

## **ЭКОЛОГИЯ И КЛИМАТ**

Экспертное мнение

Мониторинг и моделирование

Утилизация и очистка

Умные технологии и продукты





наука — и  
ТЕХНОЛОГИИ

Сибирское отделение  
Российской академии наук

«Наука и технологии»

Информационное издание,  
выпуск 1 — Экология и климат.

Новосибирск, 2021 г.

Главный редактор:  
академик Валентин Пармон.

Редакционный совет:  
академики Михаил Воевода,  
Николай Колчанов, Василий  
Фомин, Дмитрий Маркович,  
генеральный директор АО «Ака-  
демпарк» Дмитрий Верховод,  
заместитель полномочного  
представителя Президента  
России в СФО Вадим Головки,  
председатель Совета ректоров  
СФО профессор Николай Пусто-  
вой, заместитель председателя  
СО РАН д.ф.-м.н. Сергей Сверчков  
(ответственный за выпуск).

Редакционная группа:  
Сергей Сверчков, Анастасия  
Гольшева, Лариса Деева,  
Владимир Ларин, Андрей  
Соболевский.

Дизайн: Анастасия Гольшева.

Фото: ТАСС, «Наука в Сибири»,  
Владимира Короткоручко,  
авторов представленных  
в выпуске разработок и из  
открытых источников.

Новосибирск, 630090,  
проспект Лаврентьева 17, к.224  
тел: 8(383) 217-45-78  
e-mail: l.batraeva@sb-ras.ru

Отпечатано в типографии.....

Подписано в печать  
«\_\_» июня 2021 г.

Тираж 550 экз.







Ученые Сибирского отделения РАН во время  
Большой норильской экспедиции

# В номере

6

Приветствие  
главного редактора

экспертное мнение

Сберечь Сибирь,  
страну, планету

8

экспертное мнение

Моделируем наихудшее,  
чтобы добиться наилучшего

12

16

экспертное мнение

Работа на благо  
Байкала



Мониторинг  
и моделирование

20

40

Очищение

59

Рекультивация

Умные энергетика  
и продукты

66

## Уважаемые коллеги!

У вас в руках — «Наука и технологии», новое информационное издание Сибирского отделения РАН. Наша аудитория — инновационные подразделения высокотехнологичных корпораций и компаний Российской Федерации и других стран, федеральные и региональные органы государственной власти, заинтересованные в совместной реализации долгосрочных проектов на основе существующих научно-технологических заделов и решений.

Тема первого номера — экология и климат. Всё, что мы имеем — сырьё, энергию, материалы, продукты, воду и воздух — мы изначально получаем из окружающей среды. От ее состояния зависит развитие экономики, социальное благополучие, здоровье и сама жизнь человека. Для России и тем более для ее главного ресурсного макрорегиона — Сибири — сохранение качества доставшегося нам природного достояния должно являться абсолютным приоритетом. Новое тысячелетие требует новой философии хозяйствования, на чем сделан акцент в моей вводной статье.

В сфере экологии, как и в других направлениях науки и технологий, Сибирское отделение РАН реализует системообразующую миссию, объединяя в исследовательские и инновационные проекты лучшие компетенции многих отраслей науки и технологий из разных организаций и ведомств. Примером тому служит Большая Норильская экспедиция СО РАН 2020 года с участием десятков специалистов из 14 институтов, обеспечившая комплексное и оперативное научное реагирование на запрос большого бизнеса и власти. Успешный опыт этой экспедиции стимулировал создание в структуре Сибирского отделения собственного научно-исследовательского центра «Экология». В СО РАН также учрежден Научный

совет по проблемам экологии Сибири и Восточной Арктики как мозговой центр и стратегический штаб исследований в этой области. Один из авторов этого выпуска, академик Андрей Георгиевич Дегерменджи, является заместителем председателя и настоящим локомотивом этого сложного коллегиального органа.

Другим важным начинанием СО РАН в сфере экологии является недавно созданный междисциплинарный консорциум научных учреждений и университетов, выигравший стомиллионный грант Минобрнауки РФ на создание цифрового двойника озера Байкал. О важности сохранения Байкала, признанного объектом всемирного природного наследия ЮНЕСКО, и проблемах, стоящих перед его исследователями, пишет глава Иркутского научного центра СО РАН академик Игорь Вячеславович Бычков.

Но основное в этом выпуске — конкретный информационный материал от десятков сибирских научных институтов и университетов: от Тюмени до Якутска, от Кызыла до Норильска. Вы увидите около 50 прикладных решений и готовых к тиражированию разработок в широчайшем спектре сохранения чистоты всего, что окружает человека. Сибирское отделение РАН готово выступить информатором и координатором в установлении новых продуктивных партнерств: экологические технологии сегодня требуются везде!

С уважением,  
Главный редактор издания «Наука и технологии»,  
Председатель Сибирского отделения РАН,  
Вице-президент РАН  
Академик Валентин Пармон



Ученые Сибирского отделения РАН во время  
Большой норильской экспедиции





# Сберечь Сибирь, страну, планету



Для Сибирского отделения Российской академии наук экология — один из важнейших приоритетов междисциплинарной научно-организационной деятельности.



Валентин Пармон,  
академик, лауреат  
премии «Глобальная  
энергия»

У человечества на обозримую перспективу единственным местом обитания является только наша планета Земля. Исторически Земля разделена на страны со своим населением, которое где-то растёт, где-то стабильно, а в ряде государств идет депопуляция. Увы, в последнем списке находится и Россия: в минувшем году численность наших сограждан сократилась на 352 тысячи человек, а к 2024 году, согласно прогнозам, россиян станет меньше на 1,2 миллиона. Пандемия коронавируса унесла меньше 120 тысяч, остальные потери связаны с условиями жизни и не в последнюю очередь — с состоянием окружающей среды. Нет смысла цитировать многократные

высказывания Владимира Владимировича Путина по экологическим проблемам и перечислять государственные документы, направленные на их решение. Это и Указ Президента России от 7 мая 2018 года «О национальных целях развития Российской Федерации до 2030 года», и Стратегия научно-технологического развития РФ, это национальные проекты «Экология» и «Жильё и городская среда», множество других нормативных актов разных уровней. На мой взгляд, в этих документах не всегда достаточно четко выделена роль науки, от которой на самом деле кардинально зависит способность государства к сохранению своей экосистемы в прямом смысле этого слова.





Научное знание лежит в основе наших представлений как об отдельных состояниях окружающей среды в тех или иных локациях, так и о глобальных процессах. Недавно я с большим интересом прочитал в журнале СО РАН «Наука из первых рук» статью его основателя и главного редактора (к сожалению, недавно ушедшего из жизни) академика Николая Леонтьевича Добрецова «Климат во времени и пространстве». Автор пишет о двойных «климатических качелях» — колебании среднегодовых температур на протяжении веков и тысячелетий, а также неравномерности распределения похолоданий и потеплений по земной поверхности. Николай Леонтьевич делает два важных вывода: о явном преувеличении масштабов так называемого глобального потепления и его последствий и о приоритетности значений локальных природных изменений перед планетарными.

Будучи в основном сторонником позиции выдающегося ученого, отмечу, тем не менее, что международная экономическая и политическая конъюнктура сегодня завязана на гипотезу не просто о global warming, но и о его антропогенном происхождении. Прямым следствием таких опасений являются Парижские соглашения и участие в них России, наши обязательства по декарбонизации выбросов и созданию карбоновых полигонов (площадками двух из них определены Новосибирский и Тюменский государственные университеты), «углеродный налог» на экспортируемую продукцию, ряд других обременений и стимулов. В Сибирском отделении РАН создан компактный, но активный научный совет по мониторингу выполнения Парижских соглашений. Во втором разделе выпуска вы найдете близкие к промышленному применению разработки, в том числе связанные с выполнением Россией международных обязательств по климату, включая борьбу с углеродным следом путем управления лесными массивами.

Если же говорить о климатических изменениях субконтинентального уровня, то в Северо-Восточной Евразии на самом деле очевиден длительный тренд к потеплению. Как отмечается в отчете американского Национального центра данных по снегу и льду (NSIDC), площадь плавучих льдов в Арктике в 2020 году сократилась до 3,74 миллиона квадратных километров, это минимальный показатель за последние 40 лет. Когда арктический лед тает, моря покрывают темные пятна открытой воды.

Они активно поглощают солнечную радиацию, а не отражают ее обратно в атмосферу, как белые ледовые поля, что, в свою очередь, еще больше усиливает потепление. Именно из-за него температуры в Арктике за минувшие три десятилетия росли более чем вдвое быстрее, чем в остальном мире.

Согласно данным доктора геолого-минералогических наук Михаила Николаевича Железняк, директора якутского Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, наблюдающееся в последние десятилетия потепление в Арктике привело к сокращению площади вечной мерзлоты на 2–3 % на ее южной границе. Большая Норильская экспедиция СО РАН, упомянутая в моем приветствии читателям, установила деградацию многолетнемерзлых пород как основную причину аварии на норильской ТЭЦ-3, приведшей к разливу и попаданию в водоемы около 20 000 тонн нефтепродуктов.

Об этой экспедиции следует сообщить несколько важных подробностей. При содействии полномочного представителя Президента России в СФО Сергея Ивановича Меньяло и ПАО «Норникель» впервые в XXI в Арктике веке состоялись комплексные междисциплинарные полевые исследования силами 38 специалистов из 14 академических институтов Новосибирска, Барнаула, Томска, Красноярска, Якутска и Норильска. Суммарно было пройдено около 1 000 километров пешком, 500 — по воде, 300 — на вездеходах, сделано 6 вертолетных забросок. Собрано свыше 2 000 проб и образцов, произведено более 4 000 приборных измерений. Итогом Большой Норильской экспедиции стал отчет объемом в 1 000 страниц — далеко не только о причинах разрыва резервуара на ТЭЦ, но и о состоянии экосистем Норильского промышленного района и полуострова Таймыр вплоть до побережья Карского моря.

Концептуальным итогом экспедиции стало глубокое понимание необходимости новой парадигмы экономической деятельности в российской Арктике — с отходом от узконаправленного «освоения» отдельных объектов и с опорой на научные подходы к обоснованию и реализации крупных межотраслевых и межрегиональных проектов — таких, как Попига́й (импактные алмазы и продукция с их применением) и Томтор (уникальные мировые запасы редких и редкоземельных металлов). К этим и другим мегапроектам должен применяться комплексный подход, при котором прорабатывается не только добыча и логистика, но и все производственные цепочки вплоть до вывода на рынки продуктов высокой добавленной стоимостью, а также решение социальных и, конечно же, экологических проблем. Арктика требует, без преувеличения, новой философии хозяйствования, основанной на понимании уязвимости экосистем, конечности природных



ресурсов, приоритетности интересов и благополучия населения. Первоисточником такой философии может стать — и уже становится — академическая среда, но она нуждается в солидарном принятии властью и бизнесом.

Антропогенные нарушения экосистем характерны, к сожалению, не только для арктической зоны, но и для Сибири в целом. Сценарий норильской аварии так или иначе повторяется и будет повторяться на предприятиях с изношенными строениями, сооружениями и оборудованием, с недостаточным инженерным и экологическим контролем, низкими мотивациями руководства и персонала. Кроме этого, в Сибирском макрорегионе за столетие его индустриального освоения накоплены огромные количества опасных отходов. Это печально известные хранилища лигнина, оставшиеся после закрытия Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, технологии утилизации которых прошли экспертизу СО РАН. Это отвалы и хвостохранилища горнодобывающих компаний, при разрушении которых выделяется целый букет вредных для человека и природы веществ, а также заброшенные разрезы, карьеры, скважины, рудники и шахты. Это замаскированные скотомогильники, способные стать источником страшных эпидемий, подобных вспышке сибирской язвы на Ямале в 2016 году.

Не будем забывать и о промышленном загрязнении водоемов (недавно НИЦ «Экология» СО РАН исследовал одну из утечек углеводородов в низовьях Оби), а также о тысячах, если не на порядок больше, лесных делянок, на которых после заготовки товарной древесины остаются мегатонны разлагающейся органики, что становится причиной пожаров и размножения насекомых-вредителей. Сибирские академические институты и университеты предлагают, как вы убедитесь, эффективные технологии утилизации всех перечисленных выше (и не только) видов отходов, а при невозможности таковой — надежного и безопасного захоронения с хорошо проработанной рекультивацией на таких объектах.

Очагами экологического неблагополучия являются многие сибирские города. Кроме промышленных предприятий и энергетических компаний, прессинг на окружающую среду там оказывает транспорт (прежде всего автомобильный, особенно простаивающий в пробках) и сами жители, неизбежно оставляющие большое количество повседневных отходов. Из 12 городов России, выделенных в президентском Указе 2018 года «О национальных целях...» как самые загрязненные, половина — Братск, Красноярск, Новокузнецк, Норильск, Омск и Чита — находятся в Сибири. В докладе Минприроды РФ о чистоте воздуха, опубликованном по итогам того же года, сибирских городов в «черном списке» гораздо больше (только в Иркутской области таковых восемь), и доля их во всероссийском масштабе, к сожалению, еще выше.

Поэтому исследование состояния городских и пригородных экосистем и выработка действенных рекомендаций по устранению экологических нарушений является приоритетной задачей СО РАН и многих институтов под его научно-методическим руководством. Условиями жизни в городах занимается одна из секций Научного совета СО РАН по проблемам экологии Сибири и Восточной Арктики (ПЭСВА), а коллективы исследовательских институтов и университетов макрорегиона располагают широкой палитрой разработок и технологий по мониторингу и очищению городской среды. Хотелось бы особо выделить установки, созданные в ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» и Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН для эффективной утилизации различных видов отходов, включая бытовые и биомедицинские. Интересен и опыт Центрального сибирского ботанического сада СО РАН, предлагающего комплексные решения по озеленению и ландшафтному дизайну городов. К сожалению, я вынужден констатировать, что большинство сибирских муниципалитетов слабо интересуются разработками ученых и не торопятся адаптировать их для решения острейших экологических проблем, хотя вся необходимая информация распространяется и в СМИ, и на открытых мероприятиях — таких как форумы «Технопром» и «Городские технологии».

Для Сибири в теплое время года специфичны два бедствия смешанного природ-



но-антропогенного происхождения — наводнения и лесные пожары. Ежегодно они уносят десятки жизней и наносят ущерб нашей и так неустойчивой экономике на десятки миллиардов рублей. Не все опасные проявления огненной и водной стихии удается предупредить либо преодолеть, но контроль за состоянием водоемов и лесных массивов в режиме реального времени позволяет быстро реагировать на изменение обстановки. Мониторингом сложных и обширных экосистем с применением спутниковой съемки, самолетов и беспилотников, стационарных и мобильных лабораторий занимаются коллективы ряда академических институтов Новосибирска, Томска, Красноярска, Иркутска и Якутска. Сегодня встает задача объединения всех методик и технологий мониторинга в единую вневедомственную высокоинтеллектуальную систему, способную в реальном времени отображать ситуацию, моделировать варианты ее развития и предлагать организационные и технические решения органам государственной власти и субъектам экономики.

Рассуждая об экологии, нельзя закрывать глаза и на специфичную проблему экологии информационного пространства. Так, на волне коронавирусной пандемии поднялась другая волна — недостоверных и некорректных публикаций, иногда заведомо ложных и провокационных. Сибирские ученые были в первых рядах не только сил противодействия самой инфекции (вакцины, диагностикумы, оборудование, средства защиты), но и в числе просветителей, дававших научно обоснованную информацию о заболевании и эпидемических процессах. Академик Валентин Викторович Власов, член-корреспондент РАН Сергей Викторович Нетёсов и их коллеги выступали в СМИ с разъяснениями и рекомендациями, которые, надеюсь, помогли многим людям выбрать оптимальную модель поведения и избежать болезни.

Полнотой, взвешенностью, доступностью должна отличаться и распространяемая информация об экологической обстановке. Не столь давно в российских и даже зарубежных СМИ промелькнули заголовки в стиле «Сибирские ученые засекретили...». На самом деле президиум СО РАН отложил обнародование очень обстоятельных, но тревожных докладов по экологии городов Сибири, озвученных на одном из его заседаний, до уточнения, дополнения и интерпретации некоторых сведений, взятых из открытых источников. Теперь все презентации докладчиков размещены на портале Сибирского отделения РАН, а в нашем научно-популярном издании «Наука в Сибири» опубликован их дайджест «Оценка эколого-медицинской ситуации в городах Сибири на основе открытых данных».

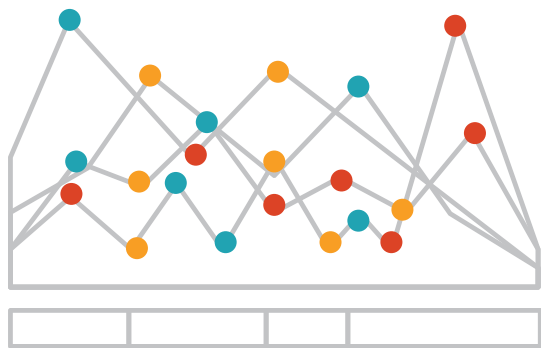
Эти материалы на самом деле демонстрируют

« СО РАН готово координировать разработку систем накопления, обобщения и применения разнообразных данных о состоянии и динамике природных и технологических систем в Арктике, а также на первых ролях участвовать в научно-технологической экспертизе проектов и решений по различным направлениям деятельности в Арктическом поясе России

Академик Валерий Крюков, директор Института экономики и организации промышленного производства СО РАН, действительный член Норвежской научной академии полярных исследований

картину, весьма далекую от благополучной. Основная цель сравнительной оценки обстановки в разных городах в первой, но не последней итерации — выделить несколько пилотных (наиболее тяжелых в экологическом отношении) городов, на которых Совет по ПЭСВА мог бы апробировать эффективные инструменты управления экологической обстановкой и систему принятия решений для снижения загрязнения и его последствий. Путь к свежему воздуху, чистым водоемам, не загрязненной природе и зеленым городам — долгий и не всегда прямой. Он требует подхода, который называют «длинная воля», то есть инициатив и действий на перспективу, нередко превышающую срок человеческой жизни. На самом деле, очищение и сохранение среды обитания — работа благо на наших детей и внуков, всех последующих поколений. И только с активным участием науки она способна принести плоды.

# Моделируем наихудшее,



# чтобы добиться наилучшего



Академик Андрей Георгиевич  
Дегерменджи,  
Директор Института биофизики  
ФИЦ «Красноярский научный  
центр СО РАН

Глобальное потепление и карбонизация атмосферы — не миф, а очевидный климатический тренд. Чтобы избежать его негативных последствий, наука должна предоставить человечеству доказательные сценарии развития обстановки на планете.



Сегодня мы не перегреваемся и тем более не задыхаемся, хотя углерода в земной атмосфере содержится от 500 до 750 гига-тонн, в наземной биомассе — от 600 до 850, в почве — до 2 000 гига-тонн. Общий диапазон естественных выбросов  $\text{CO}_2$  составляет 50–65 гига-тонн в год. Но эти цифры ничего не говорят, если не рассматривать их в динамике. А динамика очень настораживает. По окончании последнего ледникового периода в течение 10 миллионов лет среднегодовая температура росла очень медленно в геологическом масштабе времени: за всё это время повысилась на 5 °С. Но с 1860 года — исторически это начало массовой индустриализации Европы и Северной Америки — она поднялась на 0,80 °С, то есть скорость выросла на несколько порядков. При этом за два последних столетия нагрев атмосферы наблюдается над 98 % земной поверхности, что бы ни говорили скептики о «локальном характере» потепления. Поэтому даже не имея полного комплекса знаний о силе нарастающего парникового эффекта, мы должны застраховать себя от будущих возможных негативных последствий, считая этот эффект действующим. Еще раз отметим, что скорость нарастания температуры, коррелирующая с ростом парниковых газов (особенно  $\text{CO}_2$ ) никакими геологическими механизмами объяснима быть не может!

Тогда теоретический анализ механизма парникового эффекта требует учета биологического круговорота углерода ( $\text{CO}_2$ ) и других элементов. В свое время академик В.И. Вернадский сформулировал принцип замкнутости, согласно которому жизнь в земной биосфере может существовать только вследствие высокой замкнутости циклических многократных превращений веществ, осуществляемых всеми живыми организмами за счет энергии Солнца. Биосфера поддерживала стабильный уровень  $\text{CO}_2$  в атмосфере 20 миллионов лет именно за счет круговорота. Если остановить фотосинтез (важнейший из природных круговоротов), то весь углекислый газ из атмосферы поглотится примерно за 12 лет и биосфера погибнет.

Сегодня перед учеными стоит задача моделирования парникового механизма изменения климата и возможных необратимых эффектов с целью предсказания отклика региональных экосистем и биос-



Что делать в условиях неопределенности, когда знаний недостаточно? Использовать принцип предосторожности



феры в целом на наблюдаемые, а главное — ожидаемые климатические изменения. Трудностями на этом пути встают, прежде всего, высокая сложность и неопределенность вклада в углеродный обмен обратных связей системы «Биосфера-Климат», нелинейность которой делает сомнительной простую экстраполяцию глобальных временных рядов в будущее. К тому же, как указано выше, оценки содержания углерода в разных средах сильно варьируют, равно как и чувствительности климата (повышения температуры при удвоении концентрации  $\text{CO}_2$ ): от 2 до 110 °С.

Что делать в условиях неопределенности, когда знаний недостаточно? Использовать пятнадцатый принцип Декларации ООН по устойчивому развитию — принцип предосторожности. Он гласит, что недостаток информации не может служить причиной переноса на будущее мер по предотвращению деградации природной среды. Развитием принципа предосторожности является принцип наихудшего сценария, согласно которому следует строить модели самого негативного протекания эколого-климатических процессов. Эти модели более простые в сравнении с моделированием оптимального сценария, поскольку не требуют стремящегося к бесконечности количества вводимых параметров. В качестве примера можно привести расчет температуры иная на границе стекла автобуса. Если строить точную кривую, потребуются тысячи факторов, а если требуется установить максимум и минимум, их количество резко снизится.

Худшим из сценариев является тот, который приводит к порогу необратимости. А именно — когда даже в момент полного отказа от сжигания углеродосодержащих топлив всё равно раскручивается маховик прямого и обратного воздействия роста среднегодовых температур и эмиссии двуокиси углерода. Чтобы построить модель по этому варианту, ученые Института биофизики ФИЦ «КНЦ СО РАН» базируются на гипотезе скачкообразных климатических изменений, согласно которой среднегодовые температуры и содержание

двуокси углерода во всех средах растут не линейно, а перемежающимися взлетами и спадами при общей тенденции к повышению обоих показателей (что позволяет скептикам ссылаться на отдельные холодные года как аргумент против существования глобального потепления).

Поэтому наилучший вариант глобальной динамики может быть представлен простой моделью, для которой значения параметров системы «Биосфера-Климат» берутся с наиболее неблагоприятных участков внутри доверительных интервалов, а все недоказанные механизмы, способные ослабить катастрофическую динамику, исключаются из рассмотрения. Модельные переменные при этом представляют собой средние значения, которые имеют меньшую дисперсию, чем отдельные измерения.

Наибольшую опасность в рамках наилучшего сценария, по нашему мнению, представляет перспектива нарастания выхода  $\text{CO}_2$  из почвенной органики и уменьшение темпов фотосинтеза высших растений в ответ на рост глобальной температуры как взаимосвязанных процессов. Суть механизма в том, что в среднем по планете оптимальная температура фотосинтеза адаптирована к определенному значению (около  $15^\circ\text{C}$ ) и с дальнейшим нагреванием атмосферы не успеет перестроится на более высокое значение. А микрофлора, разлагающая органику почвы, в силу существенно более высокой скорости деления, чем у растений, успеет «сдвинуться» в термофильном направлении. Это должно привести к падению фотосинтеза с одновременным ростом эмиссии  $\text{CO}_2$ . Модель действительно показала наличие «даты необратимости», после которой даже полное прекращение сжигания углеводов на всей планете уже не остановит самоускоряющееся окисление почвенной органики и эмиссию  $\text{CO}_2$ . Этот эффект системы «Биосфера-Климат» красноярские ученые проверяли в принципе на физической модели — экспериментальной системе замкнутого цикла «Минибиота». Там воспроизводился полный жизненный цикл растения звездчатки средней (*Stellaria Media L.*): фазы возникновения и роста молодых побегов, активной вегетации зрелых растений, отмирания старой биомассы и возникновения всходов нового поколения

« Сегодня перед учеными стоит задача моделирования парникового механизма изменения климата и возможных необратимых эффектов для предсказания ожидаемых климатических изменений »

растений, то есть имел место стопроцентный круговорот. Выяснилось, в частности, что при повышении температуры на  $50^\circ\text{C}$  суммарная интенсивность дыхания системы превысила фотосинтез и возросла более чем в два раза. Еще больший сдвиг наблюдался при моделировании фрагмента тундровой экосистемы. Таким образом, получено дополнительное подтверждение реалистичности гипотезы об интенсификации процессов окисления органики при повышении глобальной температуры, положенной в основу минимальной модели биосферы.

Максимальная же (объединенная) модель содержит все элементы круговорота  $\text{CO}_2$  в природе: биоту и гумус Земли, биомассу океана и атмосферу. При введении в нее принципов и параметров наилучшего сценария «точкой необратимости», по нашему мнению, становится 2073 год. С этого момента даже полное прекращение сжигания углеродных топлив не остановит саморазогрев атмосферы за счет положительной обратной связи «почвенный углерод — усиление минерализации — эмиссия  $\text{CO}_2$  — рост температуры». При этом выбор конкретной модели, степень ее детальности, вообще говоря, является делом вкуса и внутренней культуры, опыта ученых — главное, чтобы она соответствовала принципу предосторожности.

Для региональных и макрорегиональных («Большая Сибирь») моделей актуально включение адекватных и полных данных об углеродном обмене двух основных экосистем: лесной и тундровой. Именно в Арктике сосредоточены огромные запасы органического углерода в почве (1 000—2 000 гига-тонн) и наблюдается повышенная скорость климатических изменений. Комбинация этих факторов может активировать потенциально опасную пози-





тивную обратную связь на глобальном уровне. Эксперименты на «Микробиоте», куда закладывался тундровый почвенный субстрат из Якутии, показали, что повышение температуры даже не на 5, а на 2 градуса может привести к серьезному сдвигу в балансе выделения и поглощения  $\text{CO}_2$  в экосистеме — от в целом близком к нулевому до стабильного выделения  $\text{CO}_2$  с интенсивностью 25 мг/дм<sup>3</sup>/час на вегетационную камеру. При этом ведущую роль, вероятно, играют процессы разложения органических остатков в почвенном слое, подверженном оттаиванию в летний период. В другом эксперименте мы выявили, используя параллельно два метода, величины стока углерода для высокоширотных (600 с.ш., 890 в.д.) зеленомошных сосняков — в летний период он составил до 120 грамм на квадратный метр в месяц; соответственно, можно оценить и годовой баланс. Экспериментальные системы и математические модели прекрасно дополняют друг друга и позволяют конкретизировать картины изменений по тому или иному сценарию.

