ТУНДРА, ПРОТЯЖЕННОСТЬ 1100 КМ)

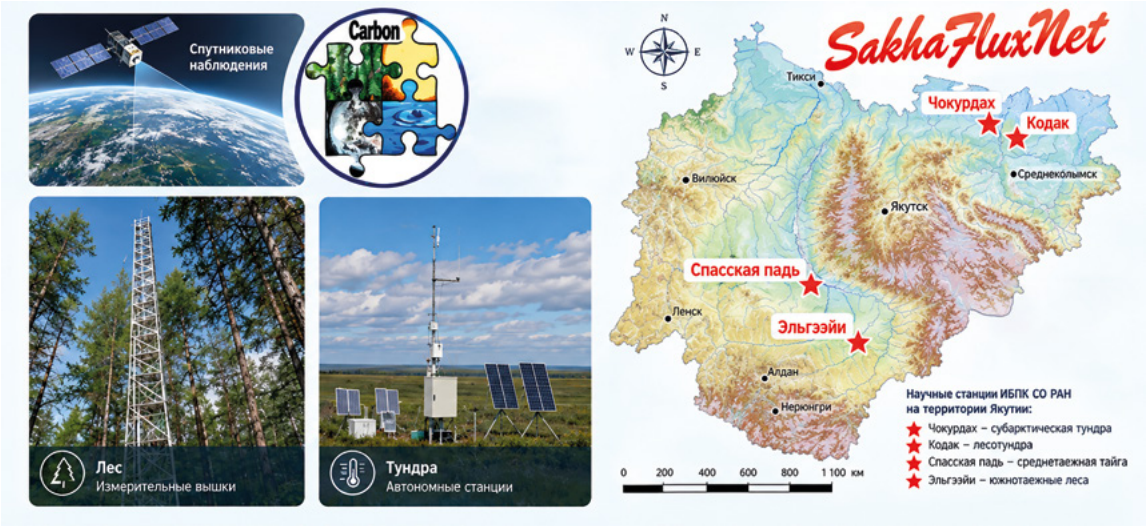


Рис. 1. Международная мега–установка SakhaFluxNet (ИБПК СО РАН)

сущные задачи: от мониторинга криолитозоны, повышения хладостойкости сталей, полимерных материалов, решения актуальных вопросов энергетики северных территорий, сохранения биоразнообразия, рационального использования минерально-сырьевой базы российской Арктики, проблем транспорта, переработки углеводородного сырья и экологического мониторинга, ветеринарного обеспечения биологической безопасности в Арктике и Субарктике до комплексного изучения и разработки научно обоснованных решений по обеспечению баланса интересов промышленного освоения Арктики и сохранения экологической устойчивости, традиционных видов деятельности и культур коренных народов, повышения качества жизни и сохранения здоровья населения АЗРФ.

Более 30 разработок высокой степени востребованности и готовности, многочисленные зарегистрированные результаты интеллектуальной деятельности позволяют постоянно взаимодействовать с реальным сектором экономики — у ФИЦ ЯНЦ СО РАН на сегодняшний день более 50 индустриальных партнеров различного уровня и форм собственности. Таким образом, наука ФИЦ ЯНЦ СО РАН становится реальным драйвером развития Крайнего Севера и Арктики.

Из приведенных в таблице 1 данных очевидно, что ФИЦ ЯНЦ СО РАН не просто проводит исследования — он формирует научный фундамент устойчивого развития Республики (Саха) Якутия и Арктической зоны РФ. Результаты научных исследований ученых Центра помогают превратить вызовы в возможности для технологического прогресса, экономической устойчивости и повышения качества жизни людей в одном из самых суровых и стратегически важных регионов планеты.

Развитие Республики Саха (Якутия) и всей Арктической зоны Российской Федерации невозможно без науки — глубокой, системной, междисциплинарной и стратегически ориентированной.

Будущее Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр» связано с развитием науки и технологий в Якутии в сотрудничестве с другими научными организациями и университетами РФ.

В 2023–2024 гг. на Арктическом конгрессе «Арктика — территория стратегических научных исследований» в Якутске была представлена концепция междисциплинарной программы «Фундаментальные и прикладные исследования, направленные на развитие регионов Арктической зоны Российской Федерации», координатором которой выступает ФИЦ ЯНЦ СО РАН [1].

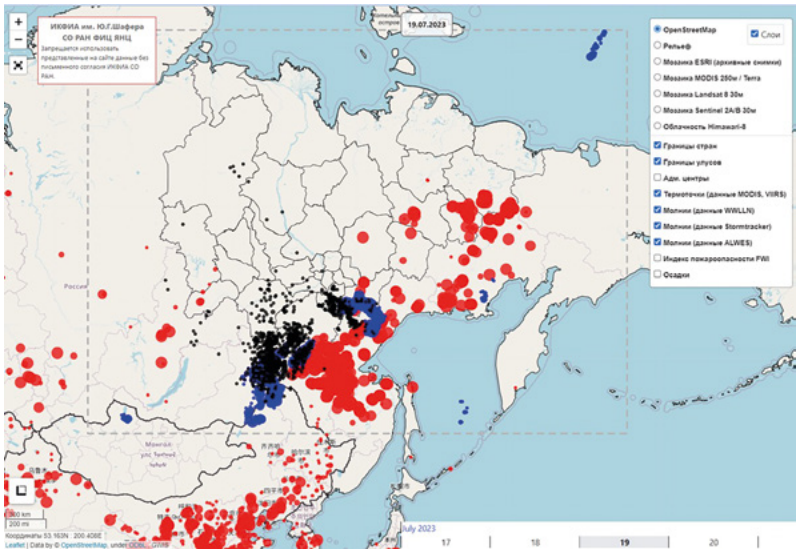


Рис. 2. Интерфейс пользователя Интернет-ресурса «Система информационной поддержки мониторинга лесных пожаров» (ИКФИА СО РАН)

31 октября 2024 г. генеральный директор ФИЦ ЯНЦ СО РАН академик РАН М.П. Лебедев представил проект Программы главе Республики Саха (Якутия) Айсену Николаеву; подчеркнуто, что она объединяет усилия восьми федеральных исследовательских центров, относящихся к Сибирскому, Дальневосточному и Уральскому отделениям РАН [2]. Программа включает более сотни проектов по шести направлениям — от фундаментальных климатических и геологических исследований до разработки технологий устойчивого развития инфраструктуры, энергетики, агропромышленного комплекса, биотехнологий и гуманитарных исследований.

22–23 сентября 2025 г. в Якутске, в ФИЦ ЯНЦ СО РАН, прошло совместное научное заседание членов Российской Академии наук и её региональных отделений «Российская Академия наук — драйвер прогресса арктических исследований», где Программа получила поддержку научного сообщества [1, 3]. На заседании было принято решение подготовить Паспорт Программы и представить её на рассмотрение Президиума РАН с последующей передачей в Министерство науки и высшего образования РФ.

Взаимодействие между федеральными исследовательскими центрами в рамках Программы планируется выстраивать через:

- создание междисциплинарных рабочих групп по ключевым направлениям;
- совместные исследовательские проекты и консорциумы с общей экспериментальной инфраструктурой;
- обмен экспертами, аспирантами и молодыми учёными;
- регулярные совместные конференции и конгрессы.
- общие базы данных и цифровые платформы по результатам мониторинга и моделирования.

Такой формат кооперации обеспечивает синергетический эффект и ускоряет трансфер научных результатов в практику социально-экономического развития северных и арктических регионов.

Таким образом, современный ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН» — это динамичные исследования в целях построения новой высокотехнологичной модели освоения Крайнего Севера и Арктики, адаптации и разработки новых технологий в условиях низких температур. Его достижения были, есть и станут основой для дальнейших исследований и инноваций, направленных на улучшение качества жизни населения и сохранение уникального природного и культурного наследия региона.



Рис. 3. Карта распределения толщины льда на р. Лена по данным георадиолокации (ИГДС СО РАН)



Рис. 4. Резинотехнические изделия (ИПНГ СО РАН)

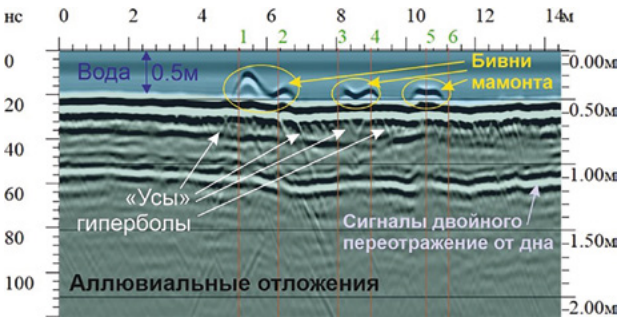


Рис. 5. Радарограммы, полученные при продольном и поперечном профилировании бивней мамонта с использованием георадара ОКО-2 (ФИЦ ЯНЦ СО РАН молодежная лаборатория технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны)



Рис. 6. Разработки ЯНИИСХ ЯНЦ СО РАН

Сегодня, в условиях масштабных климатических, технологических и социальных трансформаций, именно наука снова выходит на передний план — как интеллектуальная основа устойчивого развития, научный каркас для управленческих решений и источника технологического суверенитета страны.

Список литературы

1. GoArctic / Проект «Арктика». Программу по развитию Арктической зоны РФ, координирующую работу 8 научных учреждений, представили в Якутске (31.10.2024). URL: https://goarctic.ru/work/programmu-po-razvitiyu-arkticheskoy-zony-rf-koordiniruyushchuyu-rabotu-8-nauchnykh-uchrezhdeniy-razr/ (дата обращения: 11.11.2025).
2. ГТРК «Саха». В Якутске начал работу II Арктический конгресс «Арктика — территория стратегических научных исследований» (20.09.2024). URL: https://gtrksakha.ru/news/2024/09/20/v-yakutske-nachal-rabotu-ii-arkticheskij-kongress/ (дата обращения: 11.11.2025).
3. Сибирское отделение РАН. В Якутске состоялось совместное научное заседание Сибирского и Дальневосточного отделений РАН «Российская академия наук — драйвер прогресса арктических исследований» (22.09.2025). URL: https://new.ras.ru/activities/news/v-yakutske-sostoyalos-sovmestnoe-nauchnoe-zasedanie-sibirskogo-i-dalnevostochnogo-otdeleniy-ran/ (дата обращения: 11.11.2025).

МОЛОДЕЖНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ ЯНЦ СО РАН:

РЕЗУЛЬТАТЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИНТЕГРАЦИЯ В РОССИЙСКУЮ НАУКУ

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677027, г. Якутск,
ул. Петровского, д. 2



Лукачевская Ирина Григорьевна

кандидат технических наук, главный ученый секретарь

В рамках национального проекта «Наука и университеты» (с 2025 г. — «Молодежь и дети») в Якутском научном центре Сибирского отделения РАН (ЯНЦ СО РАН) сформирована сеть из семи молодёжных лабораторий, нацеленных на решение актуальных научных и прикладных задач в условиях Арктики и Субарктики.

Коллективы лабораторий объединяют усилия учёных разных специальностей для разработки технологий и подходов, способных обеспечить устойчивое развитие северных территорий, и осуществляют исследования по следующим проектам:

1. Разработка алгоритма оценки коэффициента жесткости напряженного состояния для прогнозирования характера разрушения конструкционных материалов (лаборатория «Инновационные технологии Арктики и Субарктики», руководитель к.т.н. Е. С. Лукин).

В рамках деятельности лаборатории предложен междисциплинарный подход к анализу разрушения конструкционных материалов. Разработана методика оценки склонности материала к хрупкому или вязкому разрушению, основанная на анализе коэффициента жесткости напряженного состояния (П), распределенного вдоль фронта трещины. Параметр П вычисляется по формуле (1):

$$П = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sigma_i}$$

где σ_1, σ_2, σ_3 — компоненты главных напряжений, σ_i — интенсивность напряженного состояния

Установлена взаимосвязь коэффициента П с Т-напряжениями (T_x) и радиусом зоны пластичности (r_p). Для линии продолжения трещины (θ=0) получены аналитические выражения (2):

Показано, что малый радиус зоны пластичности при околонулевых значениях Т-напряжений в условиях плоской деформации обусловливает высокие значения П и, как следствие, повышенную склонность материала к хрупкому разрушению. Напротив, увеличенные значения r_p и T_x формируют «мягкое» напряженное состояние, способствующее вязкому разрушению.

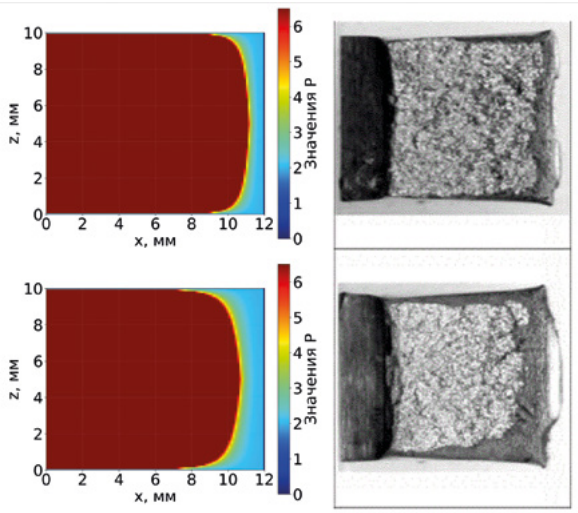


Рис. 1 Результаты расчета коэффициента жесткости напряженного состояния для модели образца толщиной 10 мм (слева — расчет, справа — излом) Крайнего Севера



Винокуров Александр Данилович

кандидат исторических наук, ученый секретарь

Для верификации подхода выполнено компьютерное моделирование образцов на трехточечный изгиб с толщинами 3 мм и 10 мм. Результаты расчетов сопоставлены с экспериментальными данными (фрактографический анализ изломов). Области, выявленные как зоны вязкого разрушения в расчетной модели, соответствуют фактическим участкам вязкого излома, что подтверждает обоснованность предложенного критерия.

$$\begin{cases} \sigma_1 = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r_p}} + T_x \\ \sigma_2 = \frac{K_1}{\sqrt{2\pi r_p}} \\ \sigma_3 = \mu\left(\frac{2K_1}{\sqrt{2\pi r_p}} + T_x\right) \\ \text{для ПДС, и } \sigma_3 = 0 \text{ для ПНС} \end{cases}$$

Разработанный алгоритм ориентирован на применение в проектных и научно-исследовательских организациях для оценки надежности конструкций, эксплуатируемых в суровых климатических условиях Арктической и Субарктической зон. Потенциальными потребителями являются предприятия строительной и машиностроительной отраслей, а также организации, осуществляющие техническое обследование зданий и сооружений в северных регионах. Ожидается, что внедрение разработки позволит повысить точность прогнозирования разрушения материалов и снизить аварийность конструкций при низких температурах.

2. Разработка принципов и технологий создания перспективных для Севера и Арктики полимерных конструкционных материалов на основе комплексного исследования структуры, свойств, технологических переделов и деструкции в экстремальных условиях холодного климата (лаборатория «Комплексные климатические испытания», руководитель к.т.н. И. Г. Лукачевская).

В рамках деятельности лаборатории проводятся фундаментальные и прикладные исследования, направленные на оценку воздействия комплекса климатических и биологических факторов на физико-механические и эксплуатационные свойства материа-

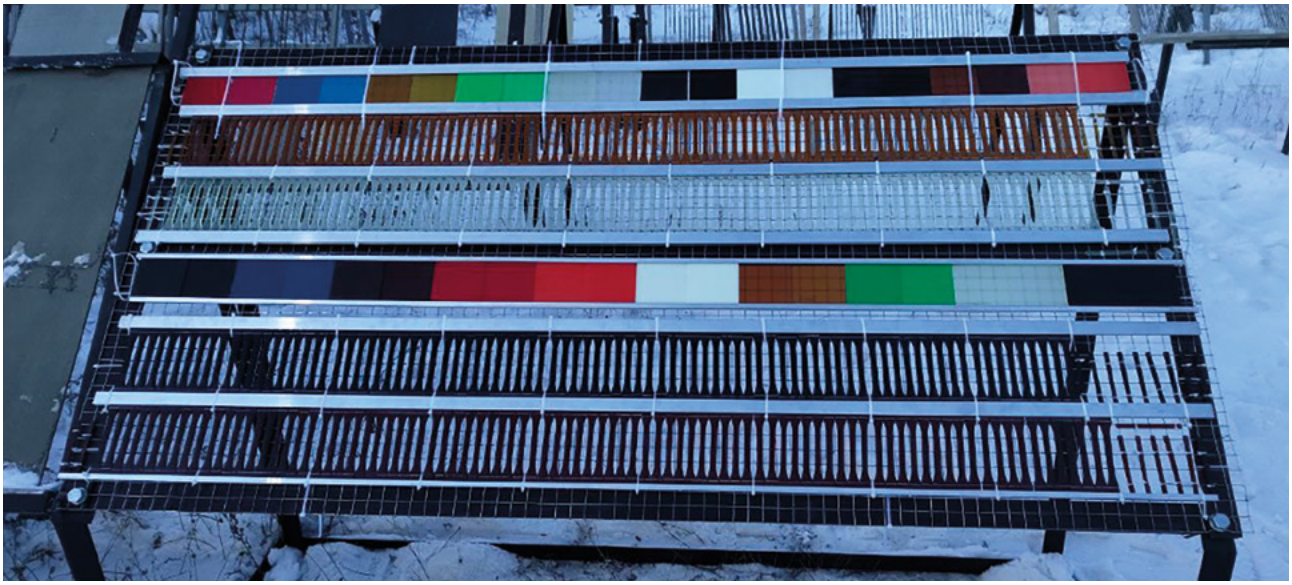


Рис. 2 Фотография испытательного стенда с изготовленными полимерными образцами в г. Якутск

лов в различных климатических зонах. За период 2024–2025 гг. учёным удалось выявить ключевые закономерности, связывающие структурно-фазовое состояние, влагосорбционные процессы и физико-механические свойства полимерных материалов при натурном климатическом старении — в том числе в экстремальных условиях арктического и субтропического климата.

Детальный анализ эпоксидных полимеров на основе смолы Этал-247 продемонстрировал существенную зависимость их свойств от климатических условий, уровня влажности и типа отвердителя.

Так, состав с Этал-1472 показал наибольшую прочность в высушенном состоянии (до 85 МПа) и минимальное влагопоглощение (в 3 раза ниже, чем у других аналогов), что делает его оптимальным для применения в условиях Севера. В то же время составы с Этал-45TZ2 и Этал-M7 продемонстрировали наименьшую стабильность: при влагонасыщении прочность снижалась до 10–15% от исходной, а влагопоглощение достигало 40–50% при одновременном снижении температуры стеклования на 20 °C и более.

Значимые результаты получены при изучении 3D-печатных образцов из PETG-пластика: установлено, что направление печати и региональные климатические условия оказывают синергетическое влияние на влагосорбционные и механические свойства изделий.

В частности, образцы, изготовленные методом FDM в боковом направлении печати (серия 563), показали предельную сорбционную ёмкость до 1,47% в умеренно континентальном климате, что свидетельствует о развитии гидролитической деструкции. При этом в условиях Якутска прочностные характеристики таких образцов оставались стабильными, тогда как в Саранске наблюдалось падение прочности до 30%.

Важным практическим результатом стало подтверждение высокой эффективности антимикробных покрытий для повышения долговечности полимерных композитов в холодном климате. Обработка образцов антимикробным составом обеспечила подавление роста патогенной микрофлоры (E. coli, S. aureus) на 99% и предотвратила развитие плесневых грибов в течение 12 месяцев



Рис. 3 Обследование состава тела и плотности костной ткани

экспозиции в условиях п. Тикси. По итогам исследований подана заявка на патент «Защитная полимерная композиция для повышения биостойкости композитных материалов».

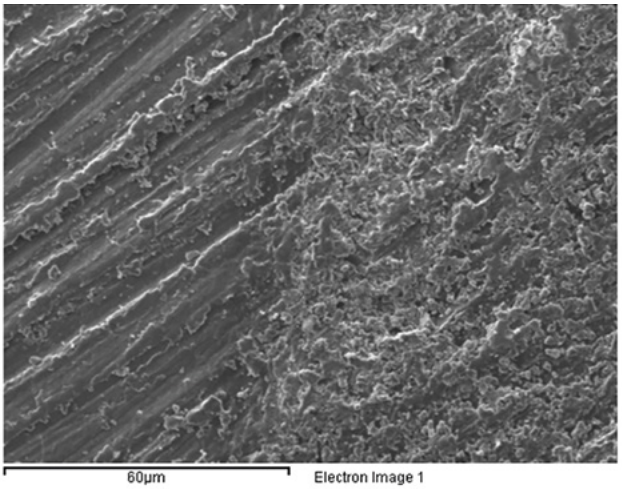
3. Научно обоснованные принципы и подходы к персонализированной диетотерапии алиментарно зависимых заболеваний для населения Арктических и Северных территорий на основе интеграции данных популяционных обследований питания, нутритивного статуса и пищевого поведения с нутригеномическими маркерами и параметрами среды (научно-исследовательская лаборатория нутригеномики, руководитель д.с.х.н. К. М. Степанов)

В рамках проведённых исследований сформирован научно-методический каркас для разработки персонализированной диетотерапии алиментарно зависимых заболеваний (АЗЗ) в условиях Арктики и Севера. Ключевым аспектом работы стало изучение пищевых привычек местного населения: проанализирована частота потребления различных продуктов, что позволило выявить как защитные пищевые паттерны (овощи, рыба, ягоды и дикоросы), так и факторы риска (переработанное мясо, изделия из рафинированной муки, сладкие напитки и часть ультрапереработанных продуктов). Особое внимание уделено выраженным половым различиям в потреблении отдельных продуктов, что определяет необходимость дифференцированного подхода к разработке диетических рекомендаций.

Предложена прикладная модель перехода от популяционного описания питания к персонализированной диетотерапии, основанная на связке «пищевое поведение → нутритивный/метаболический фенотип → нутригеномические модификаторы ответа». Обоснована методологическая необходимость включения регионального модуля в унифицированные опросники — с учётом специфики арктических популяций (виды рыбы, мясо диких животных, оленеводство, дикоросы, традиционные блюда, способы заготовки). Это позволяет минимизировать риск систематической ошибки при интерпретации данных и повысить точность нутригеномической диагностики.



а) готовое изделие



б) микрофотография адгезии полимерной смолы и бивня мамонта (x1000)

Рис. 4 Стабилизация фрагментов БМ низкого сорта: а – изделие из стабилизированной заготовки; б – электронная микрофотография границы раздела полимерная смола/БМ, демонстрирующая высокий уровень адгезии

Результаты исследований показали, что эффективная персонализированная диетотерапия АЗЗ в Арктике и на Севере должна базироваться на комплексной интеграции нескольких типов данных: популяционной статистики питания и пищевого поведения, клинико-метаболического профиля пациентов, регионально специфичных пищевых экспозиций и нутригеномических предикторов. Такой подход создаёт основу для разработки адаптированных инструментов мониторинга и алгоритмов диетотерапии, направленных на снижение алиментарно обусловленных рисков и повышение эффективности профилактики и лечения АЗЗ.

Практическая значимость работы заключается в формировании методической базы для создания персонализированных диетических рекомендаций, учитывающих экстремальные климатические условия и особенности традиционного питания северных народов. Внедрение разработанных подходов позволит оптимизировать стратегии профилактики и лечения алиментарно зависимых патологий в отдалённых регионах, повысив качество жизни местного населения.

4. Исследование особенностей ископаемой мамонтовой кости как ценного природного биогенного сырья, разработка методов его экологически безопасного поиска, способов хранения и обработки (Лаборатория технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны, руководитель к.т.н. Е. С. Петухова).

Молодёжная лаборатория технологий добычи и переработки сырья мамонтовой фауны Якутского научного центра СО РАН начала работу 11 июня 2019 года. Создание лаборатории продиктовано высокой концентрацией (более 80%) находок остатков животных мамонтовой фауны, включая бивни мамонта (БМ), на территории Республики Саха (Якутия). Ключевая задача коллектива — разработка методов поиска костных остатков, а также обеспечение ресурсосбережения при добыче, хранении, транспортировке и переработке БМ в изделия.

За период с 2019 по 2025 год лаборатория реализовала комплексный цикл работ — от картографирования местонахождений остатков мамонтовой фауны и внедрения геофизических методов поиска до глубокой переработки БМ и создания защитных составов. В рамках исследований проведён анализ состава и структуры бивня мамонта (Mammuthus primigenius) с применением современных методов: термогравиметрического и рентгенофазового анализа, ИК-спектроскопии. Особое внимание уделялось изучению влияния условий хранения на физические свойства бивней мамонтов, что имеет критическое значение для сохранения уникального косторезного сырья биогенного происхождения.

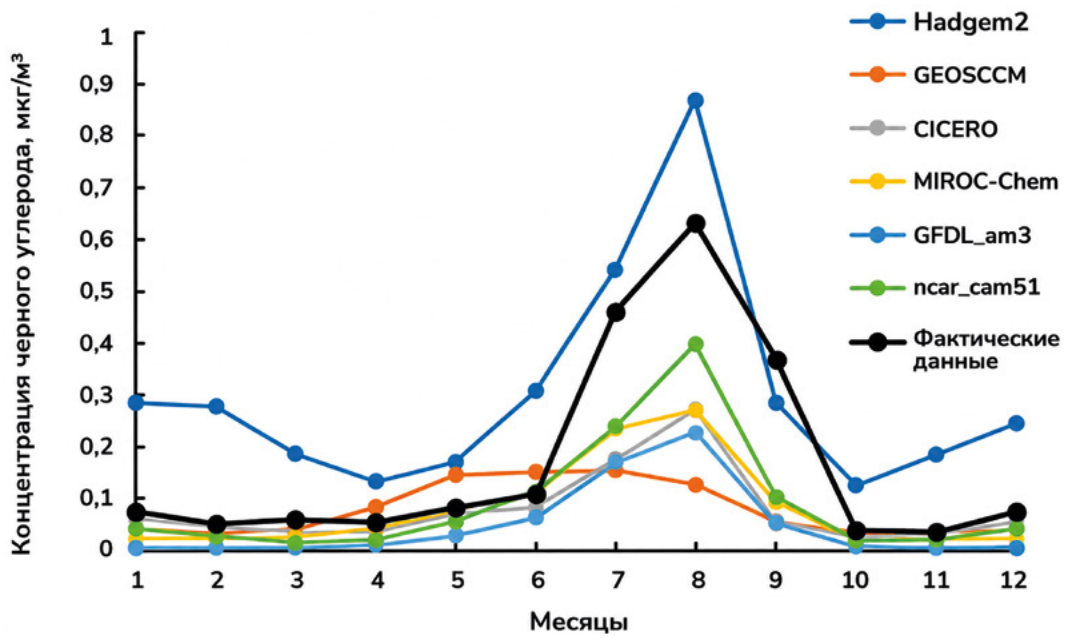


Рис. 5 Среднемесячные массовые концентрации черного углерода в приземном воздухе на лесной научной станции «Спасская Падь» в 2020-2022 гг. по данным мониторинга и климатическим моделям

Важным практическим результатом стало создание защитных составов для стабилизации фрагментов БМ низкого сорта, обеспечивших высокий уровень адгезии полимерной смолы с материалом бивня. Разработанные технологии открывают новые возможности для ювелирно-сувенирной отрасли и способствуют рациональному использованию ценного природного ресурса. Проведённые исследования имеют не только прикладное значение, но и вносят вклад в развитие палеонтологии и материаловедения, расширяя знания о свойствах уникального биогенного материала.

Полученные результаты создают научно-методическую основу для дальнейшего совершенствования технологий добычи, хранения и переработки сырья мамонтовой фауны.

5. Исследование массовых концентраций чёрного углерода в воздухе на лесной научной станции «Спасская падь» (г. Якутск) в 2018–2023 гг. (лаборатория экологии атмосферы, руководитель к.т.н. П. Г. Мордовской).

В рамках научно-исследовательской работы лаборатории проводится непрерывный мониторинг климатически активных веществ с 2018 года. Основным наблюдательным полигоном лаборатории является лесная научная станция «Спасская падь» ФИЦ ЯНЦ СО РАН, которая расположена в 30 км к северу от г. Якутска (62°14′ с.ш., 129°37′ в.д.). Измерения массовой концентрации чёрного углерода (ЧУ) в атмосферном воздухе проводились с помощью абсорбционного фотометра COSMOS BCM-3130 (Kanomax, Япония), размещённого на высоте 10 м от поверхности земли. Непрерывный мониторинг озона, углекислого газа и NOx в приземном воздухе осуществляется с использованием отечественных приборов (ОПТЭК, г. Санкт-Петербург) и LI-820 (LI–COR, США). Параллельно измерялась глубина снежного покрова с помощью ультразвуковых датчиков SR-50A (Campbell Scientific, США) и метеорологические параметры с использованием автоматической метеостанции WXT 520 (Vaisala, Финляндия). Также были проведены самолетные и наземные наблюдения за концентрациями метана, паров воды и углекислого газа на высотах до 3000 м с помощью инфракрасного газоанализатора LI-7810 (LI–COR, США).

Исследования позволили установить значимые зависимости между концентрацией ЧУ и ключевыми климатическими эффектами. В частности, выявлено, что рост концентрации ЧУ на 0,1 мкг/м³ приводит к уменьшению альбедо снежного покрова на 3,2%. Накопление ЧУ в снежном покрове в диапазоне 2500–3500 мкг/м² оказывает существенное влияние на динамику таяния: уве-

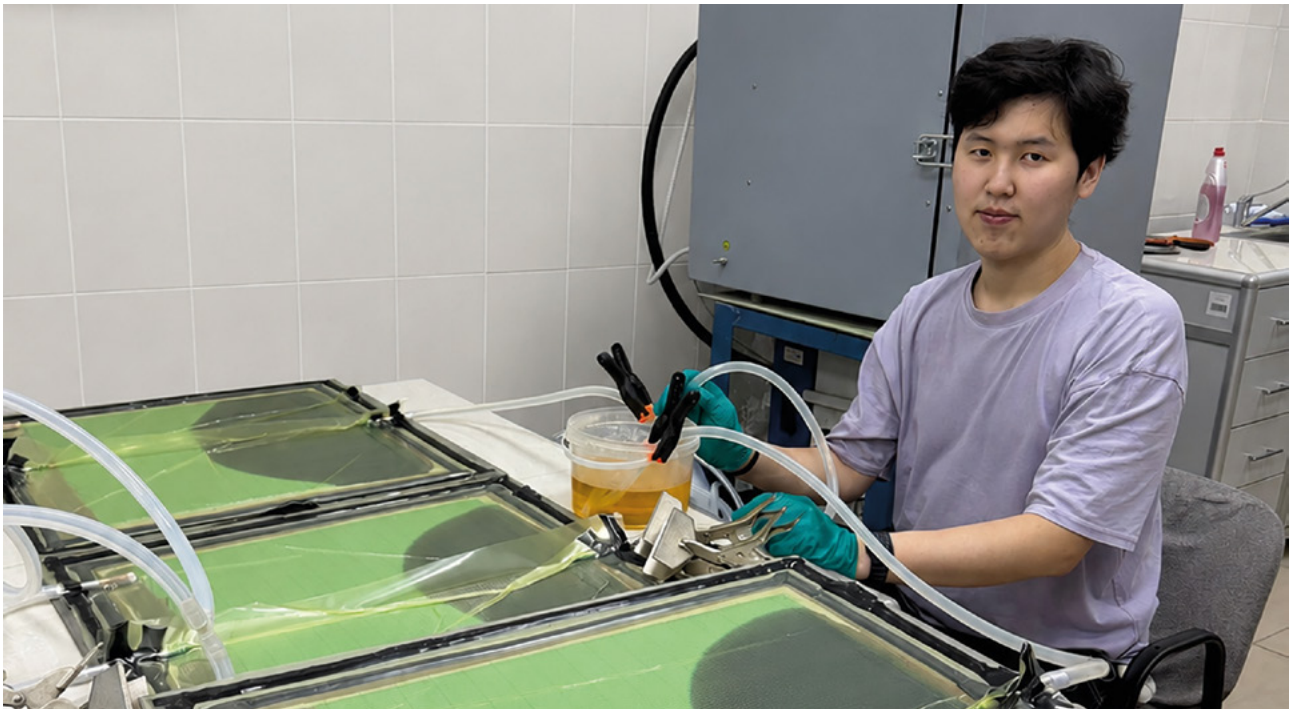


Рис. 6 Подача эпоксидной смолы в формированные пакеты по технологии вакуумной инфузии

личение загрязнения на 100 мкг/м² ускоряет таяние на 0,09 мм/ч и сокращает продолжительность снежного сезона на 4,75 дня.

Источниками ЧУ в зимний период выступают как локальные выбросы, так и трансграничный перенос из промышленно развитых районов Азии, прежде всего из Северо-Восточного Китая. Зимняя фоновая концентрация ЧУ в приземном воздухе в окрестностях г. Якутска в 2018–2025 гг. составила 0,165 мкг/м³, с максимальными значениями до 23 мкг/м³. Низкая температура воздуха и слабый ветер в зимний период на высоких широтах способствуют накоплению ЧУ в нижних слоях атмосферы. Основным источником ЧУ в летние периоды являются лесные пожары. Концентрации ЧУ в пожароопасный сезон демонстрируют сильную положительную корреляцию с площадью лесных пожаров в республике, с одной стороны, и сильную отрицательную корреляцию с суммарным количеством осадков вдоль обратных траекторий движения воздушных масс, с другой.

Проведенные самолетные измерения метана и углекислого газа выявили тенденцию к росту их концентраций в Центральной Якутии: расчетная величина тренда составила 2,6 ppm/год для углекислого газа и 29,2 ppb/год для метана. Увеличение эмиссии метана в атмосферу, в свою очередь, может быть связано с усилением деградации многолетней мерзлоты, заболачиванием территории, увеличением продолжительности периода с положительными температурами, а также ростом интенсивности образования и высвобождения метана в почвенном слое. Результаты нашего исследования позволяют количественно оценить динамику содержания углекислого газа и метана в атмосфере Центральной Якутии и прогнозировать их будущие изменения.

Выявлены годовые и суточные вариации оксидов азота и озона в Центральной Якутии. Анализ суточной изменчивости концентраций оксида азота (NO), диоксида азота (NO2) и озона (O3) в летний и зимний периоды демонстрирует выраженную сезонную динамику, обусловленную климатическими особенностями региона и фотохимическими процессами. Результаты отражают фоновые концентрации загрязнителей с минимальным локальным антропогенным влиянием, что позволяет выявить региональные закономерности трансформации азотсодержащих газов и озона.

Полученные результаты имеют важное значение для уточнения региональных климатических моделей, оценки вклада субарктических территорий в глобальный парниковый эффект, а также для разработки стратегий экологического мониторинга и адаптации к изменениям климата в условиях деградации многолетней мерзлоты.