Попутно хотелось бы избавить читателей от двух заблуждений: о значимости океана в углеродном обмене и высокой доле метана среди парниковых газов, выделяемых тундровыми почвами. Океан поставляет в атмосферу в основном водяной пар, а морская биота практически не влияет на годовую динамику атмосферной концентрации  $\text{CO}_2$ , работая как углеродный «пылесос». Динамика двуокиси углерода на планете по расчетам определяется в основном сезонной динамикой бореальных лесов. Поверхность же тундры генерирует прежде всего двуокись углерода, а выбросы метана являются отдельными эпизодами наподобие знаменитой Ямальской воронки и ей подобных.

При этом настоящими «зелеными легкими» Сибири и Восточной Арктики представляется не тайга (жизненный цикл дерева в итоге даст нулевой баланс «сток—эмиссия»), как можно было бы подумывать, а болота. Поглощая углекислый газ, они переводят его в торф, который, погружаясь, выводит содержащийся в нем углерод из глобального оборота на длительный период. А значит, измерять величину углеродного следа и поглощения  $\text{CO}_2$  нужно не только площадью молодых лесных массивов, но и болот, как бы ни трудно было проводить на них практические замеры в достаточном количестве. Если же вернуться к лесам, то там следует избавляться от переросшего древостоя, который нельзя допускать до окисления: максимальный срок действия дерева как поглотителя двуокиси углерода в среднем составляет десятки лет.

В целом перед учеными, и не только российскими, встает актуальнейшая задача уточнения, контроля и формирования предложений по корректировке общего углеродного баланса биосферы на основе принципа замкнутости, данных дистанционного зондирования Земли и прямых измерений  $\text{CO}_2$ . Если говорить о нашем гигантском макрорегионе, то требуется создание «цифровой карты углеродного баланса Сибири» на основе мозаичной модели биосферы как совокупности экоклиматических доменов. Такая модель позволит экстраполировать оценку баланса углеродных потоков с изученных участков на весь домен и ему подобные с оценкой нижней и верхней границ параметров (вспомним пример температурной инея на границе автобусного стекла). Такая модель должна впоследствии дополниться глубоко и ответственно проработанным экономическим блоком, предусматривающим риски и выгоды макрорегиона на рынке углеродных квот, который неминуемо распространится и на Россию.

И последнее: есть ряд моментов, которые требуют некоторого международного согласования (утверждения) до начала выбора методов, математических моделей, полигонов и прочего, чтобы потом, через многие годы, при подведении итогов годовых балансов парниковых газов в целом по Сибири нас, как уже бывало, не обвинили в некоторых отклонениях от «общепринятого» и других нарушениях, сводящих огромную работу на нет. Необходимо хорошо продуманная «дорожная карта» углеродного следа Сибири, которая включает работу почти всех Объединенных ученых советов СО РАН и проведение специального рабочего обсуждения в формате «мозгового штурма». По сути актуализированная группа по Парижскому соглашению СО РАН во главе с академиком Е.А. Вагановым должна организовать эту работу и составить очень нужную всем «дорожную карту».



# Работа на благо Байкала

Озеро Байкал, священное в прямом смысле для многих народов море — достояние всего человечества, объект всемирного природного наследия ЮНЕСКО, и Россия несет ответственность за его состояние. Сохранить эту жемчужину планеты можно только всесторонне изучая, поэтому в Сибирском отделении РАН 19 лет назад был создан Научный совет по проблемам озера Байкал.

Он состоит из ведущих ученых, представляющих 33 научных организации и университета (не только сибирские) независимо от их ведомственной принадлежности, находящихся под научно-методическим руководством Сибирского отделения РАН. Это 43 специалиста, в том числе 11 академиков и 10 членов-корреспондентов РАН, 16 докторов и 6 кандидатов наук. Их задачи — формирование консолидированной позиции научного сообщества в сфере охраны озера Байкал, координация экспертной работы научных организаций по байкальской тематике, организация подготовки заключений и предложений органам власти

всех ветвей и уровней по ключевым проблемам охраны озера Байкал и предотвращения угроз его экосистеме. Объем журнальной статьи позволяет рассказать о работе Научного совета только за один год — прошедший 2020-й.

Начнем с самого важного. Первоочередной угрозой для Байкала является тотальный экологический кризис в прибрежной зоне, характеризующийся небывалым ростом нитчатых водорослей, гибелью байкальской губки и ряда других эндемиков, развитием цианобактерий и иными аномалиями. За 2012–2020 годы учеными, в первую очередь, Лимнологического института СО РАН, до-



Заместитель  
Председателя  
Научного совета  
академик РАН  
Игорь Бычков



Ученый секретарь  
научного совета  
доктор экономических  
наук Ирина Орлова





казано, что ключевой причиной кризиса является поступление загрязненных стоков в озеро. В 2020 г. была завершена разработка концепции и новой редакции «Нормативов допустимых воздействий на экосистему озера Байкал» под научным руководством Сибирского отделения РАН совместно с созданной СО РАН межведомственной рабочей группой, в которую вошли представители Иркутской области и Республики Бурятия, специалисты профессионального сообщества с участием федеральных ведомств.

Концепция подготовленных предложений в части сброса сточных вод в Байкал и его водосборную территорию (в пределах Байкальской природной территории, далее БПТ) базируется на нормативном обеспечении комплекса мер по сокращению воздействия антропогенных сточных вод на экосистему озера. 21 февраля 2020 года был утвержден Приказ Минприроды России № 83 «Об утверждении нормативов предельно допустимых воздействий на уникальную экологическую систему озера Байкал и перечня вредных веществ, относящихся к категориям особо опасных, высокоопасных, опасных и умеренно опасных для уникальной экологической системы озера Байкал», который прошел регистрацию в Минюсте за № 58181 от 23.04.2020. Таким образом, результатом работы СО РАН во взаимодействии с органами власти и профессиональным сообществом стали утвержденные требования к очистным сооружениям в водосборном бассейне, на основе которых сегодня разрабатываются проекты новых очистных сооружений и модернизации действующих.

В этом же году была создана правительственная комиссия по вопросам охраны озера Байкал (взамен

межведомственной) — в обосновании и согласованных действиях по ее формированию участвовало Сибирское отделение РАН. Это координационный орган, образованный для обеспечения согласованных действий федеральных органов исполнительной власти, руководства Республики Бурятия, Забайкальского края и Иркутской области при решении задач охраны озера Байкал. В состав этой комиссии включены представители СО РАН, с их участием состоялось первое заседание 13 октября 2020 г. По поручению вице-преьера Правительства РФ и председателя правительственной комиссии В.В. Абрамченко от Сибирского отделения были подготовлены материалы по трем ключевым темам:

- проблемы и решения в сфере сохранения озера Байкал;
- создание системы мониторинга уникальной экосистемы озера Байкал;
- предварительный план трансформации Байкальска из бывшего моногорода в современный кластер с диверсифицированной экономикой до 2030 года.

В целях ликвидации накопленного ущерба деятельности Байкальского ЦБК заключено соглашение СО РАН, Росатома и Росприроднадзора о подготовке и научном сопровождении соответствующего проекта. В поручения Правительства РФ и государственный контракт с единственным исполнителем (ФГУП «ФЭО» Росатома) включены положения о необходимом получении положительного заключения СО РАН на технологические предложения и концепцию ликвидации накопленного вреда БЦБК. Сибирское отделение участвует в подготовке «дорожной карты» реализации проекта, консультациях и совещаниях по первоочередным и долгосрочным мероприятиям. В соответствии с контрактом СО РАН и ФГУП «ФЭО» подготовлен анализ технологических предложений по ликвидации накопленного экологического вреда на Солзанском полигоне и щёлокосодержащей жидкости.

Одна из основных задач Научного совета СО РАН по Байкалу — экспертиза проектов, так или иначе способных повлиять на экосистемы озера и прилегающих территорий. Приведем два примера из практики прошедшего года. В частности, был рассмотрен, одобрен и рекомендован для реализации проект по экологически

чистому энергоснабжению Центральной экологической зоны БПТ, выполненный Институтом систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН и соисполнителями. Началось формирование плана совместных действий и проектов нормативно-методического сопровождения. По договоренности СО РАН и УралНИИ «Экология» (заказчик научных работ по федеральной программе «Сохранение озера Байкал») силами девяти институтов под научно-методическим руководством СО РАН проведена экспертиза НИР «Исследование негативного воздействия выбросов и сбросов вредных (загрязняющих) веществ в 2020 году на Байкальскую природную территорию и разработка научно обоснованных рекомендаций по их регулированию», разработанной Южно-Уральским государственным университетом и соисполнителями. УралНИИ «Экология» при приемке научного исследования в полном объеме учло заключение СО РАН.

С точки зрения Научного совета СО РАН, следует законодательно установить требование обязательной научной экспертизы любых проектов, которые могут существенно повлиять на состояние озера Байкал. В качестве важнейших можно привести острейшие проблемы преодоления экологического кризиса в прибрежной зоне озера Байкал и ликвидации накопленных отходов БЦБК на сейсмоопасной территории, о которых сказано выше.

Одной из важнейших тем, обсуждаемых на Научном совете, является участие в создании информационной системы экологического мониторинга Байкальской природной территории. Институтом динамики систем и теории управления им. В.А. Матросова СО РАН совместно с 12 другими институтами Сибирского отделения из Иркутска, Ангарска, Улан-Удэ, Томска и Новосибирска был получен грант Минобрнауки России на выполнение крупного проекта «Фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки Байкальской природной территории». Результатом его реализации будут новые методы, технологии, прототипы приборов, которые позволят повысить качество экологического мониторинга и прогнозирования как на территории БПТ, так и распространить полученный опыт на другие регионы. Полученные результаты обеспечат переход на новый, научно обоснованный уровень исследований взаимодействия человека и природы, позволят выработать на современном уровне систему поддержки принятия решений, что, в свою очередь, повлечет снижение рисков от угроз природного и техногенного характера.

Одним из ключевых норм правового режима Байкальской природной территории является регламентация видов деятельности. В 2020 году разраба-

тывалась новая редакция постановления Правительства РФ о тех из них, которые запрещаются в центральной экологической зоне БПТ. В принятом кабинетом министров документе учтена значительная доля замечаний и предложений Научного совета и СО РАН. В то же время некоторые принципиальные позиции этого нормативного акта остались несогласованными, что может повлечь серьезные экологические риски: в частности, недостаточно строго регламентированы вопросы строительства в границах водоохранной зоны озера Байкал и правовые изъятия для отдельных природных территорий.

Тем не менее, сам прецедент согласования текста правительственного постановления с академической наукой и общественностью является серьезным достижением. Поэтому для дальнейшего участия научного сообщества в экспертизе, обсуждении, подготовке предложений по законодательным инициативам в сфере охраны озера Байкал выработаны и направлены в органы исполнительной власти соответствующие предложения по обновлению ключевых процедур. Эти предложения уже поддержаны участниками межфракционной рабочей группы «Байкал» Федерального собрания РФ, органами власти ряда субъектов Федерации, включены в документы правительства Иркутской области. Наша позиция сводится к четырем основным постулатам:

1. Научное сопровождение федеральных проектов по вопросам сохранения озера Байкал.
2. Обязательное включение представителей Научного совета СО РАН во все рабочие группы и комиссии по проблемам, связанным с сохранением озера Байкал.
3. Направление материалов, предоставляемых в упомянутую выше правительственную комиссию по Байкалу, на предварительную экспертизу в Научный совет СО РАН.
4. Публикация обоснований изменений в нормативных актах на портале общественного обсуждения.

Корректировки законодательной базы требуются прежде всего для сокращения эвтрофикации прибрежной зоны Байкала, в том числе — создания системы мониторинга состояния прибрежной зоны озера, запуска механизмов финансирования



исследований и природоохранных мероприятий, включая строительство очистных сооружений и других объектов. В первую очередь речь идет о поселениях, расположенных на берегу Байкала, а также туристических и санаторно-курортных объектах.

Одной из актуальных и дискутируемых остается проблема формирования подхода к проблеме уровня режима Байкала. В результате длительного обсуждения Научным советом выработана следующая согласованная позиция: для определения научно обоснованного допустимого диапазона регулирования уровня озера с учетом современных экологических, социально-экономических и водохозяйственных требований необходимо выполнение комплексных исследований, сопровождающихся мониторинговыми работами. Такие могли бы быть выполнены специалистами Иркутской области и Республики Бурятия для последующего обсуждения с заинтересованными федеральными и региональными ведомствами и общественными организациями. До завершения выполнения названных исследований целесообразно продлить действие временного постановления Правительства РФ по уровню Байкала. По состоянию на май 2021 года принято соответствующее решение Минприроды России и готовится проект технического задания для указанной выше научной работы.

Основным инструментом реализации мер по охране озера является федеральный проект «Сохранение озера Байкал». К сожалению, в его текущей редакции только 10% выделяемых средств планируется направить на реконструкцию и строительство очистных сооружений в поселениях, непосредственно воздействующих на Байкал, и 60% — на меры, никак не связанные (либо весьма опосредованно) с антропогенным влиянием на озеро. К тому же в федеральном проекте практически исключены научные исследования. Отсутствие приоритетности задач и действий, а также самостоятельной отчетности и контроля динамики антропогенного воздействия на Байкал размывает ответственность заказчиков и исполнителей, а также позволяет включать и финансировать в составе федпроекта мероприятия, не имеющие отношения к охране озера. Научным советом обоснованы и сформулированы предложения по внесению серьезных изменений в перечень показателей проекта и индикаторов оценки его эффективности.

« С точки зрения Научного совета СО РАН, следует законодательно установить требование обязательной научной экспертизы любых проектов, которые могут существенно повлиять на состояние озера Байкал »

Мы включаемся и в реализацию других стратегических начинаний федерального центра. Одним из целевых показателей достижения национальной цели развития РФ «Комфортная и безопасная среда для жизни» на период до 2030 года указана ликвидация наиболее опасных объектов накопленного вреда окружающей среде и экологического оздоровления озера Байкал. Поэтому наш совет предложил создать в составе этой национальной программы направление по научному обеспечению и сопровождению разработки и реализации мероприятий для сохранения уникального природного объекта.

Работа Научного совета СО РАН по проблемам озера Байкал не знает границ. В рамках межправительственной рабочей группы мы участвуем в рассмотрении комплекса вопросов, связанных с планируемым строительством в Монголии гидротехнических сооружений на водосборной территории реки Селенга — крупнейшей из питающих Байкал. В 2020 году представители СО РАН участвовали в подготовке и проведении третьего (в онлайн-формате) заседания этого межгосударственного органа, в рамках которого представили результаты выполненных совместно с монгольскими коллегами научных исследований и экспертных работ, сформировали и согласовали планы их продолжения.

Вся работа, о которой вы прочитали выше, ведется открыто и прозрачно. На портале СО РАН создан специальный раздел, в котором регулярно публикуются официальные документы Научного совета, материалы его заседаний (доклады, презентации) и письма с позицией СО РАН по проблемам озера Байкал. Мы часто выступаем в роли экспертов для средств массовой информации — «священное море», его изучение и сохранение интересно всем и каждому.

## Расчет динамики концентрации загрязняющих веществ в воде водохранилища

Компьютерная программа Ложе–М 1.0 предназначена для оценки влияния на качество воды затопляемых древесной растительности и почв ложа проектируемых водохранилищ.

Качество воды водохранилища формируется под влиянием различных факторов, одним из которых является поступление водорастворимых минеральных и органических (в том числе и биогенных) веществ из затопленного почвенно-растительного покрова. Расчеты и использованием программы позволяют количественно оценивать изменения во времени нормируемых гидрохимических показателей качества воды в результате поступления в воду минеральных, органических и биогенных веществ из почвенно-растительного покрова после их затопления. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: считывание исходных данных из текстовых файлов в формате CSV; выполнение расчетов; сохранение рассчитанных величин в текстовых файлах или файлах формата Excel; отображение исходных и рассчитанных значений в виде таблиц и графиков.

С использованием программы на основе модели полного перемешивания выполнены расчеты концентрации загрязняющих веществ в воде Эвенкийского водохранилища, определяющих ее качество с учетом вклада затопляемых почв, растительности, древесины и речного стока.

Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2014619215

Авторы: Зиновьев Александр Тимофеевич, Балдаков Никита Анатольевич



Институт водных и экологических проблем СО РАН  
г.н.с., д.ф.-м.н., Суторихин Игорь Анатольевич,  
+7 903 910-15-86, sia@iwep.ru  
с.н.с., Ловцкая Ольга Вольфовна,  
+7 905 983-73-01, lov@iwep.ru

## «Аэрозоли Алтая» (AerosolAltai). Визуализация состава атмосферы в регионе

На основе многолетних наблюдений за характеристиками атмосферных аэрозолей в приземном слое воздуха, проведенных в Алтайском крае и Республике Алтай в период 1991-2012 гг., создана программа «Аэрозоли Алтая».

Программа «Аэрозоли Алтая» использует информацию о микрофизических параметрах аэрозолей: спектрах размеров частиц, элементном и ионном составех, массовой концентрации, данные о метеопараметрах в пунктах отбора проб, а также результаты исследований качества атмосферного воздуха и заболеваемости населения г. Барнаула.

С целью обеспечения доступа к информации как можно большего числа специалистов в области космомониторинга, физики атмосферных аэрозолей и т.п. интерфейс программы «Аэрозоли Алтая» реализован в виде интерактивной векторной карты гипертекстового формата.

Авторы: И.А. Суторихин, О.В. Ловцкая, Б.Н. Дмитриев

Визуальное представление карты региональных единиц Республики Алтай



Институт водных и экологических проблем СО РАН  
г.н.с., д.т.н., Зиновьев Александр Тимофеевич  
+7 906 940-94-77, zinoviev@iwep.ru  
инженер, Балдаков Никита Анатольевич,  
+7 923 160-79-25, nikita-baldakov@yandex.ru



# Способ экологического мониторинга на законсервированных участках горных работ

Оценка воздействия опасного производства на компоненты природной среды с учетом ПДК и регионального фона.

Разработан способ экологического мониторинга на законсервированных участках, включающий мониторинг законсервированного участка горных пород и сравнение с предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Одновременно с мониторингом законсервированного участка проводится фоновый мониторинг природного аналога, не испытывавшего техногенного воздействия, но находящегося в тех же природных условиях; после сравнения полученных результатов делается вывод о степени изменения законсервированного участка, а окончательную оценку его состояния производят с учетом экологических норм региона.

Мониторинговые исследования компонентов природной среды были опробованы на трех законсервированных участках филиала «Разрез «Тулунуголь» ООО компания «Востсибуголь» (участок «Разрез Азейский») в течение 5 лет.

Настоящая разработка относится к области экологического мониторинга, в частности, к экологическому мониторингу горных разработок полезных ископаемых, и может применяться при добыче полезных ископаемых и внедрении мер по охране окружающей среды.

Получен патент: RU 2655623 C2, 29.05.2018.

Ранее были разработаны и запатентованы:

1. «Способ экологического мониторинга опасных производственных объектов» по патенту РФ № 2413220 от 26.10.2009, который предназначен для оценки состояния природной среды и сравнения с установленными нормативами качества природной среды в виде предельно допустимых концентраций (ПДК). Патентообладатель Федеральное государственное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии» (RU);

2. «Способ экологического мониторинга

Новизна научного результата заключается в повышении точности оценки воздействия объектов экологического мониторинга на компоненты природной среды при помощи сравнения состояния компонентов природной среды с предельно допустимыми нормативными нагрузками с учетом данных по природному аналогу (фоновых) и экологическими нормативами региона.

объектов уничтожения химического оружия» (патент RU2303780 C2 от 10.05.2007), включающий отбор проб поверхностных, грунтовых и подземных вод, снегового покрова, донных отложений, почв, анализ проб и обработку данных, запись результатов в аналитическую базу данных. По результатам обработки данных анализа проводят оценку экологической обстановки в зоне объекта хранения и уничтожения химического оружия. Сравнение всех проб проводят в соответствии с нормами на предельно допустимые концентрации (ПДК) каждого конкретного вещества. Патентообладатель Ассоциация делового сотрудничества организаций и предприятий «РОСТ» (Ассоциация «РОСТ») (RU);

3. Горно-экологический мониторинг (Временное положение о горно-экологическом мониторинге, Госгортехнадзор России, 16.05.1997), который определяет цели, задачи и функции горно-экологического мониторинга, а также устанавливает порядок

его осуществления при пользовании недрами. Горно-экологический мониторинг включает наблюдения, оценку, прогноз вредного влияния горных работ на окружающую среду и подготовку рекомендаций по предотвращению этого влияния, учет запасов полезных ископаемых и их использование, а также оценку использования природных ресурсов и состояние промышленной безопасности при производстве горных работ.

Работа относится к экологическому мониторингу горных разработок полезных ископаемых и может применяться при разработке и внедрении мер по охране окружающей среды, а также при расчете экономического ущерба. Ущерб от загрязнения окружающей среды – фактические и возможные убытки, связанные с ее загрязнением (включая прямые и косвенные воздействия), а также дополнительные затраты на ликвидацию отрицательных последствий загрязнения. Денежная оценка негативных изменений формирует величину экономического ущерба. Например, ликвидация отрицательных последствий загрязнения никелем в условиях Сибири требует 659 тыс. руб. на 1 га. Но когда вводятся экологические нормативы региона, то эти затраты не нужны, если содержание элемента находится в пределах природных значений.

Разработка представляет интерес для организаций, занимающихся проблемами охраны природы и рационального природопользования, экологическим мониторингом при эксплуатации и добыче полезных ископаемых, при оценке воздействия промышленного производства на компоненты природной среды, выявлении нарушений природоохранного законодательства.

Запрос на индустриальное партнерство — покупка лицензии.



Разработанная методика экологического мониторинга опасного производства способствует более глубокому и четкому пониманию уровня экологической опасности и нанесенного урона для природы региона и направлений выхода из создавшейся ситуации. При использовании нашей разработки с учетом регионального фона возможно уменьшение экономического ущерба, а также снижение штрафных санкций и затрат на ликвидацию последствий загрязнения для предприятий при выявлении нарушений природоохранного законодательства.

Наталья Валерьевна Власова, разработчик технологии, к.г.н., старший научный сотрудник лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв ИГ СО РАН

Ирина Борисовна Воробьева, разработчик технологии, к.г.н., старший научный сотрудник лаборатории геохимии ландшафтов и географии почв ИГ СО РАН



Институт географии им. В.Б. Сочавы  
СО РАН, Иркутск  
Воробьева Ирина Борисовна, с.н.с.,  
irene@irigs.irk.ru, +79148792395  
Власова Наталья Валерьевна, с.н.с.,  
vlasova@irigs.irk.ru, +79834480665



# Компьютерная программа «Стохастическое моделирование»

Программа «Стохастическое моделирование» представляет собой совокупность алгоритмических инструментов, позволяющих в значительной мере облегчить решение задач построения, исследования и применения компьютерных моделей, описывающих различной силы взаимосвязи между характеристиками исследуемого объекта в форме оценок условных плотностей распределения вероятности. Программа — еще один оригинальный компьютерный инструмент с достаточно большими возможностями, помогающий решать задачи анализа, моделирования и прогнозирования совместной изменчивости значений большого количества переменных.

В области климатологии программа в первую очередь предназначена для исследования закономерностей, моделирования и прогнозирования совместной межгодовой изменчивости измеряемых метеорологических и гидрологических характеристик на основе данных инструментальных наблюдений за их динамикой в прошлом. Программа может также использоваться специалистами, имеющими потребность в методах анализа многомерных данных и стохастического моделирования для решения иных задач в различных областях науки и практики.

Программа создана с помощью среды программирования «Borland Delphi 5» и компилируется в виде ряда версий, различающихся между собой насыщенностью инструментами моделирования. Программа работает под управлением операционной системы «Windows». Для подготовки табличных данных о моделируемом объекте может применяться «Microsoft Excel». Для выдачи текстов помощи по работе с программой используется «Microsoft Word». Программа предполагает интерактивный режим работы с пользователем, имеет графический русскоязычный интерфейс.

Для обучения правилам работы с программой Институтом географии СО РАН в печатном виде издано «Руководство пользователя», в котором описаны инструменты программы, входящие в ее первые три более простые версии. Для более сложных версий имеется расширенный вариант «Руководства» (в формате «Word»), который включается в пакет программно-информационных материалов, передаваемых пользователю.

Работоспособность и эффективность программы проверена на тестовых задачах, на задачах мо-

делирования и прогнозирования гидрометеорологических характеристик на территории Сибири, на ряде других задач, связанных с анализом данных. Результаты этих работ отражены в публикациях автора разработки в 2010–2020 гг. и неоднократно докладывались на различных научных совещаниях.

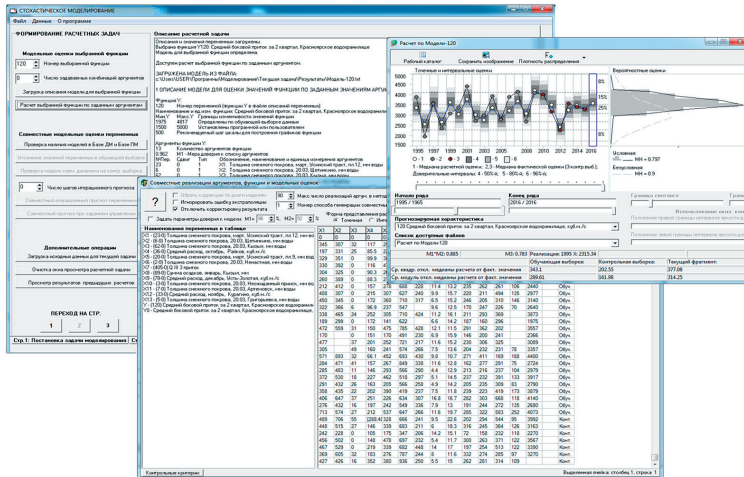
Как любой аналогичный продукт программа может использоваться в текущем ее состоянии, но может и дорабатываться в нужном направлении, если в этом возникнет такая потребность.

Основная задача, на поддержку решения которой ориентирована программа «Стохастическое моделирование», — это выявление и оценка вероятности объективного существования закономерных ограничений на совместную изменчивость характеристик исследуемого объекта. Такие ограничения выявляются на основе данных ретроспективных наблюдений за этими характеристиками и описываются в форме стохастических моделей, которые используются для приближенных расчетов (в том числе и прогнозических) выходных переменных. Научная новизна разработки заключается в множестве оригинальных авторских алгоритмов, предназначенных для преодоления проблем, возникающих при решении подобного рода задач на реальных данных. Основным алгоритмическим ядром программы являются процедуры поддержки математической формулировки и статистической проверки гипотез о взаимосвязи переменных.

Авторство и правообладатель ряда версий программы зарегистрированы в Федеральной службе по интеллектуальной собственности МЭР РФ (Роспатенте).

Описываемая программа создавалась и развивалась в рамках плановых работ ИГ СО РАН в течение последних десяти лет. В ее алгоритмическую реализацию заложены фундаментальные теоретические положения математического моделирования, теории вероятности и математической статистики, а также личный опыт автора, касающийся технологии моделирования, приобретенный им в течение всей его научной практики в различных предметных областях.

В части выявления и аппроксимации сложных многомерных зависимостей программа может конкурировать с продвинутыми статистическими пакетами, такими как «Statistica», «SPSS Statistic» или «Язык R», но уступает им по интерфейсным возможностям.