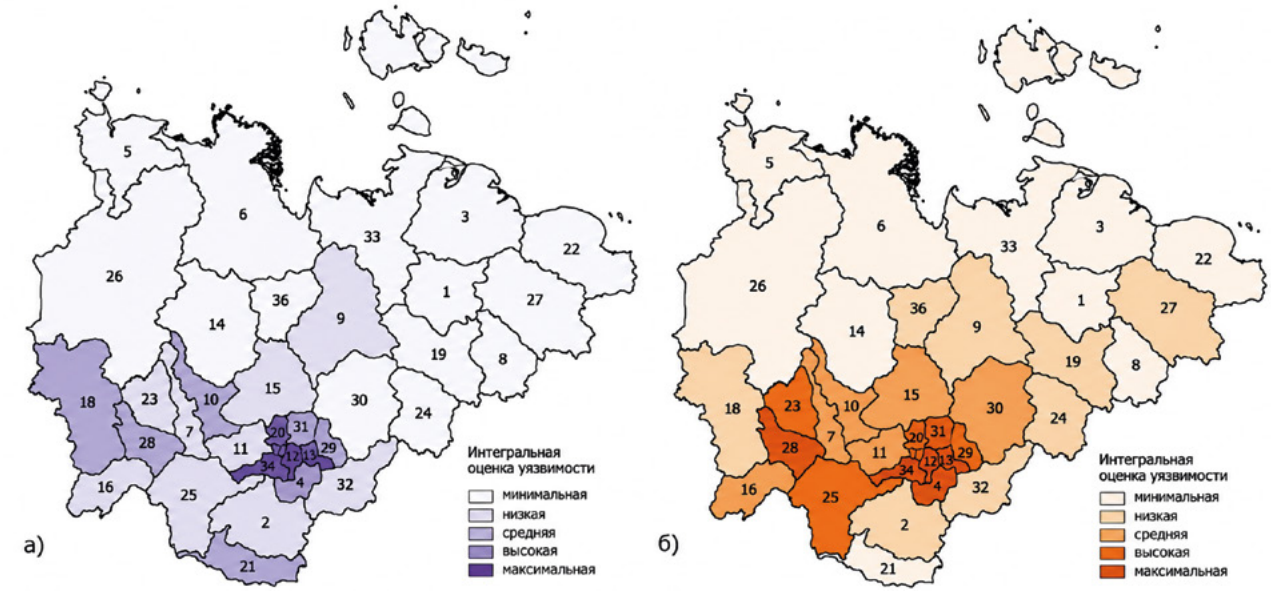


Рис. 7 Интегральная оценка уязвимости муниципальных образований Республики Саха (Якутия) по социально-экономическим параметрам (а) и показателям отраслей традиционной хозяйственной деятельности (б) от деградации ММП. Составлено В.В. Филипповой и О.Т. Парфеновой.

6. Разработка и исследование полимерных композиционных углеродсодержащих волокнистых материалов на основе винил-эфирно-эпоксидного полимерного связующего для климатических зон холодного климата и Арктики (лаборатория композиционных материалов Арктики и Субарктики, руководитель к.т.н. А. А. Кычкин).

Лаборатория разрабатывает полимерные композиционные материалы (ПКМ), адаптированные к эксплуатации в экстремальном климате Арктики и Субарктики.

Проводимые исследования напрямую направлены на решение важной государственной задачи — обеспечение технологического суверенитета, и соответствуют приоритетному научно-технологическому развитию РФ в сфере обеспечения развития Арктической зоны РФ и создания материалов специального назначения, адаптированных к экстремальным климатическим условиям.

Лабораторией достигнута на прошлом этапе работ реализация концепции совмещения двух разнородных полимерных систем, обеспечивающая формирование сложной полиматричной структуры. В рамках материаловедческого анализа исследуются системы на основе эпоксидных и полиэфирных смол с целью создания гибридных эпокси-винилэфирных связующих, рассчитанных на жесткие северные условия.

Проведенные структурные исследования позволили определить оптимальный состав связующего для получения ПКМ, армированных углеволокнистыми материалами, что задает вектор дальнейших этапов работы. В настоящее время изучается межфазное взаимодействие на границе «матрица — волокно» в углепластиках, изготовленных с применением разработанного полимерного состава. Это обеспечивает научно-методическую базу для перехода к комплексному материаловедческому анализу полученных высокомодульных композитов.

Результаты исследований подтверждают перспективность гибридного связующего для создания материалов, предназначенных для эксплуатации в условиях очень холодного климата. Полученные данные формируют научно-



Рис. 8 Полевое фенотипирование образцов ярового ячменя и тритикале

техническую основу для дальнейших исследований, направленных на разработку волокнистых композиционных материалов.

7. Локальные сообщества сельской Якутии в условиях изменения климата и деградации многолетнемерзлых пород: комплексная оценка последствий и потенциала устойчивости (лаборатория «Человек в Арктике», руководитель к.и.н. А. А. Сулейманов).

В рамках исследования проводится комплексная оценка воздействия деградации многолетнемерзлых пород (ММП) и сопутствующих климатических изменений на жизнедеятельность локальных сельских сообществ Якутии. Ключевой объект изучения — село Юнкюр Олёкминского района, где начиная с 2019 г. ежегодно выполняются полевые работы. Установлено, что активизация термокарстовых процессов оказывает системное негативное влияние на инфраструктуру и хозяйственную деятельность населённого пункта: порядка 20% дворовых территорий затронуто криогенными процессами, в зону развития быларов (начальной стадии термокарста) попадает 249 жилых и хозяйственных строений.

Деградация ММП приводит к ряду взаимосвязанных последствий для местного населения. Во-первых, происходит деформация и разрушение построек, что вынуждает жителей регулярно проводить дорогостоящий ремонт или переселяться. Во-вторых, 25,4% опрошенных жителей из-за риска растепления грунтов под фундаментом были вынуждены ликвидировать подвалы для хранения продуктов. В-третьих, обводнение территории и образование термокарстовых озёр (дюёдя) осложняют ведение традиционного растениеводства и ограничивают возможности землепользования. Значительные финансовые издержки несут также местные власти, вынужденные проводить отсыпку территорий и откачку грунтовых вод.

Параллельно исследуется потенциал устойчивости локальных сообществ к климатическим вызовам. Отмечены примеры адаптации на индивидуальном уровне: установка сезонно действующих охлаждающих устройств для стабилизации грунтов; применение научных разработок для улучшения промерзания грунтов. На институциональном уровне ведётся поиск оптимальных решений по благоустройству и защите инфраструктуры с учётом криогенных процессов.

Полученные результаты имеют высокую практическую значимость для разработки стратегий адаптации сельских сообществ Якутии к изменению климата. Сформированная база данных о динамике термокарста, его влиянии на жилой фонд и хозяйство позволит совершенствовать муниципальные программы развития, планировать размещение инфраструктуры с учётом зон риска, а также разрабатывать адресные меры поддержки населения. Исследование вносит вклад в развитие концепции устойчивого развития северных территорий в условиях глобальных климатических изменений.

8. Комплексные исследования по определению факторов и механизмов устойчивости растений в условиях Якутии, пополнение коллекции генетических ресурсов растений в криолитозоне (лаборатория генетических ресурсов растений в криолитозоне, руководитель к.б.н. К. С. Пикула)

Целью создания лаборатории являлось изучение генетического разнообразия и адаптационного потенциала культурных растений и их диких сородичей в экстремальных условиях криолитозоны, а также формирование и пополнение коллекций семян в криохранилищах. В рамках исследований осуществлялся сбор семян новых сортов сельскохозяйственных культур с последующей закладкой в Федеральное криохранилище, расположенное в толще многолетней мерзлоты, изучались дикие родичи культурных растений Республики Саха (Якутия) для выявления приоритетных таксонов, перспективных для сохранения in situ и включения в генбанк.

Ключевыми направлениями работы были: анализ влияния длительного хранения на фенотипические и биохимические свойства семян сельскохозяйственных культур Сибири и Дальнего Востока; инвентаризация и экспедиционное обследование диких родичей культурных растений (ДРКР) на территории Центральной Якутии; комплексное изучение образцов картофеля из коллекции ВИР с выделением доноров, сочетающих высокую урожайность, устойчивость к болезням и хорошую лёжкость. Параллельно проводилось полевое фенотипирование образцов ярового ячменя и тритикале, а также исследование зернобобовых культур из генофонда ВИР — с применением современных технологий, включая лазерную флуоресцентную микроскопию для анализа морфологических особенностей и распределения веществ в семенах. Отдельное внимание было уделено изучению биохимического состава ягод жимолости и поиску образцов с повышенным содержанием катехинов.

Результаты исследований лаборатории имеют прикладное значение для обеспечения продовольственной безопасности северных территорий: выявленные доноры хозяйственно ценных признаков могут быть использованы для создания новых сортов, адаптированных к экстремальным климатическим условиям. Сохранение генетического разнообразия в криохранилищах обеспечивает «страховой фонд» биоресурсов, критически важный в контексте глобальных климатических изменений.

Заключение

Молодёжные лаборатории ЯНЦ СО РАН демонстрируют высокий уровень междисциплинарного взаимодействия и практической направленности исследований. Ключевые тенденции:

- Интеграция наук. Успешное сочетание социогуманитарных и естественнонаучных подходов позволяет комплексно оценивать влияние климатических изменений на жизнь населения и экосистемы Арктики.

- Фокус на прикладных решениях. Разрабатываемые технологии (антимикробные покрытия, композиционные материалы, методы поиска мамонтовой фауны, персонализированные диетотерапевтические подходы) имеют чёткий прикладной потенциал и способствуют развитию северных территорий.

- Мониторинг и прогнозирование. Важную роль играет непрерывный мониторинг климатически активных веществ и деградационных процессов, что позволяет своевременно разрабатывать меры адаптации.

- Межлабораторное сотрудничество. Совместная работа коллективов усиливает научный потенциал региона и способствует решению масштабных задач, связанных с устойчивым развитием Арктики.

Таким образом, деятельность молодёжных лабораторий ЯНЦ СО РАН вносит весомый вклад в изучение и освоение Арктической зоны РФ, сочетая фундаментальные исследования с разработкой востребованных технологических решений.



1

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

Технологии Арктики

34 Технология оперативной сварки с закладными нагревателями полиэтиленовых труб для газопроводов при низких температурах окружающего воздуха

43 Технология мониторинга участков развития криогенных процессов в грунтах оснований инженерно-технических сооружений методом георадиолокации

50 Разрабатываемое инновационное дробильно-измельчительное оборудование

56 Способ производства углеродного материала для суперконденсаторов методом двухстадийного быстрого джоулева нагрева

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

ТЕХНОЛОГИЯ ОПЕРАТИВНОЙ СВАРКИ С ЗАКЛАДНЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

ДЛЯ ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» – обособленное подразделение Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

677980, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2



Петров Дмитрий Дмитриевич

младший научный сотрудник

santamar@mail.ru



Старостин Николай Павлович

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник

nikstar56@mail.ru



Ботвин Глеб Владимирович

кандидат технических наук, научный сотрудник

gleb-0379@mail.ru



Аммосова Ольга Александровна

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

ammosova_o@mail.ru



Данзанова Елена Викторовна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

+7-964-424-07-89, dhv4071@mail.ru



Тихонов Роман Семенович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

roman_tikhon@mail.ru



Николаева Мария Александровна

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник

eowa@mail.ru

Аннотация

Существующие аппараты выполняют автоматическую сварку с закладными нагревателями при температурах от — 10 до + 40 °С, что не позволяет проводить ремонтные работы на газопроводах в зимний период в регионах холодного климата. Предложены научные основы разработки сварочного аппарата для соединения полиэтиленовых труб газопроводов деталями с закладными нагревателями при температурах от — 50 до + 40 °С. В диапазоне допустимых температур воздуха разрабатываемый аппарат выполняет сварку как существующие аппараты. В диапазоне температур воздуха от — 50 до — 10 °С реализуется автоматический режим, включающий подогрев с выравниванием температур, последующее оплавление по стандартному режиму сварки и управляемое охлаждение соединения. Разработан метод определения временной функции управления движением фронта кристаллизации на стадии охлаждения, основанный на решении обратной задачи теплопроводности. Разработана методология определения с использованием процессора аппарата режимов сварки различными соединительными деталями с закладными нагревателями. Эффективность технологии подтверждена проведением сварки в зимних условиях Якутии.

Ключевые слова: полиэтиленовые трубы, сварка, низкие температуры, тепловой процесс, предварительный подогрев, охлаждение, управление, репрезентативный образец аппарата для сварки.

Введение

При сварке полимерных труб существует ограничение по температуре окружающего воздуха (ОВ), что связано с особенностями термопластов, заключающимися в низкой теплопроводности и достаточно медленном формировании структуры материала сварного шва. В связи с этим сварку полиэтиленовых (ПЭ) труб для газопроводов рекомендуется выполнять при допустимых температурах ОВ в интервале от минус 10 до плюс 40 °С. Для получения качественных сварных соединений в указанном интервале температур найдены и применяются режимы сварки с помощью соединительных деталей с закладными нагревателями. При более низких температурах воздуха рекомендуется выполнение сварочных работ в защитных укрытиях, где поддерживается температура допустимого интервала. При этом минимальное время кондиционирования труб и соединительных деталей при допустимой для сварки температуре составляет от 1 до 16 часов в зависимости от номинальной толщины стенки трубы. Такая сварка не может применяться для выполнения ремонтно-восстановительных работ в зимних условиях ввиду больших временных затрат до достижения допустимой температуры на свариваемых участках. Даже достаточно кратковременное прерывание газоснабжения в зимних условиях в регионах холодного климата может привести к катастрофическим последствиям в связи с аварией систем отопления. Актуальной является проблема разработки технологии оперативной сварки полиэтиленовых труб при низких температурах без использования укрытий и средств для ее реализации.

В Институте проблем нефти и газа СО РАН предложена технология оперативной сварки с закладными нагревателями, позволяющая проводить сварочные и ремонтно-восстановительные работы на открытом воздухе при низких температурах ОВ без строительства теплых укрытий. Суть технологии заключается в выполнении дополнительной операции предварительного подогрева свариваемых участков труб и соединительной детали с помощью закладного нагревателя и выравнивания температур свободным охлаждением до допустимой для сварки температуры, что позволяет производить оплавление по известному режиму стандартной сварки. Затем реализуется управляемое охлаждение соединения путем изменения мощности закладного нагревателя по закономерности, зависящей от температуры ОВ и диаметра труб.

Расчет параметров сварки

Параметры предварительного подогрева и выравнивания температур (мощность нагревателя, продолжительности подогрева и выравнивания температур) и временных функций управления охлаждения для определенной температуры ОВ и типоразмера труб определяются на основе расчетов с использованием математической модели теплового процесса.

Определения параметров сварки покажем на примере соединения полиэтиленовой трубы ПЭ100 диаметром 110 мм, SDR 11 соответствующей муфтой при температуре минус 40 °С. С учетом симметрии схема муфты и трубы представлена на рис. 1. Закладной нагреватель представляет собой резистивную спираль из металлической проволоки, вмонтированную в тело муфты. К специальным контактам муфты под-

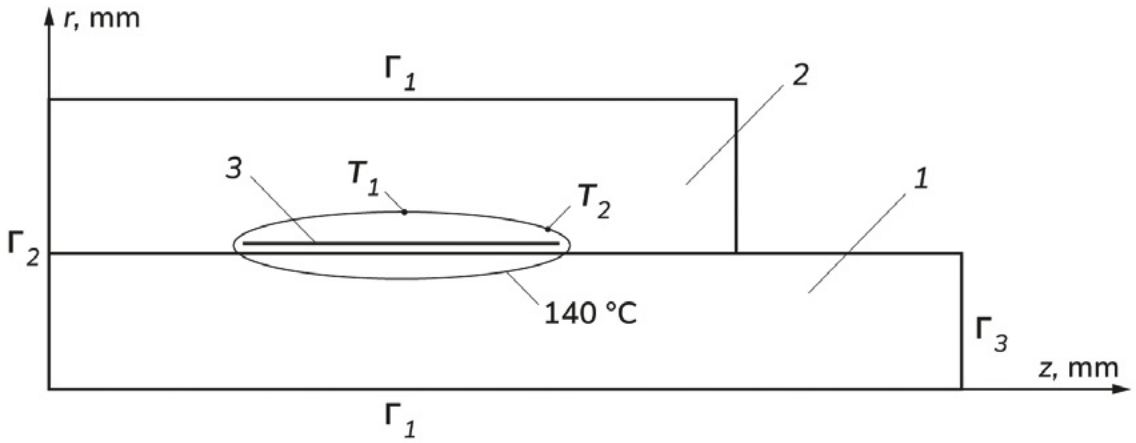


Рис.1. Схема трубы с муфтой: 1 — труба; 2 — муфта; 3 — закладной нагреватель S

ключают сварочный аппарат, подают ток определенной силы и напряжения. Поскольку витки расположены близко друг от друга, примем допущение о действии в муфте равномерно распределенного по цилиндрической поверхности источника теплоты мощностью Q(t).

Нестационарное осесимметричное температурное поле в соединении при выполнении всех операций определялось решением уравнения теплопроводности в цилиндрических координатах. В начальный момент времени в трубе и муфте задается температура окружающего воздуха T_0. На внешней границе Γ_1 задается условие конвективного теплообмена, на границе Γ_2 — условие симметрии, на границе Γ_3 — в силу низкой теплопроводности полиэтилена примем, что температура остается неизменной на протяжении всего процесса сварки. При расчетах на стадиях нагрева и охлаждении берутся эффективные коэффициенты теплоемкости и теплопроводности, учитывающие теплоту фазового превращения [1].

Подогрев осуществляется при постоянной мощности нагревателя 107 Вт в течение 24,5 минут. Продолжительность выравнивания температур — 4 минуты. На рис. 2 представлены распределения температур в моменты времени завершения подогрева (а) и выравнивания температур (б).

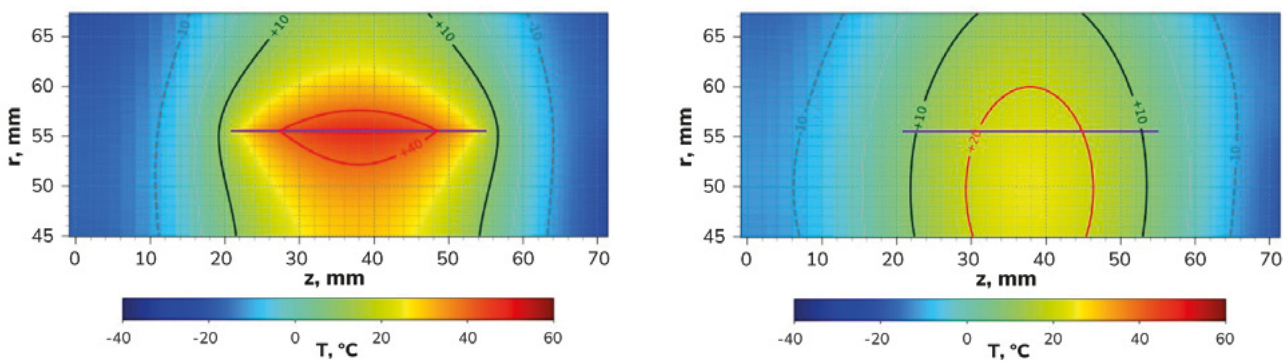


Рис. 2. Температурные поля в вертикальном сечении стенок участка трубы и муфты в моменты времени завершения подогрева (а) и выравнивания температур (б) на открытом воздухе при температуре — 40 °С

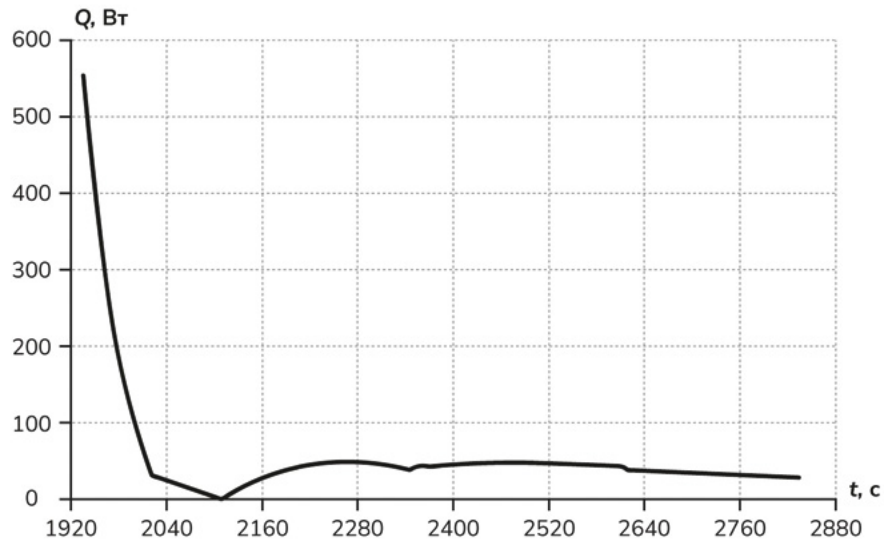


Рис.3. Временная зависимость мощности нагревателя на стадии охлаждения при сварке при температуре — 40 °С

Расчеты показывают, что при подогреве нагревателем сильнее нагревается стенка трубы, поскольку нагретый внутри трубы воздух способствует повышению температуры в свариваемом участке трубы. Интенсивный конвективный теплообмен внешней боковой поверхности и торца муфты с ОВ заметно влияет на температурный режим муфты. Наиболее подвержены влиянию низкой температуры участки в окрестности первых и последних витков нагревателя. При выравнивании температур свободным охлаждением быстрее остывает муфта. В зоне термического влияния (ЗТВ) и зоне шва в конце выравнивания достигаются температуры от +5 до +25 °С. Полученное распределение температур достаточно для выполнения нагрева (оплавления) по режиму сварки в нормальных условиях.

Для управления охлаждением после нагрева решалась обратная задача по определению функции управления кристаллизацией. С использованием математической модели теплового процесса электромуфтовой сварки на стадии охлаждения рассчитывалась динамика температурного поля при сварке по регламентированному режиму в условиях температуры ОВ плюс 20 °С. На границе ЗТВ и зоны сварного шва в двух точках сохранялись изменения температуры по времени. По заданным временным зависимостям температур решением обратной задачи для сварки при температуре воздуха минус 40 °С определялась изменяющаяся по времени мощность нагревателя, обеспечивающая скорость охлаждения, свойственную при сварке в допустимом интервале температур окружающего воздуха [2].

Для обеспечения прочности сварного соединения, выполненного при низкой температуре ОВ по предлагаемой технологии, не уступающей прочности соединения, полученного при допустимой температуре, необходимо обеспечить движение фронта кристаллизации материала по закономерностям сварки в нормальных условиях. Для нахождения мощности нагревателя, обеспечивающей такое движение фронта кристаллизации, решалась обратная задача теплопроводности с учетом теплоты фазового превращения и зависимости теплофизических свойств материалов от температуры и степени кристалличности полиэтилена. Обратная задача заключалась в определении мощности нагревателя из условия минимума функционала, характеризующего меру отклонения расчетных и заданных температур. В качестве заданных температур служили значения расчетных температур в ЗТВ при сварке в нормальных условиях.

На рис. 3 приведена найденная решением обратной задачи временная зависимость мощности нагревателя.

Границы зон сварного соединения определялись методом математического моделирования теплового процесса с учетом фазовых переходов [3–4]. Граница между зоной термического

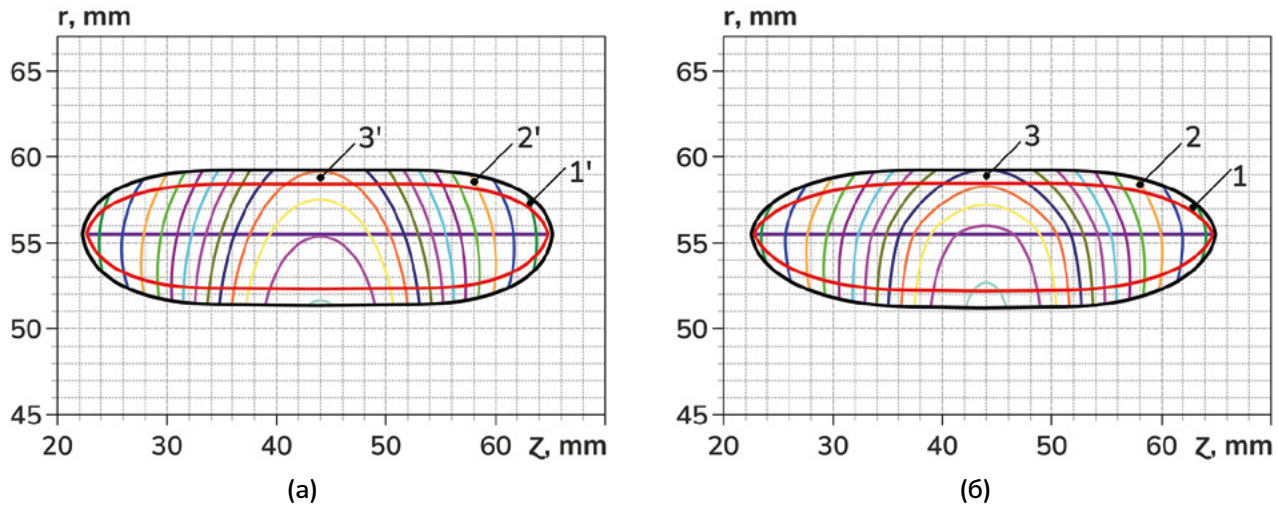


Рис. 4. Изотермы 100 °С в вертикальном сечении зон структурных изменений муфты и трубы при различных температурах воздуха с 1 по 13 минуты охлаждения: а — +23 °С; б — –40 °С. Линией красного цвета изображена изотерма 140 °С, черного цвета — изотерма 120 °С в момент завершения нагрева

влияния и основным материалом находилась по изотерме начала оплавления (120 °С) в момент завершения нагрева [5]. Граница зон сварного шва и термического влияния определялась по изотерме завершения оплавления (140 °С). Таким образом, зона термического влияния ограничена двумя замкнутыми поверхностями.

На рис. 4 показаны расчетные границы областей структурных изменений в сварных соединениях, полученных при допустимой температуре 23 °С и при температуре воздуха минус 40 °С по предлагаемой технологии с управлением охлаждением. 1–3 — точки задания температур для решения обратной задачи теплопроводности.

Внутри областей структурных изменений показаны изотермы 100 °С, по линии которых завершается кристаллизация в различные моменты времени, отсчитываемых с начала охлаждения, с шагом 1 минута.

При сварке в условиях температуры окружающего воздуха –40 °С по предлагаемой технологии с управлением охлаждением форма и размер области структурных изменений почти такие же, как при сварке в условиях допустимой температуры воздуха 23 °С. Кроме того, скорости движения фронтов кристаллизации при сварке по предлагаемой технологии и при допустимой температуре близки.

По результатам расчетов нескольких функций управления движением фронта кристаллизации от времени можно получить формулу для определения мощности нагревателя, зависящую от температуры ОВ и размеров труб. Такие формулы вводились в программное обеспечение разработанного репрезентативного образца аппарата для сварки.

Репрезентативный образец аппарата для сварки

Репрезентативный образец аппарата для сварки полиэтиленовых труб (далее образец аппарата) должен выполнять автоматическую сварку полиэтиленовых труб с помощью деталей с ЭН по полному циклу стандартной технологии при допустимых температурах воздуха и с управляемым охлаждением при низких температурах (Рис. 5). Технология с управляемым охлаждением включает предварительный подогрев, выравнивание температур, нагрев по регламентированному для допустимой температуры окружающего воздуха режиму и охлаждение с компенсацией ускоренного охлаждения путем временного изменения мощности ЭН.

Разработанный образец аппарата состоит из двух частей:

- силовой, включающей понижающий трансформатор и симистор;



Рис. 5. Аппарат связывается со смартфоном оператора посредством радиосвязи по протоколу Bluetooth

- слаботочной, включающей микроконтроллер, гальванически развязанные датчики, модуль радиосвязи по протоколу Bluetooth для связи со смартфоном.

Образец аппарата имеет возможность обрабатывать данные со штрих-кода свариваемых деталей согласно ГОСТ Р ИСО-13950–2012 и устанавливать соответствующие параметры, необходимые для сварки. Для сканирования штрих-кода и передачи данных в микроконтроллер аппарата было создано приложение для смартфона. После обработки данных штрих-кода аппарат начинает автоматическую работу по сварке — на борту производятся вычисления для формирования управляющего сигнала на вход симистора, который управляет мощностью на закладном нагревателе.

Алгоритм работы образца аппарата следующий:

- запрашивается температура окружающего воздуха;

- если необходим предварительный подогрев, то он осуществляется путем изменения мощности нагревателя, зависящим от температуры окружающего воздуха и параметров муфты. После подогрева следует выравнивание температурного поля в течение заданного времени;



Рис. 6. Считывание штрих-кода соединительной детали. Полученный штрих-код обрабатывается в микроконтроллере аппарата, в результате программа присваивает соответствующим переменным значения параметров, необходимых для сварки конкретного фитинга.

Обработка штрих-кода производится в соответствии с ГОСТ Р ИСО-13950–2012.

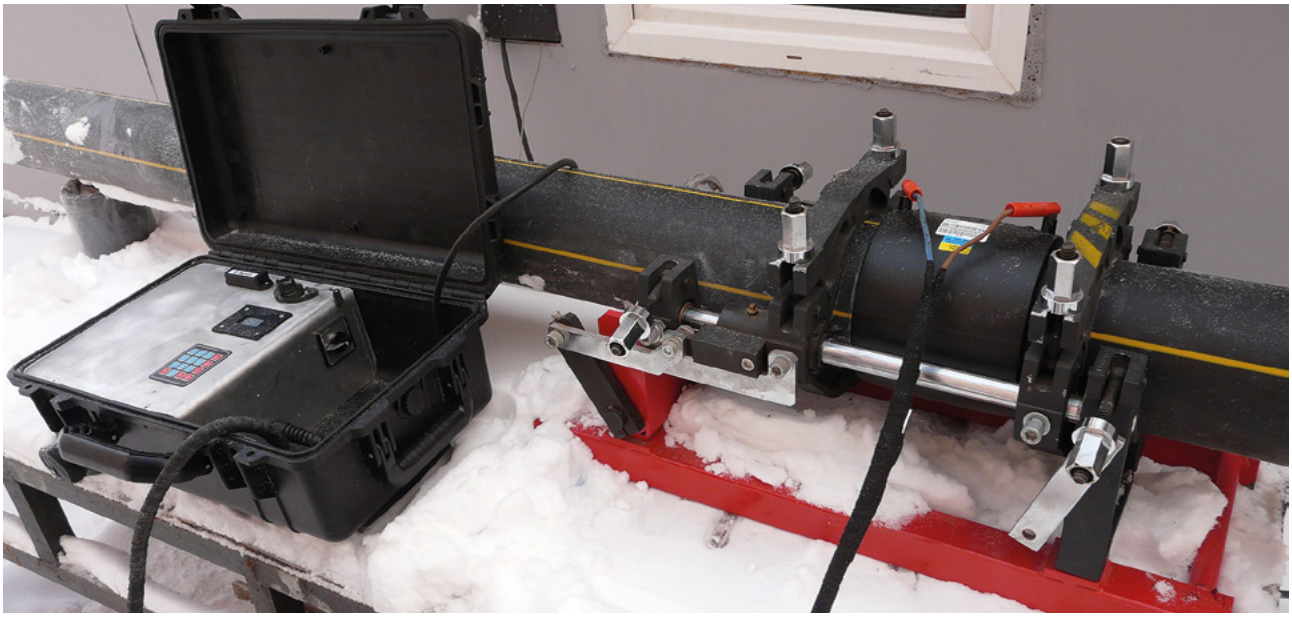


Рис. 7. Общий вид репрезентативного образца аппарата для сварки полиэтиленовых труб

- производится сварка муфты с регулированием напряжения (тока, мощности) и времени, полученными при обработке штрих-кода, при этом принимаются параметры сварки как в стандартных условиях (при температуре плюс 20 °С);

- после процесса сварки начинается процесс управляемого охлаждения сварного соединения по заданной закономерности путем изменения мощности ЗН по времени. Процесс управляемого охлаждения длится заданное в штрих-коде время;

- начало и конец каждого этапа процесса сварки сигнализируется путем имитации тонального сигнала, а также вибросигналом смартфона, от которого аппарат получил распознанный штрих-код.

Контроль качества сварных соединений

Экспериментальная сварка полиэтиленовых труб ПЭ100 SDR11110×10 проводилась на экспериментальном участке климатического полигона «Якутск» при различных температурах окружающей среды (Рис. 5-7). При температурах ОВ ниже минус 10 °С изменение мощности ЗН производилась автоматически образцом аппарата. После подготовки свариваемых деталей производился предварительный подогрев путем подачи напряжения 12 В. При этом мощность нагревателя изменялась по времени. Время предварительного подогрева напрямую зависело от температуры ОВ и составило, например, при минус 45 °С — 1200 с, а при минус 40 °С — 1022 с. Далее обеспечивалось выравнивание температур в зоне термического влияния (ЗТВ) свободным охлаждением до значения температуры из допустимого для сварки интервала. Оплавление свариваемых деталей осуществлялось путем подачи на спираль закладного нагревателя напряжения 40 В в течение времени, рекомендуемого производителем данной муфты. При охлаждении сварного соединения мощность ЗН изменялась согласно кривой на рис. 3 в течение времени, рекомендуемого производителем данной муфты.

Контроль качества полученных муфтовых соединений проводился внешним осмотром и испытаниями на стойкость к расслоению по ГОСТ Р 58121.1–2018 «Пластмассовые трубопроводы для транспортирования газообразного топлива. Полиэтилен (ПЭ). Часть 1. Общие положения». Внешнему осмотру подвергались все сварные соединения, полученные по разработанной технологии и стандартному режиму. Исследованные образцы отвечали всем требованиям к качеству, таким как:

- трубы за пределами муфты имели следы зачистки;

- индикаторы сварки муфты были в выдвинутом положении;

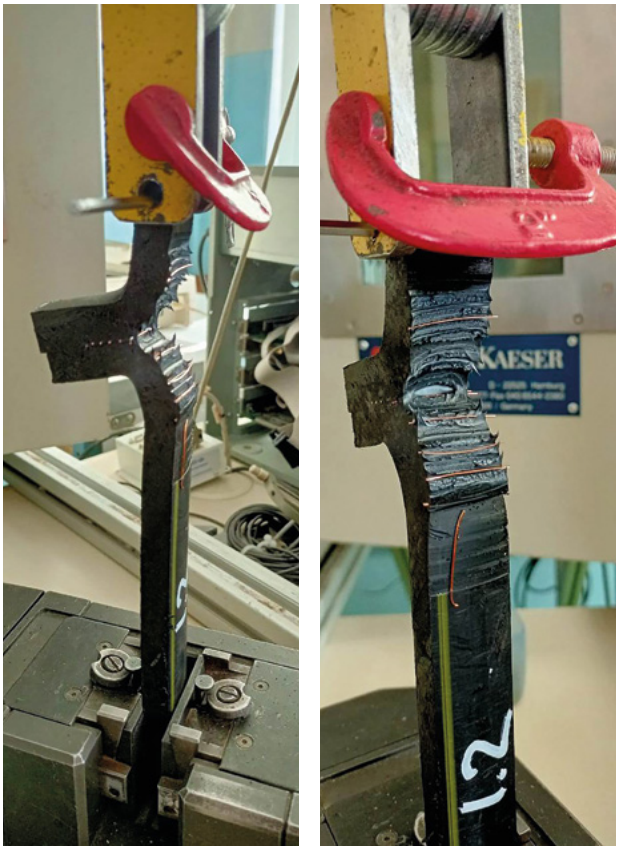


Рис. 8. Процесс испытания образцов на стойкость к расслоению

- на поверхности муфт не обнаружено следов температурной деформации или сгоревшего полиэтилена;
- по периметру муфты не было следов расплава полиэтилена, возникшего в процессе сварки.

Испытания на стойкость к расслоению по ГОСТ Р 58121.1–2008 проводились на разрывной машине UTS 20 (Германия) при растяжении образца со скоростью 20 мм/мин. На рис. 8 приведен процесс расслоения сварного соединения.

Оценка качества сварного соединения проводилась по максимальной нагрузке. Результаты приведены на рис. 9.

По результатам испытаний видно, что значения максимальной нагрузки сварных соединений, произведенных при низких температурах с помощью прототипа, выше значений максимальной нагрузки сварных соединений, полученных при других режимах сварки.

Таким образом, проведением сварки в зимних условиях Якутии и результатами испытаний произведенных сварных соединений показана работоспособность разработанного репрезентативного образца аппарата для сварки с закладными

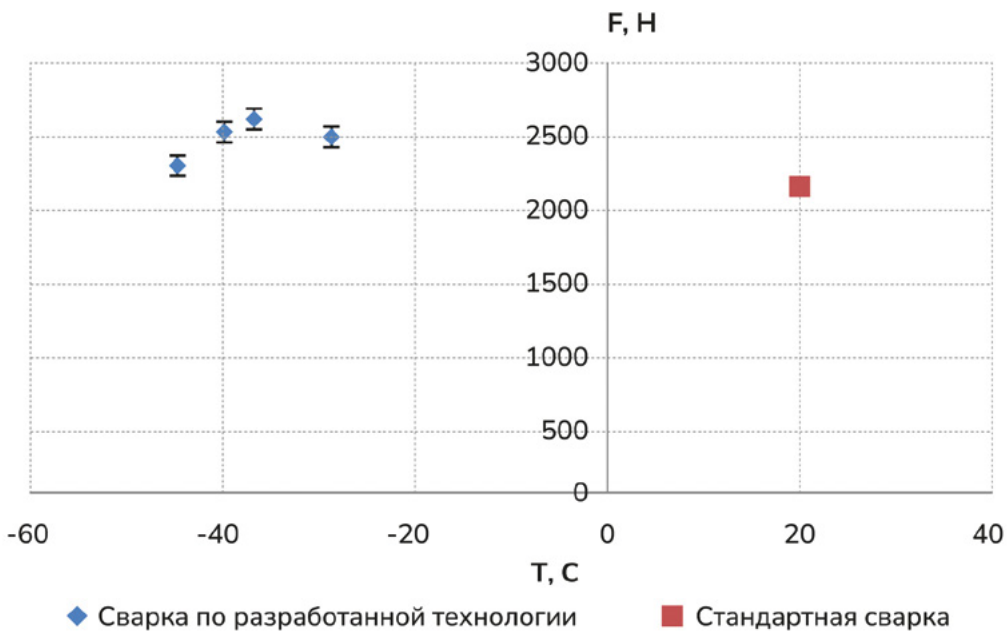


Рис. 9. Результаты испытаний на стойкость к расслоению сварных соединений

нагревателями полиэтиленовых труб при низких температурах окружающего воздуха. В настоящее время разработанный образец аппарата может выполнять сварку муфтами и седловыми отводами. В дальнейшем планируется совершенствование и доработка образца аппарата для использования при сварке других видов деталей с закладными нагревателями, таких как тройники, угловые отводы, редукционные переходы, ремонтные накладки, заглушки.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

В технологии Института по сварке полиэтиленовых труб при низких температурах заинтересованы крупные предприятия Республики Саха (Якутия): АО «Сахатранснефтегаз», ПАО «Якутскэнерго», ЖКХ РС(Я), ООО «Эгопласт», АО «Водоканал» и др.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

В данный момент разработка технологии соответствует УГТ 5–6: репрезентативный образец сварочного аппарата продемонстрирован в условиях, близких к реальным. Образец содержит все детали разрабатываемого аппарата. Доказаны реализуемость и эффективность технологии в условиях близких к реальным.

Список использованных источников

1. Старостин Н. П., Аммосова О. А. Управление тепловым процессом электромуфтовой сварки полиэтиленовых труб при низких температурах // Сварка и диагностика. 2017. № 5. С. 21–25.

2. Старостин Н. П., Аммосова О. А. Управление движением фронта кристаллизации при сварке полиэтиленовых труб в условиях низких температур // Тепловые процессы в технике. 2024. Т. 16. № 4. С. 161–168.

3. Старостин Н. П., Аммосова О. А., Петров Д. Д., Данзанова Е. В., Тихонов Р. С., Ботвин Г. В. Сварка полиэтиленовых труб муфтами с закладными нагревателями при низких температурах. 1. Реализация управления фронтом кристаллизации //Сварка и диагностика. 2024. № 6. С. 44–49.

4. Старостин Н. П., Аммосова О. А. Моделирование предварительного подогрева и нагрева при соединении полиэтиленовых труб электросварными муфтами// Нефтегазовое дело. 2024. Т. 22. № 5. С. 149–158.

5. Гориловский М. И., Калугина Е. В., Иванов А. Н., Сатдинова Ф. К. Исследование кристалличности и термостабильности в трубах, полученных из различных видов полиэтилена // Пластические массы. — 2005. — № 4. — С. 9–12.



ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА УЧАСТКОВ РАЗВИТИЯ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В ГРУНТАХ ОСНОВАНИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677980, г. Якутск, пр. Ленина, д. 43



Федорова Лариса Лукинична

кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, и.о. зав. лабораторией георадиолокации

lar-fed-90@rambler.ru



Соколов Кирилл Олегович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

k.sokolov@ro.ru



Куляндин Гаврил Александрович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

kgavrilu@yandex.ru



Прудецкий Николай Дмитриевич

кандидат технических наук, научный сотрудник

ndprudetskii@mail.ru

Аннотация

Разработана неразрушающая геофизическая технология для раннего выявления и прогнозирования опасных криогенных процессов (морозное пучение, переувлажнение, суффозия, образование пустот и таликов) в основаниях дорог, дамб, фундаментов и других инженерных сооружений, эксплуатируемых в условиях многолетней мерзлоты. Технология включает: методики полевых георадиолокационных измерений с высокоточной привязкой; алгоритмы обработки и интерпретации радарограмм для выделения аномалий, связанных с криогенными процессами. Апробация технологии выполнена на реальных объектах криолитозоны.

Это неразрушающая технология «просвечивания» грунтов радиоволнами, которая позволяет заранее видеть под землей зоны пучения, водонасыщения, просадок и разрушения оснований дорог, дамб и других сооружений в условиях многолетней мерзлоты, чтобы предотвратить аварии.

Ключевые слова: георадиолокация, мониторинг криогенных процессов, многолетняя мерзлота, грунты оснований инженерных сооружений, неразрушающий контроль.

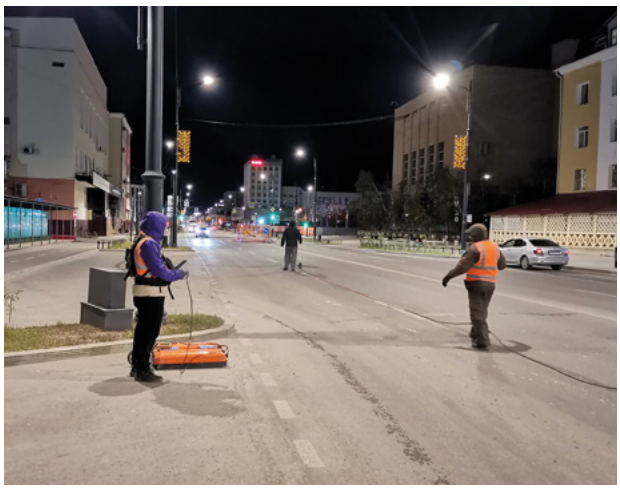
Краткое описание технологии

Разработанная технология основана на импульсной георадиолокации (GPR) — зондировании грунта высокочастотными электромагнитными импульсами (30–1200 МГц). По отраженным сигналам (время задержки, амплитуда, форма волны, спектр) выявляются скрытые криогенные процессы: морозное пучение, переувлажнение, суффозия (вынос мелких частиц водой), формирование пустот и таликов (Рис. 1). Измерения проводятся контактно (с поверхности) и дистанционно (с автомобиля).

Технология предназначена для мониторинга состояния грунтов оснований горнотехнических сооружений (защитные дамбы, автодороги, фундаменты), а также прогноза развития опасных процессов при освоении криолитозоны. В качестве примера представлен результат прослеживания динамики мерзлотных условий грунтов оснований водозащитной дамбы по данным георадиолокации. На участке исследований выявлено положение подошвы сезонно-талого слоя и его контакт с геологическим основанием грунтов дамбы (Рис. 2). На рисунке 3 представлен результат апробации разработанного программно-методического комплекса с отображением в геоинформационной системе участков криогенных процессов в грунтах насыпной дамбы. По профилю исследований выделены локальные неоднородности, интерпретируемые в соответствии с разработанными признаками, как участки с пучением пород — I, повышенной влажности — II, зон суффозии — III.



Георадиолокационные работы на насыпи



Георадарное обследование проезжей части городской улицы

Основные характеристики технологии:

- глубина контроля составляет до 12–15 м;
- пространственное разрешение начинается от 0,1 м;
- точность привязки аномалий доходит до сантиметров (по GPS/ГЛОНАСС, по объектам на участке исследований);
- формат данных: графические материалы, 3D-модели, визуализации в ГИС.

Преимущества и уникальность

Традиционные методы (шурфование, бурение) точечны, дорогостоящи и разрушают грунт. Они не позволяют увидеть непрерывную картину развития процессов на ранней стадии. Технология же обеспечивает сплошное профилирование без вскрытия грунтов, выявляя опасные зоны за месяцы до появления провалов или разрушения дамб.

Технология позволяет:

- снизить аварийность на горнотехнических объектах;
- продлить срок службы автодорог и дамб в условиях криолитозоны за счет своевременного ремонта;
- экономить средства на буровых работах.

Новизна научного результата

Впервые установлены и верифицированы:

- эффект пространственного гармонического резонанса на пластовых льдах (проявляется в виде режекции спектра частот — «изрезанности» Фурье-спектра);
- эффект накопления заряда на контрастных по электропроводности границах, позволяющий выделять зоны повышенной и пониженной проводимости;
- корреляционная связь между относительным снижением скорости волны и влажностью дисперсных пород (W = 7–25%) с учетом их состава: $\mathbf{N_v = 1{,}55 \cdot W + c.}$

Ноу-хау и патенты.

1. Патент № 141971 Российская Федерация, МПК G01S 13/88 (2006.01). Антенный блок георадара: № 2014102836/07: заявл. 28.01.2014: опубл. 26.06.2014 / Куляндин Г. А., Омельяненко П. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Бюл. № 17. — 1 с.: ил.

2. Патент № 2561769 Российская Федерация, МПК G01V 3/12 (2006.01). Способ георадиолокации в условиях ограниченного пространства: № 2014117846/28: заявл. 29.04.2014: опубл. 10.09.2015 / Куляндин Г. А., Омельяненко П. А.; заявитель и патентообладатель Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 25. — 4 с.: ил.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020661403 Российская Федерация. Определение наличия подземного пластового льда по данным георадиолокации: № 2020660078: заявл. 07.09.2020: опубл. 22.09.2020 / К. О. Соколов; правообладатель Якутский научный центр СО РАН. — Бюл. № 12. — 1 с.



Лариса Федорова

Личный комментарий от разработчика:

«Многолетний опыт работы в области георадиолокации показал, что большинство аварий на дамбах, дорогах и карьерах происходит не внезапно — просто их не видели под землей. Наша технология позволяет заглянуть внутрь многолетней мерзлоты. Мы уже нашли скрытые зоны пучения и суффозии, которые гарантированно разрушили бы объекты через 1–2 года. Теперь мы хотим перейти от опытных работ к промышленному сервису. Нам нужны партнеры, которые вместе с нами донастроят технологию под свои объекты и начнут экономить средства на ремонтах и простоях».

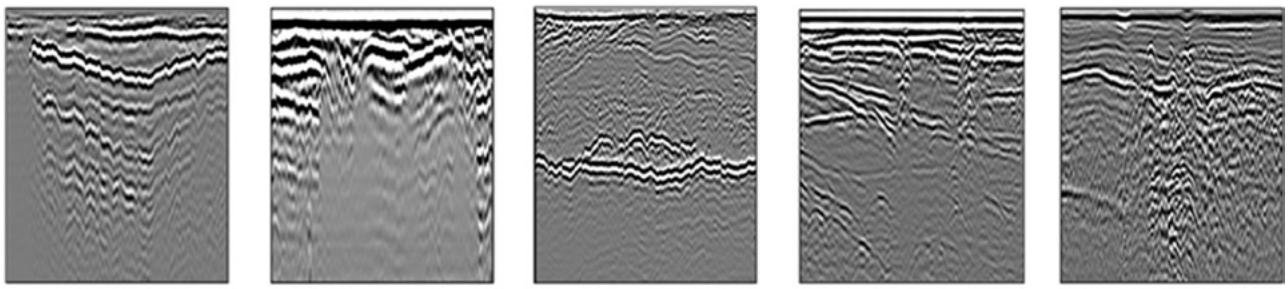


Рис. 1. Примеры волновых картин на участках развития криогенных процессов: а) граница сезонно талого слоя; б) зона водонасыщенности грунтов; в) участок морозного пучения; г) границы миграции поверхностных вод в толщу ММП; д) зона суффозии.

4. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620713 Российская Федерация. Данные мониторинговых георадиолокационных зондирований автодороги: № 2016620386: заявл. 05.04.2016: опубл. 01.06.2016 / Л. Л. Федорова, К. О. Соколов, Д. В. Саввин, А. С. Стручков; правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук. — Бюл. № 6.

5. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025621825 Российская Федерация. Данные разносезонных мониторинговых георадиолокационных зондирований автодороги Вилюйского тракта (г. Якутск, Республика Саха (Якутия)) в период 2012 по 2024. — № 2025621825: заявл. 09.04.2025: опубл. 23.04.2025 / Федорова Л. Л., Шамаев С. Д., Свинобоев А. С.; правообладатель Якутский научный центр СО РАН. — Бюл. № 5.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015614604 Российская Федерация. Модель зондирования четырехслойной среды георадиолокаторами серии «ОКО». — № 014662985: заявл. 15.12.14: опубл. 20.05.15: зарегистрировано 21.04.2015 / Федорова Л. Л., Федоров В. Н., Константинов В. В.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 5.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016615298 Российская Федерация. Автоматический поиск структурных особенностей горного массива на основе преобразования Гильберта данных георадиолокации. — 2016612486: заявл. 22.03.2016: опубл. 19.05.2016 / К. О. Соколов, Л. Л. Федорова; правообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 6.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017662819 Российская Федерация. Двухмерная лучевая модель зондирования неоднородной среды георадиолокаторами серии «ОКО»: № 2017615315: заявл. 05.06.2017: опубл. 17.11.2017 / В. Н. Федоров, Л. Л. Федорова, В. В. Константинов; правообладатель Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 11.

Научный бэкграунд

Эксперименты по радиопросвечиванию мерзлоты в 1970-х гг. развивали М. И. Финкельштейн (СССР), A. P. Annan (Канада). Сейчас в России исследователи по георадиолокации сосредоточены вокруг георадарной школы МГУ (М. Л. Владов, А. В. Старовойтов). Однако до настоящей работы отсутствовали методики, адаптированные под специфику инженерных сооружений криолитозоны, учитывающие сезонную изменчивость свойств и позволяющие вести количественный мониторинг.

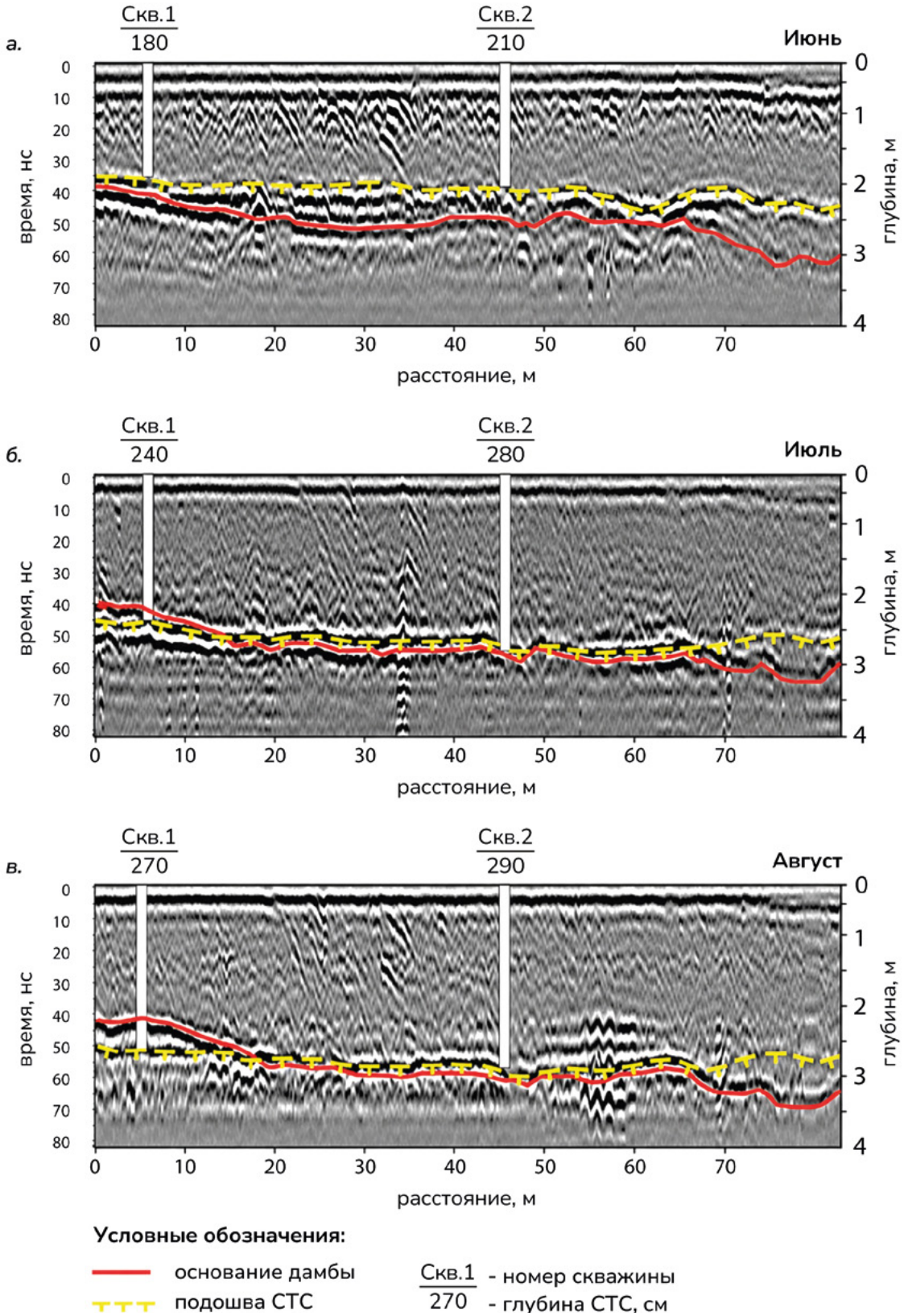


Рис. 2. Динамика мерзлотных условий грунтов оснований водозащитной дамбы по данным георадиолокации

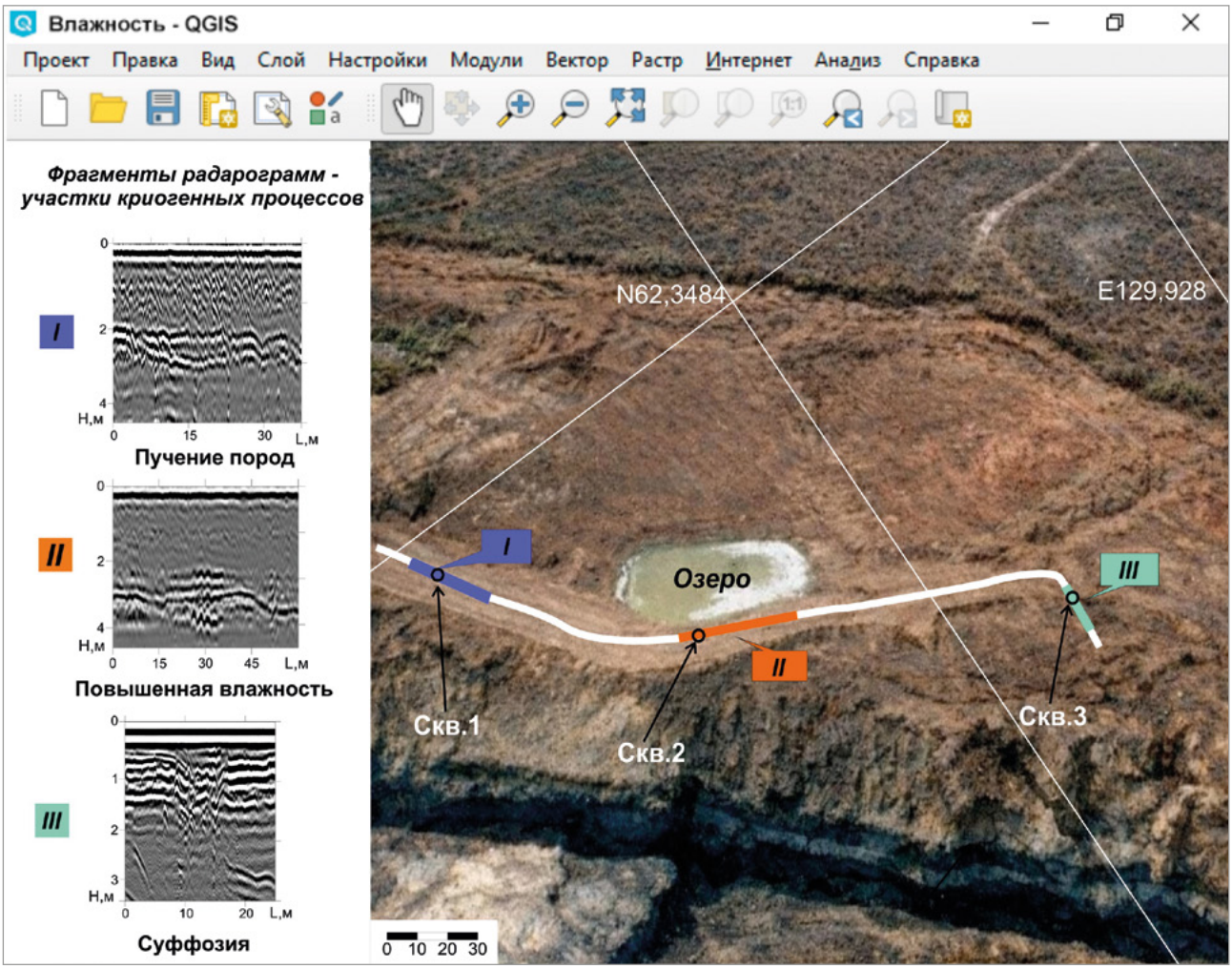


Рис. 3. Динамика мерзлотных условий грунтов оснований водозащитной дамбы по данным георадиолокации

Ближайшие аналоги

Зарубежные и отечественные аналоги хорошо работают для выявления локальных неоднородностей на глубинах до 10–15 м, но не имеют встроенных алгоритмов интерпретации криогенных процессов.

Отрасли применения

- инженерная геокриология и геотехнический мониторинг;
- обеспечение безопасности горных работ (контроль оттайки массивов);
- диагностика ледовых переправ и автозимников.

Запрос на индустриальное партнерство

Мы приглашаем горные и строительные компании к внедрению технологии на действующих объектах (пилотные проекты, совместные КНТП, НОЦ)

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

1. Горнодобывающие компании (алмазы, золото, уголь), эксплуатирующие месторождения в криолитозоне.

2. Проектные и эксплуатационные организации, отвечающие за автодороги, ж/д, трубопроводы в зоне многолетней мерзлоты.

3. Строительные компании, возводящие объекты в Якутии.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

Уровень готовности технологии (TRL): 6–7. Проведены многолетние (2012–2025 гг.) натурные испытания на действующих объектах (дамба Кангаласского угольного разреза, автодорога «Вилюйский тракт», участки провалов дорог в Центральной Якутии). Выполнено подтверждение бурением и визуальными осмотрами.

Список использованной литературы:

1. Федорова Л. Л., Саввин Д. В., Мандаров Д. А., Федоров М. П. Георадиолокационная диагностика криогенных процессов в грунтах оснований автодорог г. Якутска // Инж. изыскания. 2017. № 9. С. 66–73.

2. Федорова Л. Л., Куляндин Г. А., Саввин Д. В. Исследования геокриологических параметров массива горных пород для прогнозирования развития негативных криогенных процессов // Физ.-техн. пробл. разр. пол. иск. 2019. № 6. С. 183–192.

3. Федорова Л. Л., Федоров М. П., Стручков А. С., Саввин Д. В. Программно-методическое обеспечение георадиолокационного мониторинга криогенных процессов в подповерхностных грунтах // Горн. информ.-аналит. бюл. 2016. Спец. вып. 21. С. 154–163.

4. Саввин Д. В., Куляндин Г. А., Федорова Л. Л. Обнаружение криогенных явлений в грунтах оснований инженерных сооружений методом георадиолокации // Естественные и технические науки. 2018. № 11. С. 171–173.

5. Нерадовский Л. Г., Омельяненко А. В., Федорова Л. Л. Методические возможности георадиолокации мониторинга состояния мерзлых грунтов // Горн. информ.-аналит. бюл. 2004. № 7. С. 44–47.

6. Соколов К. О., Федорова Л. Л., Саввин Д. В., Стручков А. С. Обоснование структуры и функциональности алгоритмического обеспечения георадиолокационного мониторинга влажности горных пород криолитозоны // Фундаментальные исследования. 2017. № 9–1. С. 93–98.

7. Fedorova L. L., Savvin D. V., Fedorov M. P., Struchkov A. S. GPR Monitoring of Cryogenic Processes in Subgrade Soils // 16th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR 2016). Hong Kong, 2016.

8. Патент № 141971 РФ, МПК G01S 13/88 (2006.01). Антенный блок георадара: № 2014102836/07: заявл. 28.01.2014: опубл. 26.06.2014 / Куляндин Г. А., Омельяненко П. А.; заявитель и патентообладатель Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Бюл. № 17. — 1 с.

9. Патент № 2561769 РФ, МПК G01V 3/12 (2006.01). Способ георадиолокации в условиях ограниченного пространства: № 2014117846/28: заявл. 29.04.2014: опубл. 10.09.2015 / Куляндин Г. А., Омельяненко П. А.; заявитель и патентообладатель Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 25. — 4 с.

10. Свид-во о гос. рег. базы данных № 2016620713 РФ. Данные мониторинговых георадиолокационных зондирований автодороги: № 2016620386: заявл. 05.04.2016: опубл. 01.06.2016 / Л. Л. Федорова, К. О. Соколов, Д. В. Саввин, А. С. Стручков; правообл. Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. — Бюл. № 6.

11. Свид-во о гос. рег. базы данных № 2025621825 РФ. Данные разносезонных мониторинговых георадиолокационных зондирований автодороги Вилюйского тракта (г. Якутск, Республика Саха (Якутия)) в период 2012 по 2024. — № 2025621825: заявл. 09.04.2025: опубл. 23.04.2025 / Федорова Л. Л., Шамаев С. Д., Свинобоев А. С.; правообл. Якутский научный центр СО РАН. — Бюл. № 5.

12. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2020661403 РФ. Определение наличия подземного пластового льда по данным георадиолокации: № 2020660078: заявл. 07.09.2020: опубл. 22.09.2020 / К. О. Соколов; правообл. Якутский научный центр СО РАН. Бюл. № 1

13. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2015614604 РФ. Модель зондирования четырехслойной среды георадиолокаторами серии «ОКО». — № 014662985: заявл. 15.12.14: опубл. 20.05.15: зарегистрировано 21.04.2015 / Федорова Л. Л., Федоров В. Н., Константинов В. В.; правообл. Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. Бюл. № 5.

14. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2016615298 РФ. Автоматический поиск структурных особенностей горного массива на основе преобразования Гильберта данных георадиолокации. — 2016612486: заявл. 22.03.2016: опубл. 19.05.2016 / К. О. Соколов, Л. Л. Федорова; правообл. Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. Бюл. № 6.

15. Свид-во о гос. рег. программы для ЭВМ № 2017662819 РФ. Двухмерная лучевая модель зондирования неоднородной среды георадиолокаторами серии «ОКО»: № 2017615315: заявл. 05.06.2017: опубл. 17.11.2017 / В. Н. Федоров, Л. Л. Федорова, В. В. Константинов; правообл. Инст-т горн. дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН. Бюл. № 11.

РАЗРАБАТЫВАЕМОЕ ИННОВАЦИОННОЕ ДРОБИЛЬНО-ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677980, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, д. 43



Матвеев Андрей Иннокентьевич

доктор технических наук, главный научный сотрудник, старший научный сотрудник

+7 (4112) 39-00-59, 39-00-55, andrei.mati@yandex.ru



Винокуров Василий Романович

кандидат технических наук, старший научный сотрудник

+7 (4112) 39-00-59, vaviro@mail.ru

Аннотация

Проекты дробильно-измельчительного оборудования основаны на результатах многолетних научно исследовательских и опытно-конструкторских работ лаборатории обогащения полезных ископаемых Института горного дела Севера СО РАН им. Н. В. Черского (ИГДС СО РАН) Федерального научно-исследовательского центра «Якутский научный центр» СО РАН (ФИЦ «ЯНЦ» СО РАН). Разработанное оборудование основано на новых способах ударного дробления и измельчения, предусматривающих возможности сообщения разрушаемым рудным кусковым материалам многократных динамических воздействий, позволяющих произвести объемное разрушение в режиме дезинтеграции т.е. по наиболее слабым механическим связям, приводящее к интенсивному селективному раскрытию полезных мономинеральных компонентов. По сути это целый ряд высокоэффективного оборудования, имеющего огромный потенциал для совершенствования энергоемких процессов рудоподготовки, который непосредственно относится к вопросу импортозамещения и создания отечественного парка дробильно-измельчительного оборудования. К наиболее перспективным разработкам относятся: роторная дробилка многократного ударного действия РД-МДВ-900; дробилка комбинированного действия ДКД-300; вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12 и мельница-дробилка роторная типа МДР, которые находятся на стадии опытно-конструкторских работ и испытаний для внедрения их в серийное производство.

Ключевые слова: дробильно-измельчительное оборудование, рудоподготовка, дезинтеграция, внедрение, дробление, измельчение.

Основные характеристики и назначение

Высокопроизводительная дробилка РД-МДВ-900 предназначена для дробления твердого кускового материала размером до 450 мм. Конструктивно дробилка имеет три рабочих ротора, при вращении которых сектора обстрела кусками материала, подлежащие ударному дроблению, перекрываются и создают замкнутый цикл многократного динамического воздействия, а наличие выпускающего колосникового грохота-питателя и организация на его поверхности интенсивных динамических контактов кусков руды друг с другом в режиме самоиз-

мельчения позволяет достичь высокую степень дробления. Способ дробления, реализованный в данной дробилке, позволяет совместить в себе несколько операций, таких как крупное, среднее и мелкое дробление, и таким образом исключить из процесса рудоподготовки многостадийную схему дробления.

Дробилка комбинированного ударного действия (ДКД-300) предназначена для дробления твердого кускового материала размером до 150 мм. Дробилка ДКД-300 при дроблении рудных образцов –100 мм позволяет совместить традиционные стадии среднего, мелкого и грубого измельчения. Преимущество дробилки заключается не только в достижении высокой степени дробления, но и в том, что на стадии дробления в зависимости от вкрапленности золота в руде достигается ее раскрытие до 80%, т.е. практически после дробления возможно предварительное обогащение.

Вертикальный центробежный измельчитель (ВЦИ-12). Разработка относится к области дезинтеграции и переработки горных пород и руд и предназначена к использованию в горнодобывающей, перерабатывающей, химической промышленности для переработки твердых полезных ископаемых. Конструктивно измельчитель включает в себя две симметрично расположенные рабочие камеры. Каждая камера содержит подвижный и неподвижный рабочие диски, ширина камеры (зазор) регулируется от 1 до 20 мм в зависимости от степени крепости исходного материала. Главным конструктивным отличительным признаком нового измельчителя является возможность регулировки угла сегмента разгрузочного отверстия относительно вертикальной оси корпуса, что регулирует время нахождения измельчаемого материла в рабочей зоне, т.е. позволяет управлять эффективностью измельчения.

Мельница-дробилка роторная типа МДР предназначена для дезинтеграции твердого кускового материала размером до 20 мм. Конструктивно мельница содержит установленный с возможностью вращения барабан с лифтерами на внутренней поверхности и приспособления для загрузки и пневматической выгрузки материала, при этом внутри барабана соосно на полом валу установлен ротор с билами. Способ дезинтеграции рудного материала, реализованный в данной мельнице, позволяет повысить эффективность измельчения рудных материалов, а также за счет укрупненного исходного питания совместить в одном аппарате процессы дробления и измельчения и таким образом сократить количество стадий переработки рудного материала.

Наличие опытных образцов и результаты их испытаний.

Разработан и изготовлены опытные образцы нового дробильно-измельчительного оборудования: роторная дробилка многократного ударного воздействия (РД-МДВ-900), дробилка комбинированного ударного действия (ДКД-300), вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12, мельница-дробилка роторная (МДР) периодического действия.

Опытный образец роторной дробилки РД-МДВ-900 (рис.1) успешно прошел предварительные промышленные испытания, с учетом которых определены необходимые корректировки в конструкцию дробилки для повышения ее производительности и снижения вибрации роторов.

Опытный образец дробилки ДКД-300 (рис. 2) прошел испытания в технологических схемах рудоподготовки при переработке крупнообъемных проб золотосодержащих руд месторождений Аркачан, Вертикальное, Гурбей, Дуэтское, Малтан, Малый Тарын, Нежданинское, Сарылах, Сентачан, а также при технологических испытаниях по сохранности кристаллов алмазов при дроблении кимберлитовой руды трубки Зарница на обогатительной фабрике № 12 Удачнинского горно-обогатительного комбината и показал возможность эффективного использования способа дробления многократными динамическими воздействиями для дезинтеграции представленных руд.

Опытный образец вертикального центробежного измельчителя ВЦИ-12 (рис. 3) проходит предварительные лабораторные исследования на реальных материалах. Ведется проектная проработка по увеличению мощности привода.

Опытный образец мельницы МДР периодического действия (рис. 4) прошёл предварительные испытания по разрушению рудного материала крупностью до 20 мм, во время которых было установлено, что наиболее эффективное разрушение в новой мельнице МДР происходит при крупности исходного рудного питания более 5 мм со значительным увеличением выхода мелких фракций, что подтверждает возможность эффективно сочетать процессы дробления и измельчения в одной дробильно-измельчительной установке.



Параметры	Ед.изм	Показатели
Производительность	т	до 120
Диаметр рабочего органа	мм	1000
Крупность питания	мм	450
Мощность двигателя	кВт	150
Крупность готового продукта	мм	-20
Масса дробилки	т	12

Рис. 1. Общий вид и основные конструктивные параметры опытного образца роторной дробилки многократного ударного действия РД-МДВ-900



Параметры	Ед.изм	Показатели
Производительность	т	до 15
Диаметр рабочего органа	мм	до 150
Крупность питания	мм	15
Мощность двигателя	кВт	5
Крупность готового продукта	мм	2200x1500x1900
Масса дробилки	т	1,9

Рис. 2. Общий вид и основные конструктивные параметры опытного образца роторной дробилки многократного ударного действия ДКД-300

По результатам проведенных исследований на опытно-промышленном образце мельницы МДР периодического действия авторами предложена и запатентована мельница МДР непрерывного действия с своевременным удалением готовых продуктов измельчения. Дальнейшее развитие работ по созданию нового оборудования будет состоять в разработке полномасштабного опытного образца мельницы МДР непрерывного действия с исходным питанием крупностью до 150 мм.