Игнатов Анатолий Васильевич

Пример использования программы для решения задачи вероятностного прогнозирования притока в Красноярское водохранилище.

В области климата программа может быть интересна исследователям, которые хотят лучше понять закономерности и механизмы формирования межгодовой изменчивости гидрометеорологических характеристик, а также строить модели их вероятностного прогноза. Безотносительно к предметной привязке программа может быть использована физическими лицами или организациями как альтернатива или дополнение к используемым ими статистическим пакетам для поиска и моделирования сложных зависимостей на основе данных о совместных реализациях переменных. Программа также может применяться в образовательном процессе в качестве учебного пособия по стохастическому моделированию для магистрантов и аспирантов. Практическое опробование программы выполнялось в рамках совместных работ автора со Среднесибирским УГМС и СибНИГМИ по прогнозированию месячных, квартальных и годовых значений речного стока.

Программа разрабатывалась за счет средств государственного бюджета, поэтому она ориентирована в основном на некоммерческое распространение среди заинтересованных русскоговорящих пользователей в научных и образовательных организациях. Если кто-то будет иметь намерение превратить программу в коммерческий продукт, то все необходимые вопросы нужно будет решать с ИГ СО РАН и автором разработки.

« Разрабатывая и используя модель, мы преобразуем имеющиеся у нас сведения об объекте в другую форму, которая является более ценной для ее потребителя. Типичный пример — это трансформация имеющихся ретроспективных данных об объекте в прогноз его состояния в будущем. В рамках этой процедуры важно извлечь максимум информации об искомом результате из исходных данных. Но при этом, применяя для решения задачи те или иные методы, нужно постараться внести в получаемый результат минимум посторонней информации, которая делает его в большей или меньшей степени ложным. В терминах прогностической задачи — «правильный» прогноз всегда должен быть сначала надежным и только потом, насколько это возможно, точным. В рамках такой информационной идеологии как раз и разрабатывалась данная программа.



Институт географии им. В.Б. Сочавы  
СО РАН, Иркутск  
Игнатов Анатолий Васильевич, в.н.с.,  
ignatov@irigs.irk.ru, 8-914-906-75-16



# Цифровые атласные картосемиотические технологии для решения задач пространственного развития Байкальского региона

Цифровая атласная картосемиотическая информационная система Байкальского региона (ЦАКИС БР) является важным и эффективным инструментом пространственного моделирования и прогнозирования процессов развития и трансформаций регионов, призванная стать образцовой системой для обоснования поддержки принятия решений, разработки сценариев пространственного развития крупных регионов в целом, а также их внутренних субрегиональных и локальных территориальных образований.

ЦАКИС БР представляет собой многоцелевую информационно-справочную систему, в которой используется семиотическая информация в разных форматах, стандарты которых зависят от структуры и качества баз данных: точности локализации, тематического, пространственного, временного охвата и современности данных, позволяющая пользователю получить требуемую информацию в актуализированном картографическом виде. Она технологически способна поддерживать с помощью геоportальных методов базу цифровых картографических данных обширного тематического содержания. В настоящее время визуально эта крупная научно-технологическая разработка представлена отдельными самостоятельными частями:

- Экологическим атласом бассейна озера Байкал (157 карт), расположенным на геоportале <http://bic.iwlearn.org>;

- Экологическим атласом Байкальского трансграничного макрорегиона (325 карт),

расположенным на геоportале <http://atlas.isc.irk.ru>;

- Атласом "Байкальский регион: общество и природа" (350 карт), готовящимся к выпуску в свет в 2021 г.

ЦАКИС БР — новая картосемиотическая технология с цифровой базой данных, оформленная как гипермедийная конструкция, способная воспроизводить цифровые карты, гипертекст и другую семиотику, что дает возможность получить наиболее полную характеристику экологического состояния Байкальского региона, его трансграничного окружения, а также его внутренних территориальных образований в сравнении с другими частями страны и определения стратегии его развития.

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера необходима достоверная, полноценная и разносторонняя информация о предпосылках, условиях, масштабах, степени опасности их проявления и пространственного распространения. Большое разнообразие климатических, геологических, орографических, гидрологических и антропогенных факторов на территории Байкальского региона определяет широкое развитие опасных явлений и процессов различного генезиса. ЦАКИС БР необходимо дополнить новым атласом «Байкальский регион: природные и техногенные опасности и риски чрезвычайных ситуаций». Проект атласа уже создан. Карты в нем будут распределены по следующим трем тематическим на-

правлениям (модулям), которые учитывают характер происхождения (генезис) опасностей и рисков ЧС:

- природные опасности и риски;
- техногенные опасности и риски;
- нозогеографические и социальные опасности и риски.

В каждом тематическом (генетическом) направлении будут представлены блоки, учитывающие классификацию опасных природных процессов и явлений по территориальному охвату, масштабу и пространственным формам проявления (региональные, муниципальные и локальные; объемные, площадные, линейные и точечные), по времени (долговременные, кратковременные и мгновенные), по характеру воздействия (разрушительного, парализующего и истощающего воздействия; стихийные бедствия, способные вызвать технологические аварии). Примерная оценка стоимости доработок (325 карт ЧС) — 30 миллионов рублей.

ЦАКИС БР обладает фундаментальными свойствами капитальных тематических атласов, аккумулирующих устоявшиеся, тщательно проверенные научные знания и поэтому рассчитанных на многократное и многоцелевое использование. Ей присущи также признаки оперативных карт-документов, способных удовлетворить быстро меняющиеся интересы благодаря возможности интеграции электронных слоев и генерации новых пространственных структур, а также использования обширной базы цифровых пространственных данных.

Семиотический потенциал атласов ЦАКИС БР значительно выше семиотического потенциала отдельных карт — за счёт особо сконструированной «архитектуры» атласов и расширенных принципов методики использования синтаксических знаковых конструкций. Синтаксические знаковые конструкции цифрового языка карты состоят из графических примитивов, графических переменных и способов знакового отображения. К графическим примитивам относятся точки и дуги, из которых могут быть сформированы прямые линии и полигоны (площади), а к графическим переменным относятся форма, размер, ориентировка, цвет, внутренняя структура и тональная насыщенность знака и т.д.

Природный, социально-экономический и экологический потенциалы территорий, возможности современного и перспективного использования ресурсов среды и их охраны в ЦАКИС БР представлены таким образом, чтобы они могли быть использованы при разработке хозяйственных, экологических и социальных проектов и мероприятий.

В настоящее время научно-конструктивное значение цифровых региональных атласов состоит в необходимости обеспечения сбалансированного пространственного развития — повышения производительных сил и качества экономики, а также уровня и качества жизни населения, сохранения и улучшения качества окружающей среды. Особенность разработки содержания атласов на современном этапе — использование системного подхода к созданию многоуровневых картографических моделей как комплекса взаимосвязанных произведений, обеспечивающего эффективную обработку, интерпретацию, анализ и обобщение пространственной информации на различных территориально-иерархических уровнях.

Информационно-семиотические модули ЦАКИС БР сформированы согласно макроструктуре его тематического содержания с учётом территориальных уровней



и конкретных содержательных тематических позиций картографирования.

Основные тематические модули ЦАКИС Байкальского региона:

- Природные условия формирования экологической обстановки;
- Антропогенные факторы формирования экологической обстановки;
- Экологическое состояние и трансформация окружающей среды;
- Медико-экологическая обстановка;
- Охрана окружающей среды и рациональное природопользование и специальный блок-модуль «факторы формирования экологической ситуации в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории (участке Мирового природного наследия) и в акватории озера Байкал».

Территориальные уровни картографирования:

- 1) национальный и макрорегиональный (позиционирование Байкальского региона в России, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке);
- 2) межрегиональный трансграничный (Байкало-Монгольская Азия: Байкальский регион с отдельными регионами Монголии, входящими в бассейн Байкала);
- 3) внутренний межрегиональный и региональный (Байкальский регион в целом и субъекты Российской Федерации Байкальского региона в отдельности — Иркутская область, Республика Бурятия и Забайкальский край);
- 4) субрегиональный (побережье и акватория озера Байкал);
- 5) муниципальный (муниципальные районы и городские округа);
- 6) локальный.

Картографирование осуществлено на разных масштабных уровнях, соответствующих территориальному охвату: локальном — 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000; муниципальном и субрегиональном — 1:200 000, 1:400 000; региональном — 1:1 000 000, 1:1 500 000, 1:2 000 000, 1:2 500 000, 1:3 000 000 (по субъектам РФ); межрегиональном — в масштабе 1:5 000 000, 1:6 000 000, 1:7 500 000, 1:10 000 000 (Байкальский регион и Байкало-Монгольская Азия); макрорегиональном и национальном — в масштабах 1:18 000 000 — 1:30 000 000.

Пространственно-семиотические (картографические знаковые) методы и способы визуализации территориальной информации, возникшие в процессе исторической практики, непрерывно совершенствуясь, способствуют повышению роли карт в научных исследованиях, практике управления хозяйством, образовании и обучении, обуславливают их широкое распространение, придают им статус существенного элемента современной

культуры. В настоящее время направление развития семиотических методов и способов отображения, накопления, передачи, анализа и синтеза пространственной информации связано в целом с атласным поворотом к картосемиотике, «восприятием» и обработкой атласных знаков техническими средствами, их воспроизведением цифровыми геопортальными технологиями, которые усиливают доступность и эффективность усвоения картосемиотических знаний потребителем. В целом, становление идей, методик и технологий атласного картографирования в Байкальском регионе основано на комплексно-системном и проблемном картографировании, при котором внимание сосредотачивается на целостном отображении природно-территориальных комплексов и их иерархии, взаимосвязей, динамики и функционирования.

ЦАКИС БР имеет как универсальное научно-справочное и конструктивно-практическое значения, так одновременно и академическое — заключающееся в накоплении опыта, формировании традиций и школ, а также направлений дальнейших картосемиотических исследований. В настоящее время значение таких исследований актуализировано: этому способствует необходимость обеспечения экологически сбалансированного пространственного и цифрового развития экономики и социальной сферы регионов.



Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
Иркутск  
Батуев Александр Раднажапович, д.г.н., профессор, заведующий и главный научный сотрудник лаборатории картографии, геоинформатики и дистанционных методов  
arbatuev.irk@yandex.ru; 8-902-766-56-08

## Экологическая оценка территории в районе техногенного воздействия

Отбор проб компонентов окружающей среды (вода, почва, растительные компоненты). Анализ отобранных проб современными методами в аккредитованных лабораториях на характерные параметры для данного региона. Испытания представленной технологии на территории подверженной воздействию предприятия в Норильском промышленном районе позволили оценить экологическое состояние региона и наметить пути по его улучшению. Оценка уровня готовности технологии (TRL) — TRL 6.

Использование данной технологии позволяет установить воздействие антропогенной деятельности на компоненты окружающей среды.

Проблема: длительное негативное воздействие на территорию, включающее аварийные выбросы крупных объемов загрязняющих веществ.

Новизна: впервые проведена оценка большой территории (протяженность территории — 900 км). Комплексность — одновременное исследование компонент (вода, почва, растения) с анализом химического и микробиологического состава.

Исследования такого масштаба и с таким охватом компонентов окружающей среды на территории Арктики не проводились уже несколько десятилетий. А с учетом развития аналитических методов можно утверждать, что полученные данные уникальны.

Предполагаемый интерес для внедрения

ПАО «Норникель», а также крупные промышленные предприятия, расположенные на российских арктических территориях.

Запрос на индустриальное партнерство

Создание совместного постоянно действующего отряда для непрерывного мониторинга экологического состояния территории.



Еделев Алексей Викторович.



Работа промышленности, несомненно, необходима, и современная цивилизация без этого невозможна. Но постараться снизить негативные техногенные воздействия на окружающую среду (реки, почвы, флору и фауну) — это не только желательно, но и необходимо, потому что от ее состояния в итоге зависит здоровье людей. Первым этапом на пути к улучшению состояния окружающей среды в зонах повышенной антропогенной нагрузки является экологическая оценка территории, чтобы понимать текущее состояние природы и основные «больные» места



Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск  
Юркевич Наталья Викторовна, заведующий лабораторией эколого-экономического моделирования техног. систем  
YurkevichNV@ipgg.sbras.ru, 89232410823



Отбор проб воды и растений



# Система сохранения флористического разнообразия и рационального использования растительных ресурсов Крайнего Севера (методы, инвентаризация, мониторинг)

Биологическое разнообразие — совокупность всех биологических видов и биотических сообществ (ресурсов), сформированных и формирующихся в разных экосистемах (наземных, почвенных и т. д.). Национальные и глобальные проблемы сохранения биоразнообразия не могут быть реализованы без фундаментальных исследований в этой области. Обширные районы Крайнего Севера нуждаются в развитии специальных исследований, направленных на инвентаризацию, оценку состояния флористического разнообразия, развитие системы его мониторинга, а также на разработку принципов и методов сохранения природных биосистем и рационального использования растительных ресурсов.

Для изучения, обеспечения охраны и рационального природопользования необходима организация мониторинга и инвентаризации природных комплексов. Это дает возможность выявить динамику естественных и антропогенных процессов в растительном покрове, а при необходимости принять соответствующие меры по изменению режима природопользования.

Районы исследования находятся в различных растительных зонах и флористических областях: 1) окрестности оз. Лама (биостационар «Микчангда» Государственного природного заповедника «Путоранский» на северо-западе плато Путорана (северо-западная окраина Средне-Сибирского плоскогорья) в подзоне северной тайги, бореальной флористической области; 2) окрестности г. Норильска в зоне лесотундры (северо-запад плато Путорана, северо-западная окраина Средне-Сибирского плоскогорья); 3) биостационар «Тарея» Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН на р. Пясины (тундровая зона, п-ов Таймыр). Оба последних района относятся к арктической флористической области.

Изученные территории принадлежат трем различным функциональным зонам освоения и сохранности ландшафта с разным природоохранным режимом использования территории: интенсивного хозяйственного освоения с режимом максималь-

Необходима система сохранения флористического разнообразия для сбережения генофонда флоры лесных, лесотундровых и тундровых ландшафтов

но допустимого преобразования природной среды (окрестности г. Норильска); умеренного с режимом ограниченного преобразования (стационар «Тарея») и не подлежащая освоению с режимом максимального сохранения (буферная зона Государственного природного заповедника «Путоранский»).

Система сохранения флористического разнообразия и использования ресурсов местной флоры включает предложения по организации ботанического мониторинга, осуществлению контроля за соблюдением природоохранных мероприятий, использованию растительных ресурсов и предусматривает следующее:

- Организация полевых стационаров (станций мониторинга) на ключевых участках для получения достоверной информации, позволяющей экстраполировать полученные здесь данные на остальную территорию;
- Содействие в проведении научных исследований по вопросам разнообразия флоры и биологических методов сохранения растений, а также в исследовании факторов, влияющих на флористическое разнообразие;
- Исследования фоновых растительных сообществ и комплексов видов, видов-индикаторов, имеющих функциональное значение для изучения динамики растительного покрова;

- Получение оперативной информации о состоянии естественных сообществ;
- Диагностика текущего состояния природных условий и выявление потенциальных зон экологического риска;
- Выполнение функционального зонирования (интенсивного хозяйственного освоения, умеренного и не подлежащая освоению) и определение природоохранного режима использования территории (режим максимально допустимого преобразования, ограниченного и максимального сохранения природной среды);
- Природоохранное районирование с территориальным комплексом ограничения хозяйственной деятельности;
- Ограничение рекреационных зон и регулирование в них доступа техники и людей;
- Выявление устойчивости, порогового и кризисного режимов функционирования природных экосистем при антропогенной нагрузке;
- Проведение наблюдений за состоянием растительного покрова в повторности через несколько лет (5–10);
- Выявление восстановительного потенциала, т. е. видов, наиболее адаптивных к изменениям природной среды и внедрение их в локусы антропогенных нарушений;
- Строгий контроль за соблюдением природоохранных технологий в промышленной зоне;
- Контроль фактического воздействия промышленных и транспортных объектов на растительный покров;
- Новые подходы к хозяйственному использованию и охране территорий, не затронутых промышленным освоением;
- Своевременное выявление объектов, нуждающихся в охране;
- Разработка мероприятий по выявлению и охране отдельных видов растений;
- Программы мероприятий по сохранению редких и находящихся под угрозой исчезновения видов сосудистых растений;
- Разработка комплекса природоохранных мероприятий, обеспечивающих экологическую стабильность территорий освоения и надежность функционирования природных экосистем;
- Укрепление мер контроля за использованием растительных ресурсов и поиск новых полезных растений;
- Определение допустимой нормы использования растительных ресурсов;
- Рекомендации по рациональному использованию и охране растительных ресурсов;
- Усиление работы по ботаническому образованию и воспитанию, опирающегося на целостную

систему, создание регионального образовательного компонента с использованием знаний по флоре и растительности районов Крайнего Севера.

Выпущены методические рекомендации «Система сохранения флористического разнообразия и рационального использования растительных ресурсов Крайнего Севера (методы, инвентаризация, мониторинг)»

Области применения

- Мониторинг растительного покрова природных территорий
- Мониторинг растительного покрова антропогенных территорий
- Мониторинг растительного покрова водоохранных зон водных объектов
- Мониторинг растительного покрова урбанизированных территорий
- Мониторинг состояния и ресурсного потенциала растительного покрова оленьих пастбищ

Запрос на индустриальное партнерство

От индустриального партнера ожидается приглашение на участие в КНТП, НОЦ.

Авторы: Янченко Зоя Анатольевна, к.б.н., Филатова Светлана Николаевна.



НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики  
ФИЦ «КНЦ СО РАН», Норильск  
norilskniiks@mail.ru ; priemnay@arctica.krasn.ru  
8 (3919) 46-86-82



# Прогноз промыслового запаса таймырских диких северных оленей в условиях хозяйственного изъятия охотничьих ресурсов вида

Выполненные исследования с применением математического аппарата показали направленный тренд на снижение численности таймырской популяции дикого северного оленя. Наиболее доступные миграционные ветви группировок на Центральном и Восточном Таймыре ежегодно подвергаются усиленной промысловой нагрузке, что неминуемо приводит к перепромыслу и подрыву численности внутрипопуляционных группировок, сказывающемся на общем состоянии популяции.

С 1990 по 2017 г. все половозрастные группы таймырских диких северных оленей теряли суммарную численность. Наиболее же устойчивое снижение демонстрирует в настоящее время возрастная когорта телят-сеголетков. С 1993 по 2017 г. численность ювенальной группы сократилась более чем в 2,5 раза, с 145,8 до 59,14 тыс. или же с 70 телят на 100 взрослых самок в 1993 г. до 41 телёнка на 100 половозрелых самок в июле 2017 г.

С другой стороны, в таймырской популяции при весьма вроде бы весомой численности взрослых самок в 144,5 тыс. и взрослых самцов в 71,8 тыс. летом 2017 г., (т. е. с оптимальным соотношением полов: взрослые самцы к взрослым самкам в 1:2,01), популяция вдруг оказалась лишь с 15,7 % приплода.

Некогда самая многочисленная популяция таймырского дикого северного оленя находится на грани исчезновения. Представленная прогностическая модель, методологическая суть ее построения является одной из вех рационального природопользования на арктической территории Российской Федерации и сохранения ее биоразнообразия.

Внедрение в практику прогностического моделирования промыслового запаса таймырских диких северных оленей на севере Средней Сибири в условиях хозяйственного изъятия охотничьих ресурсов

Прогноз может быть использован для управления охотничьими ресурсами таймырской популяции дикого северного оленя с выбором конкретной стратегии и оценкой состояния данной популяции



Дикие северные олени на водной переправе

вида позволяет оценивать реальное состояние указанной популяции, предотвратить перепромысел и своевременно провести корректировку и необходимые профилактические мероприятия по сохранению уникального вида дикого северного оленя.

Запрос на индустриальное партнерство — от индустриального партнера ожидается приглашение для участия в КНТП, НОЦ.

Авторы: Шапкин Анатолий Михайлович, к.б.н., Иванова Роза Гибадуллаевна.



НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики  
ФИЦ «КНЦ СО РАН», Норильск  
norilskniiks@mail.ru ; priemnay@arctica.krasn.ru  
8 (3919) 46-86-82

# Программно-вычислительный комплекс для прогнозирования гидроэнергетического потенциала и эффективного управления режимами работы ГЭС

Основные возможности:

- Анализ климатических изменений, прогноз приточности, 3D-моделирование уровневых режимов озер, рек и водохранилищ.
- Оценка и прогнозирование изменения гидроэнергетического потенциала в зависимости от природно-климатических факторов в условиях глобального изменения климата.
- Эффективное управление режимами работы ГЭС и (или) каскада ГЭС с максимизацией экономических эффектов с учетом водохозяйственных, энергетических и экологических рисков.
- Мониторинг состояния атмосферы в водосборных бассейнах, включающий оперативный анализ наиболее вероятных долгосрочных прогностических распределений приземных температур, осадков, давления, гелиопотенциала с заблаговременностью до 9–12 месяцев.
- Формирование климатических карт исследуемого бассейна по различным параметрам состояния атмосферы с более детальным отображением бассейнов водосбора.
- Формирование прогностических показателей с использованием данных глобальных климатических моделей и методов искусственного интеллекта, в том числе нейронных сетей.

Методология анализа и реализующий ее программно-вычислительный комплекс являются уникальной разработкой и отвечают международным стандартам, предъявляемым к подобным системам.

Перечень работ, выполненных с помощью программно-вычислительного комплекса:

- Научно обоснован допустимый диапазон колебаний уровня озера Байкал в районе 455.54–457.85 м ТО (согласно Постановлению Правительства РФ №1667) с учетом технических возможностей регулирования и социально-экономических ограничений;

- Научно обоснованы предложения по повышению устойчивости водохозяйственной системы бассейна реки Ангара — водоснабжение населенных пунктов, водозаборы ТЭЦ, гидрогенерация, навигация и т.п.
- Рассчитано повышение эффективности выработки электроэнергии режимов работы Ангаро-Енисейского каскада ГЭС через оптимальное срабатывание водохранилищ;
- Проведена оценка водохозяйственной и экологической безопасности для озера Байкал и бассейна р. Селенги при строительстве ГЭС в Монголии;
- Проводилось построение цифровых моделей подводного и наземного рельефа прибрежной мелководной зоны озер, рек и водосборных бассейнов в целом;
- Проводились расчеты максимизации прибыли компании при согласованном режиме работы каскада ГЭС с учетом неопределенности приточности и наполненности водохранилищ, а также законодательных, водохозяйственных и экологических ограничений.

Потенциал внедрения разработки

Разработка рассматривается как основа для предоставления научно-технических и консалтинговых услуг в интересах компаний в сфере энергетики и водного хозяйства, федеральных и региональных органов исполнительной власти, аналитических центров, международных и национальных общественных организаций.



Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск  
 Никитин Вячеслав Михайлович  
 заведующий лабораторией гидроэнергетических и водохозяйственных систем ИСЭМ СО РАН,  
 доктор технических наук  
 vmn@isem.irk.ru, nikitin1310@mail.ru  
 +7 902 5118752, +7 (3952) 500-646, доб.445



# Системы мониторинга качества воздуха CityAir

CityAir (ООО «Ситиэйр») — научно-исследовательская и производственная компания. Разработанное ей оборудование и платформа для мониторинга качества воздуха в городах и на промышленных предприятиях созданы с использованием наилучших современных технологий и внесены в Реестр средств измерения Росстандарта, то есть являются метрологически значимыми. Компетентность в области осуществляемой деятельности подтверждается лицензией Росгидромета (№1693728 Р/2020/4163/100/Л от 26 апреля 2019 г.).

Основное преимущество решений — возможность быстрого и экономичного развертывания плотных сетей мониторинга качества воздуха, которые позволяют видеть экологическую картину в режиме реального времени (агрегированные в удобный аналитический отчет данные с постов мониторинга отправляются на монитор диспетчерской службы каждые 20 минут). Малогабаритные автоматические посты мониторинга качества воздуха CityAir разработаны с применением современных разработок в области сенсоров. От зарубежных и российских аналогов решения CityAir отличает соответствие российским требованиям к средствам измерения, в том числе положительные результаты параллельных сравнительных испытаний с лабораториями, производящими эталонные измерения, а также доказанная эффективность работы в широком климатическом диапазоне (от  $-40^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ).

Решения CityAir уже применяются на различных объектах. Например, компания является поставщиком услуг мониторинга качества воздуха в рамках проекта развертывания сети мониторинга в Сахалинской области и поставщиком оборудования для Центра мониторинга загрязнения атмосферного воздуха в Челябинске. Сеть мониторинга качества воздуха Красноярского научного центра СО РАН также построена на базе решений CityAir.



Павел Готов, генеральный директор компании CityAir



В настоящее время перед городскими системами мониторинга качества воздуха ставятся новые задачи, которые требуют внедрения современных технологий, позволяющих получать информацию в режиме реального времени, прогнозировать качество воздуха и распространение шлейфов от источников загрязнения на ближайшее время, а также моделировать последствия различных градостроительных решений. Технологии CityAir и экспертиза сотрудников компании позволяют применять комплексный и проблемно-ориентированный подход при проектировании сетей мониторинга качества воздуха.

## Лазерный оптико-акустический газоанализатор метана для БПЛА

Для локального газоанализа атмосферы и различных газовых смесей широко используются приборы на основе лазерной оптико-акустической (ОА) спектроскопии, которые позволяют измерять концентрацию исследуемого газа в составе анализируемой газовой пробы практически в режиме реального времени (в отличие от газовой хроматографии). Наиболее чувствительные ОА-газоанализаторы реализованы с использованием резонансных оптико-акустических детекторов (ОАД) различных типов.

Метан является одним из парниковых газов, эмиссия которого контролируется из космоса. В некоторых случаях при проведении исследований приземного состава атмосферы в полевых условиях требуется измерение фоновой концентрации метана в воздухе в режиме реального времени. В этом случае необходим легкий компактный высокочувствительный газоанализатор  $\text{CH}_4$ , имеющий автономное питание с малым энергопотреблением, который выполнен с использованием метода лазерной ОА спектроскопии.

Разработанный аэромобильный лазерный оптико-акустический газоанализатор — сенсор метана, носимый беспилотными воздушными судами (БВС) лёгкого и сверхлёгкого классов мультироторного типа, предназначен для определения концентрации метана в воздухе в режиме реального времени с привязкой к координатам точки забора анализируемой пробы в ходе проведения геофизических исследований в условиях непрерывной принудительной прокачки воздуха через блок оптико-акустических детекторов и передачи результатов измерений в бортовую автоматизированную геофизическую информационно-измерительную систему (АГИИС) для дальнейшей обработки и регистрации в энергонезависимом запоминающем устройстве.

Разработанный аэромобильный газоанализатор (сенсор метана для БВС) является компактным измерительным прибором, функционирующим на основе принципов лазерной оптико-акустической (ОА) спектроскопии. В основе оптической схемы разрабатываемого ОА-газоанализатора лежат квантово-каскадный лазер (ККЛ) и резонансный дифференциальный оптико-акустический детектор (ОАД).

Преимущества и уникальность

- Универсальность: при замене излучателя и реперной ячейки прибор может быть адаптирован для детекции других соединений.
- Компактность прибора.
- Возможность использования как в варианте с БПЛА, так и в переносном исполнении.
- Высокая концентрационная чувствительность по метану — 300 ppb.

Указанные характеристики позволяют поднять на новый уровень решение многих практически востребованных задач, связанных с геологической съёмкой, поисками и разведкой разнообразных полезных ископаемых. Представленный подход может стать в ходе дальнейшего развития, как это и заявлено исследователями, новым мировым стандартом ДЗЗ.

Кроме того, исследования с БВС позволяют значительно удешевить исследования по сравнению с классическими методами наземной съёмки фоновой концентрации метана и использования пилотируемых летательных аппаратов.



Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск  
Д.Б. Колкер, зав. лабораторией ЛКОТ, д.ф.-м.н.  
dkolker@mail.ru; 89607891346



# Информационно-распознающая система для выявления заброшенных скотомогильников в условиях криолитозоны

Глобальные изменения вызывают повышение температуры воздуха и оттаивание многолетней мерзлоты на огромных просторах Севера нашей страны. В связи с этим появляются проблемы выхода на дневную поверхность заброшенных скотомогильников (СМ) с сибирской язвой (Ямальская трагедия, 2016). Разработанная система направлена на решение фундаментальной задачи распознавания природных и антропогенных объектов методами ГИС-технологий и прикладной математики.

Автоматизированная система позволит оперативно заниматься поиском и выявлением заброшенных скотомогильников в условиях многолетней мерзлоты, которые занимают более 65% площади России и 25 % территории мира, поскольку разработаны и предложен новый подход к их выявлению.

Междисциплинарные исследования трех институтов СО РАН (ИОЭБ, ИФМ и БИП) и Противочумного НИИ Роспотребнадзора на основе ГИС-технологий позволили разработать и реализовать информационно-распознающую систему для выявления заброшенных скотомогильников, основанную на анализе космических снимков и установленных пространственных и ландшафтных признаков для их распознавания. На территории Баргузинского района Республики Бурятия в условиях островной мерзлоты в одном из четырех выявленных СМ обнаружена ДНК возбудителя сибирской язвы и доказана потенциальная активность двух почвенных очагов (2014). Использование метода распознавания на основе ГИС-технологий и создания программного комплекса в дальнейшем значительно расширяют возможности автоматизированного и целенаправленного поиска заброшенных СМ, прогнозирования их пространственного расположения, выявления почвенных очагов сибирской язвы и оценки их биологической опасности.

Автоматизация поиска СМ требует создания программного комплекса, стоимость доработки может составить до 7 млн рублей.

Планируется создание пионерного программного комплекса для автоматизированного процесса распознавания СМ с применением логического

подхода. Актуальность выполнения задач соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации: «Переход к цифровым и интеллектуальным ...технологиям...», «Противодействие ..., биогенным угрозам...и ... источникам опасности для общества, экономики и государства» и «Фундаментальные исследования, ...обеспечивающие готовность страны к большим вызовам...возможность своевременной оценки рисков, обусловленных научно-технологическим развитием».

Теоретический уровень ожидаемых результатов сопоставим с мировым, а по ряду позиций опережает зарубежные разработки в данной области.

Обзор иностранной литературы по тематике проекта выявил, что в зарубежных публикациях проблема выявления заброшенных скотомогильников по космическим снимкам не освещалась.

Несмотря на очевидную актуальность вопросов, связанных с заброшенными скотомогильниками, в частности их идентификации по спутниковым данным, количество публикаций в иностранной научной периодике равно нулю, более того, запрос по ключу «скотомогильник» в крупнейшей российской электронной научной библиотеке elibrary.ru выдал лишь 60 публикаций, не имеющих отношения к компьютерному анализу снимков.

Таким образом, проведение компьютерного анализа космических снимков территорий Баргузинского и Курумканского районов Республики Бурятия для выявления заброшенных скотомогильников было пионерной работой не только в нашей стране, но и за рубежом.



Бадмаев Нимажап Баяржапович, заместитель директора по научной работе ИОЭБ СО РАН, заведующий лабораторией географии и экологии, доктор биологических наук



Использование метода распознавания на основе ГИС-технологий и создания программного комплекса значительно расширяют возможности автоматизированного и целенаправленного поиска заброшенных СМ, прогнозирования их пространственного расположения, выявления почвенных очагов сибирской язвы и оценки их биологической опасности в условиях криолитозоны.

#### Предполагаемый интерес для внедрения

Управление Роспотребнадзора, Управление ветеринарии, Министерство природных ресурсов, Министерство сельского хозяйства, Министерство земельных и имущественных отношений.

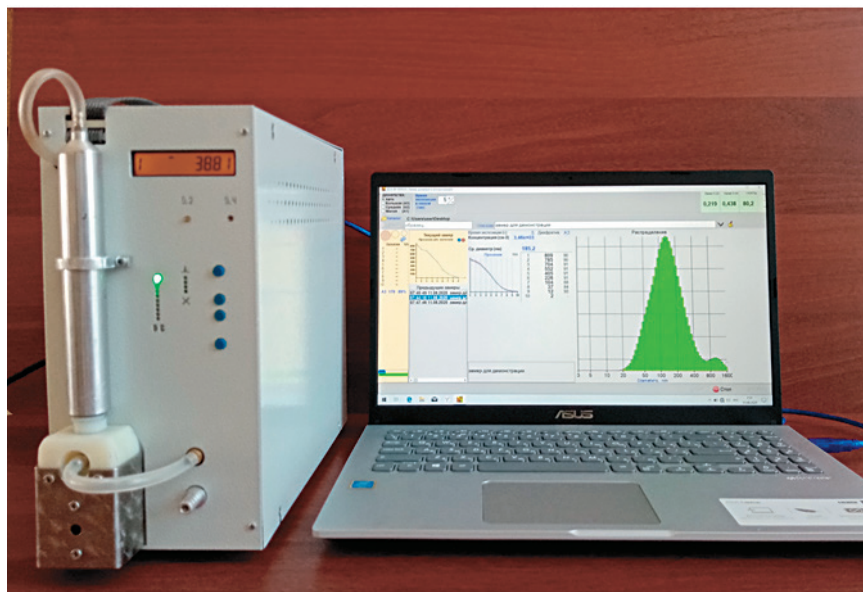
#### Запрос на индустриальное партнерство

Создание совместного малого инновационного предприятия, инвестиции на ранних стадиях разработки технологии для создания программного комплекса по автоматизации поиска СМ.



Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ  
Бадмаев Нимажап Баяржапович,  
заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией географии и экологии почв  
nima\_b@mail.ru, 89148304154

# Малопотоковый диффузионный спектрометр аэрозолей



Разработка представляет собой автоматическое устройство для измерения концентраций и распределения по размерам нано- и субмикронных частиц (твердых или жидких), находящихся в газовой фазе.

Диффузионный спектрометр аэрозоля позволяет измерять общую концентрацию частиц до  $5 \times 10^5 \text{ см}^{-3}$  и распределение по размерам в диапазоне 3–1100 нм. Время одного замера от 5 сек. в режиме измерения только концентрации и от 120 сек. — в режиме измерения спектра распределения частиц по размерам.

В основе работы прибора лежит измерение вероятности прохождения («проскока») аэрозольных частиц через набор сеток в зависимости от диаметра частиц. Для этого аэрозольный поток с постоянной скоростью пропускается через 10-каскадную диффузионную батарею. Определение функции распределения частиц по размерам осуществляется с помощью измерения «проскоков» через каскады диффузионной батареи (измеряется отношение концентрации частиц в потоке до и после прохождения через каскады диффузионной батареи в различной последовательности). Функция

распределения по размерам определяется из «проскоков» в рамках веерной теории фильтрации. Данный подход позволяет измерять спектры размеров частиц аэрозоля, содержащего несколько размерных мод.

В отличие от аэрозольных спектрометров иностранных марок, диффузионный спектрометр не содержит радиоактивных источников, ртути и иных опасных или высокотоксичных материалов.

Область применения прибора - решение широкого круга задач в области физики и химии аэродисперсных систем, охраны окружающей среды, медицины, а также для контроля технологических сред и чистоты рабочих помещений. Прибор можно использовать как в лабораторных, так и в полевых условиях.



Институт химической кинетики и горения  
им В. В. Воеводского СО РАН, Новосибирск  
Валиулин Сергей Владимирович,  
заместитель директора ИХКГ СО РАН  
по научной работе,  
383 333 21 92, 383 333 20 44, valiuilin@kinetics.nsc.ru



# Методика количественной оценки экологического состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий на основе спутниковых снимков

Методика количественной оценки экологического состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий на основе спутниковых снимков в условиях функционирования предприятий нефтегазового комплекса необходима как для количественной оценки существующих масштабов негативного воздействия нефтегазовых предприятий на состояние окружающей среды, так и для разработки мероприятий по рекультивации и обеспечения мониторинга состояния растительного покрова и почвы для выявления утечек углеводородов-загрязнителей на ранней стадии.

Разработанная методика включает анализ состояния ландшафтов нефтедобывающих территорий, учет климатических факторов, количество аварийных отказов и размеры площадей загрязненных земель. Практическое применение не позволяет проанализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтедобывающих территорий за многолетний период, что оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии решений по устранению и профилактике загрязнения окружающей среды.

Современное обеспечение актуальной, оперативной и статистически адаптируемой информацией об экологическом состоянии окружающей среды создает основу для принятия важных решений в процессе контроля ее состояния. Использование данных спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) позволяет обеспечить практически непрерывный мониторинг атмосферы, земной и водной поверхностей, что, несомненно, является актуальной задачей. ДЗЗ позволяют оперативно отслеживать изменения состояния и структуры растительного покрова,

Развитие и применение предложенной методики является перспективным направлением для решения задач рационального и экологически безопасного использования природных ресурсов.

в том числе на основе нормализованного вегетационного индекса (NDVI). Методика предполагает на первом шаге формирование коллекции спутниковой информации на одну и ту же исследуемую территорию с одной и той же датой съемки. На следующем шаге выполняется предварительная обработка спутниковой информации и проведение атмосферной коррекции спутниковых изображений. На последнем шаге методики производится расчет среднего значения NDVI для исследуемых территорий. Такой территорией может являться любой выделенный полигон, преобразованный в векторный слой, это может быть как территория города, так и заповедника или произвольного участка леса.

Космическая информация используется во многих областях: прежде всего, для предупреждения и ликвидации последствий природных катастроф и техногенных аварий, исследования и рационального использования природных ресурсов, охраны окружающей среды, в интересах энергетики, градостроительства, транспортного комплекса, метеорологии и климатологии, лесного и сельского хозяйства, картографии и т.д. Естественно, что она должна широко использоваться и в интересах нефтегазовой отрасли. С учетом основных мировых тенденций развития космических систем ДЗЗ, связанных с увеличением числа спутниковых систем высокого разрешения, созданием комплексных многоспутниковых сетей космического мониторинга, отказом от неоперативных фотографических космических средств, а также широким международным сотрудничеством в области ДЗЗ, эффективность использования космических методов и технологий в различных направлениях человеческой деятельности, в том числе и в интересах нефтегазовой отрасли, будет непрерывно повышаться

В настоящее время с применением методов анализа ДДЗ можно решать множество задач в интересах нефтегазовой отрасли, прежде всего:

- мониторинг текущего экологического состояния нефтедобывающих территорий, выявления утечек, нарушений технического состояния оборудования;
- определение потенциально опасных участков трубопроводов, в том числе оценка изменения пойм рек, водоемов и болотных массивов в результате динамики мерзлотных и гидрофизических свойств грунтов, оценка динамики мерзлотного режима грун-

тов и результатов ее воздействия, а также выявление наиболее благоприятных геологических условий для прокладки новых трубопроводов;

- мониторинг опасных природных и техногенных процессов при освоении и транспортировке углеводородов;

- оперативный космический мониторинг пожаров;

- экологический мониторинг мест добычи, транспортировки и переработки углеводородов на суше и на море для оценки последствий и снижения рисков от деятельности предприятий нефтегазовой отрасли, в том числе: выявление загрязнений нефтепродуктами участков грунта, растительности и снежного покрова в пределах буровых скважин и станций перекачки нефти; морских платформ, нефтехранилищ, мест загрузки и разгрузки судов для перевозки нефти и нефтепродуктов;

- контроль темпов и оценка эффективности рекультивации земель и загрязненных территорий на основе аэрокосмических данных;

- дистанционный мониторинг несанкционированных вырубок лесов;

- выявление несанкционированной хозяйственной и строительной деятельности, а также появления техногенных объектов в зонах отвода объектов нефтегазового комплекса;

- мониторинг сжигания попутного нефтяного газа и контроль функционирования факельных установок.

Спектр этих задач может быть расширен по мере развития методов, технологий и технических средств дистанционного зондирования и обработки полученной информации.

Запрос на индустриальное партнерство  
Участие в КНТП, НОЦ, внедрение технологии на предприятиях партнеров.

Разработчики: Перемитина Татьяна Олеговна, Яценко Ирина Германовна, Яценко Анастасия Вячеславовна, Алексеева Мария Николаевна



Институт химии нефти СО РАН, Томск  
Перемитина Татьяна Олеговна, старший научный сотрудник ИХН СО РАН,  
(3822) 492227; peremitinat@mail.ru

## Технология очистки природных и сточных вод от мышьяка

Мышьяк (As) является одним из самых опасных химических экотоксикантов, поскольку имеет широкое распространение в объектах окружающей среды и обладает токсичным и канцерогенным действием. В водных системах As находится преимущественно в виде арсенатов As (V) и арсенитов As (III). Особую опасность представляет As (III), который в 25–60 раз токсичнее As (V) и как правило сложнее удаляется из воды, чем As (V). Присутствие мышьяка в водных системах выше нормативного показателя (ПДК As в воде рыбохозяйственных водоемов составляет 0.05 мг/дм<sup>3</sup>, в воде водоемов санитарно-питьевого и культурно-бытового водопользования — 0.01 мг/дм<sup>3</sup>) является острой экологической проблемой во многих странах мира. Мышьяк обнаружен в подземных водах России, Китая, Индии, Японии, Таиланда, Вьетнама, Австралии, многих странах Европы, Африки и Латинской Америки.

Высокие концентрации мышьяка в гидросфере связаны в основном с природными факторами, что значительно усугубляется антропогенной деятельностью (сельское хозяйство, кожевенная промышленность, электроника, производство красителей, добыча и переработка мышьяксодержащих руд). В силу особой опасности токсиканта и ограниченности его использования к технологиям его удаления предъявляются жесткие требования, что определяет актуальность разработки метода глубокой очистки мышьяксодержащих вод с получением малоопасных и труднорастворимых осадков, пригодных к захоронению. В мировой практике для удаления мышьяка опробованы практически все существующие методы очистки воды, но использование ни одного из них не позволяет в полной мере удовлетворить современным требованиям. В последнее время проявляется повышенный интерес к сорбционным технологиям с использованием природных материалов. Это обусловлено тем, что обладая развитой удельной поверхностью и относительно высокой сорбционной способностью, они в десятки раз дешевле искусственных сорбентов и поэтому при их использовании возможно исключение стадии регенерации.

На основании многолетних исследований, проведенных Институтом горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, разработана сорбционная технология очистки природных и сточных вод от соединений мышьяка, основанная на применении природных магний- и марганецсодержащих минералов.

Проведены лабораторные исследования на модельных растворах и испытания на реальных стоках металлургических предприятий, подтверждающие эффективность использования данных природных материалов

Преимущества их применения:

- получение фильтратов, удовлетворяющих санитарным нормам;
- удаление мышьяка из водных сред в виде труднорастворимых соединений, пригодных к захоронению ( $\text{PRMg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 2.1 \times 10^{-20}$ );
- сорбционная емкость магнийсодержащего сорбента к более токсичной форме мышьяка As (III) значительно выше, чем к As (V), что выгодно отличает его от других известных сорбентов;
- магнийсодержащий сорбент может быть использован для извлечения соединений мышьяка из многокомпонентных растворов с одновременной очисткой от ионов тяжелых металлов;
- использование низкосортных марганцевых руд различного генезиса, содержащих оксидные формы марганца и обладающих не только сорбционной, но и окислительной активностью к арсенитам, позволяет заметно улучшить степень очистки от мышьяка на марганцевых рудах и других сорбентах, например, на магнийсодержащих, т.к. сорбционная емкость по отношению к арсенатам значительно выше, чем к арсенитам.



Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН,  
Новосибирск  
Ученый секретарь, к.т.н. Коваленко Ксения Андреевна  
8-993-013-08-01, kovalenko-ksusha@mail.ru  
Руководитель ЧФ ИГД СО РАН,  
к.т.н., Размахнин Константин Константинович  
8-914-466-17-37, constantin-const@mail.ru



# Технология предотвращения запыления поверхностей техногенных образований

Серьезной проблемой для экологии горнопромышленных регионов являются отвалы вскрышных пород, забалансовых и некондиционных руд, а также хвосты обогащения. За многие десятилетия на территории России накоплено огромное количество различного техногенного материала. При этом наибольшую опасность представляют отходы горного производства, накопленные в хвостохранилищах и представляющие собой техногенное сырье с высокой концентрацией тяжелых металлов, радионуклидов и токсичных веществ. Большое количество хвостохранилищ и отвалов пород в настоящее время остаются бесхозными и представляют серьезную угрозу для окружающей среды населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от техногенных объектов. Такие объекты опасны, в первую очередь, разносом на близлежащие территории пылевидных частиц, содержащих зачастую токсичные и радиоактивные элементы, а также тяжелые металлы.

В связи с этим возникает необходимость применения специальных технологий, адаптированных, в том числе, к климатическим условиям территории локации. Предлагаемая Институтом горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН технология может быть использована для рекультивации техногенных сооружений и закрепления пылящих поверхностей. Техническим результатом является создание почвообразующего слоя за счет нанесения цеолитовых туфов на поверхность хвостохранилища, позволяющего исключить внесение удобрений, усилить развитие корневой системы трав и тем самым повысить эффективность биологической рекультивации хвостохранилища. Технология включает обработку заскла

технология может быть эффективно применена для рекультивации и консервации хвостохранилищ и отвалов пород с целью снижения антропогенной нагрузки на экосистему районов расположения.

ных хвостов связующим составом, посев многолетних трав и уплотнение поверхностного слоя. При этом предварительно для формирования почвообразующего слоя производят обработку поверхности хвостохранилища цеолитовой гидросмесью «природный цеолит-вода». Обработку почвы связующим составом, посев многолетних трав и уплотнение поверхностного слоя осуществляют одновременно, при этом в качестве связующего состава применяют водорастворимые полимеры.



Институт горного дела им. Н.А. Чинакала  
СО РАН, Чита  
Мязин Виктор Петрович, заведующий лабораторией обогащения и комплексного использования минерального сырья Читинского филиала ИГД СО РАН  
igdranchita@mail.ru, +79144771458  
Размахнин Константин Константинович, руководитель Читинского филиала ИГД СО РАН  
igdranchita@mail.ru, +79144661737

# Каталитическая технология защиты окружающей среды от выбросов токсичного сероводорода

Проблема очистки газов от сероводорода актуальна для Российской Федерации в связи с освоением гигантских месторождений сернистых природных газов (Астраханское, Оренбургское газоконденсатные месторождения), вовлечением в переработку сернистых нефтей Поволжья. Предприятия, ведущие разведку, добычу, транспортировку и переработку такого углеводородного сырья, являются основным фактором загрязнения экосферы токсичными сернистыми соединениями (сероводород и диоксид серы, серная кислота), выбросы которых составляют миллионы тонн.

Попутные нефтяные газы, образующиеся при добыче сернистых нефтей, суммарный дебит которых по Волго-Уральской нефтегазоносной провинции составляет до 140 млн. м<sup>3</sup>/год, являются существенным потенциальным ресурсом для предприятий нефтехимического синтеза и теплоэнергоснабжения. Вовлечение таких газов в топливно-энергетический баланс позволит сэкономить до одного млн. тонн в год условного топлива. Однако, высокое содержание сероводорода (1–6 % об.) исключает их использование в качестве углеводородного топлива, реализуемого населению, промышленным предприятиям и в качестве сырья для синтеза химических продуктов. Кроме того, используемое в настоящее время факельное сжигание таких газов приводит к загрязнению атмосферы токсичными ди- и триоксидом серы, серной кислотой, продуктами недожога углеводородов, канцерогенной сажей в количестве до миллиона тонн в год. Транспортировка попутного нефтяного газа по трубопроводам специализированным установкам сероочистки (НПЗ, ГПЗ) является экономически и технологически нецелесообраз-

ной в связи с тем, что попутный нефтяной газ характеризуется исключительно малым дебитом (10–1000 нм<sup>3</sup>/час) и низким избыточным давлением (до 0,5 МПа). Для их транспортировки требуется создание цепи мощных компрессорных станций, использование специализированных легированных материалов для трубопроводов. В связи с этим необходимо создание установок очистки сернистых попутных нефтяных газов в местах добычи и как следствие, использование компактных одностадийных технологий.

Применяемый в настоящее время для утилизации сероводорода процесс Клауса включает факельное сжигание сероводорода на первой ступени с последующим взаимодействием H<sub>2</sub>S и диоксида серы в трех последовательных каталитических конвертерах. Установки с использованием процесса Клауса являются многостадийными, характеризуются высокими капитальными и эксплуатационными затратами, низкой экологической безопасностью, что связано с наличием в технологической цепи высокотемпературной печи — источника образования токсичных побочных компонентов. Кроме того, основ-

ное технологическое оборудование для процесса Клауса завозится из-за рубежа, что делает такие производства чрезвычайно зависимыми от импорта.

В ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН» под руководством академиков РАН Зинфера Ришатовича Исмагилова и Валентина Николаевича Пармона были начаты поиски альтернативных способов очистки сероводородсодержащих газов на основе одностадийного процесса прямого гетерогенно-каталитического окисления сероводорода до элементарной серы (ДИРОКС). Была реализована исследовательская программа, в рамках которой изучены влияние температуры и концентрации компонентов на кинетические параметры процесса прямого окисления сероводорода, окисление сероводорода в составе углеводородсодержащих смесей, кинетические параметры процесса окисления сероводорода для различных каталитических систем, элементарные стадии процесса, исследована активность широкого круга оксидных нанесенных катализаторов в целевой реакции.

Полученные фундаментальные знания позволили предло-

жить технические решения, сущность которых заключается в проведении процесса прямого каталитического окисления  $H_2S$  в реакторе в кипящем (псевдоожиженном) слое катализатора. Технология позволяет перерабатывать в одну стадию газы с содержанием сероводорода 10-95 %, что позволяет создавать компактные установки. Уникальность решений была подтверждена патентами Российской Федерации и ведущих зарубежных стран. В 1996 году в Институт катализа обратилось ПАО «Татнефть» с предложением о создании промышленной установки прямого окисления сероводорода для очистки сероводородсодержащих попутных нефтяных газов. Тогда же было принято решение о выборе технологии прямого окисления для создания промышленной установки для очистки попутных нефтяных газов.

Как показал предварительный технико-экономический анализ, научные решения, разработанные в Институте катализа СО РАН, максимально отвечают задачам очистки попутных нефтяных газов с утилизацией сероводорода в виде элементарной серы. ПАО «Татнефть» определила базовый объект для строительства промышленной установки — Бавлинский газовый цех, где для утилизации сероводорода использовалось факельное сжигание, что в условиях постоянного увеличения штрафов за выбросы привело бы к существенному уменьшению рентабельности добываемой нефти и топливного газа. ОАО «Татнефтехиминвестхолдинг» как крупнейший экспертно-координационный центр нефтегазохимического комплекса Республики Татарстан определил генерального проектировщика по созданию первой промышленной установки каталитической очистки попутных нефтяных газов в регионе — ОАО «ТатНИИнефтемаш». На базе технологического регламента на проектирование, выданного Институтом катализа СО РАН, был разработан полный комплект конструкторской документации для создания установки: техническое задание, руководство по эксплуатации, программы и методики испытаний, эскизный проект, сборочные чертежи, чертежи деталей оборудования, входящих в состав установки.

С учетом специфики эксплуатации установки в полевых условиях была разработана микропроцессорная система контроля и управления, позволяющая проводить процесс очистки в автоматическом режиме. На

Создана полностью отечественная (ноу-хау, оборудование, катализатор) каталитическая технология защиты окружающей среды от выбросов токсичного сероводорода. С учетом международного характера проблемы технология может быть востребована во всех странах, ведущих разработку и добычу сернистых углеводородных ресурсов (Казахстан, Китай, Канада, Саудовская Аравия и т.д.).

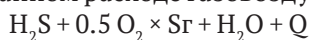
предприятиях Республики Татарстан при авторском надзоре Института катализа СО РАН изготовлено нестандартное оборудование, выполнен проект привязки (ОАО «ТатНИПИнефть»). Силами ПАО «Татнефть» осуществлен монтаж и пусконаладочные работы. Институт катализа СО РАН обеспечил поставку партий уникального катализатора. Опытными промышленными пусками, осуществленными в 2009–2010 годах, подтвердили правильность выбранных научно-технических решений и позволили модифицировать установку для эксплуатации в полевых условиях.

Функционально установка сероочистки состоит из двух основных блоков:

1. Блок аминовой очистки, где происходит очистка попутного нефтяного газа до остаточного содержания сероводорода  $20 \text{ мг/нм}^3$
2. Блок каталитической утилизации кислых газов с получением элементарной серы.



Основным элементом блока каталитической утилизации кислых газов является реактор прямого окисления сероводорода, представляющий из себя цилиндрический аппарат, в нижней части которого расположена газораспределительная решетка, на которой размещается гранулированный сферический катализатор. Над решеткой, в слое катализатора, расположен теплообменник для отвода тепла экзотермической реакции окисления сероводорода. Габариты рабочей зоны реактора выбираются таким образом, чтобы обеспечить режим устойчивого псевдооживления гранул катализатора при заданном расходе газовой смеси.



В реакторе при контакте газовой смеси с гранулами катализатора при температурах 220–280 °С происходит реакция селективного окисления сероводорода.

Продукты реакции (пары элементарной серы и воды) и компоненты исходной газовой смеси (диоксид углерода, азот воздуха, углеводороды) восходящим потоком газа выносятся в верхнюю (расширительную) часть реактора Р-1 и поступают в конденсатор серы.

При снижении температуры смеси до температур 130–150 °С происходит конденсация серы, которая отделяется от газовых компонентов в серозатворе и стекает в серную яму. Газ поступает в барботер-каплеотбойник где происходит улавливание дополнительного количества серы и через серозатвор поступает на печь дожига.

Микропроцессорная система контроля и управления регулирует протекание технологического процесса в заданных параметрах, отображает оператору их состояние и сигнализирует об аварийных ситуациях.

В мае 2011 специалистами ПАО «Татнефть» и Института катализа СО РАН был осуществлен запуск установки в промышленную эксплуатацию.

Основные итоги эксплуатации установки приведены ниже:

- Произведено свыше 1 млрд. м<sup>3</sup> очищенного газа для поставки потребителям
- 6000 тонн сероводорода переработано в элементарную серу
- Предотвращен выброс в атмосферу 12000 тонн диоксида серы и серной кислоты
- Предотвращен экологический ущерб на сумму около 2,5 млрд.руб.