Оценка уровня готовности

Роторная дробилка многократного ударного воздействия (РД-МДВ-900) вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12, мельница-дробилка роторная (МДР) периодического действия – УГТ4.

Дробилка комбинированного ударного действия (ДКД-300) – УГТ6.

Необходимые доработки

Для получения полноценного конкурентоспособного дробильно-измельчительного оборудования необходимы НИОКР, натурные испытания, корректировка конструкций по выявленным недостаткам и проведение полномасштабных ресурсных и технологических испытаний.

Оценка стоимости доработок

Определяется по согласованию с возможным Заказчиком (инвестором) в зависимости от объема необходимых НИОКР, результатов натурных испытаний.

Преимущества и уникальность

Низкая энерго- и металлоемкость по сравнению с существующими аналогами, возможность сочетания процессов дробления и измельчения в од-



Параметры	Ед.изм	Показатели
Крупность питания	мм	5-20
Диаметр внутреннего диска	мм	1200
Размеры приемного отверстия	мм	280x160
Размеры выпускного лотка	мм	210x220
Число оборотов внут. диска	об/мин	760
Потребляемая мощность	кВт	30
Производительность	т/ч	до 12
Масса	кг	6662,5
Масса без эл. двигателя	кг	6512,5

Рис. 3. Общий вид и основные конструктивные параметры опытного образца вертикального центробежного измельчителя ВЦИ-12



Параметры	Ед.изм	Показатели
Производительность	кг/ч	до 200
Крупность материала	мм	до 20
Диаметр барабана	мм	470
Ширина барабана	мм	264
Диаметр ротора	мм	320
Мощность ротора	кВт	3.0
Мощность барабана	кВт	2.2
Масса без эл/дв. и редуктора	кг	937,7

Рис. 4. Общий вид и основные конструктивные параметры опытного образца мельницы роторной МДР

ном аппарате, за счет чего, в целом, повышается эффективность разрушения, а также упрощается схема рудоподготовки из-за сокращения количества стадий переработки материала и числа используемого оборудования и, главное, — за счет высокой степени дробления существенно снижаются циркулирующие нагрузки в схемах рудоподготовки.

Новизна научного результата

На основе ранних теоретических и экспериментальных исследований разработан и защищен патентами РФ ряд нового высокоэффективного дробильно-измельчительного оборудования. Эффективность работы данных опытных образцов обеспечивается за счет применения новых запатентованных способов дробления и измельчения.

Наличие ноу-хау — на технические решения по реализации способов дезинтеграции рудных материалов и конструкций дробильно-измельчительных аппаратов многократного динамического воздействия.

Наличие патентов:

РФ № 2471561, РФ № 2020119813, РФ № 2857839, № 2111055, № 2111056.

Исторический/научный бэкграунд

В настоящее время одним из наиболее перспективных направлений исследований является разработка дробильно-измельчительного оборудования с ударными принципом работы за счет относительно низких удельных энергетических затрат на разрушение геоматериалов [1,2], при этом эффективность разрушения зависит от конкретного способа механического воздействия и конструктивных особенностей аппаратов [3–5]. За рубежом [6,7] («Metso



Андрей Матвеев

Личный комментарий от разработчика:

«Приглашаем участвовать на любой стадии разработки нового высокоэффективного дробильно-измельчительного и другого обогатительного оборудования (проведение НИОКР, создание лабораторных и испытательных стендов, опытных образцов, испытания в лабораторных и натурных условиях, внедрение в промышленность). При необходимости возможны корректировки, модификация разработанного оборудования для различных условий эксплуатации, передача интеллектуальной собственности, ноу-хау, на использование патентов, при договоре о совместной деятельности. В целом коллектив разработчиков имеет опыт работы с индустриальными партнерами по всем перечисленным выше видам взаимодействия. В данном материале представлены лишь некоторые разработки нашего коллектива, при наличии заинтересованности можем представить сведения о других наших разработках кроме дробильно-измельчительного оборудования (дезинтеграция высокоглинистых песков, пневмосепарация, оборудование для гравитационного, магнитного и флотационного обогащения)».

Outotec», «Acrowood Corp.», «Metso Minerals») и в РФ (ЗАО «Новые технологии», НПО «Центр», завод «ТехПрибор») ведутся активные разработки центробежных установок, основанных на ударном разрушении геоматериалов [8,9]. Вместе с тем даже самое современное дробильно-измельчительное оборудование при переходе на глубокое измельчение геоматериалов всё равно остается достаточно энергозатратным, особенно, там, где стоит задача валового измельчения или сокращения крупности. Часто для измельчения более крепких частиц пустой породы (например, того же кварца) расходуется лишняя энергия, уровень которой существенно возрастает в целом по переделу рудоподготовки при переходе на более тонкое измельчение.

Нами найдены условия существенной интенсификации процессов ударного дробления и измельчения, которые заключаются в возможности обеспечения многократных динамических воздействий на кусковые геоматериалы в рабочей зоне разрушения, реализуемых в новых аппаратах (РД-МДВ-900, ВЦИ-12), в которых разрушение обусловлено мгновенной объемной передачей напряжений по механическим связям по всему объему материалу и, в конечном счете, приводящее к его фатальному разрушению в режиме дезинтеграции с опережающим избирательным раскрытием минеральных форм, в том числе полезных компонентов [10,11]. Эффект полностью соответствует золотому правилу обогатителей «не дробить ничего лишнего».

Также в настоящее время среди измельчительного оборудования получили широкое распространение мельницы самоизмельчения [12], к достоинствам которых относятся отсутствие мелющих тел и возможность сочетать в себе несколько стадий дробления и измельчения, что позволяет сократить количество стадий переработки рудного материала.

В частности, на Сарылахской обогатительной фабрике месторождения «Сентачан» применяются мельницы самоизмельчения ММС-3,6х2,0, а для разрушения кимберлитовой алмазосодержащей руды на обогатительной фабрике № 14 Айхальского ГОКа — ММС-105–54, на обогатительной фабрике № 16 Нюрбинского ГОКа — ММС 50х23Р. Использование данного типа мельниц позволяет исключить среднюю и мелкую стадии дробления, что существенно упрощает схему рудоподготовки.

Основным технологическим недостатком мельниц самоизмельчения является накопление в барабане кусков критического класса крупности, которые не могут ни дробить, ни быть раздробленными.

Решение этой проблемы может быть связано с увеличением диаметра барабана, применение спецлифтеров и т.д., однако, это ведет к усложнению и удорожанию конструкций мельниц самоизмельчения. Очевидно, что для повышения эффективности разрушения в мельницах самоизмельчения необходима организация в рабочей камере мельниц дополнительных высокоскоростных импульсных динамических нагрузок на разрушаемый кусковой рудный материал. Для решения данной проблемы в лаборатории ОПИ ИГДС СО РАН ведутся исследования по разработке вы-

сокоэффективного рудоподготовительного оборудования, в частности, разработана и запатентована технология дезинтеграции горных пород, реализованная в роторной мельнице-дробилке (МДР). Применяемый в мельнице МДР способ разрушения руды сочетает в себе процессы самоизмельчения и ударного разрушения, который реализуется за счет технической идеи размещения в барабане мельницы ударно-отражательного ротора, имеющей возможность противоположного вращения относительно барабана.

Потребители

Горнорудные и строительные компании.

Возможный экономический эффект

Внедрение эффективного разработанного оборудования, основанного на новых способах ударного дробления и измельчения, позволит снизить капиталоёмкость процессов рудоподготовки за счет сочетания в одном аппарате несколько стадий дробления и измельчения, позволяющих сократить количество стадий переработки рудного материала и не нуждающихся в использовании технологической воды и сопутствующей водной инфраструктуры. Например, предполагаемый экономический эффект от внедрения дробилки комбинированного ударного действия (ДКД-300) за счет снижения энергопотребления, избирательного раскрытия золота и уменьшения потерь, связанных с переизмельчением при модернизации технологической схемы на примере переработки золотосодержащих руд месторождения Малтан составит ориентировочно 70 млн. рублей в год.

Запрос на индустриальное партнерство

Возможны все виды взаимодействия: создание совместного малого инновационного предприятия, участие в НИОКР, НОЦ, инвестиции на ранних стадиях разработки технологии, партнерское соглашение + дорожная карта.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

Роторная дробилка многократного ударного воздействия (РД-МДВ-900), вертикальный центробежный измельчитель ВЦИ-12, мельница-дробилка роторная (МДР) периодического действия — УГТ4. Дробилка комбинированного ударного действия (ДКД-300) — УГТ6.

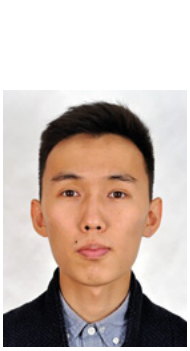
Список литературы

1. Хопунов Э. А. Новый взгляд на процессы переработки минерального сырья// Современная техника и технологии. 2015. № 3 [Электронный ресурс]. URL: http://technology.snauka.ru/2015/03/5944 (дата обращения: 18.04.2015).
2. Dey, S.K.; Dey, S.; Das, A. Comminution Features in an Impact Hammer Mill. Powder Technol. 2013, 235, 914-920.
3. Ломовский И., Бычков А., Ломовский О., Скрипкина Т. Механохимические и гранулометрические машины для биорефинирования. Молекулы. 2020; 25(22):5345. https://doi.org/10.3390/molecules25225345
4. Minerals Engineering. Benchmarking comminution energy consumption for the processing of copper and gold ores. G. R. Ballantyne M. S.PowellVolume 65, 15 October 2014, Pages 109-114. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.05.017
5. Neikov, O. D. Mechanical Crushing and Grinding. In Handbook of Non-Ferrous Metal Powders; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2009; pp. 47-62
6. Dey, S.K.; Dey, S.; Das, A. Comminution Features in an Impact Hammer Mill. Powder Technol. 2013, 235, 914-920.
7. Hee Chan Cho, Kwan Ho Kim, Hoon Lee, Dong Jun Kim. Study of residence time distribution and mill hold-up for a continuous centrifugal mill with various G/D ratios in a dry-grinding environment // Minerals Engineering. Volume 24, Issue 1, January 2011, Pages 77-81
8. Вайтехович П.Е., Боровский Д. Н., Гребенчук П. С. и др. Определение основных параметров ударного взаимодействия абразивных частиц с лопатками роторного ускорителя центробежной мельницы. Химическая и нефтяная промышленность № 54, 156-160 (2018). https://doi.org/10.1007/s10556-018-0455-6
9. Бардовский А.Д., Горбатюк С. М., Керопян А. М. и др. Оценка параметров ускорительного диска центробежной мельницы с учетом особенностей движения частиц по поверхности диска
10. Ф. Х. Уракаев, Л. Г. Шумская, Е. А. Кириллова, С. А. Кондратьев. Совершенствование технологии тонкого измельчения техногенного сырья на основе его дозированного стадийного разрушения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых- — 2020. — № 5. — С. 165-175.
11. Львов Е.С., Матвеев А. И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 10. — С. 112-116.
12. Мелехина К. А., Ананьев П. П., Плотникова А. В., Тимофеев А. С., Шестак С. А. Моделирование и оптимизация процесса рудоподготовки комплексных руд при их дезинтеграции в мельнице самоизмельчения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 10. — С. 95-105. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-95-105.

СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ МЕТОДОМ ДВУХСТАДИЙНОГО БЫСТРОГО ДЖОУЛЕВА НАГРЕВА

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

677000 г. Якутск, ул. Белинского, д. 58



Евсеев Захар Иванович

научный сотрудник

zakevseev@gmail.com;



Прокопьев Айсен Русланович

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

aisenprokopiev@mail.ru



Лоскин Николай Николаевич

инженер

loskin.origin99@gmail.com



Попов Дмитрий Николаевич

инженер

dmiitryy09@gmail.com



Дмитриев Петр Станиславович

инженер

+7 (914) 220-12-26,
dimitriev.petrsever@gmail.com

Предлагается использование двухстадийной обработки быстрым джоулевым нагревом турбостратного графена, получаемого из пластиковых отходов, с целью быстрого и экономичного получения пористых углеродных материалов для электродов.

Ключевые слова: быстрый джоулев нагрев, турбостратный графен, переработка пластиковых отходов, суперконденсатор, окисление, активация.



Установка быстрого джоулева нагрева

Разработка представляет собой технологию получения пористых графенсодержащих углеродных материалов из полимерных (пластиковых) отходов с использованием метода быстрого джоулева нагрева (БДН). Процесс реализуется в две стадии. На первой стадии полимерное сырьё (полипропилен) под действием кратковременного мощного электрического импульса преобразуется в турбостратный графен. Полученный материал затем функционализируется кислородсодержащими группами (стадия окисления). На второй стадии материал повторно подвергается БДН, что приводит к его активации и формированию развитой пористой структуры.

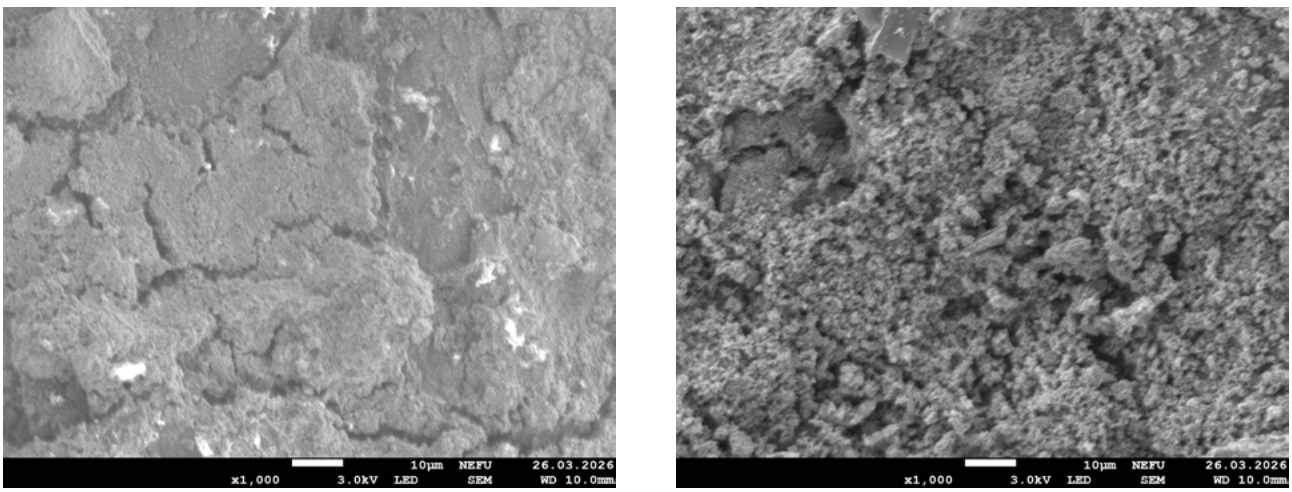
Ключевая особенность технологии заключается в механизме порообразования. Быстрое удаление кислородных функциональных групп при повторном импульсном нагреве вызывает интенсивное газовыделение, которое способствует расслоению (эксфолиации) материала и формированию многоуровневой пористости без применения внешних химических активаторов. Таким образом, активация материала достигается за счёт внутренних процессов, что отличает предлагаемый подход от традиционных методов химической активации.

Строение полученного материала напрямую определяет его назначение. Пористые углеродные структуры с большой долей доступной поверхности особенно ценны для устройств накопления энергии. В суперконденсаторах заряд запасается на границе между электродом и электролитом, поэтому чем более развитая поверхность, тем выше достижимая ёмкость — графеновая основа при этом обеспечивает высокую электропроводность и устойчивость к многократным циклам заряда и разряда. Близкие по природе материалы рассматриваются также в качестве компонентов электродов аккумуляторов и находят применение в катализе. Помимо конкретных технических применений у разработки есть и более широкий смысл. Она переводит трудно утилизируемые отходы в разряд полезного сырья, что соотносится с принципами экономики замкнутого цикла: материалы, отслужившие свой срок, возвращаются в производственную цепочку, а не накапливаются в окружающей среде. Сочетание переработки отходов с получением востребованного продукта повышает как экологическую, так и экономическую привлекательность подхода.

В качестве исходного сырья используются полимерные отходы с включениями технического углерода. Преобразование осуществляется за счёт джоулева нагрева, возникающего при разряде конденсаторной батареи (напряжение порядка 300 В), длительность разряда составляет доли секунды. Конечным продуктом является активированный турбостратный графен с многослойной (мультиграфеновой) структурой. Характеристики материала на разных стадиях

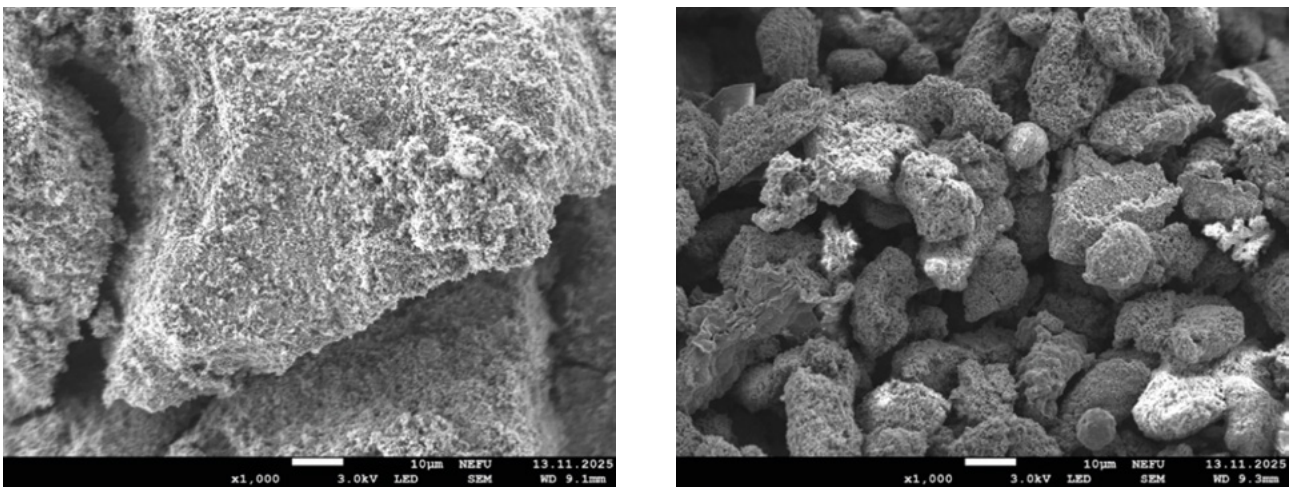
ТАБЛИЦА 1. СОСТАВ И УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ МАТЕРИАЛА НА СТАДИЯХ ОБРАБОТКИ

Место	Турбостратный графен	Окисленный ТГ	Активированный ТГ
Содержание углерода, масс. %	100	82	90
Содержание кислорода, масс. %	0	18	9
Удельная поверхность (БЭТ), м²/г	15	30	40



а б

Рис. 1 СЭМ-изображения: а) исходный пластиковый прекурсор; б) ТГ, сформированные при разряде 300 В.



а б

Рис. 2 СЭМ-изображения типичных образцов: а) о-ТГ; б) а-ТГ.

обработки приведены в Таблице 1. По мере прохождения стадий окисления и активации изменяется элементный состав и возрастает удельная поверхность материала.

Морфология поверхности изучена методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ): зафиксирована эволюция структуры в ходе обработки от однородной поверхности исходного сырья к усложнённой морфологии с уменьшением размера частиц после активации (см. Рис. 1 и Рис. 2). Структурные особенности подтверждены методом спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС): установлено формирование упорядоченной графеноподобной многослойной структуры и охарактеризована плотность дефектов на каждой стадии [1, 2, 3, 4, 5].

Элементный состав определён методом рентгеновского энергодисперсионного анализа (РЭДС), удельная поверхность — методом БЭТ (см. Таблицу 1). Результаты подтверждают успешное преобразование полимерного сырья в графеноподобный углерод, эффективное введение кислородных групп на стадии окисления и одновременное восстановление и расслоение материала при повторном БДН, сопровождающееся ростом удельной поверхности.

Структурные исследования подтверждают формирование упорядоченной графитоподобной структуры с управляемой плотностью дефектов, которой можно варьировать через параметры разряда, состав прекурсора и условия окисления.

Уровень технологической готовности 4 (УГТ4/TRL4). Осуществлен переход от уровня технологической готовности (УГТ 3) к созданию лабораторного макета, интегрирующего все компоненты технологической цепочки синтеза турбостратного графена из углеродсодержащих отходов в единую систему. Ключевым критерием данного уровня является обеспечение воспроизводимости сквозного процесса — от стандартизированной прекурсорной подготовки сырья до контролируемого высокотемпературного или термохимического воздействия с увеличением выхода целевого продукта до граммового масштаба. Достижение УГТ 4 верифицируется стабилизацией физико-химических и структурных характеристик от партии к партии, а также разработкой первичного лабораторного регламента, подтверждающего работоспособность предложенной методологии в контролируемых лабораторных условиях.

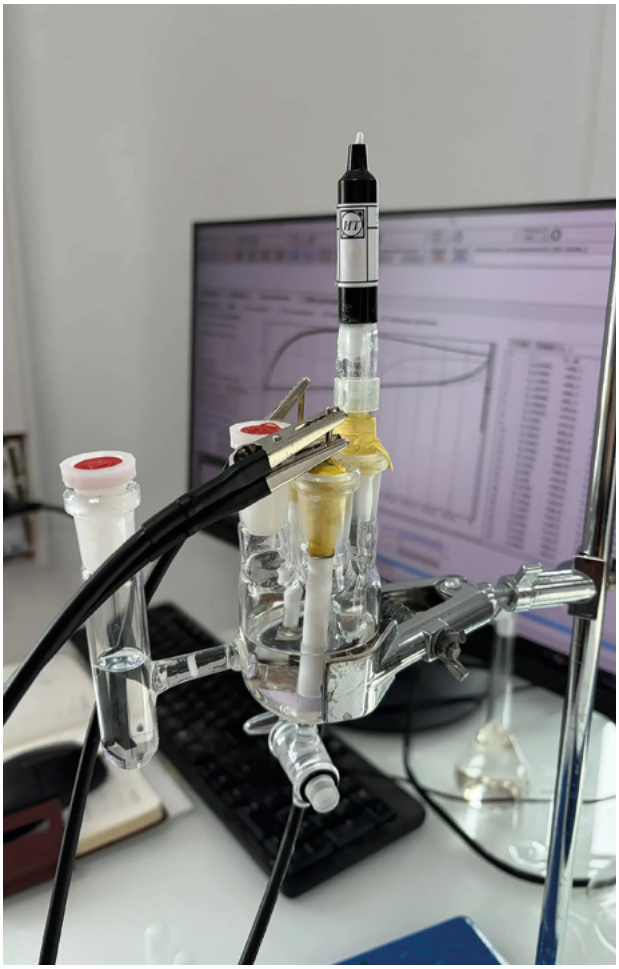


Рис. 2 Трехэлектродная электрохимическая ячейка с образцом ТГ.

Переход от лабораторного образца (УГТ 4) к испытаниям пилотной установки в реальных условиях (УГТ 5) потребует в 3–5 раз больше ресурсов, чем на предыдущем этапе. Основная часть средств уйдёт на оборудование: разработку и изготовление пилотного реактора производительностью в килограммы, его оснащение системами автоматического управления и газоочистки, а также подготовку производственного помещения — подвод электроэнергии нужной мощности и линий инертного газа.

Личный комментарий от разработчиков:

«Наш метод быстрого джоулева нагрева планирует снизить затраты на производство пористых электродов на 50–60%. При этом суперконденсаторы с нашим материалом будут иметь большую емкость за счет развитой структуры межплоскостных расстояний между слоями в электродах. Мы предлагаем вместе запустить совместный проект, который одновременно решает проблему переработки пластика и удешевляет чистую энергию. Наша команда открыта к любым формам сотрудничества: от продажи лицензии на технологию до совместного запуска производственных линий. Предлагаем объединить усилия и начать работу в этой востребованной области».

Преимущества и уникальность

Традиционный синтез пористых углеродных материалов (ПУМ) для электродов электрохимических устройств сопряжён с высокими энергозатратами, что в основном обусловлено неэффективностью стадии активации. Как правило, этот процесс включает многостадийную термообработку при температурах от 600 до 900 °C в присутствии агрессивных химических агентов (например, KOH, ZnCl2) или газов-окислителей, что занимает от нескольких часов до суток. Высокая энергоемкость, длительность, использование опасных реагентов и сложного технологического оборудования обуславливают относительно высокую стоимость активированных углей. В последние годы активно развиваются альтернативные подходы, в частности, методы с использованием БДН. Несмотря на эффективность метода БДН для синтеза высококачественного графена, получаемые таким образом материалы часто обладают низкой удельной площадью поверхности из-за плотной упаковки графеновых слоев, что ограничивает их ёмкостные характеристики. Для увеличения удельной площади поверхности необходима дополнительная стадия активации для развития пористой структуры и повышения доступности поверхности для электролита. Ранее нами была разработана методика активации оксида графена (ОГ) методом БДН для получения ПУМ с Syд до 1980 $м^2/г$. Однако использование относительно дорогого ОГ уменьшает экономическую целесообразность использования процесса. Для решения данной проблемы мы предлагаем использование двухстадийной обработки БДН турбостратного графена (ТГ), получаемого из пластиковых отходов, для быстрого и экономичного получения ПУМ для электродов суперконденсаторов.

Патенты по данной тематике:

Установка быстрого джоулева нагрева для синтеза графенсодержащих продуктов из полимерных материалов	RU 229234 U1
Установка быстрого джоулева нагрева для активации и восстановления оксида графена	RU 238185 U1

Контекст

Метод быстрого джоулева нагрева (БДН) является перспективным подходом к конвертации твердых бытовых отходов, включая пластик, в функциональные графенсодержащие продукты. Процесс основан на быстром (от долей секунд) высокотемпературном нагреве (до 3000 К) углеродсодержащего сырья за счет пропускания через него электрического тока.

Ключевой тематикой работы является процесс повторной высокотемпературной активации уже сформированного материала. Данная технология включает промежуточную стадию окисления полученного полупродукта с его последующей вторичной обработкой методом БДН. Такой циклический подход позволяет кардинально модифицировать дефектность структуры и развивать удельную площадь поверхности материала.

На мировом рынке главным аналогом базовой технологии синтеза выступает американская компания Universal Matter Inc. (коммерциализировавшая патенты Университета Райса 2020 года в области переработки пластика и биомассы). Однако их технологический цикл ограничен од-

ностадийным получением графена. Разрабатываемый же нами метод двухстадийной повторной активации окисленного материала с помощью повторного БДН-удара на сегодняшний день является малоисследованной областью.

Предполагаемый интерес для внедрения

Предложенная технология двухстадийного быстрого джоулева нагрева представляет коммерческий и практический интерес для научно-производственных организаций, а именно производителей суперконденсаторов и гибридных ячеек питания, нуждающихся в стабильных поставках углеродных электродов с высокой удельной емкостью. Технология также может привлечь внимание мусороперерабатывающих компаний, стремящихся к глубокой утилизации углеродсодержащего сырья.

Материалы, полученные данным электротермическим методом, нацелены на применение в высокотехнологичных секторах экономики. В транспортном машиностроении они необходимы для создания систем торможения электромобилей и поездов метро. В сфере «зеленой энергетики» пористый углерод востребован в буферных накопителях для сглаживания пиковых нагрузок солнечных и ветровых станций.

Сокращение времени высокотемпературной обработки до миллисекунд позволяет снизить расход электроэнергии. Возможность использования сырья низкого передела (кокса, биомассы и пластика) минимизирует сырьевые затраты. Более того, исключение из технологической цепочки стадий жидкостной химической активации агрессивными реагентами избавляет предприятие от капитальных затрат на очистные сооружения и утилизацию опасных отходов.

Запрос на индустриальное партнерство

В рамках развития технологии БДН мы ожидаем сотрудничество с предприятиями, работающими в области производства полимерных материалов, а также занимающимися переработкой различных углеродсодержащих отходов. У нас есть запатентованная технология, которую мы готовы передать в лицензионное использование. Кроме того, можем по совместному проекту провести НИОКТР для разработки установки конкретно под нужды индустриального партнера.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

В рамках дальнейшего развития технологии быстрого джоулева нагрева (БДН) мы заинтересованы в установлении сотрудничества с предприятиями, осуществляющими производство полимерных материалов, а также с организациями, специализирующимися на переработке различных углеродсодержащих отходов. Коллектив располагает запатентованной технологией, которая может быть предоставлена заинтересованным партнёрам на условиях лицензионного соглашения. Кроме того, мы готовы рассмотреть реализацию совместных проектов, предусматривающих проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКТР) по созданию технологической установки, адаптированной под конкретные производственные задачи индустриального партнёра.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

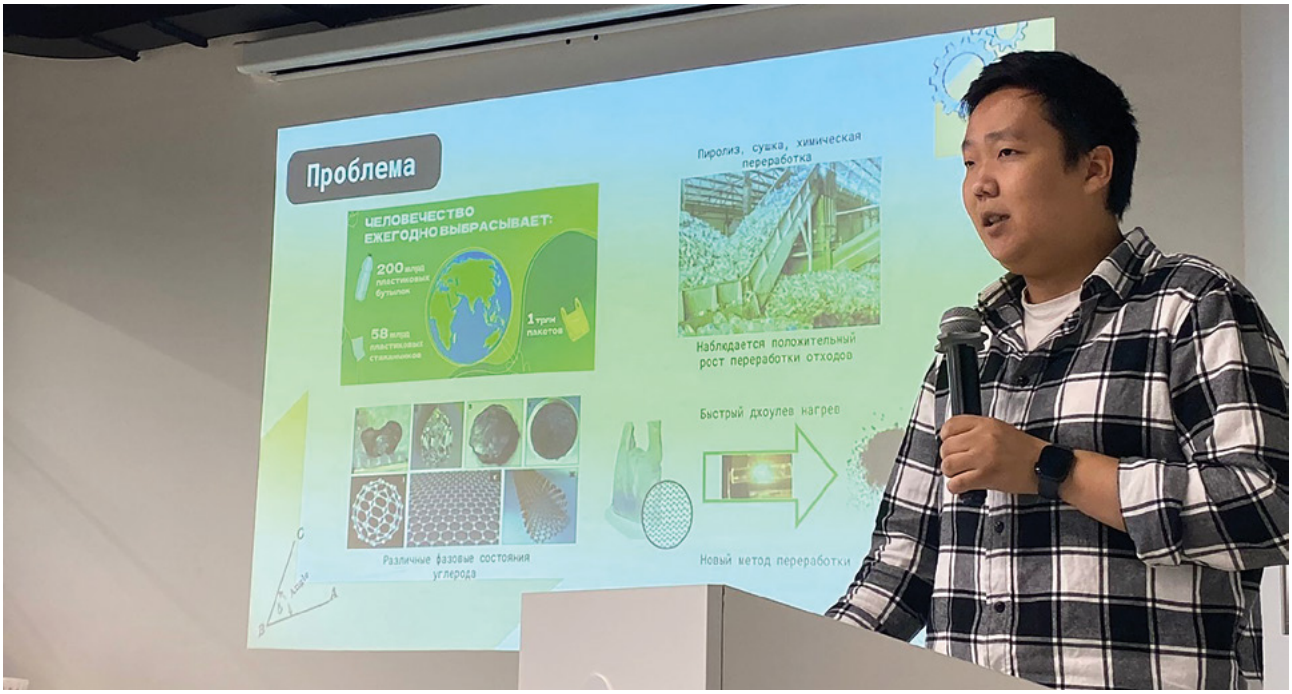
Уровень технологической готовности 4 (УГТ4/TRL4). Осуществлен переход от уровня технологической готовности (УГТ 3) к созданию лабораторного макета, интегрирующего все компоненты технологической цепочки синтеза турбостратного графена из углеродсодержащих отходов в единую систему. Ключевым критерием данного уровня является обеспечение воспроизводимости сквозного процесса — от стандартизированной прекурсорной подготовки сырья до контролируемого высокотемпературного или термохимического воздействия с увеличением выхода целевого продукта до граммового масштаба. Достижение УГТ 4 верифицируется стабилизацией физико-химических и структурных характеристик от партии к партии, а также разработкой первичного лабораторного регламента, подтверждающего работоспособность предложенной методологии в контролируемых лабораторных условиях.

Список использованной литературы

1. Ni J., Li Y. Carbon nanomaterials in different dimensions for electrochemical energy storage //Advanced Energy Materials. — 2016. — Т. 6. — № . 17. — С. 1600278.

2. Kothandam G. et al. Recent advances in carbon-based electrodes for energy storage and conversion //Advanced Science. — 2023. — Т. 10. — № . 18. — С. 2301045.

3. Li B., Xiong H., Xiao Y. Progress on synthesis and applications of porous carbon materials //International Journal of Electrochemical Science. — 2020. — Т. 15. — № . 2. — С. 1363–1377.



Участие в различных конференциях

4. Wang J., Kaskel S. KOH activation of carbon-based materials for energy storage //Journal of materials chemistry. — 2012. — Т. 22. — № . 45. — С. 23710–23725.

5. Algozeeb W. A. et al. Flash graphene from plastic waste //ACS nano. — 2020. — Т. 14. — № . 11. — С. 15595–15604.

6. Bardarov I. et al. Flash graphene from carbon fiber composites: A sustainable and high-performance electrocatalyst for hydrogen peroxide production //Electrochimica Acta. — 2025. — Т. 517. — С. 145754.

7. Evseev Z. I. et al. Fast Joule Heating for the Scalable and Green Production of Graphene with a High Surface Area //Materials. — 2024. — Т. 17. — № . 3. — С. 576.

8. Determination of the Specific Surface Area of Solids by Gas Adsorption (Определение удельной поверхности твердых тел методом адсорбции газа): ISO 9277:2022. Zurich, Switzerland: IUPAC, 2022.

9. Ferrari A. C. et al. Raman spectrum of graphene and graphene layers //Physical review letters. — 2006. — Т. 97. — № . 18. — С. 187401.

10. Mohiuddin T. M. G. et al. Uniaxial strain in graphene by Raman spectroscopy: G peak splitting, Grüneisen parameters, and sample orientation //Physical Review B — Condensed Matter and Materials Physics. — 2009. — Т. 79. — № . 20. — С. 205433.

11. Ferrari A. C., Basko D. M. Raman spectroscopy as a versatile tool for studying the properties of graphene //Nature nanotechnology. — 2013. — Т. 8. — № . 4. — С. 235–246.

12. Wyss K. M., Luong D. X., Tour J. M. Large-scale syntheses of 2D materials: flash joule heating and other methods //Advanced materials. — 2022. — Т. 34. — № . 8. — С. 2106970.

13. Stanford M. G. et al. Flash graphene morphologies //ACS nano. — 2020. — Т. 14. — № . 10. — С. 13691–13699.

14. Advincula P. A. et al. Flash graphene from rubber waste //Carbon. — 2021. — Т. 178. — С. 649–656.

15. Claramunt S. et al. The importance of interbands on the interpretation of the Raman spectrum of graphene oxide //The Journal of Physical Chemistry C. — 2015. — Т. 119. — № . 18. — С. 10123–10129.

16. Cançado L. G. et al. General equation for the determination of the crystallite size La of nanographite by Raman spectroscopy //Applied physics letters. — 2006. — Т. 88. — № . 16.

17. Bleu Y. et al. Raman study of the substrate influence on graphene synthesis using a solid carbon source via rapid thermal annealing //Journal of Raman Spectroscopy. — 2019. — Т. 50. — № . 11. — С. 1630–1641.