Полученная сера превосходит нормативы, определенные ГОСТ127.1-93.

По итогам эксплуатации были сделаны следующие основные заключения:

Технология обеспечивает:

- Уровень готовности к реализации по шкале TRL — 9;
- Производство топливного газа и серы в соответствии с требованиями ГОСТ (газ топливный ГОСТ 5542-87, сера техническая — ГОСТ 127.1-93);
- Расширение диапазона эксплуатации по сравнению с процессом Клауса;
- Уменьшение капитальных и операционных затрат по сравнению с процессом Клауса;
- Существенное улучшение экологических показателей.

Период окупаемости установок — 1–2 года.

Позитивные результаты эксплуатации пилотной установки, созданной в Бавлинском газовом цехе ПАО «Татнефть», вызвали закономерный интерес со стороны нефтегазодобывающих компаний, который был реализован путем разработки установок, отвечающих требованиям заказчиков.

В настоящее время созданы:

- Установка очистки газов отдувки высокосернистой нефти. Установка подготовки высокосернистой нефти «Кутема», Черемшанский район, Республика Татарстан. Заказчик — УК «Шешмайл».
- Установка прямого окисления для замены процесса Клауса. МТУ-0,5 (мини-НПЗ). Республика Казахстан. Заказчик — АО «Конденсат».
- Установка прямого окисления сероводорода в составе попутных нефтяных газов ДНС 3010. Заинский район, Республика Татарстан. Заказчик — АО «СМП-Нефтегаз».

Создается установка утилизации сероводорода процесса гидрокрекинга для ООО «НОВАТЭК — Усть-Луга». Технология прямого каталитического окисления сероводорода была выбрана по результатам закрытых конкурсных торгов как оптимальная по сравнению с технологиями конкурентов.



ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», Новосибирск  
Хайрулин Сергей Рифович, руководитель НТК СО РАН  
+7 383 330-62-19, sergk@catalysis.ru

# Энергосберегающий адсорбционно-каталитический процесс очистки отходящих газов от паров органических соединений

Адсорбционно-каталитический процесс (далее — АКП) основан на адсорбции летучих органических соединений (далее — ЛОС) непосредственно на активной поверхности оксидных катализаторов глубокого окисления при пониженной температуре с периодической регенерацией катализатора за счёт окисления сорбированных примесей на этой же поверхности при повышенных температурах.

## Технологические схемы АКП

В исходном варианте АКП представляет собой емкостной реактор с неподвижным слоем гранулированного катализатора-адсорбента, на входном газопроводе которого размещают нагреватель, необходимый для нагрева слоя катализатора во время его регенерации (рис.1). Процесс имеет циклический характер, состоит из чередующихся стадий адсорбции и регенерации. На стадии адсорбции очищаемый газ естественной температуры поступает в слой адсорбента-катализатора. При появлении примесей ЛОС на выходе из слоя стадия адсорбции завершается и проводится регенерация слоя. При этом подаваемый в слой газ подогревается с помощью нагревателя перед входом в реактор. По завершении регенерации слой адсорбента-катализатора снова готов к проведению первой стадии — адсорбции. Процесс чрезвычайно прост, характеризуется минимальными капитальными затратами.

Энергоёмкость процесса может быть существенно снижена путем расположения нагревательного элемента непосредственно в слое адсорбента-катализатора, во входной его части, имеющей форму конуса, расширяющегося в направлении движения потока газов (рис. 2). В таком варианте процесса при осуществлении регенерации производится нагрев не исходного газового потока, а непосредственно слоя адсорбента-катализатора, причём не всего слоя, а только небольшого его фрагмента. При этом поток очищаемых газов продолжает поступать в слой с естествен-



Рис.1 Традиционный вариант АКП

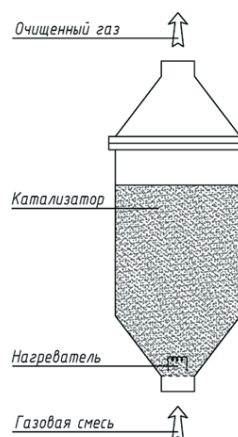


Рис.2. Вариант АКП с внутренним расположением нагревателя

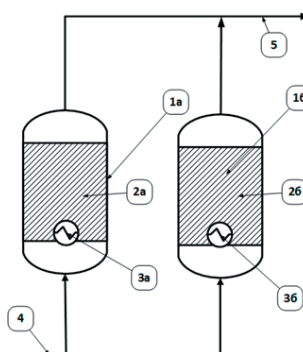


Рис.3. Многосекционный АКП с параллельными слоями катализатора-адсорбента

## Такой подход позволяет снизить общий расход энергии более, чем на два порядка

ной температурой, без нагрева. Коническая форма входной части слоя обеспечивает расширение теплового фронта горения сорбированных примесей из небольшой зоны иницирующего нагрева на полное сечение реактора. Снижение энергоёмкости процесса достигается также за счёт того, что подводимая энергия не расходуется на нагрев подводящих трубопроводов и корпуса реактора, а идёт непосредственно на нагрев адсорбента-катализатора.

Такой подход позволяет снизить общий расход энергии более, чем на два порядка по сравнению с традиционным вариантом АКП, на 3 и более порядков — по сравнению с традиционными каталитическими процессами. При этом требуемая мощность нагревателя даже на реакторах большой единичной мощности будет составлять несколько киловатт, что является типичным уровнем энергопотребления для домашних бытовых приборов (например, утюгов или чайников).

Также предложено решение проблемы залповых выбросов ЛОС и высокой температуры отходящих газов при регенерации катализатора путём разделения каталитического слоя на несколько несобобщающихся между собой параллельных секций, объединённых общим входом потока очищаемых газов и общим выходом потока очищенных. Каждая из секций имеет свой независимый нагревательный элемент внутри слоя для запуска регенерации катализатора, т.е. представляет собой самостоятельную адсорбционно-каталитическую систему. Схема такого секционированного АКП представлена на примере двух секций на рис. 3. В ходе адсорбции поток очищаемых газов пропускается параллельно через все секции. Принципиальным отличием является то, что в такой адсорбционно-каталитической системе регенерация проводится в секциях поочередно. В каждый момент

времени одна из секций работает в режиме регенерации, все остальные – в режиме адсорбции. Смешение потока из регенерируемой секции с потоками из остальных секций позволяет демпфировать как залповые выбросы ЛОС, так и экстремальные эволюции температуры отходящих газов.

Для обеспечения высокой степени очистки газов предложен также вариант АКП, содержащий дополнительный пост-реактор для дожига десорбирующихся ЛОС. Такой реактор может включаться на короткий период во время регенерации основного слоя адсорбента-катализатора.

### Возможные сферы применения описанных разработок

Очистка и дезодорация отходящих газов различных предприятий от паров органических соединений, в том числе:

- выбросы бензапиренов от металлургических и иных производств (при этом на крупных предприятиях с большим числом источников выбросов возможно создание распределенной модульной системы очистки газов с размещением очистных модулей независимо на каждом источнике выбросов)
- вентиляционных выбросов полиграфических, покрасочных и лакировочных производств, содержащих пары различных растворителей в низких и переменных концентрациях
- вентиляционных выбросов предприятий пищевой промышленности и общественного питания
- отходящих газов химических производств от паров стирола, паров спиртов и кислот, многих других органических соединений
- отходящих газов деревоперерабатывающих предприятий от формальдегида

### Преимущества адсорбционно-каталитического процесса

- высокая эффективность удаления вредных и токсичных примесей
- чрезвычайно низкая энергоёмкость процесса, особенно при переработке газов с низким (менее 100 мг/м<sup>3</sup>) содержанием горючих примесей
- возможность переработки газов с изменяющейся в широком диапазоне исходной концентрацией ЛОС
- возможность быстрого пуска и перезапуска установки без предварительного наг-



рева, эффективная очистка газовых выбросов из периодических источников

- возможность создания распределённых модульных систем очистки газов с перспективой быстрого наращивания мощности системы при необходимости

#### Адсорбенты-катализаторы

В качестве основного адсорбента-катализатора могут использоваться различные существующие оксидные катализаторы, однако по совокупности своих качеств оптимальным является отечественный алюмомеднохромовый катализатор ИКТ-12-8 либо его современные аналоги.

В пост-реакторе для дожига десорбирующихся ЛОС рекомендуется применение стекловолоконистых катализаторов дожига.

Также запатентован АКП, в котором в качестве основного адсорбента-катализатора предлагается использовать зауглероженные стеклоткани. Такой материал может выполнять не только адсорбционно-каталитические функции, но также служить электронагреваемым элементом для запуска регенерации.

Уровень практического освоения и технические возможности

Разработаны теоретические основы процесса, создан пилотный стенд объёмом до 5 л катализатора-сорбента, на котором подтверждены все основные теоретические характеристики процесса. На созданном стенде возможна быстрая отработка процесса для различных конкретных газовых систем.

#### Предложения по сотрудничеству

- НИОКР по оптимизации катализатора и конструкции адсорбционно-каталитического реактора применительно к конкретным условиям заказчика

- разработка технических предложений по созданию установок адсорбционно-каталитической очистки газов от органических примесей для условий заказчика

- выдача исходных данных на проектирование установок очистки

- выполнение проектных работ

- организация изготовления нестандартного оборудования, наработка и поставка катализаторов, комплектация установки очистки

- организация строительно-монтажных и пусконаладочных работ на установке очистки

- авторский надзор на всех стадиях выполнения работ

В настоящий момент разработчики не состоят в каких-либо обязывающих союзах и соглашениях, которые могли бы затруднить развитие сотрудничества или ограничить возможности по распоряжению интеллектуальной собственностью.

#### Патенты

А.Н.Загоруйко, А.С.Носков, О.В.Костенко. Способ очистки отходящих газов от органических примесей. Патент РФ № 2102119, приоритет 25.07.1995, опубл. 20.01.1998.

А.Н.Загоруйко, А.С.Носков. Способ очистки газов от токсичных примесей. Патент РФ № 2147457, приоритет 21.05.1997, опубл. 20.04.2000.

А.Н.Загоруйко. Адсорбционно-каталитическая система для очистки газов от токсичных примесей. Патент РФ № 2263539, приоритет от 16.06.2004, опубл. 10.11.2005.

А.Н.Загоруйко, С.А. Лопатин, С.В.Зажигалов, Д.А.Писарев, Д.В.Баранов, П.Е.Микенин. Адсорбционно-каталитический реактор. Патент РФ на полезную модель № 163350, приоритет 11.11.2015, опубл. 20.07.2016.

С.В.Зажигалов, А.Н.Загоруйко, С.А. Лопатин, Д.А.Писарев, Д.В.Баранов, П.Е.Микенин, А.В.Елышев. Адсорбционно-каталитический реактор для очистки газов от летучих органических примесей. Патент РФ на полезную модель № 164557, приоритет 11.11.2015, опубл. 10.09.2016.

А.Н.Загоруйко, С.А. Лопатин, С.В.Зажигалов, Д.А.Писарев, П.Е.Микенин, Д.В.Баранов, М.В.Попов. Реактор для проведения адсорбционно-каталитических процессов. Патент РФ на полезную модель № 168532, приоритет 02.06.2016, опубл. 07.02.2017



ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», Новосибирск  
д.т.н. Загоруйко Андрей Николаевич,  
ведущий научный сотрудник ИК СО РАН  
+79139285996, zagor@catalysis.ru

# Каталитические устройства для экологически чистого сжигания топлив, очистки и дезинфекции воздуха на основе стекловолокнистого катализатора

Исходное газовое топливо сжигается в газовой горелке при ограничении количества воздуха, поступающего в зону горения, где дефицит кислорода позволяет минимизировать или полностью исключить образование оксидов азота. Затем поток продуктов сгорания смешивается с воздухом и поступает в каталитический картридж, изготовленный на основе стекловолокнистого катализатора, где происходит каталитическое окисление CO и углеводородов до безвредных продуктов: углекислого газа и паров воды.

Отходящие газы практически не содержат токсичных примесей и не пахнут. Если в воздухе помещения исходно содержатся летучие органические примеси, то в процессе прохождения через воздухонагреватель они также будут дожигаться. Иными словами, каталитический нагреватель не только не будет загрязнять атмосферу в помещении, но даже напротив, может ее очищать в ходе эксплуатации.

Воздух на вход устройства может забираться из приточного воздуховода или непосредственно из атмосферы за пределами помещения, в этом случае помимо отопления помещения такая система может выполнять функции вентиляции.

Каталитические устройства изготавливаются на основе серийных сертифицированных газовых и дизельных тепловых пушек, оснащенных системой подачи газового топлива, его поджига, а также системой отсечек, обеспечивающей безопасную эксплуатацию.

Возможные сферы применения каталитических воздухонагревателей

- Отопление производственных, бытовых и жилых помещений
- Генерация углекислого газа для атмосферы теплиц
- Очистка воздуха в помещениях от токсичных органических примесей
- Дезинфекция воздуха, уничтожение любых патогенов (вирусы, бактерии и пр.)
- Отопительная вентиляция помещений
- Утилизация газообразных и жидких углеводородных и органических отходов

## Устройство для утилизации жидких органических отходов

На аналогичном принципе создано каталитическое устройство для сжигания жидких топлив и утилизации жидких органических и хлорорганических отходов. Изготовлен и испытан прототип каталитического устройства. Испытания показали стабильную работу устройства со следующими параметрами:

- Фактическая тепловая мощность — ~16,5 кВт
- Расход топлива (дизельное топливо зимнее) — 1.7 л/час
- Расход нагреваемого воздуха — 150 м<sup>3</sup>/час
- Температура воздуха на выходе нагревателя — 250–300 °С
- Температура воздуха в 3 м от нагревателя — ниже 80 °С.

Существующие патенты защищают катализатор и способ его производства, конструкции каталитических картриджей на основе СВК, а также описанный способ сжигания топлив и устройство для его осуществления.

А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин, О.П.Кленов. Реактор для проведения гетерогенного каталитического процесса. Патент РФ на полезную модель №124888, приоритет 09.08.2012, опубл. 20.02.2013.

А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин, О.П.Кленов. Каталитическая система для осуществления гетерогенных реакций. Патент РФ на полезную модель №125094, приоритет 09.08.2012, опубл. 20.02.2013.

А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин. Каталитический картридж для осуществления гетерогенных каталитических реакций. Патент РФ на полезную модель № 145037, приоритет 15.04.2014, опубл. 10.09.2014.

Ю.С.Котолевич, С.С.Сигаева, П.Г.Цырульников, А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин. Способ приготовления нанесенных катализаторов методом импульсного поверхностного термосинтеза. Патент РФ № 2549906, приоритет 06.03.2014, опубл. 10.05.2015.

А.Н.Загоруйко, С.А. Лопатин, С.В.Зажигалов, Д.А.Писарев, Д.В.Баранов, П.Е.Микенин. Каталитический картридж для осуществления гетерогенных каталитических реакций. Патент РФ на полезную модель № 166263, 2016.

А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин. Катализатор для гетерогенных реакций. Патент РФ № 2674341, приоритет 27.04.2018, опубликовано 07.12.2018.

А.Н.Загоруйко, С.А.Лопатин. Способ каталитического сжигания газообразных топлив и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2674231, приоритет 07.03.2018, опубликовано 05.12.2018

## Платиновый катализатор ИК-12-С111

Для использования в каталитическом воздухонагревателе предлагается платиносодержащий стекловолоконный катализатор ИК-12-С111, производящийся в опытно-промышленном масштабе по ТУ 2175-119-03533913-2015.

Достоинствами катализатора являются:

- Высокая активность в реакциях окисления СО, паров углеводородов и органических соединений
- Высокая термостойкость катализатора и его эксплуатационная стабильность, в том числе в присутствии серосодержащих соединений
- Низкое содержание платины (менее 0,1 %)
- Использование недорого и доступного на рынке стеклотканного носителя
- Простота масштабирования, сравнительная легкость организации промышленного производства требуемого масштаба.

В каталитическом воздухонагревателе катализатор используется в виде цилиндрического блока спиральной структуры со структурирующими металлическими сетками. Такие блоки отличаются высокой эффективностью тепло- и массообмена, а также низким гидравлическим сопротивлением.

## Воздухонагреватель мощностью 15 кВт на газовом топливе

Изготовлен и испытан прототип каталитического воздухонагревателя на основе газового топлива (пропан-бутан) тепловой мощностью 15 кВт. Испытания показали стабильную работу воздухонагревателя со следующими параметрами:

- Фактическая тепловая мощность — ~15 кВт
- Расход топлива (пропан-бутан зимний) — 1.2 кг/час
- Расход нагреваемого воздуха — 150 м<sup>3</sup>/час
- Температура воздуха на выходе нагревателя — 250–300 °С
- Температура воздуха в 3 м от нагревателя — ниже 80 °С



ФИЦ «Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН», Новосибирск  
д.т.н. Загоруйко Андрей Николаевич,  
ведущий научный сотрудник ИК СО РАН  
+79139285996, zagor@catalysis.ru



# Технологии формирования карбоновых полигонов с высокими углерод депонирующими функциями

За счет направленного управления структурой лесных экосистем на всем протяжении их роста и развития представляется возможным по максимуму использовать их углероддепонирующий потенциал и обеспечивать эффект снижения парниковых газов в атмосфере. Внедрение разработки может стать конкурентным преимуществом отечественных предприятий за счет производства климатически нейтральной продукции.

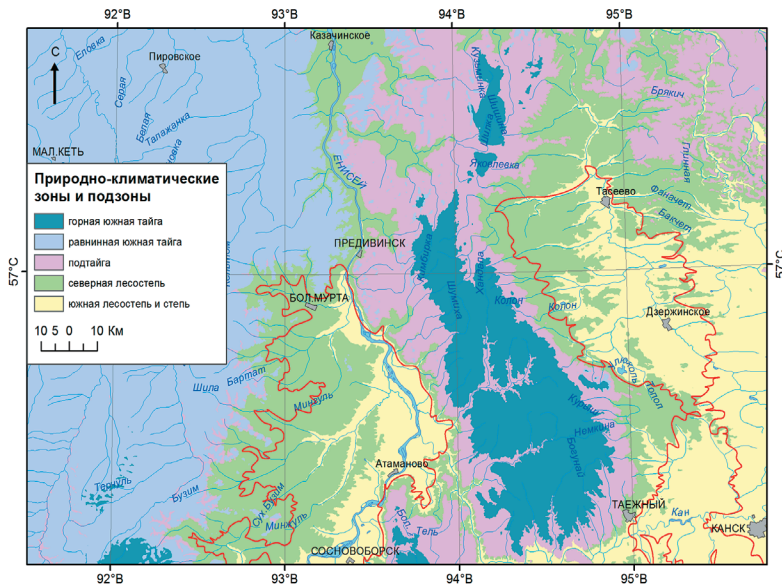
На основе анализа динамики прироста древесины в сосновых насаждениях различной структуры, сформированных посредством создания разногустотных лесных культур и рубокухода различной интенсивности, установлены закономерности формирования углеродных пулов в древостоях лесостепной зоны Сибири. Разработана система моделей, интегрирующих результаты экспериментальных данных и позволяющих оценивать депонирование углерода сосновыми древостоями различного возраста и структуры с погрешностями, приемлемыми для практических целей. Установлены густотно-возрастные оптимумы продуктивности сосновых древостоев, обеспечивающие кратное увеличение поглощения атмосферного углерода управляемыми насаждениями по сравнению с контролем. Параллельно разработана методика выделения лесорастительных условий, пригодных для формирования карбоновых полигонов с высокими углероддепонирующими функциями. Такие условия определялись посредством их соответствия целевому назначению лесов с учетом климатических и почвенных характеристик. В результате неуправляемой классификации (метод ISODATA) климатических показателей (атмосферные осадки и температуры воздуха) были выделены фрагменты природно-климатических зон и подзон (рис. 1), которые соответствуют оптимуму лесорастительных условий для формирования карбоновых полигонов, представленных сосновыми древостоями.

Полученные знания являются теоретической основой для создания карбоновых полигонов, способныхкратно (по сравнению с неуправляемыми лесами) увеличить сток углерода. Направленно сформированные в соответствующих лесорастительных

условиях с соблюдением густотно-возрастных оптимумов целевой (углероддепонирующей) продуктивности участка леса следует расценивать как опытные образцы таких полигонов. Такие участки леса уже на протяжении десятилетий демонстрируют свою эффективность в поглощении атмосферного углерода. Уровень готовности технологий создания карбоновых полигонов в условиях лесостепной зоны достаточно высокий, необходимые доработки могут потребоваться для их формирования в других лесорастительных условиях, потенциально пригодных для этих целей (южная тайга, степная зона). Финансовые затраты на такие доработки не высоки, хотя для адаптации технологий в других лесорастительных условиях и для использования других древесных пород требуется не менее 5–10 лет активных натурных экспериментов.

## Преимущества и уникальность

Известно, что период кульминации текущего прироста в насаждениях различной начальной густоты происходит в разные сроки. В высокополнотных насаждениях максимум прироста наступает раньше, чем в насаждениях редкостойных, после чего он резко снижается. Поэтому регулирование густоты с целью повышения продуктивности древостоев следует начинать до кульминации текущего прироста. Следовательно, в условиях Красноярской лесостепи регулирование густоты плотных молодняков сосны необходимо проводить в возрасте около 10 лет снижая густоту до 10–15 тыс. шт./га, что обеспечит поддержание прироста и депонирование углерода на максимально высоком уровне. Как показывает анализ динамики прироста сред-



На фоне роста обеспокоенности мирового сообщества рисками, связанными с глобальным потеплением климата, промышленным предприятиям следует иметь надежные прогнозные оценки динамики углеродного следа их продукции. Безусловно, в этой ситуации необходимы соответствующие инструменты, позволяющие обеспечить конкурентные преимущества своей продукции на международном рынке. В качестве одного из таких инструментов может служить создание карбоновых полигонов по технологиям, обеспечивающим их эколого-экономическую эффективность.

невозрастных сосняков, максимальный прирост наблюдается в насаждениях, густота которых находится в диапазоне от 1,5 до 2 тыс. шт./га. С увеличением густоты прирост резко снижается, что обусловлено обострением конкурентных отношений.

Преимуществом предлагаемой технологии является кратное повышение углероддепонирующих функций карбоновых полигонов по сравнению с неуправляемыми лесами за счет соблюдения направленно формируемых густотно-возрастных оптимумов продуктивности.

Создание таких полигонов ставит целью снижение концентрации парниковых газов в атмосфере, смягчение нега-

тивных последствий глобальных климатических изменений и уменьшение углеродного следа промышленных предприятий. Новизна научного результата заключается в практической реализации выявленных густотно-возрастных оптимумов целевой продуктивности сосновых древостоев в условиях Красноярской лесостепи.

Стабилизацию концентрации парниковых газов в атмосфере можно достичь за счет сокращения выбросов, либо увеличением их поглощения наземными экосистемами. Считается, что леса обеспечивают практически весь сток углерода в растительные экосистемы. С учетом того, что парниковая теория глобальных климатических изменений доминирует в научных и общественных кругах, большое внимание уделяется изучению основных механизмов, регулирующих процессы накопления и расхода углерода экосистемами.

Разработка лесных проектов по поглощению  $\text{CO}_2$  лесами для промышленных предприятий может стать их конкурентным преимуществом за счет производства климатически нейтральной продукции, что может положительно отразиться на стоимости акций компаний. С учетом стоимости тропических лесных тонн  $\text{CO}_2$ , которые сегодня можно купить на углеродном рынке по доллару, несомненный интерес представляет изучение перспектив реализации лесных проектов в бореальных лесах. В связи с этим актуальность исследований по оценке динамики аккумуляции углерода лесными экосистемами в лучших лесорастительных условиях сибирского региона не вызывает сомнений. Полученные результаты могут быть полезны при ответе на вопрос о том, стоит ли вкладываться в затратные лесные проекты и как их реализация отразится на продажах продукции предприятий. Подкрепленные расчетами доказательства рентабельности проведения лесных проектов, их положительного влия-

ния на прибыль и стоимость акций послужат основанием для реализации этих проектов в тех условиях и по такому алгоритму, когда будет обеспечена наименьшая стоимость поглощенной тонны  $\text{CO}_2$ . Это позволит доказать, что в России можно реализовать лесные проекты дешевле, чем в тропических странах, где уже продаются углеродные тонны.

Динамика годичного прироста древесины, отражающая поглощение лесами атмосферного углерода, может служить научной основой обоснования вариантов лесопользования на основе модели интенсивного использования и воспроизводства лесов, гармонично сочетающих разные способы рубки с принципами устойчивого лесопользования в целях увеличения секвестра углерода. В качестве аналогов углеродных полигонов можно рассматривать лесные плантации, лесные культуры и управляемые леса (леса, структура которых регулируется рубками ухода). Однако целевое назначение таких цензов зачастую не соответствует целям создания карбоновых полигонов. Они создаются, как правило, в целях получения древесины с заданными свойствами, облесения земель с целью защиты почв, регулирования гидрологического режима, сохранения биоразнообразия. В этом случае не ставится цель повышения секвестирования углерода данными типами растительности.

#### Предполагаемый интерес для внедрения

Полученные результаты могут служить основой реализации проектов лесопользования и создания компенсационных посадок в целях увеличения секвестра углерода как на землях лесного фонда, пройденных рубками и нарушенных пожарами, так и на бывших сельскохозяйственных угодьях. В реализации такого рода проектов заинтересованы в первую очередь промышленные предприятия, продукция которых поступает на международный рынок, где к ней предъявляются требования по соблюдению принципа углеродно нейтральной продукции. Непосредственный интерес к данной разработке проявлен со стороны АО «РУСАЛ - Красноярский алюминиевый завод», для которого на договорной основе разработаны рекомендации по выделению и созданию компенсационных объектов. Проявлен интерес к развитию сотрудничества в этом направлении со стороны угольных компаний. В перечень потенциальных заинтересованных сторон использования разработки могут быть включены другие субъекты экономики, ставящие целью снижение углеродного следа своей продукции.

Оценка эффективности реализации карбоновых полигонов должна включать в себя экологический и экономический анализ, который даст возможность определить затраты на миллионы метриче-

ских тонн углерода, депонированного благодаря выполнению проектов устойчивого и экосистемного лесопользования, покажет целесообразность вложений в финансово затратные лесные проекты и отдачу от их реализации на продажах продукции предприятий. Экономическая эффективность применения разработки будет зависеть от стоимости за тонну  $\text{CO}_2$ . Известно, что Комиссия высокого уровня по ценам на углерод, возглавляемая экономистами Николасом Стерном и Джозефом Стиглицем, рекомендовала в 2020 году довести цены на углерод до уровня 40–80 долл. за тонну  $\text{CO}_2$ , а к 2030 году — до уровня 50–100 долларов. Если с учетом этого принять стоимость тонны  $\text{CO}_2$  на уровне 50 долларов, то средства, вложенные в формирование карбоновых полигонов, могут окупиться в двух-трехкратном размере уже через 15 лет.

Очевидно, что в России с учетом предложенных рекомендаций можно реализовывать лесные проекты не менее эффективно, чем в тропических странах, где налажена торговля углеродными тоннами. Представленные результаты и расчеты могут служить доказательством эффективности реализации лесных проектов, связанных с созданием компенсационных объектов, обеспечивающих поглощение  $\text{CO}_2$ , что позволит существенно улучшить экологическую ситуацию. Навыки применения предложенных методических подходов позволят эффективно проводить широкомасштабные изыскания по подбору и комплексной экологической оценке территорий — потенциальных компенсационных биополигонов, проектированию и формированию на них лесных экосистем с заданными параметрами продуктивности и биологического разнообразия.

#### Запрос на индустриальное партнерство

От индустриального партнера потребуются инвестиции в создание карбоновых полигонов, которые должны создаваться под научно-методическим руководством разработчика технологии. Работы должны проводиться на основе партнерского соглашения и дорожной карты, предусматривающей этапы и последовательность формирования полигонов.м

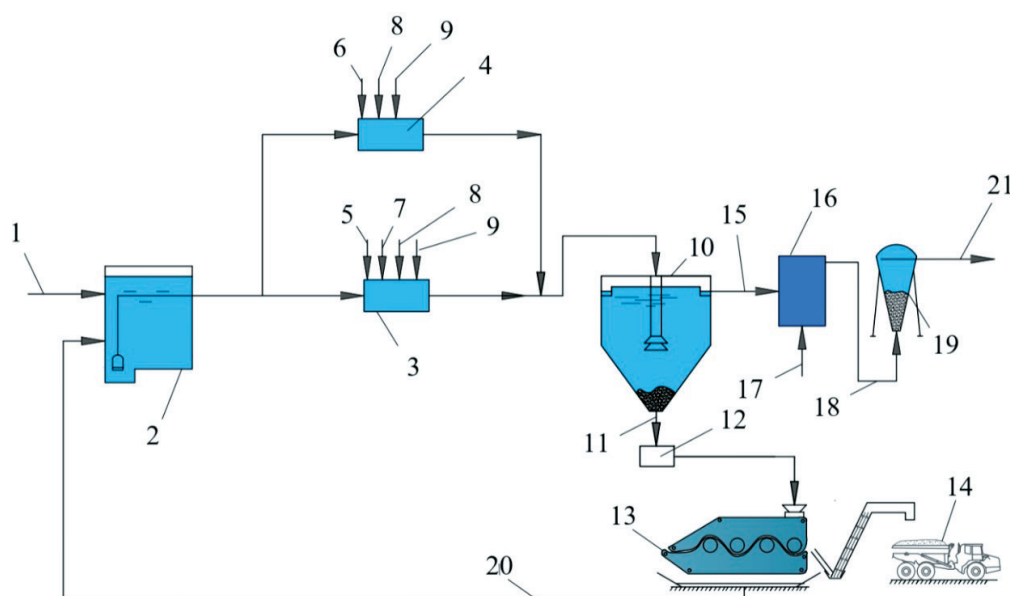


Институт леса им. В. Н. Сукачева  
ФИЦ «КНЦ СО РАН», Красноярск  
Онучин Александр Александрович, директор  
+79029231029, onuchin@ksc.krasn.ru,  
Данилова Ирина Валерьевна,  
старший научный сотрудник,  
+79029801592, tiv80@ksc.krasn.ru



## Технология очистки шахтных вод в Арктической зоне

Предлагаемый метод решает проблему сброса высококонцентрированных сточных вод в водоемы с высоким содержанием сульфатов.



Норильский рудный район — бесценная кладовая в Арктической зоне России: здесь находятся сульфидные медно-никелевые месторождения мирового значения. Приоритетным загрязнителем шахтных вод в районе являются сульфаты. Специалистами НГАСУ (Сибстрин) предложен новый способ очистки, позволяющий удалить значительную часть сульфатов путём осаждения в виде сульфата бария. Исследования проводились на реальной сточной воде шахты «Известняков» рудника «Кайерканский» с определением основных физико-химических показателей качества сточных вод на современном лабораторном оборудовании и по удалению сульфатов из шахтных сточных вод с содержанием 1050 мг/л путем ввода различных доз барийсодержащих реагентов: хлорида бария, гидроксида и карбоната бария.

Среди перечисленных реагентов наилучшие результаты были получены с применением хлорида и гидроксида бария. Использование хлорида бария с дозой 2700 мг/л и гидроксида бария дозой 3200 мг/л позволило снизить концентрацию сульфатов ниже предельно допустимой (100 мг/л) концентрации для сброса в водоем рыбохозяйственного назначения, разработана надежная в эксплуатации технологическая схема. При этом очистка осуществляется при разделении потоков — в меньшую часть (около 26% от поступающего) осуществляется ввод хлорида бария, во вторую — гидроксида бария. После этого потоки вновь смешиваются, отстаиваются, при необходимости направляются в декарбонизатор или на сооружения доочистки, после чего сбрасываются в водоем. Образующийся осадок складировается на специальных полигонах или подвергается

## Использование заявленного способа позволяет достичь почти 100% снижения сульфатов.

переработке для извлечения ценных компонентов. Технологическая схема представлена на рисунке 1.

Шахтные сточные воды (1) поступают в резервуар-усреднитель (2), где усредняются по расходу и составу, после чего сток разделяют на два потока и направляют на физико-химическую очистку. Меньшая часть поступающего потока направляется в первую камеру реакции (3), куда вводится соляная кислота  $\text{HCl}$  (7) в количестве, обеспечивающем снижение рН до 4, хлорид бария (5) и воздух для перемешивания реагентов. Ввод соляной кислоты необходим не только для полноты химической реакции, но и получения более крупных кристаллов  $\text{BaSO}_4$ . Остальной расход подается во вторую камеру реакции (4), куда вводят гидроксид бария (6), а также флокулянт (8) и воздух (9). Указанное соотношение расходов при разделении общего потока зависит от концентрации хлоридов в исходной сточной воде и категории водопользования водоема, куда осуществляется выпуск очищенных сточных вод. Использование хлорида бария для очистки части сточной шахтной воды принято с целью снижения расходов на бариевые реагенты, т.к. стоимость хлорида бария и его дозы меньше гидроксида бария. После камер реакции потоки смешиваются и направляются в отстойники физико-химической очистки (10) для выпадения сульфата бария в осадок.

Очищенная от сульфатов сточная жидкость (15) с рН=10-10,2 направляется в карбонизатор (16) для снижения рН до 8,5, куда подаются дымовые газы (17) (например, после котельной), и далее сточная жидкость (18), с откорректированной рН подается в вихревой реактор (19) для отделения кристаллов гипса, сульфатов и карбонатов бария. Образующийся минеральный осадок (11) насосами насосной станции (12) подается в цех механического обезвоживания в фильтр-прессы (13). Обезвоженный осадок (14) складировается на площадках или снова используется, а образующийся фильтрат (20) направляется на повторную очистку перед резервуарами-усреднителями (2).

При необходимости очищенная от сульфатов сточная жидкость (21) перед сбросом в водоем может быть направлена на узел доочистки, например, на фильтры доочистки любой конструкции.

Предлагаемую схему очистки можно использовать при любой концентрации сульфатов в сточной воде. При их содержании более 3–4 г/л можно предварительно снизить её до 2 г/л (растворимость гипса) известкованием с вводом замутнителя и последующим отстаиванием, а затем, для более глубокой очистки применить предлагаемую схему.

На сегодняшний день авторами подана заявка на изобретение «Способ очистки шахтных сточных вод от сульфатов».

К отраслям для потенциального применения относится предприятия горнорудной промышленности и горно-обогатительные комбинаты. Разработка дает возможность сократить сброс сульфатсодержащих сточных вод в водоемы, что способствует улучшению экологической ситуации.

В настоящее время ведутся переговоры с ПАО «Норникель» и компанией «Mirraco».

О.Г. Гириков, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Е.А. Матюшенко, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Ю.Л. Сколубович, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск  
Е.Л. Войтов, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск



Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
Новосибирск  
Сколубович Юрий Леонидович, д.т.н., член-корреспондент РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин)  
266-41-25, rector@sibstrin.ru

# Интенсификация технологии электрокоагуляционной очистки нефтесодержащих сточных вод

Назначение разработки: устранение зашламления электродов при эксплуатации электрокоагуляторов путем регулирования технологического процесса устройством для получения асимметричного тока и вибрационного воздействия. Проведены экспериментальные исследования, в ходе которых установлено, что вибрационное воздействие на электроды в диапазоне 40–60 Гц позволяет ускорить процесс осаждения шлама с поверхности электродов в межэлектродном пространстве и снизить энергопотребление. Показана возможность процесса электрообработки асимметричным током маслосодержащего осадка для снижения удельного сопротивления фильтрации, замасленности и влажности. Определен химический состав осадка от электрокоагуляционной очистки маслоэмульсионных сточных вод с целью разработки технологии его последующей утилизации.

В сфере металлообработки рациональным методом очистки сточных вод, содержащих эмульгированные нефтепродукты в условиях ограниченности производственных площадей, а также на предприятиях, расположенных в отдаленных районах, является электрохимическая технология. Преимущество электрокоагуляционного метода в сравнении с реагентной обработкой обусловлено компактностью установок, относительной простотой их эксплуатации и сокращением объема реагентного хозяйства. Недостатком этой технологии является расход металла (алюминия, железа) и электроэнергии. Последний возрастает вследствие затрат на нагревание воды, поляризацию электродов и увеличенное сопротивление. Кроме того есть трудность в обслуживании электрокоагуляторов за счет зашламления межэлектродного пространства, которое необходимо постоянно прочищать скребками. Предлагаемая разработка позволяет снизить негативные факторы электрокоагуляции.

Для проведения процесса эффективной очистки нефтесодержащих сточных вод в стабильном режиме разработан более совершенный способ и два устройства электрокоагуляции нефтесодержащих стоков асимметричным током. При электрообработке нефтесодержащих стоков с разной концентрацией загрязнений выбирается оптимальная форма тока изменением периода  $T$ , дли-

Разработанные устройства для получения асимметричного тока при вибрационном воздействии позволяют регулировать процесс очистки нефтесодержащих сточных вод электрокоагуляцией и устраняют зашламление электродов.

тельности обратного тока и амплитуды импульсов. Использование асимметричного тока способствует эффективному растворению анода за счет разрушения поляризационной масляной пленки с помощью импульса отрицательной полярности, что позволяет обеспечить стабильность процесса обработки нефтесодержащих стоков с сокращением энергозатрат при высоком эффекте очистки.

Проведены сравнительные исследования процесса электрокоагуляции на сточной воде, содержащей эмульгированные нефтепродукты, при использовании разработанных нами устройств получения асимметричного тока.

Первое разработанное устройство содержало источники питания прямого и обратного тока электролизера и соединялось с коммутатором тока, а также с электродами электролизера и блока датчиков, контролирующими параметры очистки сточных вод. Контроль источника питания прямого и обратного тока электролизера был выполнен в ви-



де импульсных преобразователей тока, а коммутатор тока выполнен в виде ключевого инвертора тока на полупроводниковых приборах. Кроме того, устройство снабжено компьютером, соединенным с блоком датчиков контролируемых параметры очистки сточных вод и блоком управления коммутаторов тока электролизера. Использование асимметричного тока способствовало эффективному растворению анода за счёт разрушения поляризационной масляной плёнки. Стабильность процесса обеспечивала обработку нефтесодержащих сточных вод электрокоагуляцией при асимметричном токе. После определения концентрации эмульгированных нефтепродуктов подбирались режимы асимметричного тока; изменялись периоды, длительность обработки током и амплитуды импульсов.

Во втором устройстве было применено вибрационное воздействие на электролизер с частотой 40–60 Гц, блок датчиков контроля состава сточных вод, поступающих на обработку и микропроцессорный контроллер с панелью оператора для контроля и регулирования технологического процесса. Для удаления шлама в межэлектродном пространстве в момент подачи на анод обратного тока система накладывала вибрацию электролизера для увеличения скорости процесса осаждения шлама в межэлектродном пространстве и снижения энергопотребления. Экспериментальные исследования показали, что второе устройство позволяет достигать высокого качества очистки при более низких затратах электроэнергии. Сокращение затрат электроэнергии составляет 33 %. Получены гистограммы расхода электроэнергии и качества очистки стоков с использованием асимметричного тока.

Установлено, что вибрационное воздействие в диапазоне 40–60 Гц позволяет ускорить процесс осаждения шлама с поверхности электродов и снизить стоимость установки, эксплуатационные затраты и возможность автоматизации процесса очистки сточных вод от технологических загрязнений. После электрокоагуляционной обработки асимметричным током второго устройства загрязненная жидкость доводилась до значения  $pH=7,8$  при добавлении суспензии известкового молока для последующего отделения осадка.

Для интенсификации процесса электрокоагуляции осадок можно обрабатывать асимметричным током, который получается при помощи устройства при наличии вибрационного воздействия. В работе были выполнены дополнительные экспериментальные исследования в пластинчатом электролизере с алюминиевыми электродами, емкостью 250 мл и рабочей поверхностью электродов  $S = 1,79 \text{ дм}^2$ . Исследования показали, что для уменьшения расхода электроэнергии, наиболее рацио-

нально выбрать интервал длительности прямого и обратного тока -100/10 сек. и интервал амплитуды прямого и обратного тока - 0,35/0,7 А.

Применение асимметричного тока способствует снижению поляризации электродов и увеличению выхода ионов  $Al^{3+}$ , вызывающих коагуляцию маслосодержащего осадка. Установлено, что применение электрокоагуляции асимметричным током маслосодержащего гидроксидного осадка, образующегося при очистке нефтесточков, приводит к снижению удельного сопротивления фильтрации в 2 раза, замасленности в 2,5 раза, влажности на 1,4 % и улучшению сорбционных свойств за счет увеличения концентрации коагулирующих ионов  $Al^{3+}$ , что позволяет повторно использовать его для очистки сточных вод.

#### Выводы

1. Разработанные устройства для получения асимметричного тока при вибрационном воздействии позволяют регулировать процесс очистки нефтесодержащих сточных вод электрокоагуляцией и устраняют зашламливание электродов.

2. Использование устройства для электрообработки асимметричным током нефтесодержащих стоков с вибрацией снижает расход электроэнергии на 33% и позволяет достигать высокого качества очистки.

3. Применение электрокоагуляции асимметричным током маслосодержащего гидроокисного осадка, образующегося при очистке нефтесодержащих стоков, приводит к снижению удельного сопротивления фильтрации в 2,5 раза, замасленности в 1,5 раза, влажности на 1,4 %. При этом улучшаются сорбционные свойства осадка за счет увеличения концентрации коагулирующих ионов  $Al^{3+}$  и возможности его повторного использования для очистки сточных вод.

4. Определен химический состав осадка нефтесодержащих сточных вод термогравиметрическим методом для разработки технологии утилизации промышленных отходов, решения проблем ресурсосбережения и охраны окружающей среды.

С.Г. Третьяков, СФУ, Красноярск

Т.И. Халтурина, СФУ, Красноярск

О.В. Чурбакова, СФУ, Красноярск

Ю.Л. Сколубович, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск

Е.Л. Войтов, НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск



Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин),  
Новосибирск  
Сколубович Юрий Леонидович, д.т.н., член-корреспондент РААСН, ректор НГАСУ (Сибстрин)  
266-41-25, rector@sibstrin.ru

## Сорбенты для решения экологических проблем

Проблема устранения загрязнений, возникающих в результате деятельности человека (тяжелые металлы, полиароматические соединения, нефтепродукты и др.), приобретает все возрастающую актуальность. Для сохранения объектов гидро- и биосферы используют различные технологии ликвидации загрязнений, среди которых важное место занимают сорбционные методы.

В Институте химии и химической технологии СО РАН (обособленное подразделение ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН») проводятся исследования, направленные на разработку основ технологий получения сорбентов из низкометаморфизованных ископаемых углей, отходов переработки низкосортной древесины различных пород и отходов полимерных материалов, а также композитных сорбентов из смесей указанных материалов.

Поскольку углеродные сорбенты могут быть получены из любого вида углеродсодержащего сырья, включая отходы, можно уверенно прогнозировать, что они внесут важный вклад в решение проблем устойчивого развития человечества в XXI веке.



Буроугольный сорбент БУС-502 зерновый (установка псевдоожиженного слоя)



Уголь сапропелитовый (Совместный пиролиз и активация водой)



Скорлупа кедрового ореха отмытые (Совместный пиролиз и активация водой)

## Дешевые углеродные сорбенты

Технология, предназначенная для получения углеродных сорбентов из низкометаморфизованных ископаемых углей и отходов переработки древесины, отличается от известных технологий совмещением процессов карбонизации и активации сырья в одном реакторе, что позволяет сократить число и объем аппаратов, снизить удельные энергетические затраты и уменьшить продолжительность процесса. Тепло, необходимое для проведения процесса, выделяется в том же реакторе за счет каталитического окисления летучих продуктов карбонизации.

Производительность установки в расчете на 1 м<sup>3</sup> оборудования увеличена по сравнению с традиционными процессами в 5–7 раз, стоимость переработки снижается в 2–3 раза.

Разработка обеспечивает получение углеродных сорбентов, обладающих повышенной сорбционной емкостью в отношении нефтепродуктов и органических соединений. Может быть использована в производстве адсорбентов, в нефтехимической, химической, металлургической промышленности, а также в очистке сточных вод от органических и других загрязнений.

Технология отработана на пилотных установках производительностью 15–30 кг/час. Сорбенты прошли опытно-промышленные испытания на Красноярской ТЭЦ-2 по очистке сточных вод от нефтепродуктов. На лабораторном уровне показана эффективность применения определенных марок сорбентов, полученных по данной технологии, для очистки воды от фенолов, ионов металлов, газовых выбросов от оксидов азота.

## Волокнистые композитные сорбенты из вспененного полистирола и растительных отходов для сбора нефтепродуктов



Древесно-полистирольные волокнистые сорбенты

1. Окорка осины-полистирол после взрывного автогидролиза
2. Береста коры березы-полистирол после взрывного автогидролиза
6. Установка взрывного автогидролиза

Разработан способ получения волокнистых композитных сорбентов из смеси вспененного полистирола и растительных отходов, активированных взрывным автогидролизом. Установлено, что наиболее эффективными наполнителями для нефтесобирателей на основе полистирольного волокна являются автогидролизованная береста березы, опилки осины, окорка осины.

Полученные сорбенты по нефтеемкости и плавучести после сбора нефти находятся на уровне промышленных образцов и превосходят их по степени отжима нефти. Использование автогидролизованных растительных отходов в качестве наполнителей нефтесобирателей позволяет на 50 % снизить содержание в них полистирольного волокна.

Благодаря высокой плавучести после сбора нефти и незначительной степени нефтеотдачи (0,6–1,0 %) разработанные сорбенты могут использоваться для ликвидации загрязнений с водных поверхностей.

Предложен способ получения магнитных углеродных сорбентов путем карбонизации древесных отходов, модифицированных соединениями железа. Показана возможность их использования для сбора нефти с водной поверхности.



Институт химии и химической технологии  
«ФИЦ КНЦ СО РАН», Красноярск  
Таран Оксана Павловна, директор ИХХТ СО РАН,  
д.х.н., проф. РАН,  
(391) 205-19-50, taran.op@icct.krasn.ru



## Мелкобугристая технология горного этапа рекультивации отвалов

Формирование продуктивных отвалов горных пород — одна из приоритетных задач промышленной экологии. Цель рекультивации — восстановить прежнее состояние или создать новые условия, которые позволят естественным и искусственным путем обеспечить образование разнообразных продуктивных и хозяйственно важных биоценозов. В настоящее время основное внимание уделяется селектированию насыпаемых грунтов с разделением их на плодородные, потенциально плодородные и неплодородные. На следующем этапе встает вопрос выравнивания, нивелирования отвалов, чтобы исключить вначале плоскостную, а затем и линейную эрозию. С учетом трудно прогнозируемой просадки насыпных грунтов выровнять отвалы, чтобы исключить поверхностный сток, практически невозможно, и требуется много затрат на горный этап рекультивации. Третья немаловажная проблема — обводнение поверхностного слоя отвалов для обеспечения роста растениям. Насыпные грунты не имеют природной скважинности, водоупорных горизонтов и порозности, которые обеспечивают капиллярное снабжение влагой почвенного слоя. Техногенные почвогрунты имеют провальное водоснабжение и могут удерживать только поверхностный сток за счет своей влагоемкости и конденсации воздушной влаги. Гигроскопическая влага удерживается дисперсностью грунта, и ее больше в глине, но наилучшими свойствами удерживать влагу обладают органические вещества, которые отсутствуют в отвалах горных пород. Все три задачи — селектирование, выравнивание и обводнение грунтов отвалов — в настоящее время решаются с помощью разрозненных специализированных методов. Нами предлагается в одной технологии объединить решение основных экологических проблем горных отвалов.

Технология разработана на основании многолетних (с 2007 г.), комплексных (почва, растительность, животные) экологических исследований разновозрастных (1-, 10-, 17-, 22-, 28-летних) и созданных разными технологиями (не рекультивированные, без и с ПСП) на постоянных мониторинговых участках (13) отвалов Бородинского угольного разреза, а также наблюдений лесовосстановления на полигонах по добыче золота, железной руды и асбеста Чаданского угольного разреза. Полученные результаты позволяют предложить экологическую технологию формирования отвалов горных пород с высоким разнообразием местообитаний, продуктивностью и одновременно устойчивых к воздействию эрозии, а также с меньшими экологическими затратами.

Основной принцип — создание мозаичной бугорчато-западной структуры поверхности отвалов, обеспечивающей разнообразие почвенных условий произрастания растительности и обитания животных. Это достигается специальным технологическим приемом при проведении горного этапа рекультивации. В зависимости от формы поверхности (склоновая, выровненная) после выравнивания отвалов вместо их дальнейшей планировки бульдозером проводится формирование ячеистой (площадной или линейной) структуры

западных элементов микрорельефа. Объем и количество выемок должны обеспечивать сбор всего максимального весеннего и летнего поверхностного стока, поэтому они рассчитываются в зависимости от количества твердых осадков, режима их таяния и максимального выпадения ливневых дождей, а также влагоемкости грунтов, способных удерживать гигроскопическую влагу. Такая перехватывающая система не требует планировки отвалов и особой селекции горных пород при отсыпке. В ячеистых структурах в первые 2–3 года в результате интенсивной, локальной, поверхностной эрозии происходит естественная селекция горных пород, оставляя на выпуклых поверхностях более легкий, каменистый грунт, а в днищах западин — глинистый. В результате разности механического состава грунтов формируется эдафическое разнообразие. Кроме того, различие в режиме увлажнения увеличивает эту дифференциацию. Задерживание атмосферных осадков на отвалах и их перевод в грунтовый сток ускоряет процесс организации водоносных и водоупорных горизонтов.

Технические и проектные условия реализации разработки

Размер и форма улавливающих воду западин зависит от технологии и технических средств, используемых на первом этапе выравнивания отвалов после их отсыпки. Отсыпка железнодорожным транспортом и выравнивание бульдозером требует последующей планировки отвала для размещения западин и их выкапывание бульдозером. Экскаваторная отсыпка сразу создает бугорчато-западинную поверхность отвала, уклон и протяженность откосов, которой необходимо привести в состояние, исключающее длительную и интенсивную поверхностную эрозию. В этом варианте встает обратная задача сглаживания отсыпанных конусов с сохранением понижений, не требующая предварительного пикетирования технологических западин для перехвата и накопления воды, а также метеобоснования и физической характеристики грунтов. В большей мере формированию микробугорчатого, ячеистого рельефа отвалов способствует экскаватор-самосвал. Такие поверхности требуют минимальных

Такая перехватывающая система не требует планировки отвалов и особой селекции горных пород при отсыпке

затрат на выполаживание конусов, исключают поверхностный сток, но не способствуют формированию биологического разнообразия. Это связано с перекрытием в несколько раз площади элементарной растительной ассоциации или индивидуального участка мелких млекопитающих масштаба ячеистой структуры автомобильной отсыпки отвала.

При необходимости расчет емкости западин проводится по данным ближайшей метеостанции за последние 10 лет. Берутся сведения: режим выпадения жидких осадков в теплый период года (суточные данные по сумме осадков, их интенсивность по продолжительности дождей); сумма твердых осадков (запасы воды в снеге); интенсивность снеготаяния по сумме положительных температур за период схода снега. Непосредственно на отвалах проводится корректировка запасов снега с учетом орографических условий и метелевого переноса.

Влагоемкость грунтов определяется по справочной литературе в зависимости от гранулометрического состава (песок, супесь, суглинок и пр.) с обязательным уточнением в эксперименте. Для этого с поверхности отвала берется монолит (куб) грунта (лучше в сетчатом каркасе) не менее 20×20×20 см, высушивается до воздушно-сухого состояния и взвешивается. Затем монолит опускается в воду, вытаскивается и после прекращения с него стока воды — снова взвешивается. Разница последнего взвешивания и первого дают объем капиллярной воды, который способен удерживать грунт. Учитывая достаточно высокую мозаику физических свойств отсыпаемых грунтов, первоначально такие замеры необходимо выполнить по одному на гектар. При невысокой изменчивости полученных показателей количество замеров следует сократить.

#### Область применения:

Горные отвалы различного происхождения (дражные и гидромеханические полигоны по добыче золота, отвалы горной породы карьеров по добыче угля, руд, асбеста, откосы строительных сооружений и пр.), срока давности и географического расположения, рекультивируемые под лесозаращивание и рекреационное использование.

#### Результаты улучшений: текущие и ожидаемые

На этапе горной рекультивации основным индикатором улучшения служит сокращение затрат на планировку отвала. В каждом конкретном случае он рассчитывается по технологическим картам рабочего проекта рекультивации прежней и предлагаемой технологии. На стадии просадки и стабилизации грунтов индикатором служит общая площадь плоскостной эрозии отвала и размер отдельных участков смывания грунта или насыпанного и ранее снятого почвенного горизонта или потенциально плодородного слоя.

На биологическом этапе предлагаемая схема размещения микрокотловин способствует естественному зарастанию травянистой растительностью, лесовозобновлению и одновременно не препятствует традиционному проведению механической (лучше ручной) посадки лесных культур.

Ожидается, что в течение 10–15 лет перепады высот бульдозерных выемок 1–2 м морфологически значительно сгладятся, но разность почвогрунтов по гранулометрическому составу и влагоемкости будет сохраняться долгое время, обеспечивая разнообразие почвенных условий, растительности и животных. Экскаваторная мелкобугристая отсыпка должна сохранять мозаичный мезорельеф длительное время.