18. Brusko V. et al. Unraveling the infrared spectrum of graphene oxide //Carbon. — 2024. — Т. 229. — С. 119507.

19. Surekha G. et al. FTIR, Raman and XRD analysis of graphene oxide films prepared by modified Hummers method //Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2020. — Т. 1495. — № . 1. — С. 012012.

20. Aziz M., Halim F. S. A., Jaafar J. Preparation and characterization of graphene membrane electrode assembly //Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering). — 2014. — Т. 69. — № .9. — С. 11–14.

21. Прокопьев, А. Р. Быстрый джоулев нагрев для синтеза графенсодержащих порошков из пластиковых отходов / А. Р. Прокопьев, Н. Н. Лоскин, Д. Н. Попов // Радиоэлектроника. Наносистемы. Информационные технологии. — 2025. — Т. 17, № 3. — С. 305–312. — DOI 10.17725/rensit.2025.17.305. — EDN YDEORQ.

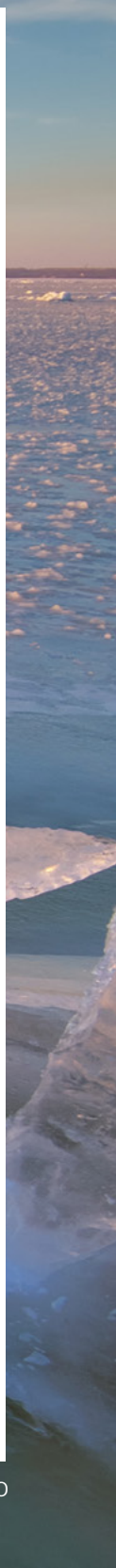




2

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

Цифровое наследие



НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОРПУС ЯКУТСКОГО ЯЗЫКА

Институт гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677027, г. Якутск, ул. Петровского, д.1



Попова
Наталья Иннокентьевна

кандидат филологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник-руководитель проекта

+7-984-119-68-14,
nat.popova@rambler.ru



Бочкарев
Василий Васильевич

младший научный сотрудник

+7-967-910-46-58,
uus-aldan@mail.ru

Аннотация

Цель разработки проекта — создание общедоступной информационно-справочной системы, основанной на собрании и разметке текстов на якутском языке в электронной форме с сопутствующими базами данных по различным аспектам языка (дополняющимися) и с открытым программным обеспечением обработки текстов. На данный момент Национальный корпус якутского языка представляет собой электронную лингвистическую платформу, объединяющую: текстовый корпус, состоящий из более 20 млн. словоупотреблений; морфологический анализатор с автоматической глоссировкой; «Грамматику в таблицах»; терминологические, диалектные, фразеологические и ономастические базы данных; интерактивную карту ареалов распространения более 80 тыс. топонимов; 15-томный толковый словарь; синтезатор речи на якутском языке. Онлайн-версия корпуса была открыта в тестовом режиме в начале 2025 г. по адресу https://sakha-corpus.ysn.ru/

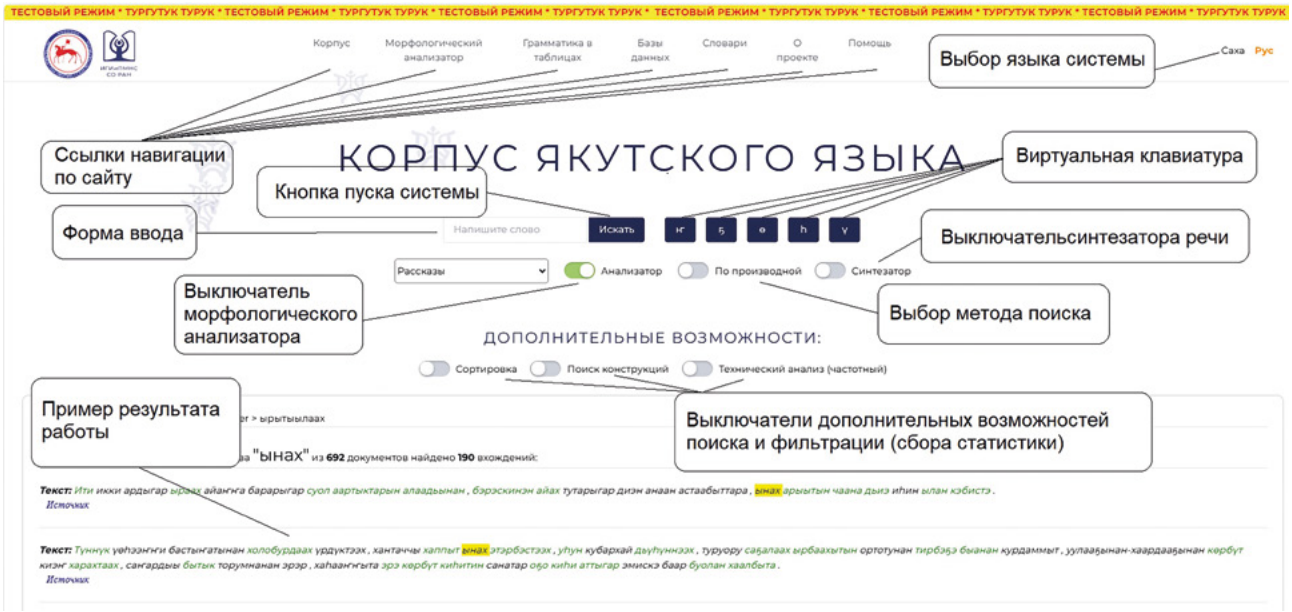
Ключевые слова: якутский язык, корпус текстов, лингвистические базы данных, фразеологизмы, диалектизмы, архаизмы, термины, топонимы, морфологический анализатор, синтезатор речи.

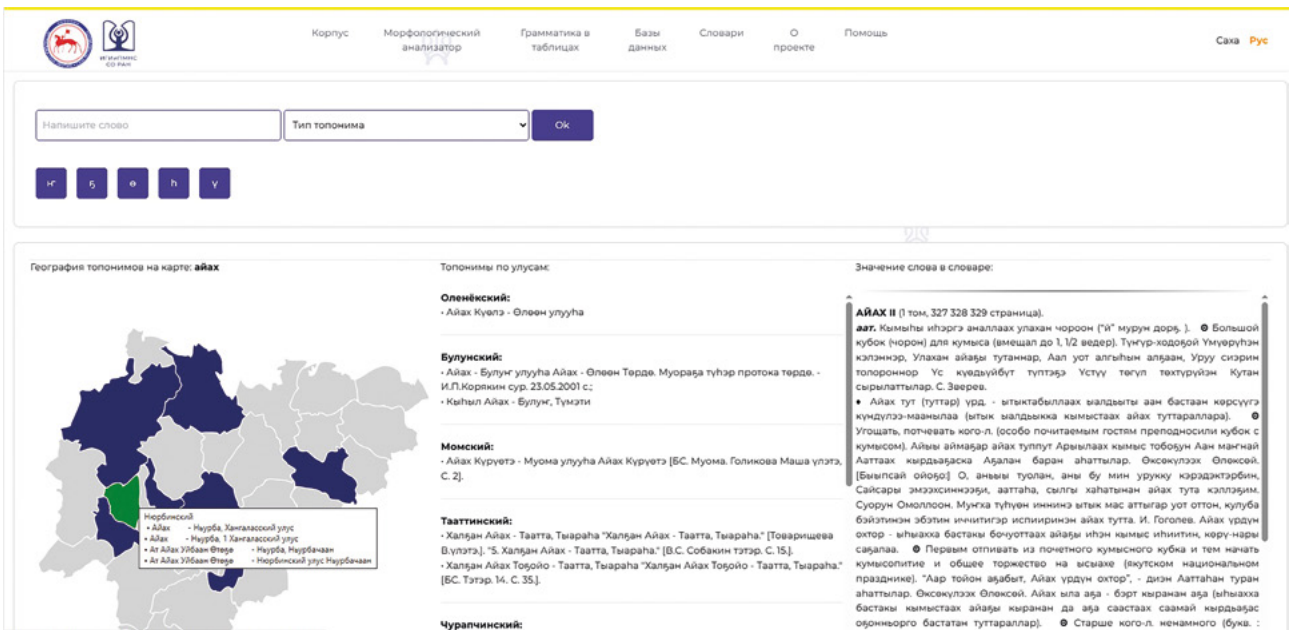
Проект «Национальный корпус якутского языка» был разработан в ИГИиПМНС СО РАН при содействии Северо-восточного федерального университета им. М. К. Аммосова и Арктического государственного института культуры и искусств в рамках мероприятий Государственной программы Республики Саха (Якутия) «Сохранение и развитие государственных и официальных языков РС(Я) на 2021–2024 гг», запущен в феврале 2025 года.

Цель, которую преследовали разработчики проекта, заключалась в создании общедоступной информационно-справочной системы, основанной на собрании и разметке текстов на якутском языке в электронной форме с сопутствующими базами данных по различным аспектам языка (дополняющимися) и с открытым программным обеспечением обработки текстов.

Необходимость разработки проекта обусловлена следующим:

- собрание текстов на якутском языке, оснащенное лингвистической разметкой и поисковой системой, создает возможность их всестороннего и объективного изучения;

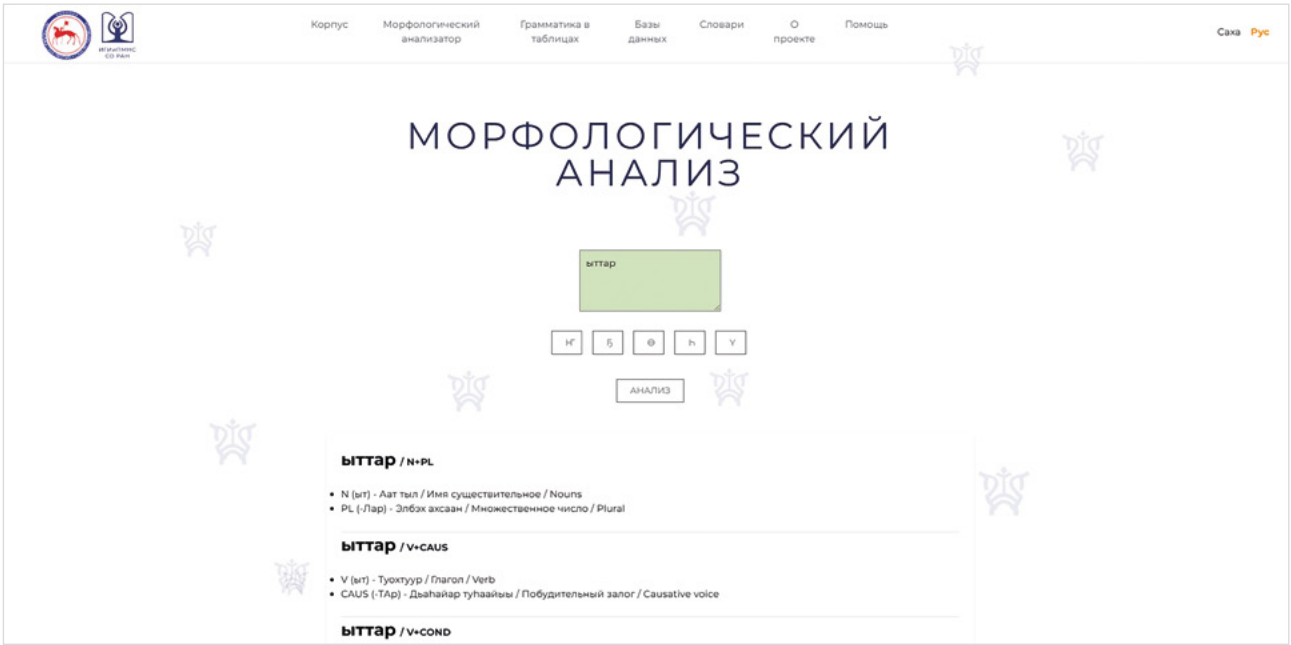


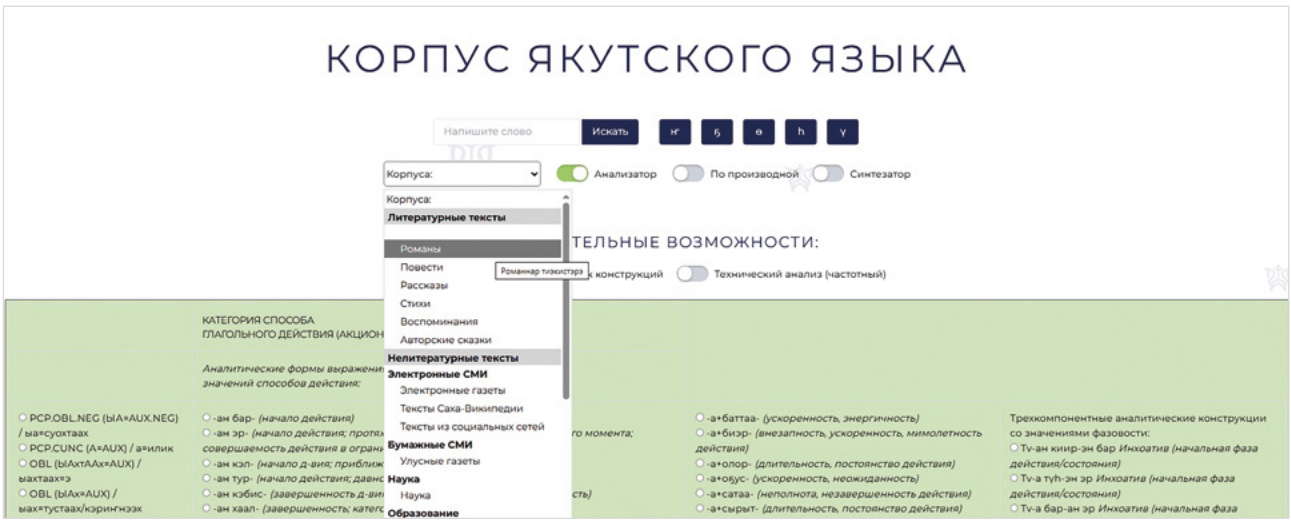


- корпус, представленный в виде обширного объема аннотированных текстов, представляет интерес не только для исследования, отслеживания живых языковых процессов, но и для широкого круга заинтересованных пользователей и может использоваться многократно в различных целях;

- Национальный корпус может рассматриваться как один из путей сохранения якутского языка в условиях технологизации национальных и социокультурных форм жизнедеятельности человеческих сообществ.

Национальный корпус якутского языка — модульная конструкция с расширенным функционалом, выходящим за рамки обычного понимания «Корпус языка». Он состоит из семи основных модулей с более дробными разделами и имеет возможность выбора языка интерфейса: русский и якутский. Все модули корпуса снабжены собственными интерактивными программными оболочками, которые могут использоваться отдельно. Наряду с морфологическим анализатором в него входят базы данных по различным аспектам языка, снабженные приложением в виде интерактивной карты, куда наносятся зоны распространения тех или иных





языковых единиц. Система призвана зафиксировать якутский язык в современном его состоянии, обеспечить научные исследования и служить источником знаний по якутскому языку.

Модуль 1. Корпус текстов — представляет собой собрание текстов разных жанров и стилей на якутском языке, в том числе: тексты литературных произведений: проза, поэзия, тексты для детей школьного возраста; научные тексты; фольклорные тексты; тексты религиозного содержания; тексты из Саха-Википедии, электронных СМИ; социальных сетей; параллельные тексты с переводом на русский язык, Конституция РС(Я) на якутском и русском языках; информационные бюллетени.

На данный момент в корпус загружены тегированные тексты общим объемом в 25 млн. словоупотреблений. Он снабжен виртуальной клавиатурой с буквами национального шрифта, системой дополнительных фильтров, включает синтезатор якутской речи, который позволяет понять, как звучит то или иное слово на якутском языке.

Дополнительные фильтры работают в линейном порядке и при комбинировании учитывают результат предыдущего поиска. Возможны: поиск по автору, году и месту издания текста, гендерному признаку автора, по названию книги/газеты, произведения/статьи; поиск по частям речи, по значению слова; поиск аналитических конструкций и т.п. Но тексты в корпусе доступны



Большой толковый словарь якутского языка в 15 томах на фоне академической картотеки

только для поиска указанных позиций. Все фильтры и функции можно отключить или включить по отдельности, добиваясь оптимального сочетания производительности системы по времени работы и объему получаемой информации.

Модуль 2. Морфологический анализатор — имеет две функции: автоматическую глоссировку словоформы по морфологическим маркерам в самом корпусе и как самостоятельный сервис. В данный момент база тегов имеет объем около 5500 тегированных шаблонов, что покрывает 50–60% текста всех жанров на якутском языке. Он находится в процессе совершенствования, для чего создана новая программа для массового заполнения базы данных морфологического анализатора,

Модуль 3. Грамматика в таблицах — является справочной системой по якутскому языку, где представлены формы словообразования и словоизменения имен и глаголов якутского языка в табличном виде.

Модуль 4. База данных — включает семь микромодулей: «топонимы», которые охватывают сегодня 80 000 топонимических единиц и оснащены приложением в виде интерактивной карты, где цветом выделяются зоны распространения той или иной топонимической единицы, вводимой в поисковое окно; «диалекты», содержащие пока около 400 единиц, распределенных по тематическим микрогруппам с лексическими параллелями из монгольских и эвенкийского языков. База имеет фильтрацию по диалектным зонам, улусам и категориям с генерацией карты ареала распространения; «термины», где хранится терминологическая лексика по различным отраслям знаний в количестве 9500 слов-терминов и терминологических словосочетаний; «фразеологизмы» — общим объемом более 1500 фразеологических единиц, также представленных тематическими группами; «архаизмы», состоящие из 580 единиц архаизмов и историзмов, извлеченных из разных лексикографических источников — материал также классифицирован по семантико-тематическим группам; «лексико-семантические группы имен и глаголов» сопровождается программой, которая позволяет выявить слово по его принадлежности той или иной тематической группе.

Модуль 5. Словари — на данный момент содержит электронные версии ранее опубликованных 15-томного Большого толкового словаря якутского языка и 11 терминологических словарей по различным отраслям знаний.

Модуль 6. О проекте — состоит из шести разделов, представляющих информацию о целях и задачах создания Национального корпуса якутского языка, его практической значимости, разработчиках проекта, техническую информацию о программе, инструкцию по эксплуатации Корпуса и др. Корпус также имеет приложение, где автоматически отражается статистика об объеме Корпуса и его посещаемости.

Модуль 7. Помощь — представляет собой инструкцию по эксплуатации системы, ориентирует пользователя по ее использованию.

Национальный корпус якутского языка находится в тестовом режиме в свободном доступе в сети Интернет.

Проект уже используется в процессе исследовательской работы, значительно снижая затраты по времени. Методы компьютерной лингвистики дают возможность быстрого объективного анализа и обработки больших объемов информации, способствуя переходу якутской лингвистики на новый современный уровень изучения языка саха.

Специфика корпуса как универсального средства исследования языка диктует некоторые особые задачи, которые необходимо решать по мере их возникновения в процессе совместной работы лингвистов и программистов. Одной из них, работа над которой ведется постоянно в плане совершенствования, является проблема представления в корпусе информации о морфологических формах и значениях тегов (часть речи, падеж, вид, наклонение и т.п.).



Здание Института гуманитарных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО РАН

Скрипты программ анализа, программной оболочки, интерфейса и дополнительных модулей являются оригинальной разработкой без применения сторонних программ и скриптов. Программы и программная оболочка разработаны для функционирования без подключения к сторонним сервисам и базам данных. Все модули корпуса хранятся вместе с основной программой в едином сервере. Национальный корпус как система предоставляет пользователю возможность онлайн работы через сеть «Интернет».

Система невосприимчива к санкционным действиям и сохраняет работоспособность в автономном режиме. Алгоритмы работы программной оболочки, программ анализа, интерфейса и дополнительных модулей воспроизводимы на других языках программирования с учетом возможного последующего перехода на язык программирования отечественной разработки. Начальным базовым языком скрипта является PHP. Работа может проводиться на базе имеющихся текстов с учетом их стиля и жанра. При разработке корпуса использованы современные методы и способы индексации, аннотации, обработки текстов и разработки программных средств. В соответствии с этим корпус текстов имеет необходимую метатекстовую разметку, работа учитывает существующую семантику морфологических маркеров и их графические обозначения.

Программный продукт как информационно-справочная система может быть полезен всем, кто интересуется якутским языком.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

Потенциальные потребители: Научно-исследовательские институты (лингвистика, фольклористика, этнография). Университеты и школы регионов с тюркскими и уральскими языками (возможна адаптация платформы для других языков РФ). Министерства культуры и образования субъектов РФ (для программ цифровизации языкового наследия). IT-компании, занимающиеся автоматическим распознаванием и синтезом речи, машинным переводом. Библиотеки и архивы, оцифровывающие рукописные и редкие тексты.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

В тестовом режиме доступен для просмотра и использования. https://sakha-corpus.ysn.ru/index.php?lang=ru





ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

Цифровая Арктика

74

Разработка новых подходов математического моделирования природных и техногенных процессов, происходящих на территории Арктического региона и Северо-Востока России

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ПОДХОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА И СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Институт математики и информатики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» (СВФУ)

677000, г. Якутск, ул. Кулаковского, д. 48



Григорьев Василий Васильевич

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Вычислительные технологии и искусственный интеллект» Института математики и информатики СВФУ

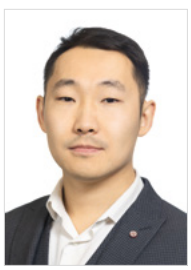
+7-914-233-10-18,
v.v.grigorev@svfu.ru



Васильев Василий Иванович

доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительные технологии» Института математики и информатики СВФУ

+7-924-599-72-82,
vasvasil@mail.ru



Никифоров Дьулустан Яковлевич

кандидат физико-математических наук, научный сотрудник международной научно-исследовательской лаборатории «Многомасштабное математическое моделирование и компьютерные вычисления» СВФУ

+7-964-424-51-15
dju92@mail.ru



Степанов Сергей Павлович

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник — руководитель лаборатории «Вычислительные технологии и искусственный интеллект» Института математики и информатики СВФУ

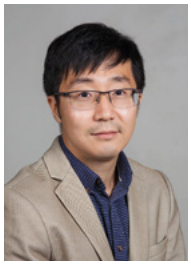
+7–964–424–09–21,
stepanov.s.p@svfu.ru



Сивцев Петр Васильевич

кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Вычислительные технологии» Института математики и информатики СВФУ

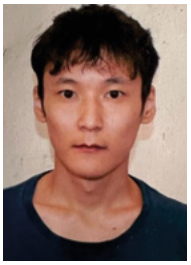
+7–924–169–17–47,
sivkapetr@mail.ru



Колесов
Александр Егорович

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Недропользование»
Геологоразведочного факультета
СВФУ

+7-924-169-30-80
kolesov.ae@svfu.ru



Саввин
Антон Васильевич

аспирант, ассистент кафедры
«Вычислительные технологии»
Института математики и информатики
СВФУ

+7-924-464-05-26
anv.savvin@svfu.com



Гуринов
Айтал Иванович

аспирант, ассистент кафедры
«Вычислительные технологии»
Института математики и информатики
СВФУ

+7-999-174-32-28
ajtalgurinow@yandex.ru

Аннотация

Целью исследования является разработка новых подходов математического моделирования природных и техногенных процессов, происходящих на территории Арктического региона и Северо-Востока России. Задачи исследования включают построение взаимосвязанных термогидромеханических моделей мерзлых грунтов с фазовыми переходами, разработку эффективных вычислительных алгоритмов на основе метода конечных элементов, многомасштабных методов понижения порядка модели (GMsFEM, бессеточные многомасштабные методы) и гибридного машинного обучения (физически информированные нейронные сети, нейронные операторы), а также верификацию моделей на данных натурных наблюдений. Выполнено численное моделирование теплового режима железнодорожной насыпи в криолитозоне, термостабилизации грунтов термосифонами и теплоизоляцией, температурных полей под зданиями на свайных фундаментах г. Якутска, искусственного замораживания грунтов, инфильтрации влаги и энергоэффективных зданий для Крайнего Севера. Результаты расчетов согласуются с данными натурных наблюдений и использованы для выработки рекомендаций по защитным мероприятиям на реальных объектах. Разработка позволяет снизить риски аварий и повысить экономическую эффективность северного строительства.

Ключевые слова: математическое моделирование; многолетнемерзлые грунты; криолитозона; задача Стефана; фазовый переход; метод конечных элементов; многомасштабные методы; GMsFEM; гибридное машинное обучение; термостабилизация грунтов; свайные фундаменты; тепловой режим; Арктика; инженерные сооружения; вычислительные технологии.

Введение

Якутск — крупнейший в мире город, полностью построенный на сплошной многолетней мерзлоте. Потепление климата и техногенное воздействие приводят к деградации многолетнемерзлых грунтов, что вызывает неравномерные осадки, деформации и разрушение зданий, автомобильных и железных дорог, трубопроводов (рис. 1).

По оценкам специалистов, экономический ущерб от деградации мерзлоты в Арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века может оказаться весьма значительным, а аварии на промышленных объектах Севера влекут серьезные экологические и экономические последствия.

Надежный прогноз температурных полей — необходимое условие безопасного проектирования дорог, зданий и подземных сооружений в криолитозоне. Математическое моделирование заменяет дорогостоящие натурные эксперименты и обеспечивает обоснование инженерных решений.

В Институте математики и информатики Северо-Восточного федерального университета



Рис. 1. Деформация здания в г. Якутске, вызванная потерей несущей способности оттаивающих многолетнемерзлых грунтов основания

им. М. К. Аммосова (лаборатория «Вычислительные технологии и искусственный интеллект») разрабатываются новые подходы математического моделирования взаимосвязанных тепловых, гидрологических и механических процессов в мерзлых грунтах.

В основе — задача типа Стефана с фазовым переходом (промерзание/оттаивание) с учетом сезонного хода температуры воздуха, снежного покрова и слоистости грунтов [1]. Задачи решаются методом конечных элементов на трехмерных расчетных сетках с миллионами ячеек.

Многомасштабные методы и гибридное машинное обучение

Природные и техногенные процессы в криолитозоне протекают одновременно на разных пространственных масштабах: от сантиметров (свая, термосифон, трещина) до сотен метров (насыпь, квартал застройки). Прямой расчет на подробной сетке требует огромных вычислительных ресурсов. Для преодоления этой трудности развиваются многомасштабные методы понижения порядка модели: обобщенный многомасштабный метод конечных элементов (GMsFEM), в том числе для задач термоупругости с фазовым переходом [3, 4, 6], и бессеточные многомасштабные методы для задач фильтрации в трещиноватых средах [9–11]. Многомасштабные базисные функции строятся с учетом мелкомасштабной неоднородности грунтов и позволяют проводить расчеты на грубой сетке с точностью подробной модели, сокращая время вычислений на порядки.

Развивается гибридный подход, объединяющий классические математические модели с методами машинного обучения и искусственного интеллекта: физически информированные нейронные сети (PINN), в которых уравнения тепломассопереноса с фазовым переходом встроены в процесс обучения, нейронные операторы [8, 12] и суррогатные модели, обученные на результатах высокоточных конечно-элементных расчетов, а также методы уточнения параметров моделей по данным натурного температурного мониторинга. Такое сочетание сохраняет физическую обоснованность классических моделей и обеспечивает скорость, необходимую для оперативного прогноза.

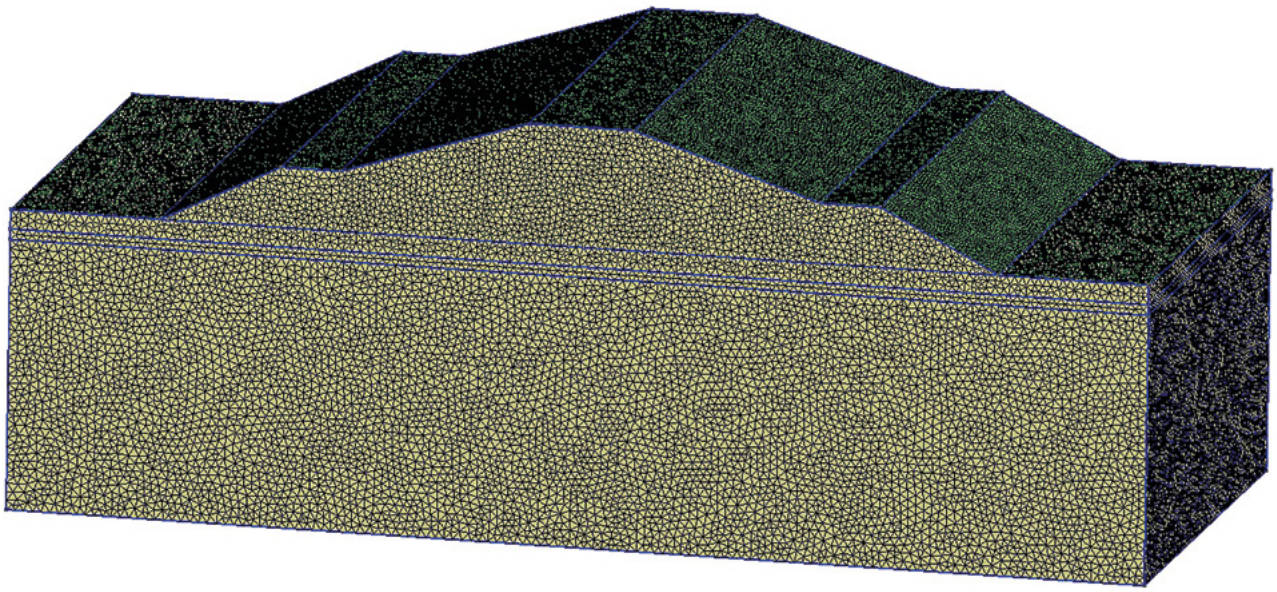


Рис. 2. Расчетная область и конечно-элементная сетка (~3 млн ячеек) задачи о тепловом режиме железнодорожной насыпи на многолетнемерзлых грунтах

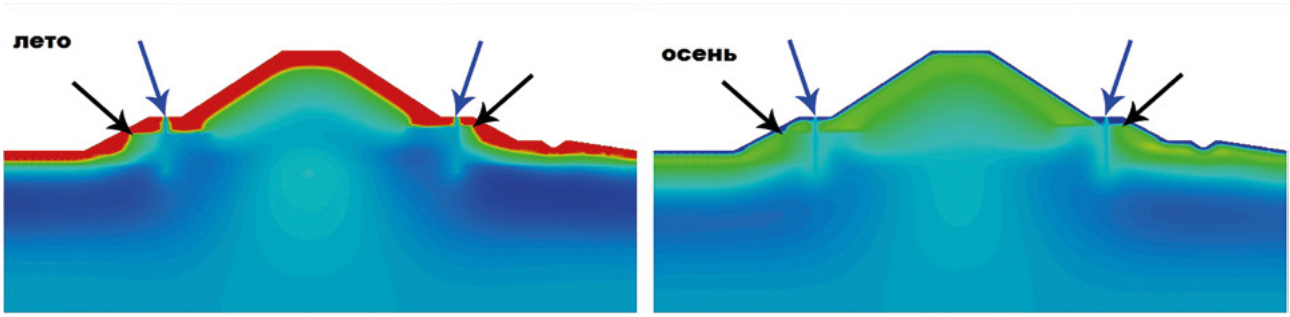


Рис. 3 Расчетные температурные поля в железнодорожной насыпи с термосифонами и теплоизоляцией: слева — лето, справа — осень (стрелками показаны места установки термосифонов и укладки теплоизоляции)

Основные результаты и верификация на реальных объектах

Тепловой режим железнодорожной насыпи. Совместно с Институтом мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН выполнено численное моделирование теплового режима грунтов под железнодорожной насыпью в криолитозоне. Расчетная область размером 76×35×28 м включает четыре слоя грунта, вычислительная сетка содержит около 3 млн. ячеек (рис. 2). Модель учитывает сезонные колебания температуры воздуха, высоту снежного покрова и условия на поверхности [1].

Исследована термостабилизация грунтов: сезонно действующие охлаждающие устройства (термосифоны) и теплоизоляция из пеноплекса, а также их совместное применение при различных вариантах размещения. Расчеты позволяют выбрать оптимальную схему защитных мероприятий для сохранения мерзлого состояния основания (рис. 3).

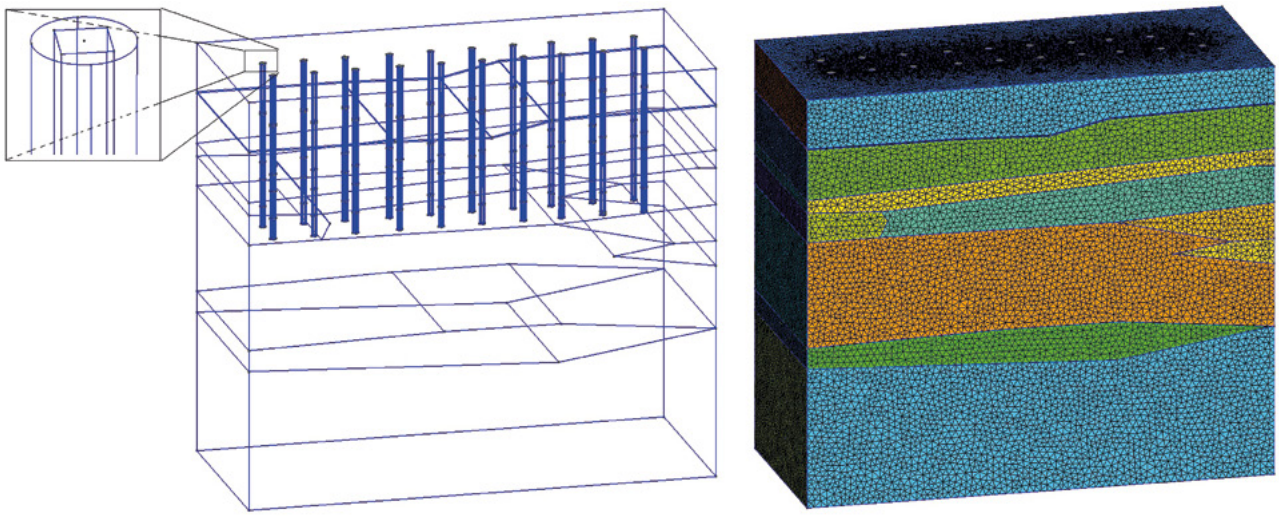


Рис. 4. Геометрия свайного поля и конечно-элементная сетка (~2,5 млн. элементов) задачи о температурном поле под зданием в г. Якутске

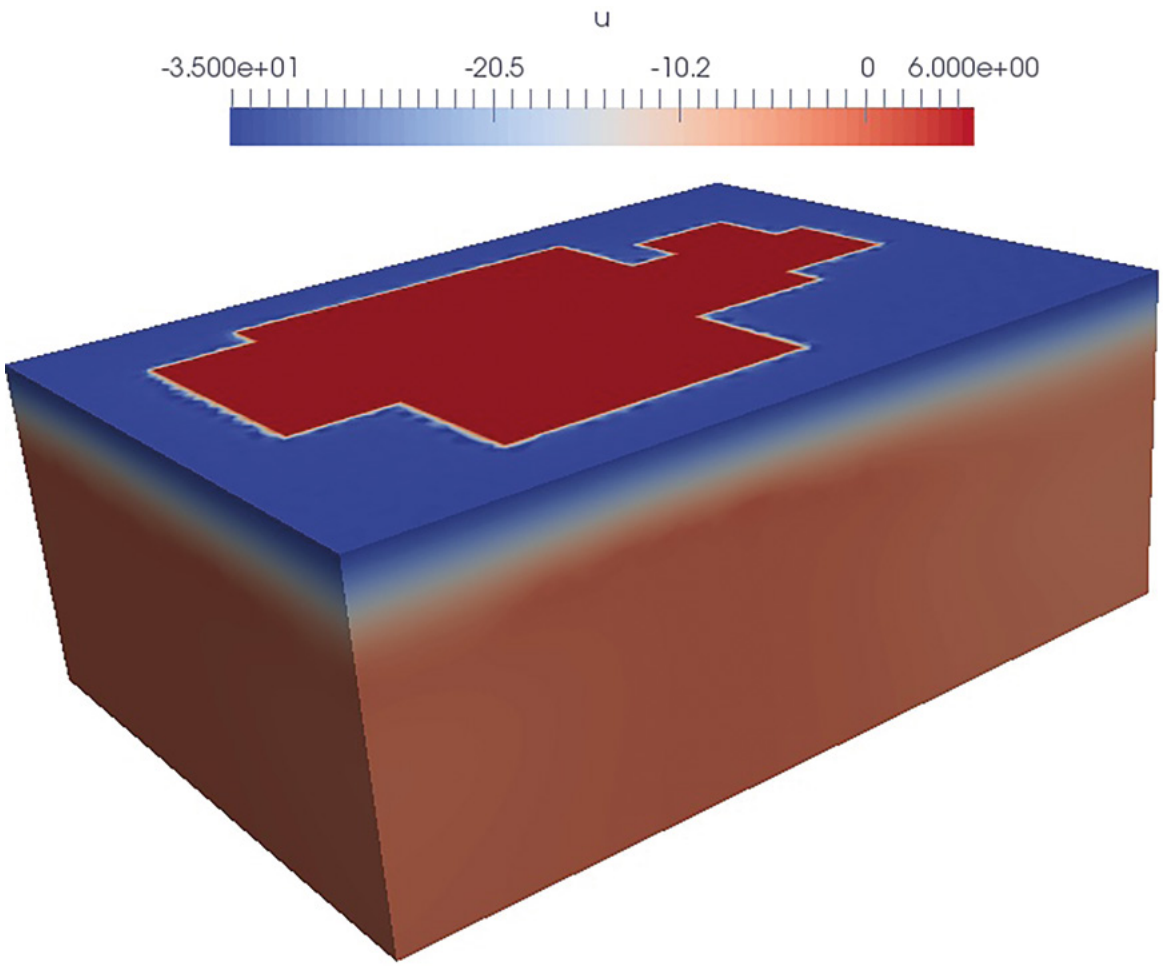


Рис. 5. Прогнозное распределение температуры грунтов (°С) под зданием на свайном фундаменте

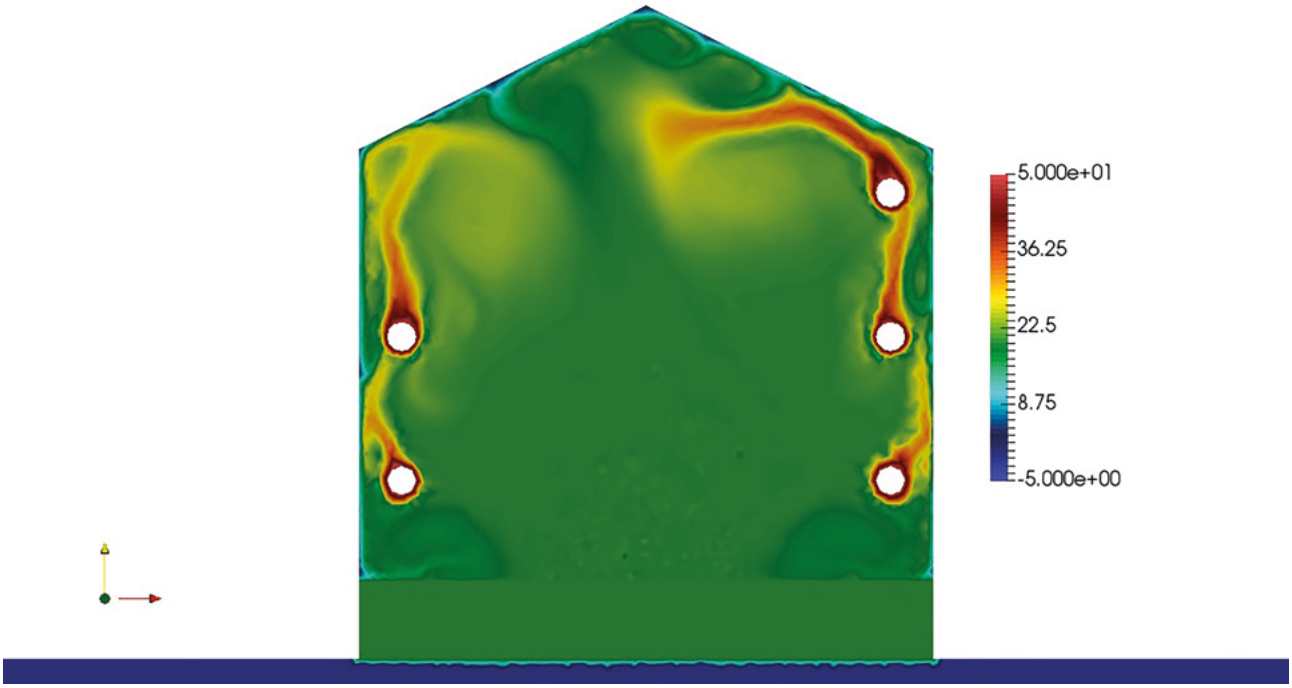


Рис. 6. Расчетное температурное поле (°C) энергоэффективного сооружения для условий Крайнего Севера

Результаты использованы при выработке рекомендаций по отсыпке земляного полотна железной дороги (рис. 3).

Здания на свайных фундаментах. Совместно с АО «ЯкутПНИИС» выполнено обобщение фактических температур грунтов под реальными зданиями г. Якутска и их сопоставление с проектными прогнозами. Температура грунта — определяющий фактор надежности и эксплуатационной пригодности зданий, возводимых на многолетнемерзлых грунтах. Расчетная область размером 15×54×50 м содержит около 2,5 млн. элементов (рис. 4). Показано, в частности, что при погружении свай с бетонированием при +20 °C зона оттаивания вокруг сваи сохраняется 20 и более суток [2]. Построены прогнозные распределения температуры грунтов под фундаментом (рис. 5).

Кроме того выполнено моделирование искусственного замораживания грунтов для подземного строительства и стабилизации оснований, инфильтрации воды в грунт с учетом фазовых переходов [5, 11], а также расчеты теплопотерь энергоэффективных зданий и сооружений для условий Крайнего Севера: исследованы различные покрытия (поликарбонат, стекло, двойное остекление), формы и типы фундаментов (рис. 6).

Разработка решает проблему аварийности и удорожания строительства в криолитозоне, что позволяет, зная только геологию объекта, своевременно принимать решения о необходимости дополнительных защитных мероприятий при фактических условиях эксплуатации.

Преимущества и уникальность

В отличие от зарубежных и отечественных аналогов (например, трехфазных термогидромеханических конечно-элементных моделей промерзающих грунтов), предлагаемые подходы сочетают механику, температурную задачу с фазовым переходом и фильтрацию в единой постановке метода конечных элементов в 2D и 3D, а также объединяют многомасштабные методы понижения порядка модели и гибридное машинное обучение, что обеспечивает многократное ускорение расчетов без потери физической обоснованности. Расчеты не требуют специального оборудо-



Сергей Степанов

Личный комментарий от разработчика:

«Мы разрабатываем и применяем математические модели, многомасштабные вычислительные методы и гибридные подходы с машинным обучением для прогнозирования температурных полей в многолетнемерзлых грунтах, поддерживая безопасное и энергоэффективное строительство в Арктике. Наши подходы позволяют по данным геологии объекта заранее увидеть развитие изменений в грунтах, фундаментах и свайных основаниях и вовремя отреагировать — это на порядок дешевле, чем устранять последствия аварий. Мы открыты к совместному моделированию инфраструктуры холодных регионов, совместным проектам и публикациям».

вания. Научная новизна подтверждена публикациями в ведущих российских и международных журналах [1–12].

Предполагаемый интерес для внедрения

Разработка представляет интерес для строительных и проектных организаций, работающих в Арктической зоне РФ, недропользователей и добывающих компаний, операторов железных и автомобильных дорог (ОАО «РЖД», АО «АК «Железные дороги Якутии»), трубопроводного транспорта, жилищно-коммунального хозяйства северных городов, а также органов государственного мониторинга состояния многолетнемерзлых грунтов. Текущие партнеры: Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН — совместные работы по тепловому режиму железнодорожных насыпей; АО «Якутский государственный проектный, научно-исследовательский институт строительства» (АО «ЯкутПНИИС») — совместные работы по основаниям и фундаментам зданий г. Якутска.

Запрос на индустриальное партнерство

Для практического применения на конкретном объекте предлагается пилотный проект с индустриальным партнером: получение данных геологии объекта (теплофизические свойства грунтов), верификация и валидация математических моделей на данных объекта, отчет и оценка экономической эффективности применения разработанных подходов. Срок пилотного проекта —3 месяца.

Возможные формы сотрудничества: внедрение результатов моделирования в практику предприятий индустриального партнера, участие в КНТП и НОЦ, партнерское соглашение с дорожной картой, совместные научно-исследовательские проекты и публикации, инвестиции на ранних стадиях развития технологии.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

Текущие партнеры: Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН — совместные работы по тепловому режиму железнодорожных насыпей; АО «Якутский государственный проектный, научно-исследовательский институт строительства» (АО «ЯкутПНИИС») — совместные работы по основаниям и фундаментам зданий г. Якутска. Потенциальные потребители: строительные и проектные организации Арктической зоны РФ, ОАО «РЖД», нефтегазовые и горнодобывающие компании (свайные основания, трубопроводы), органы государственного мониторинга мерзлоты, предприятия ЖКХ северных городов.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

УГТ 4–5 по шкале ГОСТ Р 58048–2017: ключевые компоненты технологии (математические модели и вычислительные алгоритмы) созданы и проверены в лабораторных условиях; выполнена верификация и валидация моделей в условиях, приближенных к реальным — на данных натурных наблюдений реальных объектов (железнодорожная насыпь АЯМ, здания на свайных фундаментах г. Якутска). Для достижения УГТ 6–7 требуется пилотный проект на объекте индустриального партнера.

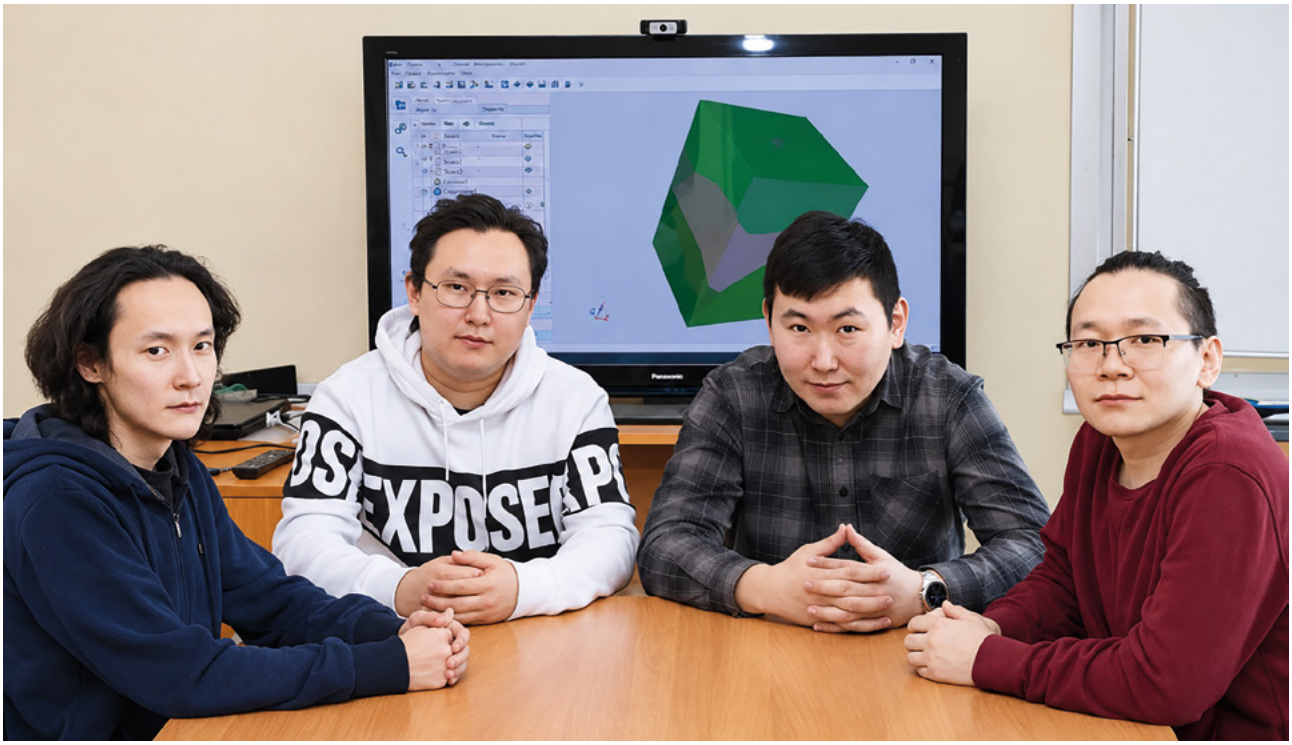


Рис. 7. Рабочие моменты: сотрудники лаборатории «Вычислительные технологии и искусственный интеллект» ИМИ СВФУ за обсуждением результатов численного моделирования

Список использованной литературы

1. Gornov V.F., Stepanov S. P., Vasilyeva M. V., Vasilyev V. I. Mathematical modeling of heat transfer problems in the permafrost // AIP Conference Proceedings. — 2014. — Vol. 1629. — P. 424–431.

2. Stepanov S.P., Sirditov I. K., Vabishchevich P. N., Vasilyeva M. V., Vasilyev V. I., Tceeva A. N. Numerical Simulation of Heat Transfer of the Pile Foundations with Permafrost // Numerical Analysis and Its Applications. Lecture Notes in Computer Science. — Springer, 2017. — Vol. 10187. — P. 625–632.

3. Stepanov S., Vasilyeva M., Vasil'ev V. I. Generalized multiscale discontinuous Galerkin method for solving the heat problem with phase change // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2018. — Vol. 340. — P. 645–652.

4. Vasilyeva M., Stepanov S., Spiridonov D., Vasil'ev V. I. Multiscale Finite Element Method for heat transfer problem during artificial ground freezing // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2020. — Vol. 371. — Art. 112605.

5. Stepanov S., Nikiforov D., Grigorev A. Multiscale Multiphysics Modeling of the Infiltration Process in the Permafrost // Mathematics. — 2021. — Vol. 9, No. 20. — Art. 2545.

6. Аммосов Д.А., Васильев В. И., Васильева М. В., Степанов С. П. Многомасштабное понижение порядка модели термоупругости с фазовым переходом с использованием обобщенного многомасштабного метода конечных элементов // Теоретическая и математическая физика. — 2022. — Т. 211, № 2. — С. 181–199.

7. Spiridonov D., Stepanov S., Vasilev V. An Online Generalized Multiscale finite element method for heat and mass transfer problem with artificial ground freezing // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2023. — Vol. 417. — Art. 114561.

8. Stepanov S., Spiridonov D., Mai T. Prediction of numerical homogenization using deep learning for the Richards equation // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2023. — Vol. 424. — Art. 114980.

9. Nikiforov D., Stepanov S. Modeling of Artificial Ground Freezing Using a Meshfree Multiscale Method // Lobachevskii Journal of Mathematics. — 2023. — Vol. 44, No. 3. — P. 1206–1214.

10. Nikiforov D.Ya., Stepanov S. P. Meshfree Multiscale Method for Richards' Equation in Fractured Media // Lobachevskii Journal of Mathematics. — 2023. — Vol. 44, No. 10. — P. 4183–4193.

11. Nikiforov D., Stepanov S., Lazarev N. Meshfree multiscale method for the infiltration problem in permafrost // Journal of Computational and Applied Mathematics. — 2024. — Vol. 449. — Art. 115988.

12. Stepanov S., Gurinov A., Rudikov A., Grigorev A. V. Neural Operator-Based Numerical Homogenization // Lobachevskii Journal of Mathematics. — 2026. — Vol. 47, No. 1. — P. 120–129.



4

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

Биотехнологии Севера

84 Комплекс машин для очистки семян зерновых, зернобобовых и кормовых многолетних трав

89 Разработка биологических препаратов для обеспечения ветеринарного благополучия, биологической и продовольственной безопасности, повышения продуктивности отраслей сельского хозяйства

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

КОМПЛЕКС МАШИН ДЛЯ ОЧИСТКИ СЕМЯН

ЗЕРНОВЫХ, ЗЕРНОБОБОВЫХ И КОРМОВЫХ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет»

677007, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, шоссе Сергеляхское 3 км, д. 3



Дондоков Юрий Жигмитович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологические системы АПК»

+7-984-109-57-95, ooo-centaurus@mail.ru



Дринча Василий Михайлович

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Технологические системы АПК»

+7-909-689-11-04, vdrincha@list.ru

Аннотация

В статье обоснована необходимость создания специализированного комплекса машин для очистки семян зерновых, зернобобовых культур и кормовых многолетних трав в условиях Республики Саха (Якутия). Приведены технологические особенности возделывания культур в регионе, требования к посевным качествам семян. Представлены: разработка технического задания на решётно-триерный селекционно-семеноводческий сепаратор, результаты испытаний опытных образцов, вопросы организации производства и экономическая целесообразность проекта. Показаны перспективы развития технологий очистки семян в регионе.

Ключевые слова: очистка семян, зерно, пневмосепарация, пневмоклассификатор, решетный сепаратор, шасталка.

Введение

Сельское хозяйство Республики Саха (Якутия) играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности региона. В условиях сурового климата и специфических почв качество семян становится определяющим фактором урожайности. Современные технологии очистки семян необходимы, но существующее оборудование не в полной мере учитывает региональные особенности. Нехватка специализированных машин приводит к низкому качеству семеноводства, засорённости и потерям урожая [15, 16, 27].

Цель – создание эффективной и доступной линейки машин для очистки семян, способствующей повышению качества семеноводства в РС(Я).

Задачи: исследование потребностей семеноводческих хозяйств; разработка технического задания; проведение испытаний; подготовка документации и внедрение в мелкосерийное производство.

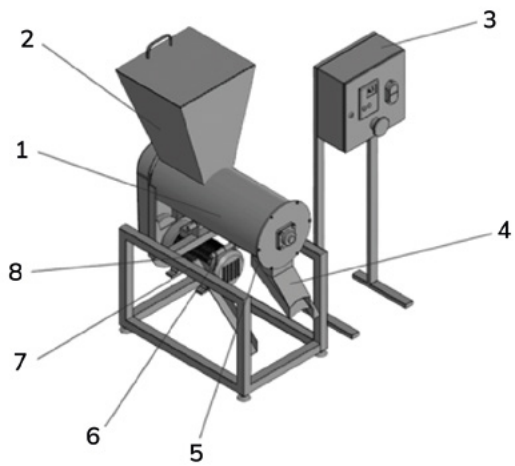


Рис. 1. Шасталка

1 — Цилиндрический корпус;
2 — Бункер; 3 — Блок управления;
4 — Выгрузной лоток;
5 — Приёмный бункер;
6 — Механизм регулировки наклона;
7 — Рама; 8 — Электродвигатель.

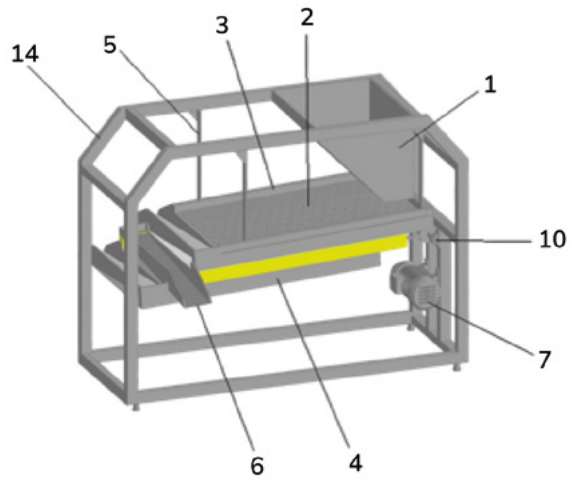


Рис. 2. Решетный сепаратор

1 — Подающий бункер; 2- Решето; 3 — Рама решета; 4 — Подставка решета; 5- Подвеска;
6 — Выходной лоток; 7 — Электродвигатель;
8 — Ведущий шкиф; 9 — Ведомый шкиф;
10 — Вал; 11 — Толкатель; 12 — Эксцентрик;
13 — Опорный подшипник; 14 — Рама.

1. Технологические особенности и потребность в машинах

В РС(Я) возделывают пшеницу, ячмень, овёс, озимую рожь на площади 10–12 тыс. га. Потенциальная урожайность 15–18 ц/га, средняя – 7–15 ц/га.

Основная проблема — высокая засорённость, в том числе трудноотделимыми семенами овсюга.

В хозяйствах качество семян часто не соответствует стандартам из-за низкого биологического потенциала и засорённости. Нарушается равенство продуктивности генотипа, семян и реализованной урожайности **(Пг = Пс = Пу**). На практике **Пг > Пс > Пу** [20, 22, 27].

Послеуборочная обработка (очистка, сортирование) является критическим этапом экологии семян [9, 30, 31]. Источники примесей — механическое засорение при севе, уборке, обработке, хранении [1, 10, 33].

Разработка региональных машин для очистки обусловлена коротким вегетационным периодом, перепадами температур и высокой засорённостью [14, 24, 34]. Эффективная очистка влияет на урожайность и рентабельность [6, 29].

2. Требования к сортовым и посевным качествам семян

Семена должны соответствовать ГОСТ Р 52325–2005. Основные показатели: чистота, всхожесть, влажность, заражённость болезнями и вредителями. Для категорий ОС, ЭС, РС, РСт установлены нормативы. Например, для пшеницы ОС чистота не менее 99%, всхожесть не менее 92%, содержание семян сорняков — не более 3 шт/кг.

Запрещено использовать семена с карантинными объектами, живыми вредителями, семенами ядовитых растений.

3. Разработка технического задания на решётно-триерный сепаратор

Разработан решётно-триерный селекционно-семеноводческий сепаратор (РТС) для очистки от щуплых, мелких, коротких или длинных примесей. Применяется для партий семян с опытных делянок и в небольших хозяйствах.

Технические требования:

- Цилиндры (триерный или решётный) диаметром 40 см, длиной 75 см.
- Производительность до 500 кг/ч (пшеница).

- Частота вращения 5–40 об/мин, регулировка угла наклона от –7 до +7°.
- Масса установки до 200 кг, мощность электродвигателя до 0,4 кВт.
- Чистота очищенных семян не ниже 99%, дробление не допускается.
- По сравнению с Т-0,5: рост производительности труда на 10%, снижение металлоёмкости на 0,35 кг/(кг/ч), снижение энергоёмкости в 2 раза.

4. Организация производства машин

Изготовление опытных образцов велось на кафедре ТС АПК АГАТУ. Разработаны стапели для сборки рам, технология литья шкивов из силумина в песчаные формы, механическая обработка деталей с точностью до 0,02–0,03 мм. Составлены технологические карты.

5. Опытные испытания разработанных машин

Испытаны:

- Шасталка для остистых семян трав (рис. 1) — полное соответствие требованиям.
- Решётный сепаратор (рис. 2) — подтверждена работоспособность для семян трав и зерновых.
- Пневмоклассификатор зерновых материалов (рис. 3) — высокая эффективность разделения [3, 17, 18, 19].

Испытания проведены по стандартам отрасли. Обеспечена степень очистки, соответствующая ГОСТ, и безопасность.

6. Подготовка производственной документации

Документация разработана по ГОСТ 27388–87 и ГОСТ 2.601–2006 с учётом требований ТР ТС 010/2011 и ТР ТС 031/2012. Включены эксплуатационные документы, инструкции, меры безопасности. Проводится обучение специалистов.

7. Экономическая целесообразность проекта

Проект позволяет повысить урожайность и качество семян, снизить потери при послеуборочной обработке, уменьшить эксплуатационные расходы. Даже минимальные улучшения очистки значительно влияют на валовую продукцию. Социальный эффект — создание рабочих мест и повышение доходов сельхозпроизводителей.

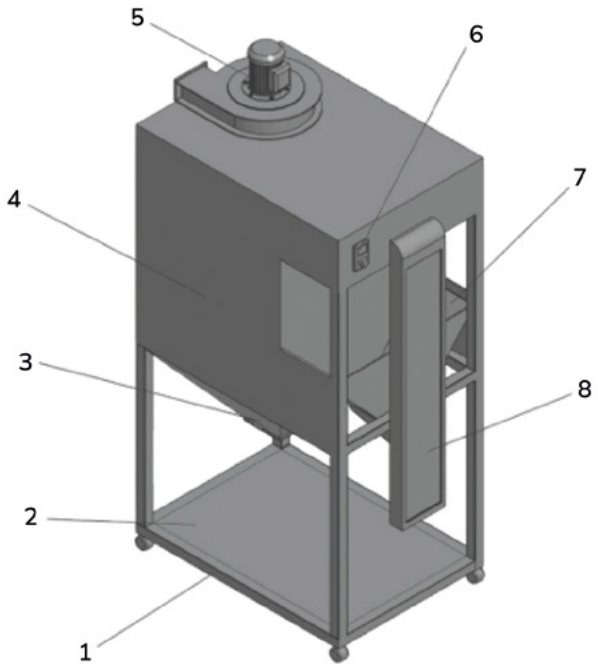


Рис. 3. Пневмоклассификатор

1 — Рама;
2 — Основание;
3 — Выпускное устройство;
4 — Камера;
5 — Радиальный вентилятор;
6 — Блок управления;
7 — Загрузочный бункер;
8 — Вертикальный пневмоканал.

8. Перспективы развития технологии очистки семян в РС(Я)

Основная проблема — засорённость овсюгом. В пробах содержание овсюга достигает 1340–2360 шт/кг при допустимых единицах. Традиционные воздушно-решётные машины и триеры недостаточно эффективны [13, 21, 36].

Перспективные направления:

- Применение пневматических сортировальных столов и фотосепараторов.

- Развитие одноуровневых схем семяочистительных линий.
- Фракционная очистка с минимизацией потерь ценных семян.
- Автоматизация и роботизация процессов.
- Создание универсальных машин для малых и средних хозяйств.

Подготовка семян должна обеспечивать: повышение качества, минимизацию потерь, сортирование, идентификацию, предотвращение засорения, снижение травмирования, контроль вредителей, обеззараживание [32].

Заключение

Проект создания линейки машин для очистки семян в РС(Я) является актуальным и экономически целесообразным. Проведённые исследования и испытания подтвердили работоспособность разработанных образцов. Внедрение машин позволит повысить качество семян, урожайность и доходы фермеров, создать новые рабочие места и укрепить продовольственную безопасность региона.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

Линейка машин была разработана в рамках гранта НОЦ «Север» № П-27 от 26.09.2024 г. «Организация производства линейки машин по очистке семян для спецсемхозов системы семеноводства Республики Саха (Якутия) по зерновым, зернобобовым и кормовым многолетним травам и хозяйствам по заготовке кормов».

В рамках государственного контракта на оказание услуг по внедрению научных разработок в производство «Внедрение линейки машин по очистке семян для спецсемхозов системы семеноводства РС(Я) по зерновым, зернобобовым и кормовым многолетним травам, и хозяйствам по заготовке кормов» № 57–25/ЭА линейка машин успешно внедрена в ведущие сельскохозяйственные предприятия Республики Саха (Якутия):

- ООО «Нюрбинская кормовая компания» (очистка зерновых и семян многолетних трав)
- КФХ Семенов С. И. Сунтарского улуса (очистка пшеницы)
- Технология использовалась для выполнения ответственных задач для ИБПК СО РАН, ФГБУ «Россельхозцентр» по РС(Я) и ГБУ «Служба земледелия» РС(Я).

Получены официальные акты внедрения и положительные отзывы, подтверждающие высокую эффективность и надежность комплекса.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

УГТ 9

Список использованных источников

1. Абидуев А. А. Интенсификация процесса сепарации семенного зерна. Улан-Уде. Изд. БГСХА, 2007, 128 с.
2. Аммосов И. Н. Технологические аспекты подавления насекомых-вредителей зерна аэрированием / Аммосов И. Н., Дринча В. М., Борисенко И. Б. // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2022. — № 2 (66). — С. 537–544.
3. Анискин В. И. Классификация пневмосепараторов зерновых материалов / В. И. Анискин, В. М. Дринча //Достижения науки и техники АПК. — 1993. — № 4 — С. 22–23.
4. ГОСТ Р 52325–2005. Национальный стандарт Российской Федерации. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. (С поправкой от, 2008 г.). М., 2006, 53 с.
5. Дондоков Ю. Ж. Концептуальные положения сохранности зерна в процессе его хранения / Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М. // Вестник АГАТУ, 2023 — № 1(9). — С. 50–57
6. Дринча В. М., Борисенко И. Б. Применение и функциональные возможности пневмосортировальных столов. Научно-агрономический журнал. 2008. No 2 (83). с. 33–36.
7. Дринча В. М. Исследование сепарации семян и разработка машинных технологий их подготовки. Воронеж. Изд. НПО «Модэк», 2006, 384 с.
8. Дринча В. М., Павлов С. А., Бабченко В. Д. и др. Технологические основы применения пневматических сортировальных столов в сельском хозяйстве. М.: Россельхозакадемия, 2003, 100 с.
9. Дринча В. М., Пехальский И. А., Пехальская М. В. Влияние машинного воздействия на качество семян // Техника в сельском хозяйстве. — 1998. — № 1. — С. 35–37

10. Дринча В. М. Проблема качества семян и пути его повышение сепарирующими рабочими органами // Международный сельскохозяйственный журнал. — 1995. — № 3. — С. 49–51

11. Дринча В. М. Протравливание семян и его качество // Земледелие — 2000. — № 1. — С. 34–35

12. Емельянов П. А. Экспериментальные исследования разделения зерна в сепараторе с горизонтальным воздушным потоком / П. А. Емельянов, А. В. Коновалов, Н. В. Адаев // Нива Поволжья. — 2010, — № 2. — С. 45–48.

13. Зюлин А. Н., Дринча В. М., Ямпилов С. С. Исследование процесса рециркуляции зернового материала. Техника в сельском хозяйстве. 1999, № 2, с. 21…25.

14. Зюлин А. Н. Фракционные технологии очистки семян зерновых / А. Н. Зюлин, В. М. Дринча, С. С. Ямпилов // Земледелие — 1998, — № 6. — С. 39.

15. Иванов Н. М. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян: монография / Н. М. Иванов, Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов; СФНЦА РАН. — Новосибирск: СФНЦА РАН, 2021. — 277 с.

16. Иванов Н. М., Стрикунов Н. И., Леканов С. В. Мобильная техника и технологии для послеуборочной обработки зерна и семян. Мобильные зерноочистительные машины. Новосибирск. ГНУ СибИМЭ Россельхозакадемии, 2013, 325 с.

17. Малис А. Я. Машины для очистки зерна воздушным потоком / А. Я. Малис, А. Р. Демидов. Москва: Машгиз, 1962, — 176 с.

18. Матвеев А. С. Сепарирование зерновой смеси вертикальным воздушным потоком / А. С. Матвеев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. 1969, № 11. С. 17–19.

19. Нелюбов А. И. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин / А. И. Нелюбов, Е. Ф. Ветров. — Москва: Машиностроение, 1977. — 190 с.

20. Павлов Н.Е. Семеноводство и сортоведение многолетних трав в Якутии. Якутск. Изд. Туймаада, 2012, 100 с.

21. Саввинов Х.С., Шерстова К.Н. Семеноводство зерновых культур в Якутии. Якутск. Якутское книжное издательство, 1964, 49 с.

22. Смелик В. А. Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения / В. А. Смелик, М. А. Новиков, А. Н. Перекопский, Л. И. Ерошенко. Монография. — С. Петербург, СПб ГАУ, 2023. — 162 с.

23. Стрикунов, Н. И. Технологические основы компоновки оборудования семяочистительных линий / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2022. — № 1 (207). — С. 99–104. — DOI: 10.53083/1996–4277–2022–207–1–104–108

24. Сысуев В.А., Саитов В.Е., Фарафонов В.Г., Саитов А.В. Исследование параметров движения зерна в жидкости устройства для удаления спорыньи. Инженерные технологии и системы. том 29, № 2. 2019, с. 248….264.

25. Методическое пособие «система ведения сельского хозяйства в республике Саха (Якутия) на период 2016–2020 годов». МСХ, Якутск, 2017, 682 с.

26. Федоренко В.Ф., Ревякин Е.Л. Зерноочистка-состояние и перспективы. М., ФГНУ Росинформагротех, 2006, 204 с.

27. Фейденгольд В. Б. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях / Фейденгольд В. Б., Алексеева Л. В., Закладной Г. А., Львова Л. С., Темирбекова С. А. // М., ДеЛи принт, 2007, 302 с.

28. Bala B.K. Drying and Storage of Cereal Grains. John Wiley & Sons, Ltd, 2017, 354 p.

29. Brooker D.B., Baaker-Arkema F.W., Hall C.W. Drying and Storage of Grains and Oilseeds. Van Nostrand Reinhold, New York,1992, 450 p.

30. Foster George H. Heated. Air Grain Drying. Grain storage: Part of a system Westport, Connecticut. The Avi publishing company, Inc. 1973, pp. 189-208.

31. Gregg Bill and Gary Billups. Seed conditioning. Volumes 2. Technology-Part B. Science Publishers. 2010, 976 pp.

32. Gorial B. Aerodynamic properties of grain/straw materials / B. Gorial and J. O'Callaghan // Journal of Agricultural: Engineering Research. — 1990. — Vol. 46. Pp. 275–290.

33. Lawrence O. Copeland, Miller B. McDonald. Principles of seed science and technology. 4-th edition. Kluwer Academic Publisher. 2001, 478 p

34. Schneider H., Straub M., Wacker P. Harvesting special crops: Physical properties and settings. An ASAE Meeting Presentation. Paper № 01-6104. ASAE. 2001. 13 pp.

35. Wacker, P. Influence on the composition of grain-chaff mixtures of the combine harvester. VDI / MEG-Tagung Landtechnik Hohenheim 1994, Tagungsband, S. 35.1–35.3.

36. Yuanguo Z., Wacker P., Kutzbach H.D. Investigation on winnowing steps in the combine harvester. Proceeding of 99 International Conference on Agricultural Engineering. Beijing, China, December, 1999. pp. 225-231.

РАЗРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЕТЕРИНАРНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ, БИОЛОГИЧЕСКОЙ И ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ОТРАСЛЕЙ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

677001, г. Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23, корп. 1

ООО Научно-производственный центр «Хоту-Бакт»

677001, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Бестужева-Марлинского, д. 23/1



Неустроев Михаил Петрович

доктор ветеринарных наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией ветеринарной биотехнологии Якутского НИИ сельского хозяйства ФИЦ ЯНЦ СО РАН, директор ООО НПЦ Хоту-Бакт, профессор, заслуженный деятель науки РФ, заслуженный изобретатель РФ

+7-924-461-65-95,
mneustroev50@mail.ru

Аннотация

Цель — разработать биологические препараты для сельского хозяйства и охраны природы.