#### Оценка эколого-экономической эффективности

В настоящее время не разработаны критерии экологической оценки естественного и техногенного состояния ландшафтов. Применяемый показатель биологического разнообразия и сравнительная оценка техногенного изменения видового состава фоновой растительности и животного населения — не корректны. Исследование территорий со старыми нарушениями показали их уникальное разнообразие относительно окружающего ландшафта. Следует оценивать сходство техногенных и природных сообществ близкого функционального значения в экосистеме, например, водоемы с одинаковыми параметрами (пруды и озера на отвалах). Обязательно следует оценивать уникальность биоценоза, сформировавшегося в техногенном контуре, его функциональное место в ландшафте, продуктивность по компонентам, а также

важно знать тренд его первичной сукцессии. Только такой комплекс признаков позволит оценить реальный экологический эффект от внедрения разработок. Применение такого подхода оценки к действующим нормативам рекультивации под сельхозпользование и лесозаращивание дает очевидный отрицательный эффект, поскольку никакие применяемые сейчас технологии горной рекультивации не позволяют сформировать исходные почво-грунтовые условия. Только для лесной растительности требуется не менее 30–40 лет, чтобы сформировалась подстилка и начался процесс формирования лесных почв. Поэтому технология, предлагающая дифференцировать поверхность отвалов по почво-грунтовым разностям и режиму увлажнения, одновременно исключая эрозионные процессы, обладает высоким экологическим потенциалом.

Экономическая эффективность определяется конкретно для каждого предприятия, при этом она оценивается по исключению определенных технологических приемов, которые требуются по действующим нормативам (снятие и хранение почвенного горизонта, селектирование горных пород, выравнивание поверхности отвалов, нанесение плодородного слоя). На этапе горной рекультивации исключается чистовая планировка отвалов. На биологическом этапе возможен отказ от посева культурных растений и создания лесных культур. По экспертной оценке, все рекультивационные работы удешевляются на 30 %, но при очевидном положительном экологическом эффекте.

Патент №2615533.



Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН,  
Красноярск  
Мурзакматов Р.Т., с.н.с., заведующий лабораторией техногенных лесных экосистем ИЛ СО РАН  
shishikin@ksc.krasn.ru,  
takcator\_m@mail.ru,  
8-906-910-90-85



## Разработка технологий рекультивации с заданной почвенно-экологической эффективностью

Добыча полезных ископаемых приводит к образованию нарушенных территорий — техногенных ландшафтов, на которых требуется восстановление нарушенных земель. При этом используются различные технологии рекультивации, однако оценка их эффективности в большинстве случаев не проводится.

В лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН разработан метод, позволяющий объективно оценить эффективность рекультивационных работ. Установлено, что из-за технологической специфики формирования техногенных ландшафтов и особенностей их функционирования в различных природно-климатических условиях в каждом из них формируются индивидуальное почвенно-экологическое состояние, то есть создаются свои перспективы рекультивации. Показана экологическая актуальность предпроектных работ на объекте с целью получения информации, необходимой для оценки эффективности отдельных технологий. Разработана система методов получения и использования в проектах рекультивации информации, полученной в предпроектный период.

Применение разработанного метода позволяет на этапе проектирования рекультивационных работ предложить спектр технологий рекультивации с различной почвенно-экологической эффективностью. При этом вариантов технологий может быть достаточно много. Заказчику предоставляется возможность выбрать наиболее экономически и экологически обоснованную технологию рекультивации конкретного техногенного объекта. Таким образом, значительно снижаются затраты и повышается эффективность рекультивационных работ.

Теоретической основой разработки метода расчета почвенно-экологической эффективности являются материалы, полученные в результате многолетних исследований, выполненных сотрудниками лаборатории рекультивации почв ИПА СО РАН на техногенных ландшафтах Кузбасса.

Метод опробован при проектировании рекультивационных мероприятий на месторождениях ОАО «Евразруда», ОАО «Кузбасская топливная компания», АО «СУЭК», АО «УК «Кузбассразрезуголь». Для рекультивации отвалов, образованных при добыче полезных ископаемых, был разработан спектр технологий рекультивации и оценена их почвенно-экологическая эффективность.

Помимо железорудных и угольных горнодобывающих компаний разработанный метод может



Рекультивация отвалов угольных пород при сплошной схеме нанесения ППП.

представлять интерес для внедрения также на любых промышленных предприятиях, чья деятельность связана с нарушением почвенного покрова. Договорные работы с проектными организациями, заинтересованными в применении метода для достижения наибольшей эффективности рекультивации, позволят разработать рекомендации по сокращению затрат на проведение рекультивационных работ.

Предварительный расчет эффективности различных технологий рекультивации для конкретных техногенных ландшафтов позволит осуществить обоснование и выбор технологии рекультивации с заданной почвенно-экологической эффективностью. После выполнения работ мы готовы проконтролировать качество и полноту реализации проекта рекультивации.

Разработанный метод оценки эффективности основан на учете индивидуального сочетания технологических особенностей формирования техногенных ландшафтов с природно-климатической спецификой их функционирования.

Проект позволяет научно обосновать и выполнять рекультивационные работы в процессе разработки месторождения, сократить затраты и повысить почвенно-экологическую эффективность рекультивации.



Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,  
Новосибирск  
Андроханов Владимир Алексеевич, директор  
института, д.б.н.  
8 (383) 363-90-27, Androhanov@issa-siberia.ru

# Технология биоремедиации нефтезагрязненных почв для климатических условий Крайнего Севера

Суть технологии заключается в применении биопрепарата на основе природных материалов (цеолит и микроорганизмы) для очистки и восстановления нарушенных земель после разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Крайнего Севера. Без применения дополнительных мер по реабилитации нарушенных земель процесс самовосстановления нефтезагрязненных почв в условиях севера может длиться до 50 лет и более. Заявленная технология позволяет сократить срок реабилитации нефтезагрязненных мерзлотных почв до 3–5 лет.

Технология ИПНГ СО РАН предназначена для очистки нефтезагрязненных земель в природно-климатических условиях Крайнего Севера с применением биотехнологической продукции (биопрепарата). Он состоит из твердого субстрата-носителя из отходов добычи минерального сырья (мелкозернистый цеолитизированный туф) с иммобилизованной на его поверхность биомассой консорциума аборигенных углеводородокисляющих микроорганизмов, выделенных из природных экотопов Якутии, а также минерального питательного субстрата для бактерий. Биопрепарат позволяет в сравнительно короткий срок произвести эффективную очистку мерзлотных почв от нефтезагрязнений.

Штаммы микроорганизмов депонированы во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов, не являются патогенными, не инвазивны, не вызывают инфекционных заболеваний, не входят в перечень условно-патогенных и патогенных микроорганизмов.

Краткая характеристика препарата

- Внешний вид, цвет — крошка светло-зелёного цвета

- рН водной вытяжки препарата (усл. ед.) — 7,0–8,0

- Массовая доля влаги (воды), —15,0 %

- Содержание:

- сорбента-носителя — 85,0 %

- живых УОМ, не менее кл/см<sup>3</sup> — 1·10<sup>7</sup>

- посторонней микрофлоры, кл. — не более 10 в поле зрения

- патогенной микрофлоры, в 1 г. — не допускается
- УВ эффективность препарата — 50 %.

На базе ИПНГ СО РАН была создана опытно-промышленная партия биопрепарата, а технология биоремедиации была испытана на различных объектах нефтегазового комплекса Якутии, а также в других регионах: объекты ПАО «Транснефть», ГУ «Служба спасения РС(Я)», ГУПЖКХРС(Я), АО «Саханефтегазсбыт», ФКП «Аэропорты Севера» и др.

Эффективность технологии доказана на основе данных детального изучения изменения химического состава нефтезагрязнения в процессе биоремедиации с применением комплекса современных физико-химических методов анализа. По результатам испытания имеется акт внедрения.

Уникальность технологии заключается в использовании для восстановления мерзлотных нефтезагрязненных земель вторичного сырья (отходов добычи природных цеолитов), что выгодно отражается на себестоимости биопрепарата и делает их дешевле в сравнении с аналогами.

Преимущество технологии биоремедиации нефтезагрязненных почв состоит в том, что при ее применении не требуется дополнительного внесения минеральных удобрений, необходимых для развития и реактивации аборигенных почвенных микроорганизмов — все необходимые микроэлементы входят в состав биопрепарата.

Биопрепарат сочетает в себе свойства сорбента для нефти и адсорбента для почвенной микрофлоры, мелиоранта, почвоструктурообразователя и удобрения, что позволяет значительно сократить расход минеральных удобрений при проведении биоремедиационных мероприятий, а также пролонгировать действие препарата в условиях короткого вегетационного сезона, ускорить процессы деструкции нефтепродуктов и сократить сроки подготовки почв к самовосстановлению, а также увеличить срок годности биопрепарата.

Одним из главных преимуществ технологии является возможность применения биопрепарата при пониженных положительных температурах

от +4 – +8 °С и в условиях влажности почв от 20% и выше. Это достигается за счет использования в составе препарата психрофильных и психротолерантных углеводородокисляющих микроорганизмов, способных ускорять процессы деструкции нефти и нефтепродуктов при низких температурах окружающей среды. Кроме того, экспериментально была доказана способность микроорганизмов к метаболизму после зимнего периода. Для этого нефтезагрязненные почвы обрабатывались биопрепаратом при температуре -45°С, который вносили в двух вариантах — на поверхность снежного покрова и подснежный покров без перемешивания. Нефтеокисляющая активность препарата прекращалась через 2 недели с начала эксперимента, что связано с переходом микроорганизмов в состояние анабиоза под влиянием низких отрицательных температур. Через 2 месяца активность препарата начала восстанавливаться. При этом все штаммы микроорганизмов, входящие в состав биопрепарата, были способны к восстановлению метаболизма после зимы. Деструкция нефти при обработке почв биопрепаратом в зимних условиях составила 44-62 % при однопроцентном уровне загрязнения и 34-46 % при пятипроцентном, что свидетельствует о способности штаммов восстанавливать свою активность после воздействия на них отрицательных температур.

В настоящее время к наиболее экологичным методам очистки почв от нефтезагрязнений относятся способы биологической очистки на основе нефтеокисляющих микроорганизмов. В мировой и отечественной практике создано большое количество биопрепаратов. В основном все известные биопрепараты и процессы биоремедиации с их использованием применимы для почв южной и средней полосы России, их недостатком является невысокая эффективность в районах северных широт. Наиболее эффективным способом очистки северных экосистем является биологический способ нефтедеструкции с применением аборигенных бактерий, приуроченных к конкретным условиям, выращенных на конкретных загрязненных субстратах, обладающих способностью разлагать загрязняющие вещества, выделять соединения, ускоряющие рост



Разработчики технологии: справа налево Ерофеевская Лариса Анатольевна, старший научный сотрудник, к.б.н., Глянецова Юлия Станиславовна, зав. лабораторией геохимии каустобиолитов, ведущий научный сотрудник, к.х.н.

растений и оберегающие их от воздействия патогенной микрофлоры.

Монополистом на российском рынке биопрепаратов для ликвидации нефтезагрязнений в настоящее время является «Деворойл», производитель ООО «Сити-Строй», Московская обл. Это микробиологический препарат на основе 4-х видов углеводородокисляющих микроорганизмов, иммобилизованных на пивной барде. Порошковая форма выпуска. Температурный параметр +5+45°С, требует активации. Не требует утилизации. Срок годности 1 год. Не обладает сорбирующей способностью. Стоимость препарата на 4 мая 2016 г. 9800 руб./кг.

Биопрепарат ИПНГ СО РАН на основе аборигенных почвенных микроорганизмов, иммобилизованных на цеолите. Температурный диапазон применения +4+40°С, не требует активации. Не требует утилизации. Расход препарата — 100 г на 1 м<sup>3</sup> почвы при концентрации нефти в почве 1–3%; 200 г — при концентрации нефти 3–10%. Обладает сорбирующей способностью. Цена 547 руб./кг. Стоимость обработки 1 м<sup>3</sup> почвы — 54,7–109,4 руб. в зависимости от концентрации нефтепродуктов. Биопрепарат отличается от известных аналогов тем, что он утилизирует нефть и нефтепродукты в широком диапазоне температур и pH. Штаммы, входящие в состав биопрепарата, способны переносить неблагоприятные условия (недостаток воздуха, влаги, отрицательные температуры окружающей среды). При внесении в почвы зимой штаммы, входящие





Результаты технологии по биоремедиации нарушенных земель на участках ООО «Транснефть-Восток». Участок через 2 месяца после очистки.

в его состав, способны к выживанию и размножению после зимнего периода.

Сравнительные испытания разработанного биопрепарата с известным промышленным аналогом показали, что за один и тот же период времени при использовании биопрепарата ИПНГ СО РАН наряду с уменьшением концентрации нефтепродуктов происходят более существенные изменения в химическом составе нефтезагрязнения, указывающие на протекавшие процессы химического и биологического окисления нефтяных углеводородов.

Апробация технологии с применением полученного биопрепарата (ИПНГ СО РАН) была выполнена на различных объектах ПАО «Транснефть»: АО «Транснефть — Западная Сибирь», ОАО «Сибнефтепровод», ООО «Транснефть — Восток», АО «Транснефть — Сибирь», АО «Транснефть — Север», а также на территориях предприятий топливно-энергетического комплекса Республики Саха (Якутия). По результатам испытаний получен патент РФ № 2565549, Технические условия ТУ-2164-001-52483924-2012, экспертное заключение на соответствие санитарно-эпидемиологических норм.

Результаты проведенных исследований будут иметь практическое значение для экологически безопасного функционирования различных предприятий нефтегазового комплекса. Только на территории Якутии расположено 22 крупных компании с 30 нефтебазами и множеством АЗС. Если предположить, что якутские компании будут под-

держивать местного производителя, то в среднем доход от продаж только по одному наименованию продуктов производства может составить минимум 8 млн. рублей в год. Таким образом, доход от реализации только местным компаниям одного наименования продуктов производства, предусмотренных рамками заявленного проекта, составит минимум 13 млн. руб. в год. Выход и позиционирование продуктов проекта на региональном (дальневосточном), российском и зарубежном рынках, позволят увеличить доход от реализации нефтебиосорбентов минимум в 5,4 раза, что может составить получение прибыли в сумме не менее 70 млн. руб. в год.

#### Запрос на индустриальное партнерство

Проект имеет перспективу применения для регионов Российской Федерации и стран АТР. Технология экологически и экономически обоснована и безвредна для окружающей среды.



Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск  
 зав. лабораторией геохимии каустобиолитов  
 ИПНГ СО РАН, в.н.с., к.х.н., Глязнецова Юлия Станиславовна  
 +79241715261, (4112)335833,  
 glyaz1408@mail.ru, gchlab@ipng.ysn.ru  
 с.н.с, к.б.н., Ерофеевская Лариса Анатольевна,  
 +79245682344, lora-07.65@mail.ru

## Отопление нежилых помещений теплотой фазовых переходов воды



Поглощение тепла при таянии льда позволяет аккумулировать значительное количество теплоты в воде, а выделение тепла при ее замерзании дает возможность обогрева до слабых минусовых температур. Водяные аккумуляторы тепла располагаются внутри помещений. В летнее время лед в аккумуляторах тает за счет тепла солнечной энергии, в холодное время года выделяемое тепло при замерзании воды обогревает помещение до околонулевых отрицательных температур. Необходимое количество воды в аккумуляторах определяется теплотехническим расчетом из условия равенства потерь тепла из помещения в холодное время года и теплоты фазового перехода воды в аккумуляторах.

### Применение

Отопление гаражей, в т.ч. на автомобильных дорогах, ангаров, помещений в детских учреждениях для прогулок и занятий физкультурой, хранилищ овощей с минусовой температурой хранения и других сооружений.

Уровень разработки. Получены 2 патента РФ на устройство для стабилизации температуры в закрытых помещениях.

В течение 3,5 лет в климатических условиях г. Якутска проводятся испытания опытного гаража площадью 9×12 м, оборудованного водяным аккумулятором тепла солнечной энергии.

### Достоинства разработки

- отопление помещений без затрат товарной энергии, что обеспечивает высокую экономическую эффективность;
- простота оборудования и эксплуатации позволяет использовать способ не только крупными предприятиями, но и мелкими фирмами и частными владельцами;
- экологическая безопасность.



Институт мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск

# Управление температурным режимом подземных сооружений в криолитозоне

Криолитозона (зона многолетнемерзлых грунтов) занимает около 60 % территории Российской Федерации. Предлагаемая разработка позволяет строить подземные объекты для длительного, порядка многих десятилетий, хранения любой продукции при стабильной температуре.

## Характеристики основных технических параметров

Охлаждение подземных сооружений с помощью воздушных конвективных систем. В зимнее время охлаждение подземных сооружений и окружающих мерзлых грунтов осуществляется непосредственно холодным атмосферным воздухом, а в летнее время аккумулированным холодом в верхней части массива мерзлых грунтов. Подземное сооружение располагается на глубине, определяемой скоростью распространения температурных волн в мерзлых грунтах кровли сооружения. Способ применен в подземном криохранилище семян растений в г. Якутске, в котором необходимо было поддерживать температуру в диапазоне минус 6–10 °С.

## Области использования

В подземных сооружениях с рабочей температурой ниже естественной температуры вмещающих мерзлых грунтов.

Технология прошла успешные испытания в течение 7 лет в Федеральном криохранилище семян растений на 100 тысяч образцов в г. Якутске.

Высокий эффект от использования технологии достигается за счет:

- полного исключения товарной энергии для управления температурным режимом подземных сооружений;
- отсутствия нагнетательных механизмов;
- автономности и надежности охлаждающей системы;
- минимизации обслуживания охлаждающей системы.

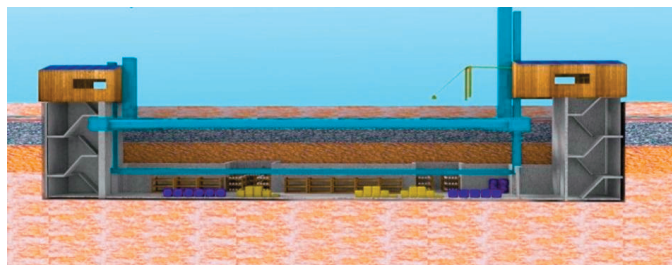


Схема подземного криохранилища семян

## Патентоспособность и патентная защита

Технология защищена патентом РФ. Патент № 2621912 РФ «Способ охлаждения подземных сооружений в массиве многолетнемерзлых горных пород и устройство для его осуществления». Авторы Кузьмин Г.П., Панин В.Н., заявитель и патентообладатель Учреждение РАН – Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН (RU). Оpubл.08.06.2017 г.



Институт мерзлотоведения  
им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск  
д.т.н. Г.П. Кузьмин, В.А. Куваев  
тел. (8-914) 39-08-38; (8-914) 39-08-72



## Снижение расхода фильтрационного потока, повышение устойчивости бортов и примыкания дамбы к бортам хвостохранилища

Разработанный комплекс инженерных мероприятий позволит дать рекомендации по контролю и управлению гидротехническим состоянием хвостохранилищ, в том числе расположенных в зоне вечной мерзлоты.

Исследована эффективность гидрогелей поливинилового спирта (ПВС) и полиуретановых смол в качестве гидроизолирующих компонентов тампонажных смесей, проведены испытания и подобраны составы по смешиванию увлажнённых хвостов с гидрогелями ПВС и смолами в различных соотношениях, оценивалась структура и фильтрационные свойства композитов, даны рекомендации по контролю и управлению гидротехническим состоянием хвостохранилища.

Оценка уровня готовности технологии — TRL 4.

Объектом исследования в данной работе является хвостохранилище обогатительной фабрики № 14 (Норильский промышленный район) с примыканием фильтрующих бортов. За время эксплуатации обогатительной фабрики № 14 с 1996 года произошло растепление многолетнемерзлых грунтов береговых примыканий ограждающей дамбы как по левому, так и по правому борту хвостохранилища, через которые, начиная с 2000–2001 годов, зафиксированы утечки некоторых объёмов оборотных вод в расположенную ниже манёвровую ёмкость.

Было выявлено, что происходит развитие фильтрующего талика в коренных породах основания хвостохранилища. При повышении уровня хвостохранилища спрогнозировано вытаивание сингенетического пластового льда в хвостах и просадка поверхности. Без гидроизоляции разломной зоны ожидается увеличение объёма фильтрата и интенсификация осадок поверхности в прибрежной части.

В качестве тампонирующих материалов предложено использовать смесь пульпы (в качестве заполнителя) с полимеризующимися добавками: смолами (5 % по объёму) или раствором поливинилового спирта (ПВС) (7 %) с тетраборатом натрия (ТБН) (0.2 %) в качестве швивателя.

При одновременной подаче растворов ПВС 7 % и раствора тетрабората натрия 0.3 % происходит практически мгновенное образование гидрогеля. Получается прочный композит из гидрогеля и хвостов, этим способом заполняются большие пустоты (сухие трещины) с подачей растворов непосредственно в целевой пустой объём или возникает пробка из гидрогеля над поверхностью хвостов. Мелкие пустоты и трещины не заполняются (по аналогии со смолами ЭСЭ и ЭСП). Основное отличие от смол — отсутствует газообразование и не выделяется тепло.

Время полимеризации композита на основе пульпы и ПВС может корректироваться количеством швивателя — тетрабората натрия (ТБН). Последовательные закачки пульпы, растворов ПВС (7 %) и ТБН (0.2 %) позволяют обеспечить равномерное заполнение свободного объёма и пропитку наполняющего трещину материала составом, полимеризующимся в течение суток, заполнить мелкие трещины, укрепить стенки пустот. Коэффициент фильтрации водного раствора через массив снижается в 1200 раз по сравнению с фильтрацией через песок.

Рецептуры с образованием гидрогеля являются уникальными. Идет разработка патента на изготовление смеси гидрогеля для тампонирувания фильтрационных каналов.

Основные технические решения по контролю и предотвращению фильтрации из хвостохранилищ горно-обогатительных предприятий включают мероприятия по управлению температурным режимом грунтов, противofильтрационные экраны и завесы, тампонажные технологии предотвращения фильтрации вод через плотины и прилегающий горный массив в условиях вечной мерзлоты. Мероприятия по управлению температурным режимом грунтов включают математическое моделирование теплообменных процессов, использование сезоннодействующих охлаждающих устройств, системы теплоизолирующих труб для водоотведения и отведение тепла при помощи тепловых насосов.

Противофильтрационные экраны создаются путем бурения наклонных скважин с последующей проморозкой естественным холодом, устройства защитных берм с применением послойного намораживания вскрышных пород и защитного покрытия для предотвращения растепления при помощи влаго-, тепло- и светоотражающего мата. При создании противофильтрационных экранов на мерзлых грунтах в районах сезонного уровня промерзания грунта ниже глубины укладки противофильтрационного экрана обосновывается применение бентонитовых матов. Мерзлотные завесы на основе парожидкостных энергонезависимых систем или индивидуальных термостабилизаторов используются для сохранения герметичности экрана при температурах до  $-50$ – $-60$  °С.

Основные освещенные в литературе тампонажные технологии предотвращения фильтрации вод через плотины и прилегающий горный массив в условиях вечной мерзлоты включают использование растворов на основе тампонажного портландцемента, облегчающих добавок (например, алюмосиликатные микросферы), расширяющего компонента и жидкости затворения (например, раствор хлористого кальция); тампонажных смесей на основе гипса, бруситового каустического порошка, сернокислого магния, торфа.

Перспективным направлением в разработке противофильтрационных мероприятий на предприятиях, расположенных в районах Севера и вечной мерзлоты, является использование криогелей, создающих завесу, которая упрочняется при замораживании и оттаивании.

Анализ публикаций за период с 2000 г. по настоящее время показал, что, несмотря на актуальность проблемы утечек фильтрационных вод на хвостохранилищах горнодобывающих предприятий, отмечается ограниченность опубликованных разработок и недостаток технической литературы по этому направлению.

Предполагаемый интерес для внедрения «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ПАО), ПАО «Норникель», российские промышленные предприятия, находящиеся в зоне вечной мерзлоты

Запрос на индустриальное партнерство

Внедрение технологии на предприятиях индустриального партнера.



Провал на пляже на левом берегу хвостохранилища



Юркевич Наталья Викторовна, заведующий лабораторией эколого-экономического моделирования техногенных систем



Горнорудное производство создает угрозу для здоровья человека и наносит вред окружающей среде, но промышленная технология безопасна до тех пор, пока показатели вредных воздействий не превышают норму. Наша задача – минимизировать негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду и в первую очередь на здоровье людей.



Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск  
Юркевич Наталья Викторовна, заведующий лабораторией эколого-экономического моделирования техног. систем  
YurkevichNV@ipgg.sbras.ru, 89232410823

## Экологичные добавки для кондитерских изделий

Задачей изобретения является повышение вкусовых качеств кондитерского изделия, расширение ассортимента готовой продукции за счет обогащения растительными волокнами и минеральными веществами. Такой технический результат достигается тем, что в способе приготовления кондитерского изделия, предусматривающем замес теста из пшеничной муки, химического разрыхлителя, сахара-песка и других компонентов, формование и выпечку, дополнительно вводят специально подготовленное растительное сырье. Эта добавка представляет собой набор частей местных растений, собранных в соответствующие фазы развития и высушенных с применением инфракрасного излучения.

В арктических растениях содержится большое количество биологически активных веществ, они являются естественными источниками пищевых волокон, минеральных веществ, витаминов, растительного белка, пектиновых веществ, что позволяет использовать их в качестве добавок. Сопоставительный анализ с прототипом позволяет сделать вывод, что изобретение отличается от ранее известных наличием растительных добавок из местного сырья Арктической зоны РФ и способом их подготовки.

Экстракты растительного сырья содержат водорастворимые биологически активные вещества: биофлавоноиды, аминокислоты, витамины группы В, витамин С, органические кислоты, минеральные вещества. Суспензии растительного сырья содержат еще и водонерастворимые вещества: пищевые волокна, представленные целлюлозой и гемицеллюлозой, нерастворимые биофлавоноиды и минеральные вещества.

От индустриального партнера ожидается участие во внедрении технологии на предприятиях хлебопекарного и кондитерского профиля.

Изобретение относится к пищевой промышленности. Изделия, приготовленные по представленному способу, имеют приятный вкус, аромат и цвет соответствующей растительной добавки. Включение в состав продукта добавок из арктических растений улучшает органолептические свойства, способствует обогащению минеральными веществами и пищевыми волокнами, расширяет ассортимент функциональных кондитерских изделий.

Авторы: Тюпкина Галина Ивановна, к.т.н., Кисвай Надежда Ивановна, Корниенко Ирина Петровна.



НИИ сельского хозяйства и экологии Арктики  
ФКНЦ СО РАН, Норильск  
norilskniiks@mail.ru; priemnay@arctica.krasn.ru  
8 (3919) 46-86-82



## Селекция видов рода *Miscanthus* — мискантус (*Poaceae*)

Уникальным примером среди травянистых растений, характеризующихся высокими значениями нарастания надземной вегетативной массы и практическим применением в качестве источника альтернативной энергетики, является род *Miscanthus* — мискантус, веерник (*Poaceae*).



В результате экспедиционных исследований, проведенных в Чугуевском, Хасанском, Партизанском районах Приморского края, а также на островах Курильской гряды, был собран коллекционный материал всех трех видов, произрастающих на территории Российской Федерации — *M. sacchariflorus*, *M. sinensis* и *M. rugrurascens*. По итогам многолетних интродукционных экспериментов, направленных на селективный отбор особей, накапливающих меньше лигнина при высоком содержании целлюлозы и адаптированных к условиям континентального климата Западной Сибири, были созданы перспективные сортопопуляции *M. sacchariflorus* и *M. sinensis* для различных экологических условий (включая недостаточную освещенность) с целью хозяйственного использования в качестве технической (биоэнергетической) культуры.