Задачи: разработать иммунобиологические препараты против инфекционных болезней лошадей; разработать пробиотические препараты для животноводства, растениеводства и охраны природы; разработать ферментные препараты для животноводства; разработать микробные закваски традиционных кисломолочных продуктов; разработать бактериофаги против инфекционных болезней лошадей; разработать биологические препараты для растениеводства и охраны природы.

Разработаны и утверждены впервые в России вакцины против мыта и сальмонеллезного аборта лошадей. Вакцина мыта регистрирована в Казахстане и Монголии. Разработана и утверждена кормовая добавка «Пробиотик Сахабактисубтил-АС». Разработаны и утверждены микробные закваски кумыса и суората (йогурта). Разработаны комбинированные вакцины против сальмонеллеза, ринопневмонии и мыта, бактериофаги против сальмонеллезного аборта лошадей, ферментные препараты для лошадей, пробиотические препараты для молодняка скота, птиц, способ биоремедиации нефтезагрязненных почв, способы борьбы с болезнями растений и повышения продуктивности. Разработки будут утверждены в Россельхознадзоре. Вакцины против мыта и сальмонеллеза лошадей используются во всех субъектах России, Казахстане и Монголии.



Рис. 1. Разработки Якутского НИИСХ и ООО НПЦ «Хоту-Бакт»

Ключевые слова: вакцина, пробиотик, ферменты, бактериофаг, иммунобиологические препараты.

В настоящее время обеспечение биологической безопасности России и особенно Арктики является актуальной проблемой. Основы государственного регулирования в области обеспечения биологической безопасности в Российской Федерации и комплекс мер, направленных на защиту населения и охрану окружающей среды от воздействия опасных биологических факторов, на предотвращение биологических угроз (опасностей), создание и развитие системы мониторинга биологических рисков установлены Федеральным законом № 492 от 24 декабря 2020 г. Необходимость разработки и производства биологических препаратов для ветеринарного применения, растениеводства и плановое их использование в целях обеспечения биологической безопасности, научно-технического обеспечения развития сельского хозяйства, снижения технологических рисков в продовольственной сфере и обеспечения производства органической продукции отмечены в Указах Президента РФ «Об основах государственной политики РФ в Арктике в период до 2035 г.» от 5 марта 2020 г. № 164, «О стратегии научно-технологического развития РФ» от 28 февраля 2024 г. № 145, «Об объявлении Российской Федерации Десятилетия науки и технологии» от 25 апреля 2022 г. № 231, «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» № 350 от 21 июля 2016 г. Указе Главы РС(Я) от 14 августа 2020 г. № 1377, «О стратегии социально-экономического развития Арктической зоны Республики Саха (Якутия) на период до 2035 года», Указе Главы РС(Я) от 8 апреля 2020 г. № 1103 «Об основных направлениях государственной политики Республики Саха (Якутия) в Арктической зоне Республики Саха (Якутия) на период до 2024 года».

В последние десятилетия общепризнанное потепление климата в Арктике и Субарктике, таяние вечной мерзлоты, интенсивное промышленное освоение природных ресурсов, контролируемые и неконтролируемые палеонтологические раскопки, расширение среды обитания переносчиков (насекомых, грызунов), изменения путей миграции диких животных и перелетных птиц могут увеличить риск возникновения и распространения инфекционных болезней человека и животных. Следует учитывать появление новых вирусов и бактерий в результате естественного или искусственного мутагенеза, возможность преодоления патогенами межвидовых барьеров, нарушения нормальной микробиоты животных и растений, распространение резистентности микроорганизмов, биотерроризм.

В природе насчитывается около 1,5 млн. видов представителей дикой фауны. Они могут быть резервуарами и переносчиками около 75% инфекционных болезней животных и человека [1–3].



Рис. 2. Клинические признаки при ринопневмонии жеребят. Температура -40 градусов



Рис. 3. Вскрытие подчелюстного абцесса при мыте молодняка лошадей

При том, что более половины из них, включая грипп, СПИД, атипичную пневмонию, лихорадку Денге и Эбола, имеют животное происхождение [4]. К ним относятся также Covid-19, вызвавший всемирную пандемию [5]. Болезни животных значительно влияют на патологии человека: 60% инфекционных болезней людей — зоонозы, 75% эмерджентных инфекций — зоогенного происхождения, 80% инструментов биотерроризма — возбудители зоонозов [6,7]. Сохраняется угроза заноса визикулярных инфекций на территории России при миграции диких животных по трем направлениям: северокавказскому, центроазиатскому и дальневосточному [8].

В Якутии, являющейся самым крупным регионом на территории России (3 083 523 км^2) и представляющую почти всю Северо-Восточную часть Азиатского материка, в Арктической зоне гнездятся более 30 млн. диких птиц, 271 вида. В последние десятилетия отмечены изменения в составе фауны птицы: появляются новые виды — чибис, кулик-поручейник, светлокрылая крачка, скворец, большая синица, список этот продолжает пополняться [9]. Большая часть гнездящихся пернатых — 217 видов — являются перелетными, которые зимуют в основном в странах Юго-Восточной Азии. По количеству диких копытных Якутия занимает одно из первых мест в России [10]. В связи с этим угроза распространения опасных зоонозов является реальной. Это является, на наш взгляд глобальной проблемой.

Известно, что изменение климата и глобальное потепление создаёт условия для преодоления вирусами межвидовых барьеров и расширения ареала их распространения [11]. Также настораживает уникальный факт возрождения гигантского вируса из арктического льда с возрастом 30 тысяч лет [12]. Установлено, что лед ледникового периода может хранить микробы и фаги почти 15 тысяч лет [13]. Н. Г. Соломоновым с соавторами [14] рассмотрено влияние изменения климата на возможность появления в среде обитания человека возбудителей особо опасных инфекционных болезней с развитием эпидемий.

Другим примером является выделение якутскими учеными жизнеспособных бактерий рода Bacillus из останков представителей мамонтовой фауны, сохранившихся в многолетних мерзлых грунтах 30–40 тысяч лет [15–17]. В литературе есть данные о выделении возбудителя чумы на территории Якутии. Есть предположение зарубежных ученых о том, что на территории Якутии уже в неолите могла произойти эпидемия чумы [18]. Литературные источники и полученные нами результаты предполагают особую роль вечной мерзлоты в сохранении возбудителей инфекционных болезней. В целях биоремедиации загрязненных патогенными микроорганизмами навоза и нефтезагрязненных почв нами предложено использование пробиотических микроорганизмов из штаммов бактерий Bacillus subtilis [19].

Общеизвестно, что эпизоотии и эпидемии неразрывно связаны. История развития науки в Якутии показывает, что первым зачатком научного учреждения является ветеринарная бактериологическая лаборатория, организованная 1908 г. при непосредственном участии губернатора Ивана Ивановича Крафта, главной задачей которой являлась борьба с инфекционными болезнями животных и человека [20]. В связи сложной эпизоотической ситуацией в 1926 г. лаборатория реорганизована в Ветеринарный бактериологический институт. Научные исследования по эпизоотологии и разработке биологических

мер борьбы с инфекционными болезнями продолжаются с определенным успехом в лабораториях Якутского НИИ сельского хозяйства имени М. Г. Сафронова — обособленного подразделения ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

В настоящее время Якутия остается неблагополучной по бруцеллезу, некробактериозу, лептоспирозу, бешенству, сибирской язве, подкожному и носоглоточному оводам, которые наносят ощутимый экономический ущерб народному хозяйству. Эпизоотическую и эпидемиологическую ситуацию осложняют издавна существующие природные очаги инфекционных заболеваний человека и животных: это бруцеллез, туляремия, бешенство, эхинококкоз, альвеококкоз, лептоспироз и другие. [21]. В то же время вопрос научно обоснованного мониторинга, профилактики и борьбы с особо опасными и экономически значимыми инфекционными болезнями животных и человека Арктической зоны Якутии остается открытым.

В целях рационального проведения общих профилактических мероприятий по сибирской язве нами составлен кадастр неблагополучных пунктов на территории Республики Саха (Якутия). На территории Якутии в период с1811 по 1993 г. зарегистрированы 739 вспышек сибирской язвы среди домашних и диких животных в 29 административных районах, в 244 населенных пунктах. Среди них — 455 неблагополучных пунктов сибирской язвы, ранее не входивших в Российский кадастр [22]. В России последняя вспышка сибирской язвы отмечена на Ямале в 2016 г. Причиной возникновения считается оттаивание вечной мерзлоты [23]. До этого вспышка сибирской язвы на Ямале зарегистрирована в 1941 г. Исходя из этого, можно предположить, что споры оставались жизнеспособными в мерзлотной почве не менее 75 лет. Следовательно, мерзлотные почвы Якутии, обсемененные возбудителем сибирской язвы, остаются потенциально опасными биологическими объектами. В Якутии сибирская язва с 1993 г. не регистрируется. Однако в Абыйском районе (2015 г.) выделены 3 возбудителя сибирской язвы во время палеонтологических раскопок [24].

Возможность возникновения сибирской язвы диктует необходимость установления географических координат мест захоронения павших животных, переустройства существующих и строительство новых скотомогильников, разработки эффективных и экологически безвредных способов и методов обеззараживания мест, зараженных спорами и специфической профилактики



Рис. 4. Обсуждение результатов микробиологических исследований, слева направо д.в.н., профессор Н.П. Тарабукина, к.в.н. С.Г. Петрова, д.в.н., профессор М.П. Неустроев, к.в.н. С.И. Парникова

инактивированными вакцинами. Без этого невозможно оптимизировать эпизоотологические и эпидемиологические мероприятия по профилактике сибирской язвы среди животных (диких и домашних) и населения.

Нами впервые установлено распространение среди диких копытных лептоспироза, иерсиниоза, сальмонеллеза, инфекционного ринотрахеита и вирусной диареи в условиях Якутии [25]. Эти исследования дополняют результаты исследований авторов, отмечавших значительную зараженность диких животных в других субъектах России и странах мира [1–8]. Установление нами циркуляции вирусов инфекционного ринотрахеита, диареи в популяции оленей Арктических районов, якутского скота и у лесных бизонов указывает, что переносчиками возбудителей могут быть перелетные птицы [25]. Таким образом, болезни диких животных и птиц могут оказать существенное влияние на их численность и продуктивность, могут угрожать здоровью домашних животных и человека.

В Республике Саха (Якутия) от традиционных отраслей — коневодства и оленеводства можно получать органическую продукцию, которая обладает экспортоориентированным потенциалом. Однако в настоящее время получению такой продукции препятствуют широкое использование антибиотиков, распространение бактериальных и вирусных болезней. Развитие северного оленеводства зависит от эпизоотического благополучия, своевременного проведения профилактических мероприятий и производства доброкачественной в ветеринарно-санитарном отношении продукции. Результаты исследова-

ний, проведенных в 2024 г. на инфекционный ринотрахеит (ИРТ) домашних северных оленей, показали циркуляцию вируса в Нижнеколымском, Эвено-Бытантайском и Оленекском районах, а также у диких оленей, добытых в Оленекском районе. Процент выявления антител к вирусу ИРТ составляет 44–100%. Приведенные данные указывали на активную циркуляцию возбудителя ИРТ. Впервые у диких северных оленей выявлены антитела к вирусу диареи (ВД) у 70% исследованных проб сыворотки крови.

Наши данные согласуются с результатами исследований J. S. Romano и соавторов [26], а также Omazica и соавторов [27], показавших наличие разнообразных герпесвирусов и пестивирусов у северных оленей Финляндии, Норвегии, Швеции, Исландии и России. В Усть-Янском, Эвено-Бытантайском и Алданском районах Якутии в 2017–2019 гг. показано наличие вирусов, в том числе альфа-, бета- и гамма-герпесвирусов семейства Herhtsviridae.

Инфекционный ринотрахеит обычно проявляется абортами, рождаемостью слабого, нежизнеспособного приплода, болезнью органов дыхания молодняка, что характерно для оленеводства Крайнего Севера. Учитывая, что деловой выход тугутов в оленеводстве Якутии в последние десять лет не превышает 50–60%, а общее поголовье сократилось вдвое, можно предположить существенную роль инфекционных болезней, в первую очередь, вирусных. В целях объективной оценки эпизоотической ситуации и сохранения экологии в условиях Севера необходимо проводить вирусологические исследования, разрабатывать методы диагностики и профилактики вирусных болезней оленей с использованием достижений ведущих научных учреждений страны.

Якутия может стать родиной вирусов-причин будущих пандемий. Это обусловлено вероятностью переноса вирусных возбудителей инфекционных заболеваний при сезонных миграциях птиц, в первую очередь из Юго-Восточной Азии, их последующей мутагенетической адаптацией к новым экстремальным климатическим условиях Арктики и дальнейшим обратным переносом новых вариантов вирусов в различные географические регионы планеты [25]. В Якутии эпизоотий «птичьего гриппа» пока не обнаружено, хотя в образцах фекалий диких птиц были обнаружены более 20 штаммов вируса птичьего гриппа А. Причем «якутские» штаммы вируса «птичьего гриппа» оказались очень близкими патогенному штамму вируса H5N1, выявленному в Гонконге в 1997 г. [14].

Несомненно, что развитие агропромышленного комплекса северных регионов возможно только в условиях стабильного эпидемиологического и эпизоотического благополучия, которое может создаваться на базе научных знаний о механизмах распространения, межвидовой передаче, видовом составе вирусов возбудителей заболеваний человека, домашних и диких животных, птиц. Необходимость мониторинга инфекционных болезней диких животных и птиц возрастает в период распространения новых вирусных болезней, в том числе коронавируса COVID-19. Тем более есть сообщение о распространении коронавирусной болезни среди лошадей в штате Колорадо США. Установлено сходство клинических признаков, вызванных коронавирусом лошадей (ECoV), и возбудителем сальмонеллезного аборта [28]. Н.Вульф (2009) отмечал необходимость глобального мониторинга передачи вирусов от диких животных к человеку для контроля распространения инфекционных болезней и предотвращения пандемии [4]. Есть предположение, что следующим регионом начала пандемии гриппа птиц может быть Крайний Север России, в том числе Якутия [14,29].

Важность агробиотехнологий для обеспечения биологической безопасности развития сельскохозяйственного производства, охраны ранимой экологии в условиях Арктики и Субарктики неоспорима. Актуальным остается проведение мониторинга инфекционных болезней диких животных, перелетных птиц, а также бактериологических, вирусологических и молекулярно-генетических исследований выделенных изолятов.

Новые штаммы микроорганизмов

В результате многолетних исследований по микробной экологии мерзлотных почв, растений, домашних, диких и ископаемых животных учеными Якутского НИИСХ установлено, что в микробиоценозе окружающей среды и микробиоте животных в условиях вечной мерзлоты особую и доминирующую роль играют бактерии рода Bacillus, обладающие уникальными биологическими свойствами. Эта группа микроорганизмов является одной из самых перспективных групп в современной биотехнологии [30].

В целях разработки биотехнологических препаратов выделены, идентифицированы и де-

ТАБЛИЦА 1. ШТАММЫ МИКРООРГАНИЗМОВ, ВЫДЕЛЕННЫЕ И ИДЕНТИФИЦИРОВАННЫЕ В ЯНИИСХ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ ВО ВСЕРОССИЙСКИХ КОЛЛЕКЦИЯХРАЗРАБОТАННОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ

№	Штаммы
1	Штамм возбудителя сальмонеллезного аборта лошадей Salmonella abortus БН-12
2	Штамм возбудителя мыта Streptococcus equi Н-5/1
3	Штамм бактерий Bacillus subtilis ТНП-3
4	Штамм бактерий Bacillus subtilis ТНП-5
5	Штамм бактерий Bacillus subtilis «Колыма-7/2к»
6	Штамм бактерий Bacillus subtilis «Оймякон-6/1»
7	Штамм Lactobacillus acidophilus К 1902
8	Штамм Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus К 1903
9	Штамм Lactobacillus acidophilus К 1901
10	Штамм молочных дрожжей Clavispora lusiteniae 1 Д
11	Штамм бактерий Bacillus subtilis 2СП В-14405
12	Штамм бактерий Bacillus subtilis 5СП В-14406
13	Штамм бактерий Bacillus subtilis 27 L VKPM B-14800
14	Штамм бактерий Bacillus subtilis 11 К VKPM B-14816

понированы во Всероссийских коллекциях 14 штаммов микроорганизмов. Два штамма поданы на международное депонирование. Идентификация штаммов проводилась бактериологическими, молекулярно-генетическими и биохимическими методами.

Штаммы депонированы в Государственных коллекциях микроорганизмов ВГНКИ ветеринарных препаратов Россельхознадзора, Московском научно-исследовательском институте эпидемиологии и микробиологии им. Г. Н. Габричевского, ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии и Биоресурсном центре Всероссийской коллекции микроорганизмов Национальном исследовательском центре «Курчатовский институт» (табл. 1).

В рамках мониторинга инфекционных болезней изучается микробиота животных и птиц. Имеется коллекция около 400 изолятов бактерий Bacillus, выделенных из микробиоты сельскохозяйственных и диких животных, мамонтовой фауны и мерзлотных почв. Проводится изучение биологических свойств (пробиотические, антагонистические, ферментативные и фунгицидные) и возможность их использования в микробиотехнологии России и Китая. Разработаны пробиотические препараты для коррекции нарушенной нормальной микробиоты животных и птиц. Следующим этапом научных исследований остается разработка диетических и иммунобиологических препаратов для человека. Выделение и идентификация микроорганизмов продолжается во исполнение исследовательской программы РНФ с ФГБУН ИХБФМ СО РАН от 03.04.2025 г.

Создание коллекции арктических штаммов микроорганизмов позволит систематизировать и рационально использовать уникальные микроорганизмы, адаптированные в северном регионе.

Вакцины

Впервые в России разработаны и производятся вакцины против мыта и сальмонеллезного аборта лошадей. Вакцины аналогов в России не имеют и используются в субъектах России и других странах [31]. Разработаны и утверждены Россельхознадзором вакцины против мыта (2000 и 2021 г.) и сальмонеллезного аборта лошадей (2006 и 2019 гг.). Утверждены в Казахстане вакцина «Табын» против мыта (2018 г.) и вакцина мыта с иммуномодулятором в Монголии (2024 г.).

ТАБЛИЦА 2. БИОПРЕПАРАТЫ, СОЗДАННЫЕ В ЯНИИСХ

№	Биопрепараты
1	Пробиотик «Сахабактисубтил» для профилактики дисбактериозов, повышения иммунобиологической реактивности сельскохозяйственных животных, утвержденный Россельхознадзором МСХ РФ (2006. 2012 гг.). Пробиотик предохраняет 90-95 % молодняка от болезней желудочно-кишечного тракта. Экономический эффект на 1 руб. затрат составляет 16-17 рублей
2	Вакцина против мыта лошадей, утверждена Россельхознадзором (2021 г.). Эффективность иммунизации 90-95 %. Экономический эффект на 1 руб. затрат составляет 7 рублей
3	Вакцина против сальмонеллезного аборта лошадей, утверждена Россельхознадзором МСХ РФ-12006. 2012, 2019 гг.). Внесены изменения в регистрационное досье и выдано новое регистрационное удостоверение в 2019 г. Иммунизация вакциной повышает деловой выход жеребя т в неблагополучных пунктах на 15,7-23 %. Экономический эффект на 1 руб. затрат составляет 10,7 рублей
4	Вакцина против мыта лошадей «Табын» утверждена МСХ Республики Казахстан (2018 г.)
5	Вакцина против мыта утверждена в Монголии (2023 г.)
6	Микробная закваска для якутского кумыса (2022 г.)
7	Йогурт якутский кумысный (2025 г.)
8	Кормовая добавка «Пробиотик Сахабактисубтил-АС». Утверждена Россельхознадзором (2026 г)

Мыт и сальмонеллезный аборт — инфекционные болезни, которые распространены и оказывают существенный экономический ущерб во всех странах с табунным коневодством. Экономический эффект на 1 рубль затрат 7–10 рублей. Эффективность иммунизации 95% (предохраняет от заражения 95% иммунизированных). Вакцины аналогов в России не имеют. В Казахстане используются другие вакцины против мыта, но по эффективности уступают нашей вакцине. В ООО «Научно-производственный центр ХотуБакт», учрежденном ФИЦ ЯНЦ СО РАН, организовано лицензированное производство вакцин. С 2025 г. вакцина против мыта по лицензионному договору производится на биокомбинате в Монголии, организуется выпуск вакцин в Казахстане. Получено 15 патентов РФ, в том числе один евразийский и один монгольский. Есть ноу-хау на производство вакцин. Индустриальный партнер — Управление ветеринарии РС(Я), который инвестирует производственные испытания новых разработок и внедрение вакцин в производство (выделение субсидии на производство и продажу вакцин). Биопрепараты востребованы не только в республике, но и в других регионах, а также Республике Казахстан и Монголии. В настоящее время наша продукция используются в Красноярском, Алтайском краях, Новосибирской и Владимирской областях, Республиках Алтай, Хакасия, Бурятия. За разработку вакцины против мыта получены грант Президента РС(Я), грант Бортника, Государственная премия в области науки и техники РС(Я), звание «заслуженный деятель науки РС(Я)», сертификат «Сделано в России». В составе бизнес-миссии РС(Я) наши специалисты посетили Узбекистан, Монголию, Киргизию, Казахстан и Турцию, где заключили протоколы о намерениях по сотрудничеству и возможной организации поставки и организации производства вакцин и пробиотиков. В последние годы завершены испытания новых вакцин и пробиотиков: вакцина против мыта и ринопневмонии; вакцина против ринопневмонии лошадей инактивированная; ассоциированная вакцина против ринопневмонии, сальмонеллезного аборта и мыта лошадей.

Пробиотики

В 2006 г разработано и утверждено лекарственное средство — пробиотик «Сахабактисубтил» на основе штаммов бактерий Bacillus subtilis для профилактики дисбактериозов, повышения иммунобиологической реактивности сельскохозяйственных животных, утвержденный Россельхознадзором МСХ РФ (2006, 2012 гг.). Пробиотик превосходит по эффективности существующие аналоги [30] (табл. 2).

Пробиотик предохраняет 90–95% молодняка от болезней желудочно-кишечного тракта. Экономический эффект на 1 руб. затрат составляет 16–17 рублей. Препарат позволил ликвидировать диспепсию новорожденных телят в Якутии. По требованию Россельхознадзора препарат переведен в категорию «кормовые добавки». В 2026 г.

завершены доклинические и клинические испытания новой кормовой добавки и «Пробиотик Сахабактисубтил-АС» утвержден Россельхознадзором, организовано производство.

Разработаны, испытаны и подготовлены научно-технические документации на ферментную кормовую добавку для лошадей, пробиотик «Норд-бакт» для птицеводства, пробиотические препараты для дезинфекции и обработки вымени. Кормовые добавки будут утверждены в 2026–2027 гг. С компанией Би-Лан (Китай) разработаны пробиотические препараты для свиноводства и птицеводства. Разработка отмечена почетной грамотой правительства провинции Шаньдун.

Биологическая защита растений. Средства для повышения продуктивности.

В условиях вечной мерзлоты актуальным становится поиск биологических мер защиты и повышения продуктивности. Якутский НИИ сельского хозяйства разработал методы борьбы с болезнями картофеля, огурцов, земляники с использованием пробиотических штаммов микроорганизмов, выделенных из мерзлотных почв. Получены 3 патента на изобретение. Следует доработать разработки, провести производственные испытания, утвердить новые средства защиты в Россельхознадзоре, организовать производство.

Биоудобрения. Будут разработаны биологические удобрения с полезными микроорганизмами (азотфиксирующие, споровые и другие). Продолжается поиск микроорганизмов, перерабатывающих органические отходы (навоз, помет, осадки сточных вод). Биологические препараты будут способствовать развитию органического земледелия — основы органического животноводства, а также снизит экологический ущерб. Якутским НИИСХ разработана технология производства биоудобрения на основе переработки и обеззараживания навоза и помета с использованием пробиотических микроорганизмов. Получены два патента на изобретение. Следует подготовить НТД, утвердить и получить лицензию, организовать производство.

Микробные закваски кисломолочных продуктов.

Выделены, идентифицированы и депонированы четыре новых штамма лактобактерий и дрожжей в коллекции Московского научно-исследовательского института эпидемиологии



ЕВРАЗИЙСКАЯ ПАТЕНТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ

ЕВРАЗИЙСКИЙ ПАТЕНТ
НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 050480

Название изобретения:
ВАКЦИНА ПРОТИВ МЫТА

Патентовладельцы:
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР "ХОТУ-БАКТ";
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР "ЯКУТСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК" (RU)

Изобретатели:
Неустроев Михаил Петрович, Тарабукина Надежда Петровна, Эльбердова Евдокия Игнатьевна, Петрова Саргылана Гурьевна, Попов Андриан Афанасьевич (RU)

Заявка №: 202492690
Дата подачи заявки: 18 ноября 2024 г.
Дата выдачи патента: 17 июля 2025 г.

Настоящим удостоверяется, что евразийский патент выдан на изобретение с формулой, опубликованной в Бюллетене Евразийского патентного ведомства «Изобретения (евразийские заявки и патенты)» № 7 / 2025 год.

При уплате установленных годовых пошлин патент действует на территории государств-участников Евразийской патентной конвенции – Азербайджанской Республики, Кыргызской Республики, Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Республики Таджикистан, Российской Федерации, Туркменистана.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат:1650024017000
Владелец: Ивлиев Григорий Петрович
Действителен с 15.04.2022 по 14.04.2027

ИВЛИЕВ Григорий Петрович
Президент Евразийского патентного ведомства

Рис. 5. Евразийский патент на изобретение. Фотографии М.П. Неустроева

и микробиологии им. Г. Н. Габричевского Роспотребнадзора. Разработаны и утверждены микробные закваски кумыса и йогурта, которые могут использоваться для производства кисломолочных продуктов в субъектах России и других странах. В настоящее время организуется их производство на базе лаборатории Якутского НИИСХ.

По результатам разработки и испытания пробиотиков и вакцин изданы 657 научных работ в том числе получены 60 патентов на изобретение, изданы 26 монографий, 61 рекомендации и методические пособия. Разработаны и утверждены 77 единиц научно-технической документации.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, следует продолжить мониторинг инфекционных болезней сельскохозяйственных и диких животных, разработку и организцию производства лекарственных средств и биологических препаратов с использованием микробиологического, жи-

вотного и растительного сырья для получения органической продукции, повышения продуктивности отраслей сельского хозяйства, обеспечения биологической безопасности, импортзамещения и экспорта продукции.

Эти задачи включают разработку лекарственных средств и препаратов для ветеринарного применения (вакцины, пробиотики бактериофаги, кормовые добавки, ферментные препараты); биопрепаратов для пищевой промышленности и охраны природы (закваски кумыса, суората и других национальных продуктов, препараты для биоремедиации почвы, навоза, очистки воды); биопрепаратов для растениеводства (биологические удобрения, препараты для борьбы с болезнями растений); создание Арктического центра биотехнологий с вируслогическими и бактериологическими лабораториями и биофабрики.

В целях коммерциализации научных разработок в период развития Национального проекта «Технологическое обеспечение биоэкономики» следовало бы организовать биофабрику с вирусологическими и бактериологическими лабораториями с использованием уникального микробиологического, животного и растительного сырья Арктики и Субарктики. Использование биологических препаратов и удобрений в животноводстве и растениеводстве позволит получить органическую продукцию и повысить продуктивность и урожайность на 10–20%, обеспечить импортзамещение биологических препаратов и экспорт продукции.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по теме № FWRS 2024–0024 «Разработать методы, технологии, средства профилактики и лечения инфекционных, паразитарных болезней животных, обеспечивающих биологическую безопасность на Крайнем Севере».

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

Потенциальные потребители — хозяйства любой формы России, Казахстана, Монголии.

Краткая информация об оценке уровня готовности технологий

Вакцины УГП 10, УГТ 9, кормовая добавка УГП 10, УГТ 9, пробиотики УГП 9, УГТ 8, ферментный препарат УГП 9. УГТ 8, бактериофаг УГП 8, УГТ 8. биологические препараты для растениеводства УГП 7, УГТ 7, комбинированные вакцины УГП 9, УГТ 8.

Опубликовано 657 научных работ. в том числе 26 монографий, 57 патентов на изобретение России, 1- Евразийский, 1 — Китайский, 1- Монгольский.

Литература

1. Бедоева З.М., Божьева Ю. В. Эпизоотологический мониторинг инфекционных болезней у диких плотоядных животных // Ветеринарная медицина. 2011. № 3–4. С 120–122.

2. Artois M. The role of wildlife in the control of domestic anival diseases. Conf. OIE. 2012. 1–9.

3. Заволока А. А. Заболевание диких и экзоотических животных и их роль в заболевании людей. VetPharma. 2013. № 3. С. 21–30.

4. Вульф Н. Как предотвратить пандемию // В мире науки. 2009.№ 6. С. 65–69.

5. Официальный сайт Россельхознадзора. www.fsvps.ru/fsvps/print/news/34932.html.

6. Макаров, В. А. Грубый, К. Н. Груздев, О. И. Сухарев. Список МЭБ и трансграничные инфекции животных: монография. Владимир. 2012. 162 с.

7. Морозов А. В. Экологическое значение распространения возбудителей бактериальных инфекций охотничьих животных в Беларуссии. Животноводство и ветеринария. 2015. № 1. С. 33–38.

8. Семакина В.П., Акимова Т. П., Соломатина И. Ю., Караулов А. К. Риск заноса особо опасных заболеваний животных с везикулярным синдромом на территории России. Ветеринария сегодня. 2019. № 1 (28). С. 3–9. DOI 10.2932/2304–196X-1–28–3–9.

9. Деярев А. Г. Охотничье промысловые птицы Республики (Саха) Якутии. Якутск. Изд-во СО РАН. 2004. 109 с.

10. Аргунов А.В., Степанова В. В., Охлопков И. М. Динамика численности и использование ресурсов диких копытных в таежной части Якутии. Аграрный вестник Урала. 2017. № 7 (161). С. 4–11.

11. Legendre M., Bartoli J., Shmakova L., Jeudy S., Labadie K., Adrait A., Lescot M., Poirot O., Bertaux L., Bruley C., Coute Y., Rivkina E., Abergel C., Claverie J. Thirty – thousand-year-old distant relative of giant icosahedral DNA viruses with a pandoravirus morphology // Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America (March 18, 2014). 2014. No — 111(11). P. 4274–4279:

12. Legendre M.. Lartique A., Bertaux L., Jeudy S., Bartoli J., Lescot M., Alempic J., Ramus C., Bruley C., Labadie K., Shmakova L., Rivkina E., Coute Y., Abergel C., Claverie J. In-depth study of Mollivirus sibericum, a new thirty-thousand-old giant virus infecting Acanthamoeba. morphology // Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2015. 112. (38). P. 5327–5335. Doi 10.1073/pnas.1510795112.

13. Zhong Z.P., Tian F., Roux S. Glacier ice archives nearly 15000-year-old microbes and phages. Microbiome. 2021. 9. 160. P. 2–23. Doi.org /10.1186/s40168–021–01106-w.

14. Соломонов, Н. Г. Проблемы биобезопасности: Арктика как потенциальный инкубатор источников возможных новых эпидемий / Н. Г. Соломонов, В. Ф. Чернявский, Б. М. Кершенгольц // Арктика 2035: актуальные вопросы, проблемы, решения. — 2022. — № 3(11). — С. 90–101. — DOI 10.51823/74670_2022_3_90. — EDN YJZUIZ.

15. Tarabukina N.P., Neustroev M. P., Fedorova M. P., Parnikova S. I., Neustroev M. M. Yakutia Zoolite Microflora // In Vth International Conference on Mammoth and their Relatives. 2010. P. 59–60.

16. Neustroev M. P. On the prospects of microbiological research on mammoth fauna in permafrost // Quaternary International. 2012. Vol. 255. P. 139–140.

17. Neustroev M.P., Tarabukina N. P., Neustroev M. M., Fedorova M. P., Stepanova A. M., Parnikova S. I., Baichev A. A. Microflora of Fossil Animals Preserved in Yakut Permafrost // Journal of Earth Science and Engineering. 2014. 4. P. 484–489.

18. Kiligc G.M. et al. Human population dynamics and Yersinia pestis in ancient northeast Asia // Science advances. 2021. 7. P. 1–13. DOI: 10.1126/sciadv.abc4587.

19. Тарабукина Н.П., Саввинов Д. Д., Неустроев М. М., Степанова А. М., Неустроев М. П., Сазонов Н. Н., Парникова С. И. Экологическая оценка и биоремедиация нефтезагрязненных мерзлотных почв Якутии: Монография; [под ред. М.П.. Неустоева, Д. Д. Саввинова]; Якут. науч-исслед. ин-т сел. хоз-ва. — Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2017. — 136 с.

20. Неустроев М.П., Черосов, М.М., Васильева С. А. История развития научных исследовани й по ветеринарной медицине в 1871–1960 гг. в Якутии / М. П. Неустроев, М. М. Черосов, С. А. Васильева // Веткорм. — № 3. — 2024. — С. 92–96.

21. Huber I., Potapova R., Ammosova E., Beyer W., Blagodatskiy S., Kokolova L., Lemke S., Neustroev M., Nyukkanov A., Protodyakonova G., Reshetnikov A., Romig T., Shadrin V., Samoilova I., Semenov S., Stepanov K., tarabukina N., Vinokurova L., Zakharova R., Nifontov K. Symposium report: emerging threats for human health — impact of socioeconomic and climate change on zoonotic diseases in the Republic of Sakha (Yakutia), Russia // International Journal of Circumpolar Health. — 2020. — Vol. 79. 1. — P. 1–13 DOI: 10.1080/22423982.2020.171598.

22. Дягилев Г.Т., Неустроев М. П. Кадастр неблагополучных пунктов по сибирской язве в Республике Саха (Якутия) // Сибирский вестние сельскохозяйственной науки. 2019. № 5. 49. С. 88–93.

23. Timofeev V., Bakhteeva I., Mironova R., Tibareva G., Lev I., Christiany D., Borzibov A., Bogun A., Vergnaud G. 2018. Insigts from Bacillus anthracis isolation from permafrost in the tundra zone of Russia. Bio Rxiv preprint first posted online Dec. 3. Doi org/10.1101/486290.

24. Ерофеевская Л. А. Генетическая идентификация сибиреязвенного штамма выделенного из нефтезагрязненного многомерзлого грунта // Биохимия, физиология и биосферная роль микроорганизмов. Материалы Пущинской школы-конференции (Пущино, 2–6 декабря 2019). Пущино. — 2019. — С. 86–88.

25. Неустроев М.П., Юров К. П., Тарабукина Н. П. и др. Роль диких животных в эпизоотологии инфекционных болезней в Якутии // Ветеринария и кормление. — 2021. — (5):57–64. DOI CrossRef:10.30917/ATT-VK-1814–9588–2021–5–15.

26. Romano J.S., Tryland M., Omazic A. Screening of eurasian tundra reindeer for viral sequences by next-generation sequencing // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18, No. 12. DOI: 10.3390/ijeph18126561.

27. Omazic A., Aurosella C., Fedorov V., et al. Seroprevalence of pestivirus in Eurasian tundra reindeer in Finland, Sweden, Norway, Iceland and Russian Federation // Infection Ecology & Epidemiology. 2019. Vol. 9. P. 1682223. DOI: 10.1080/20008686.2019.1682223.

28. Manship A.J., Bliklager A. T., Elfenbein J. R. Disease features of equine coronavirus and enteric salmonellosis are similar in horses // Journal of Veterinary Medicine. 2019. V. 33. 2. P. 912–917.

29. Revich B.A., Podolnaya M. A. Thawing of permafrost may disturb historic cabble burial grounds in Fast Siberia Cibation: Global Health Action. 2011. 4: 8482. Doi: 10.3402/gha.410.8482.

30. Неустроев М.П., Тарабукина Н. П. Технология применения иммунобиологических и пробиотических препаратов в сельском хозяйстве. — Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2022. — 374 с.

31. Неустроев М.П., Петрова С. Г. Разработка иммунобиологических препаратов против вирусных и бактериальных болезней лошадей. — Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2023. — 186 с.





5

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

102 Способ молекулярно-генетической диагностики варианта c.5741G>A гена NBAS, вызывающего SOPH-синдром

ВЕРНУТЬСЯ К СОДЕРЖАНИЮ

СПОСОБ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

ВАРИАНТА C.5741G>A ГЕНА *NBAS*, ВЫЗЫВАЮЩЕГО SOPH-СИНДРОМ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Медицинский институт, научно-исследовательская лаборатория «Молекулярная медицина и генетика человека»

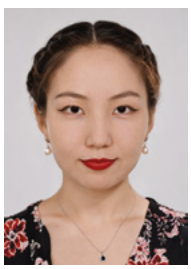
677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Кулаковского, д. 46



Жожиков Леонид Русланович

кандидат медицинских наук, научный сотрудник

jlr10@mail.ru



Максимова Анастасия Анатольевна

младший научный сотрудник

nastushalensk@mail.ru



Данилова Анастасия Лукична

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

ana-danilova@yandex.ru



Сухомясова Айталина Лукична

кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник

aitalinas@yandex.ru



Гурьев Анатолий Арсенович

младший научный сотрудник

kotetolya@gmail.com



Максимова Надежда Романовна

доктор медицинских наук, доцент, главный научный сотрудник

nogan@yandex.ru

Разработана отечественная молекулярно-генетическая тест-система на основе полимеразной цепной реакции в режиме реального времени (ПЦР-РВ) с использованием аллель-специфичных гидролизных флуоресцентных зондов для быстрого, точного и экономически эффективного определения варианта c.5741G>A гена NBAS, ответственного за развитие SOPH-синдрома.

Ключевые слова: SOPH-синдром; *NBAS*; молекулярно-генетическая диагностика; полимеразная цепная реакция в режиме реального времени (ПЦР-РВ); аллель-специфичная ПЦР; гидролизные флуоресцентные зонды; диагностическая тест-система; наследственные заболевания; генетический скрининг; медицинское изделие; персонализированная медицина

Краткое описание разработки

SOPH-синдром (Short stature, Optic atrophy and Pelger-Huët anomaly syndrome) — редкое наследственное заболевание с аутосомно-рецессивным типом наследования, обусловленное патогенным вариантом c.5741G>A гена *NBAS*. Наиболее высокая распространенность заболевания и гетерозиготного носительства отмечена среди населения Республики Саха (Якутия), что делает своевременную диагностику и выявление носителей важной задачей практического здравоохранения.

Разработанная технология представляет собой диагностическую тест-систему, основанную на методе ПЦР в режиме реального времени с использованием оригинального набора праймеров и аллель-специфичных гидролизных зондов (таблица 1), позволяющих дифференцировать нормальный, гетерозиготный и гомозиготный генотипы (рисунок 1) по варианту c.5741G>A гена *NBAS*.

В ходе выполнения проекта были проведены все основные этапы разработки технологии:

1. выполнен анализ существующих методов молекулярной диагностики и выбран оптимальный подход;
2. разработаны оригинальные последовательности праймеров и гидролизных зондов;
3. проведена оптимизация условий амплификации и детекции;
4. создан лабораторный образец диагностической тест-системы;
5. выполнены функциональные испытания на образцах пациентов с подтвержденным SOPH-синдромом, гетерозиготных носителей и условно здоровых лиц;
6. подтверждена возможность надежного разделения исследуемых генотипов.

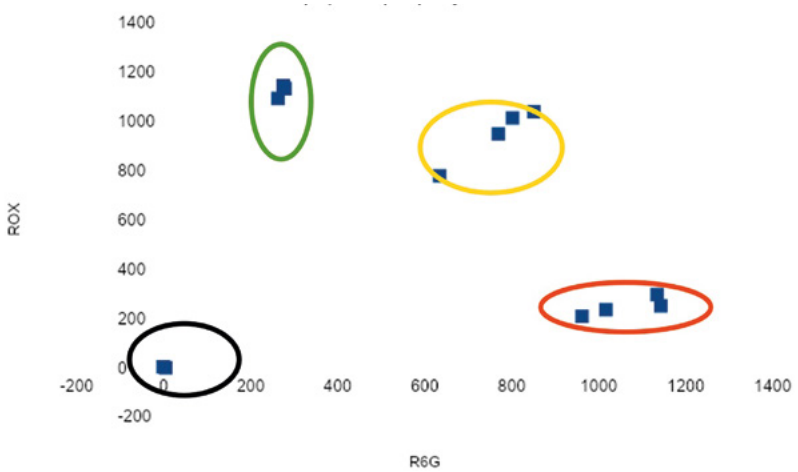


Рис. 1 Пример запуска тест-системы. Зеленым выделены образцы с диким типом, желтым – гетерозиготы, красным – пациенты SOPH, черным – вода.

ТАБЛИЦА 1. ОЛИГОНУКЛЕОТИДНЫЕ ПРАЙМЕРЫ И ГИДРОЛИЗНЫЕ ЗОНДЫ РАЗРАБОТАННОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ

Компонент	Последовательность (5'→3')
Прямой праймер	AATGCAGGGTTCTTTGGTCTCA
Обратный праймер	TGAGCTTCGTCTTCTGAGTTTCTT
Зонд дикого типа (ROX/BHQ2)	ROX-CTGTCTGTGGAAGCCCGT-BHQ2
Зонд мутантного типа (R6G/BHQ1)	R6G-GCTGTCTGTGGAAGCCCATA-BHQ1

ТАБЛИЦА 2. ВЫБОРКА ПАЦИЕНТОВ И КОНТРОЛЕЙ С КОЛИЧЕСТВОМ ПОВТОРНОСТЕЙ

Группа образцов	Количество
Пациенты с SOPH-синдромом	10
Родственники (гетерозиготные носители)	10
Условно здоровые лица	10
Количество повторных исследований	4

Разработка ориентирована на использование в молекулярно-генетических лабораториях, оснащенных стандартными амплификаторами для проведения ПЦР в режиме реального времени, и не требует дорогостоящего специализированного оборудования.

Технология обеспечивает получение результата в течение одного лабораторного исследования и позволяет проводить массовый скрининг населения, обследование семей высокого риска, а также лабораторное подтверждение диагноза у пациентов с подозрением на SOPH-синдром.

На сегодняшний день разработан лабораторный образец диагностической тест-системы, проведены ее функциональные испытания на клинических образцах, подтверждена возможность надежного определения всех трех генотипов по варианту c.5741G>A гена *NBAS*. В 2024 году получен патент Российской Федерации на способ диагностики варианта SOPH c.5741G>A в гене *NBAS*. В настоящее время ведется подготовка регистрационного досье для подачи документов в Федеральную службу по надзору в сфере здравоохранения (Росздравнадзор) с целью регистрации медицинского изделия. Работы по внедрению технологии выполняются совместно с клиникой Медицинского института Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова и Медико-генетическим центром Республиканской больницы № 1 — Национального центра медицины имени М. Е. Николаева.

Уровень готовности технологии (УГТ)

В соответствии с ГОСТ Р 58048–2017 уровень готовности разработанной технологии оценивается как УГТ 7. Создан и апробирован лабораторный прототип диагностической тест-системы (таблица 2), проведены функциональные испытания на клиническом биологическом материале, подтверждены работоспособность и воспроизводимость метода. Получен патент Российской Федерации на изобретение, что обеспечивает правовую охрану технологии.

В настоящее время проводится подготовка регистрационного досье для подачи документов в Росздравнадзор с целью регистрации медицинского изделия. После завершения регистрационных процедур технология сможет перейти на следующий уровень технологической готовности (УГТ 8), соответствующий квалифицированной системе, готовой к широкому практическому применению.

Преимущества и уникальность

Основным преимуществом технологии является сочетание высокой аналитической точности, скорости выполнения исследования и сравнительно низкой стоимости анализа.



Набор реагентов для диагностики варианта SOPH c.5741G>A в гене *NBAS* методом полимеразной цепной реакции в реальном времени (ГенДиаг-*NBAS* c.5741G>A)

В отличие от методов секвенирования и других дорогостоящих молекулярно-генетических технологий, разработанная тест-система использует широко распространенный метод ПЦР в режиме реального времени и может быть внедрена в большинстве современных клинико-диагностических лабораторий без необходимости приобретения специализированного оборудования.

К основным преимуществам разработки относятся:

- высокая специфичность определения варианта c.5741G>A гена *NBAS*;
- возможность одновременного выявления больных, носителей и лиц без патогенного варианта;
- сокращение стоимости исследования по сравнению с секвенированием;
- быстрое получение результатов;
- использование отечественной технологии;
- возможность массового применения в программах медико-генетического скрининга.

Новизна разработки заключается в создании оригинального диагностического решения, включающего собственный дизайн праймеров, гидролизных зондов и оптимизированный протокол проведения ПЦР для диагностики SOPH-синдрома.

Разработка защищена патентом Российской Федерации, что подтверждает новизну и промышленную применимость предложенного технического решения.

Контекст

SOPH-синдром впервые был описан у пациентов из Республики Саха (Якутия) и в настоящее время рассматривается как одно из наиболее характерных наследственных заболеваний региона. Высокая частота носительства патогенного варианта обусловливает необходимость проведения эффективной молекулярной диагностики и профилактики рождения больных детей.

В настоящее время для определения варианта c.5741G>A могут использоваться секвенирование по Сэнгеру, массовое параллельное секвенирование, методы анализа кривых плавления и другие молекулярно-генетические технологии. Однако большинство существующих мето-



Леонид Жожиков

Личный комментарий от разработчика:

«Мы стремились создать отечественную диагностическую технологию, которую можно внедрить в повседневную практику медицинской генетики. Сегодня разработка защищена патентом Российской Федерации и находится на этапе подготовки государственной регистрации медицинского изделия. Мы рассчитываем, что технология позволит сделать молекулярную диагностику SOPH-синдрома более доступной, ускорить выявление пациентов и носителей патогенного варианта, а также повысить эффективность профилактики наследственных заболеваний».

дов являются более дорогостоящими, требуют высокой квалификации персонала либо менее удобны для массового скрининга.

Разработанная тест-система ориентирована именно на практическое применение в медицинских учреждениях и обеспечивает оптимальное соотношение стоимости, скорости и точности исследования.

Предполагаемый интерес для внедрения

Технология представляет интерес для:

- медико-генетических центров;
- клинико-диагностических лабораторий;
- центров планирования семьи;
- учреждений, занимающихся неонатальным и популяционным скринингом;
- научно-исследовательских организаций;
- производителей молекулярно-генетических диагностических тест-систем.

Использование разработки позволит расширить возможности ранней диагностики наследственного заболевания, повысить эффективность медико-генетического консультирования, снизить расходы на проведение лабораторной диагностики и улучшить профилактику наследственной патологии в регионах с высокой частотой носительства варианта.

Первичное внедрение технологии планируется на базе клиники Медицинского института Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова совместно с Медико-генетическим центром Республиканской больницы № 1 — Национального центра медицины имени М. Е. Николаева. В дальнейшем технология может быть масштабирована для использования в медико-генетических центрах Российской Федерации.

Запрос на индустриальное партнерство

Авторы заинтересованы в сотрудничестве с индустриальными партнерами для организации промышленного производства диагностических наборов, завершения регистрационных процедур медицинского изделия, масштабирования технологии, лицензирования патента и внедрения тест-системы в клинико-диагностические лаборатории Российской Федерации. Рассматриваются варианты лицензионного сотрудничества, совместных проектов с производителями диагностических реагентов, создания малых инновационных предприятий и привлечения инвестиций для коммерциализации разработки.

Краткая информация о текущих партнерах и потенциальных потребителях

Разработка выполняется в сотрудничестве с клиникой Медицинского института Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова, на базе которой проводится подготовка к внедрению технологии и оформление разрешительной документации для применения тест-системы в качестве медицинского изделия. Ключевым клиническим партнером проекта является Медико-генетический центр Республиканской больницы № 1 — Национального центра медицины имени М. Е. Николаева, осуществляющий диагностику, медико-генетическое консультирование пациентов с наследственными заболеваниями и предостав-



Слева направо: Федоров Афанасий снс, Григорьева Татьяна врач-генетик, Иванов Айаан мнс, Голикова Полина снс, Москвитин Гаврил мнс, Петухова Диана нс, Васильев Филипп снс, Жожиков Леонид мнс, Иванова Роза врач-генетик, Тапыев Евгений мнс. Сидят: Максимова Анастасия мнс, Саввина Мира нс, Сухомясова Айталина внс, Максимова Надежда гнс, Данилова Анастасия снс, Слепцов Архип врач-генетик.

ляющий клиническую базу для апробации технологии. Потенциальными потребителями разработки являются медико-генетические центры, клинико-диагностические лаборатории, многопрофильные медицинские организации, учреждения, выполняющие молекулярно-генетические исследования, а также производители диагностических тест-систем и организации, реализующие программы популяционного и семейного генетического скрининга. В настоящее время ведется подготовка регистрационного досье для подачи документов в Росздравнадзор с целью регистрации медицинского изделия.

Список литературы:

1. Maksimova N., Hara K., Nikolaeva I., et al. Neuroblastoma amplified sequence gene is associated with a novel short stature syndrome characterised by optic nerve atrophy and Pelger–Huët anomaly. Journal of Medical Genetics. 2010;47(8):538–548.
2. Zhozhikov L., Sukhomyasova A., Gurinova E., et al. Origins of SOPH syndrome: A study of 93 Yakut patients with review of C-terminal phenotype. Clinical Genetics. 2023;103(6):625–635.
3. Fedorova S.A., Khusnutdinova E.K. Genetic Structure and Genetic History of the Sakha (Yakuts) Population. Russian Journal of Genetics. 2022;58(12):1409–1426.
4. Savvina M.T. и соавт. Олигонуклеотидный биочип для диагностики наследственных заболеваний. Медицинская генетика. 2019;18(9):24–33.
5. Bustin S.A., Benes V., Garson J.A., et al. The MIQE Guidelines. Clinical Chemistry. 2009;55(4):611–622.
6. Stadhouders R., Pas S.D., Anber J., et al. The effect of primer-template mismatches on the detection and quantification of nucleic acids using the 5′ nuclease assay. Journal of Molecular Diagnostics. 2010;12(1):109–117.
7. Ребриков Д.В., Трофимов Д.Ю. ПЦР «в реальном времени». Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний; 2009.
8. ГОСТ Р 58048–2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий.

ПЕРВЫЙ МУЗЕЙ ЯКУТИИ

Якутский государственный объединенный музей истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского

677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, пр. Ленина, д. 5/2

Шишигина Анна Николаевна

кандидат исторических наук, заместитель директора Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского

schanan@yandex.ru





Фрагмент постройки XVIII в. Якутского острога — результаты археологических раскопок в г. Якутске, 2024 г.



В гостях у Якутского музея профессор кафедры археологии и этнографии Гуманитарного института Новосибирского государственного университета д.и.н. Леонид Бобров, 2026 г.



Первая экспозиция Якутского областного музея 1891 года. 2026 год — год 135-летия открытия первой музейной экспозиции в Якутии

Основным фактором организации музеев в Сибири в XIX в. явилась потребность в изучении природных богатств, экономики и истории региона на местах. Эта потребность породила живой интерес к музейному делу в среде передовой местной общественности. Особого развития музейное строительство Сибири достигло в 70–90-х гг. XIX в. с развитием экономики и оживлением общественно-культурной сферы[1]. К концу столетия по всей России открылось около 80 музеев исторического профиля[2], в Сибири действовало 18 музеев, в основном, при обществах изучения края, а также при учебных заведениях или городских самоуправлениях. В городах, где не было научных обществ, местная общественность объединялась вокруг статистических комитетов (Якутск, Семипалатинск и Тобольск)[3].

4 марта (20 февраля по стар. ст.) 1887 г. Якутский областной статистический комитет «желая, по примеру других статистических комитетов, собрать и сохранить у себя коллекции более или менее редких произведений природы и изделий человека Якутской области, для наглядного ознакомления с местною природою и культурою, а, со временем, для научных исследований ученых лиц <...> постановил обратиться к разным лицам, на содействие которых лично рассчитывает, принять участие в собирании Статистическим Комитетом коллекций, присылая ему предметы, могущие представить какой-либо интерес в том или другом отношении и тем самым поддержать полезное и заслуживающее общественного сочувствия начинание. В будущем же, если приглашение этих лиц к содействию в собирании Комитетом местных предметов будет иметь успех, устроить при Комитете музей, для чего испросить, вместе с утверждением устава музея, и необходимое разрешение на открытие его»[4].

Составленная секретарем Статистического Комитета А. И. Поповым программа для сбора экспонатов была одобрена на заседании 4 октября (22 сентября по стар. ст.) 1887 г., и в количе-

[1] Равикович Д. А. Из истории организации сибирских музеев в XIX в. // История музейного дела в СССР. Сборник статей. М., 1957. — С. 164–165.

[2] Разгон А. М. Исторические музеи в России 1861–1917 гг. Диссертация на соискание ученой степени доктора исторических наук: 07.00.02. М., 1973. — С. 269.

[3] Равикович Д. А. Из истории организации сибирских музеев в XIX в. // История музейного дела в СССР. Сборник статей. М., 1957. — С. 190–191.

[4] НА РС(Я). Ф. И-343, Оп. 1, Д. 346, Л. 6 об, 7.







Якутский музей им. Ем. Ярославского – живое пространство общения прошлого с настоящим

стве 150 экземпляров разослана по всей области с обращением к населению о пожертвованиях экспонатов для организуемого музея[5]. Тем не менее, видимо, работа над программой продолжалась, поскольку «Быстрое развитие Минусинского музея», его известность «всему образованному миру», компетентность и отзывчивость его основателя Н. М. Мартьянова сподвигли А. Попова 12 октября 1887 г. обратиться к нему с просьбой прислать программы по собиранию предметов для музея по отделам: антропологическому, этнографическому, археологическому, естественно-историческому и др.[6]

Прочное основание для музея составили коллекции по результатам обследований политссыльных В. П. Зубрилова и П. А. Орлова, привлеченных к работе музея, совершивших поездку в Намский и Мегинский улусы в 1888 г. на средства статистического комитета[7].

Открытие музея (первой экспозиции) состоялось 7 июня (26 мая по ст. ст.) 1891 г. Первый музей Якутии был освящен церковью в связи с официальным открытием первой музейной экспозиции для посетителей[8]. С момента открытия музей находился в ведении Якутского областного статистического комитета, затем в 1911 г. перешел в ведение Общества изучения Сибири и улучшения быта, организованного по инициативе академика В. В. Радлова, с 1915 г. — в подчинение Якутского Отдела Русского географического общества[9].

С 1891 г. начаты периодические экспедиции Якутского музея по региону по сбору минералогических, ботанических, зоологических, палеонтологических и этнографических материалов. В 1919 г. состоялась первая экспедиция Н. Н. Грибановского по вскрытию якутских арангасов, и с 1933 г. полевые работы археологического плана стали регулярными.

[5] Федоров Г. Д. Якутский музей имени Ем. Ярославского. Якутск, 1941. — С. 6.

[6] Фонды Минусинского краеведческого музея им. Н. М. Мартьянова. МКМ ОФ 10723/14. Л. 17–19.

[7] Винокуров П. В. Музеи Якутии. Исторический очерк. — Якутск, 1991. — С 16.

[8] НА РС(Я). Ф. 1407. Оп. 1. Д. 482. Л. 171.

[9] Федоров Г. Д. Якутский музей имени Ем. Ярославского. Якутск, 1941. — С. 20–21.







Якутский музей им. Ем. Ярославского – живое пространство общения прошлого с настоящим

Пополнение же археологическими материалами музейного собрания началось с 1894 г.[10]

Несмотря на то, что Якутский областной музей им. Ем. Ярославского в 1925 г. не вошел в список музеев, находящихся в ведении Главнауки РСФСР, но материальная помощь Главнаукой музею оказывалась [11].

Деятельность Якутской комиссии Академии наук СССР (1925–1930 гг.) (далее — КЯР) имела весьма плодотворное влияние на деятельность музея. Академией наук СССР музей был принят под шефство[12]. С 11 августа 2025 г. на должность «заведывающей Якутским Областным музеем имени Ем. Ярославского» назначается Мария Марковна Измайлова[13], окончившая Институт живых восточных языков и этнографический факультет Географического института, «приняла музей» Измайлова 12 октября[14]. С нею были приглашены также на должность препаратора — сотрудник академической экспедиции М. А. Габшевич и в 1927 г. заведующего отделом природы — сотрудник Зоологического музея К. Е. Воробьева[15]. «Комиссия по изучению Якутской АССР в порядке шефства обновила Краевой Музей, по её мысли и при её непосредственном участии создана Картинная галерея»[16].

Так, при содействии Академической базы в г. Якутске и местного научно-исследовательского общества «Саха кэскилэ» была организована деятельность Вилюйской зоолого-ботанической экспедиции, состоявшей

[10] Приложение № 6 «Перечень экспедиций Якутского музея за 1891–1941 гг.», приложение № 8 «Перечень археологических раскопок, материалы которых хранятся в якутском музее» // Федоров Г. Д. Якутский музей имени Ем. Ярославского. Якутск, 1941.- С. 108–111.

[11] Винокуров П. В. Музеи Якутии. Исторический очерк. — Якутск, 1991. — С. 47.

[12] НА РС(Я). Ф. Р-1407, Оп. 1, Д. 495, Л. 187.

[13] НА РС(Я). Ф. Р-60, Оп. 1, д. 2793, л. 2.

[14] НА РС(Я). Ф.1407, оп.1, д. 8, л. 22.

[15] НА РС(Я). Ф. 1407, оп. 1, д. 246, лл. 25–26.

[16] НА РС(Я). Ф.Р-68, Оп. 1, Д. 8 Л. 1, 2.

из местных кадров, за исключением ее руководителя К. Е. Воробьевой. Ботанические и зоологические материалы после оперативной обработки сотрудниками Академии наук передавали музею. В 1926 г. сотруднику музея Н. Н. Москвину и двум членам краеведческого кружка была предоставлена возможность вести сбор материалов в составе биологического отряда экспедиции. В 1927 г. материалами по этнографии эвенков (600 экспонатов), переданными руководителем подотдела этнографического отряда В. Н. Васильевым, обогатился вновь созданный отдел народностей Севера. С этого момента шло систематическое пополнение коллекции музея поступлениями из отрядов экспедиции Академии наук. В 1927 г. КЯР к комплектованию фондов музея подключила Зоологический музей (г. Москва), из которого материалы поступали вплоть до 1930 г. Музей при содействии Комиссии также установил связи с Историческим музеем и Ботаническим садом Академии Наук СССР[17].

В 1926 г. по решению Якутского правительства была закончена достройка здания бывших архиерейских покоев на территории бывшего Спасского монастыря. Переезд в здание состоялся 16–21 апреля 1926 года. 7 ноября 1926 г. в новом здании после «окончательного ремонта» торжественно открылась экспозиция из трех залов (история и археология, историко-революционный и выставка «Медицина в Якутии»), а чуть позже открылся также новый отдел малых народностей ЯАССР[18]. Это здание и по сей день остается основным зданием Якутского государственного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского (нынче не используется ввиду аварийности).

Наиболее ценные поступления 1930-х годов связаны с самостоятельными археологическими раскопками музея.

В 1940 г. музей получил новый статус — республиканский краеведческий музей. С этого момента он стал головным музеем республики и научно-методическим центром музейной сети Якутии.

В годы Великой Отечественной войны, отдавая приоритет военно-патриотической работе, работники первого музея Якутии продолжали археологические изыскания (И. Д. Новгородов и С. И. Боло). Полностью поступили в музей сборы Ленской историко-археологической экспедиции под руководством А. П. Окладникова. Заметный пробел в комплектовании фондов коллекциями по культуре народов Севера Якутии восполнила этнографическая коллекция, переданная руководителем Оленекско-Джелендинской экспедиции (1944–1945) И. С. Гурвичем.

И если результаты полевых исследований А. П. Окладникова, работавшего в 1940–1943 гг. в Якутском музее старшим научным сотрудником, на сегодня после передачи во временное пользование якутским археологам на достаточно длительный срок не предполагается возможным определить как сохранившиеся, то итоги археологических раскопок 1930-х гг. И. Д. Новгородова, М. И. Ковинина, С. И. Боло (XVII–XVIII в.) до сих пор относятся к наиболее востребованным музейным предметам как среди исследователей, так и среди населения.

По отдельным поручениям для Главнауки музей собирал сведения по Кафедральному собору, бывшей воеводской канцелярии и «реставрированной башни», в том числе о проведенных в них капитальных ремонтах, пристройках и т.д.[19]. С 1939 г. Якутский музей развернул работы по изучению, охране и использованию исторических памятников[20]. В 1960 г. сотрудниками Якутского музея были проведены осмотр и впервые произведен обмер Зашиверской церкви[21].

[17] Винокуров П. В. Музеи Якутии. Исторический очерк. — Якутск, 1991. — С. 50–52.

[18] НА РС(Я). Ф.1407, оп. 1, д. 8, л. 80.

[19] НА РС(Я). Ф.1407, оп. 1, д. 8, л. 35.

[20] Винокуров П. В. Музеи Якутии. Исторический очерк. — Якутск, 1991. — С. 69.

[21] ЯГОМ КП-41584.







В 1950–1960-е гг. музей проводил большую работу по восстановлению и расширению музейной сети республики. Возобновилась деятельность отдельных районных музеев. 26 января 1978 г. было принято постановление Совета Министров Якутской АССР № 22 «О создании Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского». В связи с этим ряд районных музеев был преобразован в его филиалы: Дом-музей «Большевики в якутской ссылке», Дом-музей Ем. Ярославского, Дом-музей Серго Орджоникидзе, Литературный музей им. П. А. Ойунского, Тандинский историко-революционный музей им. Г. И. Петровского, Нюрбинский музей дружбы народов, Амгинский музей истории гражданской войны в Якутии, Мегино-Кангаласский музей трудовой славы, Зырянский музей истории и культуры народностей Севера Якутии, Алексеевский музей политической ссылки, Олекминский музей истории земледелия Якутии, Вилюйский районный краеведческий музей им. П. Х. Староватова, Чурапчинский районный краеведческий музей, Намский историко-этнографический музей.

Централизация музейной сети была проведена под руководством директора музея Е. С. Шишигина. Таким образом, были созданы новые районные и городские музеи, спасены и отреставрированы уникальные коллекции материальной и духовной культуры народов Якутии. В 1977–1982 гг. был сделан заметный шаг в сторону усиления предметной основы экспозиции, использования новых походов к ее архитектурно-художественному решению.

На сегодня кроме трех объектов в Якутске: Дом-музей «Якутская ссылка», Мемориальный дом-музей М. К. Аммосова и Дом-музей Е. М. Ярославского, музей имеет филиалы в Таттинском улусе — Черкехский историко-мемориальный музей «Якутская политическая ссылка» (музейный комплекс) имени Дмитрия Кононовича Сивцева (Суорун Омоллоона) и Музей государственности Республики Саха (Якутия) имени Платона Алексеевича Ойунского, в Намском улусе — Республиканский музей истории государственности Республики Саха (Якутия) имени Максима Кировича Аммосова и в Верхневилюйском улусе — Музей государственности Республики Саха (Якутия) имени Исидора Никифоровича Барахова.

Пополнение фондов Якутского музея наиболее значимыми предметами происходит благодаря сотрудничеству с научными учреждениями Сибирского отделения РАН, расположенными в Якутске.

Так, скелет гренландского кита, представленный на территории музея, был раскопан в 1973 году







палеонтологической экспедицией Института геологии Якутского филиала СО АН СССР и передан в музей. В 1982 году скелет был отреставрирован, передан музею и смонтирован на его территории д.б.н. П. А. Лазаревым, Г. Г. Никифоровым и ст.н.с. отдела природы музея А. И. Бурнашевым.

В 1988 г. силами ученых из Палеонтологического института (Москва) и Института геологии (Якутск), были впервые определены группы динозавров и установлено присутствие в фауне Тээтэ хищных динозавров, стегозавров и завропод. Тээтэ является одним из немногих меловых местонахождений с обнаруженными остатками стегозавров[22]. Окаменелые позвонок и лопатка стегозавра ныне хранятся в фондах Якутского музея. Благодаря сотрудничеству с ИГАБМ СО РАН в 2010 г. также был издан каталог остеологической коллекции Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского[23].

Археология — незыблемый фундамент музейного дела для исторических музеев. При наличии столь давних традиций музей не потерял свои кадры в данной сфере[24]. В последние годы партнерские связи с археологами расширяются. В 2025 г. фонды музея пополнились фрагментами археологического дерева, в том числе постройки, в которой в 2024 г. сургутские археологи из «Северной археологии» в ходе масштабных археологических раскопок в исторической части города на территории Якутского острога обнаружили самые восточные в России берестяные грамоты. В дальнейшем для сохранения и популяризации историко-культурного наследия города на территории Якутского музея планируется создание музейной экспозиции, посвященной археологическому дереву.

Летом 2026 г. в сотрудничестве с археологами Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова и Института гуманитар-

[22] Колосов П. Н., Скучас П. П., Витенко Д. Д., Аверьянов А. О. Полярное местонахождение динозавровой фауны Тээтэ (Восточная Сибирь, Якутия). Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2023;28(4):540–549. https://doi.org/10.31242/2618-9712-2023-28-4-540-549

[23] Боескоров Г. Г. Каталог остеологической коллекции Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского. — Якутск: изд-во «Дани-Алмас», 2010. — 72 с.

[24] Попов В. В. Грунтовые погребения якутов XV века (реконструкция погребальных традиций по результатам археологических исследований 2004–2011 гг.) / В. В. Попов // Культурное наследие Северной Евразии: проблемы и перспективы освоения: Сборник материалов международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения Л. Н. Гумилева, Якутск, 22–23 марта 2012 года — Якутск: Международный центр научно-исследовательских проектов, 2014. — С. 237–241.







ных исследований и проблем малочисленных народов Севера СО РАН при поддержке гранта Научно-образовательного фонда поддержки молодых учёных Республики Саха (Якутия) в местности Ымыяхтаах в Усть-Алданском районе Якутский музей им. Ем. Ярославского организовал работу Республиканской полевой этнолого-археологической школы для молодых учёных. Студенты и молодые специалисты получили возможность принять участие в археологических исследованиях на реальных объектах, освоить методы проведения раскопок, фиксации находок и обработки археологических материалов под руководством опытных специалистов.

Работа музейных работников над изучением якутского национального костюма начинается, пожалуй, с Измайловой М. М., которая представила результат своих работ по якутской одежде в 1928 г. в исследовательское общество «Саха кэскилэ»[25]. С тех пор археологическая коллекция Якутского музея активно используется в качестве источниковой базы этнологами и, прежде всего, при изучении традиционной одежды народов Севера[26].

Безусловно, история формирования и популяризация музейного собрания относится к приоритетным направлениям деятельности музея[27].

Вместе с тем сотрудники музея наращивают свои научные компетенции в более широком направлении. Так, сотрудник сектора природы В. В. Бочкарев принимает участие в орнитологических экспедициях Института биологических проблем криолитозоны СО РАН, СВФУ им. М. К. Аммосова, Национального парка «Ленские столбы», совмещая экспедиционные цели

[25] НА РС(Я). Ф.1407, оп. 1, д. 499, л. 2об.

[26] Напр., Петрова С. И. Якутский головной убор "дьабака": материал и технология / С. И. Петрова // Современная научная мысль. 2022. № 6. — С. 247–253. DOI 10.24412/2308-264X-2022-6-247-253.

[27] Торговкина Н. И. Фронтовые письма учителя Н. В. Егорова из фондов Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Е. М. Ярославского.1942–1944 гг. // Исторический архив. — 2017. — № 5. — С. 66–78; Илларионова Ю. В. Краткий обзор предметов из металла и дерева из коллекции И. С. Гурвича в фондах Якутского государственного объединенного музея истории и культуры народов Севера им. Ем. Ярославского / Ю. В. Илларионова // Эхо арктической Одиссеи: судьбы этнических культур в исследованиях ученых-североведов: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Якутск, 14–15 ноября 2019 года. — Якутск: Электронное издательство Национальной библиотеки РС(Я), 2019. — С. 492–500. — DOI 10.25693/Gurvich.2019IllarionovaUV



с практическим работами по сбору материалов для просветительской работы[28]. Заведующий сектором истории С. Г. Слепцов, специализируясь по теме городской истории повседневности[29], постепенно расширяет тематику области научных интересов, исходя из собрания музея[30].

Якутский музей обеспечивает научно-методическое сопровождение всех 49 муниципальных музеев с 23 филиалами. Принимая во внимание одну из основных ролей музеев — просветительскую, наличие распространенной музейной сети (по данным 2026 г. всего в Якутии действует 95 государственных и муниципальных музеев и их филиалов) в условиях занимаемой огромной площади и весьма низкой плотности населения (0,3 чел. / кв. км.) демонстрирует востребованность музейной деятельности в регионе, но не компенсирует инфраструктурные ограничения, обусловленные географическими и демографическими факторами. Стратегическая ценность музейной сети региона заключается в сохранении автономности и самобытности каждого учреждения («каждый музей ценен по факту своего существования»).

В 2026 г. руководители и представители музеев Республики Саха (Якутия), признавая особую роль музеев как институтов хранения памяти народов Севера и Арктики, призванных являть собой центры просвещения и диалога поколений, пространства, где прошлое служит ресурсом для будущего развития территорий, признавая необходимость системной координации для обеспечения долгосрочной устойчивости музейной сферы, заявили о создании Ассоциации музеев Республики Саха (Якутия), основанной на принципах научности и достоверности, целостности и единства, уникальности и локальной идентичности, доступности и инклюзивности, преемственности и уважения к традициям, устойчивости и партнерства.

[28] Габышев В. Ю., Исаев А. П., Соломонов Н. Г., Шемякин Е. В., Бочкарев В. В., Кириллин Р. А., Протопопова О. Н., Лукин А. Р. Дневные хищные птицы г. Якутска и его окрестностей // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. 2024. Т. 21. № 3. С. 7–17. — DOI 10.25587/2222-5404-2024-21-3-7-17; Габышев В. Ю., Исаев А. П., Бочкарев В. В. и др. Питание беркута на средней Лене, Якутия, Россия // Пернатые хищники и их охрана. — 2023. — № S2. — С. 26–29. — DOI 10.19074/1814-8654-2023-2-26-29.

[29] Слепцов, С. Г. Православные праздники и святые в контексте истории Якутской крепости XVII в. // Сборник трудов Якутской духовной семинарии. — 2021. — № 11–12. — С. 104–110. — DOI 10.24412/2686-9497-2021-11-12-104-110.

[30] Слепцов С. Г. Обзор коллекции охотничьих ружей с кремневыми замками, хранящейся в Якутском музее им. Ем. Ярославского / С. Г. Слепцов // Мир оружия: история, герои, коллекции: сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Тула, 07–09 октября 2020 года / Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Тульский государственный музей оружия». — Тула: Федеральное государственное бюджетное учреждение культуры «Тульский государственный музей оружия», 2021. — С. 477–482. — DOI 10.51942/9785990636392_477.