Отрасли для потенциального применения: пищевая промышленность (изготовление посуды, упаковочных материалов, полученных из целлюлозы мискантуса); рациональное природопользование; энергоэффективность, энергосбережение.

Интродукционная популяция  
*Miscanthus sacchariflorus*



Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск  
Ольга Викторовна Дорогина, д. б. н.,  
профессор, заведующий лабораторией  
интродукции редких и исчезающих  
видов растений  
olga-dorogina@yandex.ru  
8(383)339-97-83



## Экологически обоснованное использование природной и культурной флоры в урбанизированной среде

Анализ современного состояния озеленения сибирских мегаполисов показывает, что используемый ассортимент чрезвычайно беден. Значительная часть сотрудников, работающих в сфере озеленения, не обладает профессиональными знаниями и демонстрирует недостаточное понимание основных факторов, лимитирующих рост и развитие декоративных растений. Например, для травянистых многолетников на территории Новосибирска к таким факторам относятся короткий безморозный период и высокий снеговой покров, приводящий к выпреванию растений.

По итогам многолетних интродукционных экспериментов, проведенных в ЦСБС СО РАН, перспективными для условий континентального климата лесостепи Западной Сибири признаны более 120 видов однолетних и около 270 видов многолетних травянистых декоративных растений. На основании определения феноритмотипов и составления феноспектров разработаны оптимальные сочетания этих видов в ландшафтном дизайне, позволяющие создавать долговечные композиции с высоким продолжительным декоративным эффектом.

Имеющаяся в ЦСБС биоресурсная коллекция растений USU 44053 может быть использована в том числе для озеленения городов. Участие специалистов ЦСБС СО РАН в формировании концепции городского озеленения позволит не только сделать более комфортной для жителей современную напряженную урбанизированную среду, но и значительно сэкономить средства, затрачиваемые в ряде случаев на заведомо неперспективные насаждения.

В 2019 году было подписано соглашение о сотрудничестве мэрии г. Новосибирска и Центрального сибирского ботанического сада СО РАН по вопросу создания и содержания зелёных насаждений на территории крупнейшего мегаполиса Востока России. Соглашение нацелено на сотрудничество в озеленении города, обеспечении сохранения, восстановления и развития зеленого фонда, создание благоприятной окружающей среды.



Рис. 1. Астильба сорт Вейсе Перле.

Рис. 2. Ирис сибирский в коллекции.



Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, Новосибирск  
 Васильева Ольга Юрьевна, зав. лабораторией интродукции декоративных растений, д.б.н., главный научный сотрудник  
 89139274654 vasil.flowers@rambler.ru  
 Зуева Галина Александровна, к.б.н., старший научный сотрудник 89529488730 zuevagalina70@yandex.ru  
 Фомина Татьяна Ивановна, к.б.н., старший научный сотрудник  
 89232327560 fomina-ti@yandex.ru

## Хвостохранилище для хранения отходов горнодобывающих предприятий



Техногенные пески хвостохранилищ Джидинского ГОКа.  
На фото: научный сотрудник лаб. гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН, к.г.-м.н. Жамбалова Дашима Ивановна, лаборант Калашников Сергей Георгиевич

Способ не требует регулярного обслуживания и обеспечивает безопасное хранение отходов и после закрытия предприятия.

Предлагается способ длительного безопасного хранения отходов переработки руд. В процессе хранения хвостов производится удаление воды и растворенных веществ из толщи песков через дренажные колодцы в слой известняка, расположенный на дне хвостохранилища, где токсичные компоненты переводятся в твердое состояние, а очищенная вода удаляется за пределы объекта.

Существующие способы хранения хвостов переработки руд до конца не решают задачу экологической безопасности окружающей территории, так как в них хранящиеся пески находятся во влажном состоянии, а в поровых водах содержатся агрессивные и токсичные компоненты. Хвостохранилища требуют регулярного технического обслуживания дамбы, возвращения фильтрующихся через дамбу вод в хвостохранилище. Предлагаемый способ хранения предполагает самопроизвольный постоянный дренаж толщи хранящихся песков, нейтрализацию кислых вод и удаление растворенных веществ при взаимодействии с известняком, размещаемом на дне хвостохранилища. Очищенные воды самотеком выводятся за пределы хвостохранилища, накапливаются в отстойнике и затем сбрасываются в принимающий водоем.

Инновационные аспекты предложения. В условиях гумидного климата наибольшую опасность представляет разрушение дамбы при интенсивном

выпадении атмосферных осадков. Прорыв дамбы происходит при переувлажнении хранящихся песков, так как они становятся легко подвижными и давление на дамбу многократно возрастает. В предлагаемом способе хранения заполнение хвостохранилища производится экономически эффективным методом мокрого складирования, а хранение песков – в сухом состоянии. В этом случае пески не переувлажняются, токсичные вещества постоянно удаляются из их толщи. Дамба не подвергается воздействию агрессивных вод, пески не переувлажняются, вероятность ее прорыва уменьшается.

Текущая стадия развития: Получен патент РФ №2633051

Области применения: горнодобывающая, металлургическая промышленность.

Тип требуемого сотрудничества: коммерческое соглашение с техническим содействием; лицензионное соглашение; производственное соглашение (совместный подряд, субподряд); финансовые ресурсы.



Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ  
Плюснин Алексей Максимович, д.г.-м.н.,  
зам. директора по научной работе,  
зав. лаб. гидрогеологии и геоэкологии  
plyusnin@ginst.ru, +79836310669



## Технология производства бездымного угольного топлива



Опытная установка для термолиза угля

Резкое снижение смога  
в городах с большой долей  
частного сектора

Причиной возникновения смога в городах, окруженных поселениями частного сектора, является отопление бытовых печей углем. При традиционном сжигании происходит разложение угля с образованием жидких и газообразных продуктов, которые попадают в атмосферу, где конденсируются, образуя аэрозоль — дым. Задымленность такого происхождения влечет серьезные экологические, и как следствие — медицинские и демографические проблемы для ряда российских (Кызыл) и зарубежных (Улан-Батор) городов. Сегодня предлагаются различные варианты решения проблемы снижения выбросов при сжигании угля: использовать специальные марки малодымных углей; переход на электроподогрев; применение усовершенствованных моделей печей. Но все они не нашли применения из-за экономической нецелесообразности.

Вариант использования бездымных угольных брикетов будет целесообразен, когда они станут дешевле, чем уголь. Это может быть достигнуто за счет использования дешевых фракций и пыли угля, а также реализацией выделенных термолизом из угля органических компонентов, переработанных

в товарную продукцию. Для этого в ИХТТМ СО РАН проведены исследования процессов переработки углей для получения бездымных топливных брикетов и сопутствующих органических продуктов.

Изготовлена опытно-промышленная термолизная установка, предназначенная для проведения процессов термохимической обработки углей в непрерывном режиме. При нагревании установки образующаяся жидкая фаза (смола, битум) стекает на дно аппарата, лёгкие фракции улавливаются в конденсаторе, а остаток представляет собой материал, пригодный для формования бездымных топливных брикетов.

Показано, что исследованные каменные угли (на примере тувинских и монгольских месторождений) после их термолиза в интервале температур ~ 400–500 °С с удалением из них газовых и легкокипящих фракций могут быть использованы для брикетирования. Газообразные неконденсируемые продукты термолиза пригодны для сжигания и нагрева при термолизе последующих партий угля. Конденсированные жидкие продукты термолиза углей можно рассматривать в качестве сырья

для производства саж, технического углерода, полимерной смолы, ароматических компонентов, нафталина, компонентов дорожных покрытий и других ценных товарных продуктов.

Проведены испытания по получению топливных брикетов на опытной установке. Разработана конструкторская документация по доработке и оптимизации конструкции.

В настоящее время уровень готовности технологии оценивается как TRL 4 «Проверка компонентов и макетов в лабораторных условиях». Необходимы незначительные доработки конструкции опытно-промышленной термолизной установки с целью получения опытных партий угольных брикетов.

Стоимость доработок составляет 3 млн. руб. Срок оптимизации и наладки установки — 6 месяцев.

#### Преимущества и уникальность

Примерно 25 % добываемого угля — это отходы: мелкая фракция и угольная пыль. Для отопления они не пригодны, т.к. имеют низкую теплоотдачу, просыпаются через колосниковую решетку в печи и потому имеет низкую эффективность. При термоэкструзивной переработке углей любой марки и их отходов (мелкая фракция и угольная пыль), кроме получаемых бездымных крепких брикетов с большой теплотворной способностью получают газообразные неконденсируемые продукты термолиза, используемые для разогрева углей при термолизе. Кроме того, получают газовые конденсаты и смолы, являющиеся перспективными материалами для химических технологий и получения товарных продуктов.

Термоэкструзионная технология и оборудование является предметом ноу-хау ИХТТМ СО РАН с последующим оформлением патентной защиты.

#### Предполагаемый интерес для внедрения

Внедрение разработки может быть реализовано при поддержке муниципальных властей, решающих проблему загрязнения воздуха в городах. Предполагается создание сети региональных установок, обеспечивающих переработку местных углей с получением и реализацией населению бездымных топливных брикетов. Экономический эффект может быть достигнут за счет реализации товарных продуктов, полученных

Изготовление и применение топливных брикетов известно больше столетия. Чаще использовались брикеты древесные, торфяные, из прессованной угольной пыли и любых отходов угольной промышленности. Разработки последних лет позволили формовать каменноугольные брикеты из любых отходов угольной промышленности без применения связующих. Брикетирование в таких установках проходит в два этапа. Сначала измельченный уголь проходит первоначальное уплотнение за счет удаления пустот между частицами. Затем путем повышения давления происходит деформация и уплотнение самих частиц. При этом выделяются фенолы и смолы, которые при добавлении воды образуют натуральный связующий компонент. Прессы для брикетирования угля и их эксплуатация имеют высокую стоимость поэтому высока и себестоимость брикетов.

из газовых конденсатов и смол, образующихся при термолизе угля. Одновременно достигается экологический эффект за счет снижения уровня загрязнения воздуха.

#### Запрос на индустриальное партнерство

На первом этапе взаимодействия с партнером потребуются инвестиции для оптимизации конструкции и отладки работы опытной установки. На окончательных стадиях внедрения технологии потребуются инвестиции для приобретения промышленного оборудования и патентования разработки.



Институт химии твердого тела и механохимии  
СО РАН, Новосибирск  
Киселёв Олег Сергеевич, заместитель директора  
по инновационной деятельности  
+7(383) 233-24-10 \* 1231, innovation@solid.nsc.ru

## Технологии и продукты переработки отходов лесной промышленности

Лесопромышленные компании регулярно сталкиваются с проблемой утилизации большого количества порубочных остатков на делянке. Сегодня на территории России преобладает хлыстовый метод заготовки древесины, некоторые предприятия пытаются заменить его сортиментной заготовкой, считая этот метод наиболее экономически выгодным. Но и в том, и в другом случае количество отходов, оставленных на лесосеке, может достигать 40 % от объема заготовленного леса, что негативно сказывается на эффективном использовании лесных ресурсов.

Лесосечные отходы образуются на всех стадиях работ от валки до отгрузки. Их объем по различным подсчетам составляет около 18 % от вывезенной стволовой древесины. Однако в последние годы имеется тенденция к увеличению лесосечных отходов, что становится серьезной экологической проблемой. Тонкомерная древесина, некачественные части ствола, сучья и ветки, оставленные на лесосеке, являются источниками развития болезней леса, размножения вредных насекомых, но еще в большей степени увеличивают пожарную опасность. Лесные пожары уничтожают огромное количество лесных запасов, выбрасывают в атмосферу вредные вещества, уменьшают ареал животных и усиливают парниковый эффект.

В Канаде и странах Скандинавии, где при лесозаготовке в основном применяется сортиментный метод, порубочные остатки вывозятся с лесосеки в обязательном порядке. Такого пока нельзя сказать о России. С проблемой утилизации большого количества порубочных остатков сталкиваются и нефте- и газодобывающие предприятия в процессе очистки территорий от леса для прокладки технологических дорог, трубопроводов или строительства объектов. Еще не так давно чтобы решить эту проблему приходилось выполнять требования экологов по захоронению



леса и использовать большое количество техники или сжигать остатки, что сегодня запрещено контролирующими органами. Этот процесс зачастую оказывался экономически невыгодным в силу того, что срубленная древесина часто не представляла практической ценности, была низкосортной, а ту, которая могла бы пойти в дело, требовалось транспортировать на лесоперерабатывающие предприятия, находящиеся на значительном удалении.

Отдельным перспективным направлением использования отходов является применение хвои и листьев. Это ценное сырьё для производства средств защиты растений, эфирных масел, лечебных экстрактов, хвойновитаминной муки для животных, специальной пасты, которая применяется как лечебное средство и сырьё для изготовления косметики, а также ряда лекарственных средств. Вместе с тем переработка вторичного сырья растений, в котором сконцентрированы уникальные биологически активные соединения, имеет веское экономическое и экологическое обоснование. Ресурсы Сибири и Дальнего Востока являются неисчерпаемым источником биологически активных соединений, которые используются в медицине,





## «Новосил» — высокоэффективный биопрепарат нового поколения для стимуляции роста и защиты растений от инфекций

сельском хозяйстве, в производстве косметической и пищевой продукции и других отраслях промышленности. Переработка вторичного сырья способна одновременно решать задачи повышения рентабельности лесоперерабатывающих производств и защиты окружающей среды.

Методики переработки вторичного сырья, разработка новых способов выделения ценных комплексов экстрактивных веществ, детальное изучение их состава, химических и биологических свойств продуктов с целью последующего производства полезной коммерческой продукции являются приоритетными задачами. В Новосибирском институте органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН разрабатываются новые технологические подходы, отвечающие требованиям экологической безопасности, энерго- и ресурсосбережения, повышающие степень использования растительного сырья с получением новых продуктов, перспективных для сельского хозяйства, животноводства, косметологии, медицины. Установлены не известные ранее виды биологической активности различных фракций древесины, зелени пихты, определяющие перспективы их использования в ветеринарии и в качестве добавок в корм с/х животных. НИОХ СО РАН имеет существенный интеллектуальный и технологический задел для создания комплексной технологии переработки древесины и зелени. Высокий уровень проведенных исследований и разработок подтверждается рядом полученных патентов и публикаций по данной теме.

Новые экстракционные технологии, ставшие основой для современных способов переработки отходов лесозаготовки и деревообработки, позволяют расширить круг и количество извлекаемых

нативных соединений. Наиболее эффективной представляется последовательная экстракция растворителями разной полярности, что позволяет повысить степень использования сырья и расширить набор ценных извлекаемых веществ. В частности, перспективной является технология, сочетающая органическую и водную экстракцию, позволяющая отдельно извлекать широкий набор липофильных и полярных экстрактивных компонентов, содержащих комплексы биологически активных веществ, перспективных для различного применения.

В НИОХ СО РАН последние годы уделяется большое внимание работам по созданию средств защиты растений из природного возобновляемого сырья, поскольку такие средства безопасны для человека и окружающей среды. Сегодня известно и разрешено к применению на различных культурах не более десятка регуляторов роста растений, источником которых служат натуральные продукты. Эти средства активизируют собственные защитные силы растительного организма, влияя на его морфогенез: ускоряют период прохождения начальных фаз роста и развития проростков, переход к цветению, процесс старения листьев, созревания урожая и переход в состояние покоя, способствуют формированию новых органов на клеточном уровне.

В институте разработан ряд продуктов из зелени пихты.

«Новосил» — высокоэффективный биопрепарат нового поколения для стимуляции роста и защиты растений от инфекций. Препарат используется для предпосевной обработки семян и опрыскивания растений в период их роста. Использование «Новосила» показало эффективность данного препарата в повышении всхожести семян, физиологической

устойчивости растений к неблагоприятным условиям внешней среды (засуха, заморозки и прочие стрессы), в защите посевов от различных заболеваний на начальном этапе их развития. «Новосил» стимулирует устойчивость растений к абиотическим стрессам и грибковым заболеваниям, что, вероятно, связано с ростом образования в клетках антистрессовых белков и других компонентов системы фитоиммунитета. Применение препарата способствует снижению поражения растений такими заболеваниями, как корневые грибы, септориоз и другие. Согласно регламенту применения, «Новосил» предназначен для использования на следующих культурах: пшеница озимая и яровая, ячмень, овес, рис, кукуруза, соя, гречиха, подсолнечник, свекла сахарная, хлопчатник, картофель, лук на семена, лук на репку, томат, фасоль, огурец, капуста белокочанная, виноград, люцерна на семена и др. Препарат зарегистрирован Госхимкомиссией РФ, включен в «Государственный каталог пестицидов и ядохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации» (Патенты РФ № 2108803, 2147400).

В России «Новосил» активнее всего применяют хозяйства Ростовской области, Краснодарского и Алтайского краев. Также препарат закупили Казахстан, Беларусь, Украина, Грузия, Чехия.

Липидная фракция из экстракта древесной зелени пихты — кормовая добавка для сельскохозяйственной птицы (аналог препарата РАСТИМ). Разработанный способ получения биологически активной липидной фракции из экстракта древесной зелени пихты сибирской (*Abies Sibirica*) позволяет из отходов производства действующего вещества «Новосил» дополнительно получать ценные продукты (частично исчерпывающе гидролизованную липидную фракцию), которые обладают высокой биологической активностью при использовании в качестве кормовых добавок для сельскохозяйственной птицы.

Бетулин — препарат экологически безопасной и экономичной переработки березовой коры. Он используется в синтезе соединений, представляющих интерес в качестве фармпрепаратов, биологически активных добавок, в частности для получения бетулоновой кислоты и её производных. Исследования бетулоновой кислоты проводятся в НИОХ СО РАН с 1996 года на разных экспериментальных моделях (перевиваемых опухолях, фиброзе и циррозе печени, простатите, воспалениях различного генеза). По результатам многолетних исследований зарегистрирована и выпущена биологически активная добавка к пище «Бетоксовит». Средство содержит бетулоновую кислоту, получаемую из тритерпеноида коры березы — бетулина.



«Бетоксовит» относится к классу малотоксичных и направлен, в первую очередь, на защиту внутренних органов от токсического воздействия химиотерапевтических средств, применяемых при лечении хронических заболеваний. Препарат способствует восстановлению клеток печени, почек, легких, костного мозга, обладает иммуномодулирующей и противовирусной активностью. В условиях опытного химического производства НИОХ СО РАН разработан технологический регламент и другая необходимая документация для производства бетулина, наработаны опытные партии, разработана пилотная технология получения бетулоновой кислоты из бетулина. Качество продукта «Бетоксовит» подтверждено результатами измерений в аккредитованном аналитическом центре ИАЦ НИОХ СО РАН, дополнительная обработка и капсулирование осуществляются в условиях сертифицированного производства.

На стадии регистрации продукта к нему был проявлен интерес со стороны аптечных сетей. Средство поступило в 46 аптек муниципальной аптечной сети Новосибирска и 7 торговых точек в торговых центрах, в дальнейшем количество точек будет расширяться. Создан сайт «Бетоксовита», где указаны его свойства и места реализации.



Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН,  
Новосибирск  
Елена Григорьевна Багрянская, директор, профессор, д.ф.-м.н.  
(383)330-88-50, benzol@nioch.nsc.ru  
Абашев Денис Александрович, заместитель директора по инновационной деятельности и экономике  
(383) 330-96-61, dabashev@nioch.nsc.ru

# Оценка экотоксикологического воздействия производных компонентов подводной сварки на морскую экосистему

Строительство магистральных подводных газо- и нефтепроводов стало трендом развития крупных корпораций и межгосударственной энергетической кооперации. На сегодняшний день в мире и в России уже реализованы или находятся в завершающей стадии крупнейшие проекты: «Северный поток» (1224 км), «Северный поток-2» (1200 км), «Голубой поток» (1213 км), «Турецкий поток» (1100 км), «Лангеленд» (1200 км) и другие. При стыковке подводных газопроводов широко используется подводная сварка. Предлагаемая разработка связана с малоизученной экотоксикологической стороной подводной сварки и прямо соответствует направлению 5 из Стратегии научно-технологического развития РФ и заключается в снижении рисков техногенных катастроф, терроризма и угроз для общества, экономики и государства.

Многие порошковые проволоки для подводной сварки и резки металла содержат вредные компоненты, примеси и опасные соединения, которые могут оказывать негативное воздействие на морскую флору и фауну. Разработчикам удалось впервые в мире определить воздействие подводной сварки на морские организмы с использованием живых тест-объектов. В частности, это модели оценки изменений раннего развития эмбрионов морского ежа *Scaphechinus mirabilis*, оценки токсикологического воздействия частиц на микроводоросли *Heterosigma akashiwo* и других представителей морских гидробионтов при кратковременном культивировании с предполагаемым токсикантом.

До сегодняшнего дня происходит совершенствование составов электродов и технологических методов подводной сварки. Часто для улучшения технологии в порошковую проволоку вносят различные добавки. В частности, для работ на повышенных глубинах добавляют и токсичные вещества, например, оксиды хрома, металлический хром и двухромовокислый калий ( $K_2Cr_2O_7$ ). Введение бихромата, например, позволяет снизить потенциал ионизации и улучшить стабильность горения дуги под водой, а также повысить механические свойства сварных соединений при подводной сварке. Как известно,  $K_2Cr_2O_7$  является сильным окислителем с выраженным генотоксическим действием и используется в качестве эталонного токсиканта в водной токсикологии. При сварке двухромовокислый калий, а также окисляющийся металлический хром, в парогазовом пузыре образуют токсичные оксиды хрома.

Добавляют в состав проволоки и электродов для подводной сварки также фториды металлов (лития и кобальта). Известна порошковая проволока для сварки сталей под водой, которая содержит порошкообразную шихту с содержанием лопаритового концентрата, оксид кадмия и никель. Встречаются в качестве компонентов порошковой проволоки для подводной резки и пероксид бария (сильный окислитель с острым токсическим воздействием), и хлорат калия  $KClO_3$  (сильнодействующий яд).

В результате электронной эмиссии и ионизации газа под водой происходит выброс в водную морскую среду газовых пузырей, содержащих мельчайшие частицы окислов металлов. Таким образом, в химическом составе многих порошковых проволок для подводной сварки и резки содержатся вредные и опасные соединения, которые при попадании в водную среду могут оказывать негативное воздействие на морскую флору и фауну.

В качестве одного из тест-объектов воздействия на клетки планируется выбран одноклеточный организм — *Heterosigma akashiwo*. Этот вид принадлежит к группе так называемых «голых» микроводорослей, из-за отсутствия у нее «брони» клеточной оболочки (панцирь). По типу питания он относится к миксотрофам, т.е. способен фотосинтезировать или поглощать в качестве пищи определенные виды бактерий. Часто он сам становится пищей для других более крупных хищных динофитов. Предположение, о том, что частицы сварочного аэрозоля в морской воде могут быть токсичны для гидробионтов, было также проверено с помощью классического теста на эмбриотоксичность на личинках серого морского ежа *Scaphechinus mirabilis*.

Полученные результаты демонстрируют линейный рост токсичности сварочной суспензии. Результаты работ дают нам возможность с уверенностью заявить, что подводная сварка представляет серьезную угрозу для морских экосистем. Следовательно, процесс подводной сварки требует дальнейшего изучения с целью разработки нормативов и эффективных мероприятий, которые позволят обеспечить безопасность для окружающей среды и человека.



Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий РАН, Краснообск  
Голохваст Кирилл Сергеевич, и.о. директора  
СФНЦА РАН, чл.-корр. РАН, проф. РАН, д.б.н.  
348-33-55; golokhvast@sfsca.ru



## Повышение эффективности солнечных батарей

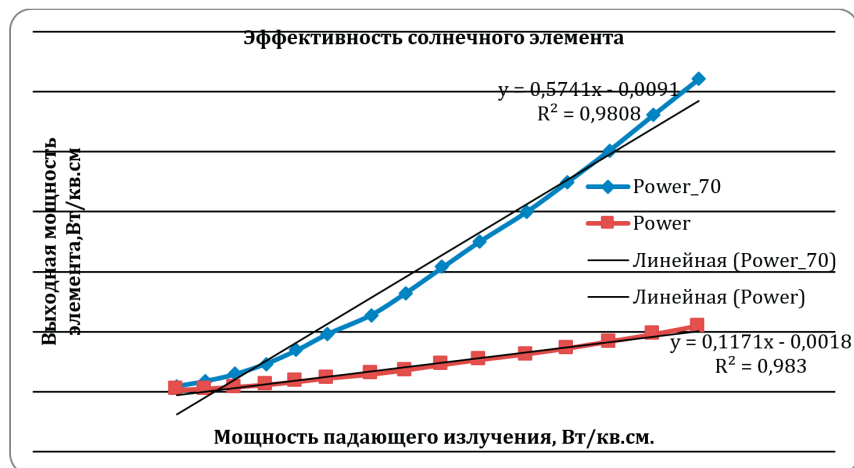


Рис.1. Параметры традиционного и модифицированного солнечных элементов.

Варсенале «зеленой» энергетике год за годом всё большее место занимает солнечная, особенно в регионах с высокой инсоляцией. Но даже в оптимальных климатических условиях развитие этой подотрасли сдерживается сравнительно низкой энергоэффективностью солнечных элементов.

Предлагаемая технология, основанная на разработках Тувинского института комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, позволяет повысить КПД солнечных панелей в 1,7 раза, до 32%. Экспериментально установлено значение полезной электрической мощности 230 Ватт/м<sup>2</sup>.

Зарубежные аналоги промышленно не выпускаются. Прототипы имеют меньший КПД и значительно дороже.

Технология не требует больших затрат и может быть встроена в традиционно используемую сейчас в промышленности технологию производства солнечных панелей.

Солнечные элементы, изготовленные по предлагаемой технологии, превосходят мировые аналоги по эффективности. Технический результат достигается за счет формирования особой кривизны поверхности батареи и созданием на ней особых наноразмерных оптических структур. Создана лабораторная установка, стоимость проекта полного цикла 15 млн. руб, срок реализации проекта по заказу индустриального партнера составляет 2 года.

Удельные энергетические характеристики промышленно выпускаемого и модифицированного солнечных элементов в зависимости от освещенности приведены на рис.1. Значение Power\_70 — мощность, вырабатываемая модифицированным солнечным модулем, Power — промышленно выпускаемым модулем. Мощность солнечных модулей выражена в удельных единицах Вт/см<sup>2</sup>.

Представленные данные получены на макете (рис.2). Устройство содержит традиционный и модифицированный солнечные элементы, установленные параллельно.



Рис.2. Макет устройства



Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл  
 Директор Котельников Валерий Ильич, тел/факс (394) 2266218, tikopr@mail.ru

# Электроплазменная установка для переработки, обезвреживания и уничтожения опасных медико-биологических отходов

Экологически чистый и безотходный способ утилизации/газификации техногенных отходов, позволяющий полностью уничтожить техногенные образования, не нанося вред окружающей среде и человеку по сравнению с используемыми повсеместно мусоросжигающими заводами, оставляющими после себя золошлаковые отходы.

Безотходная утилизация техногенных отходов с получением вторичных продуктов и материалов в виде топливного (горючего) газа и остеклованного шлака, который можно использовать в строительстве как компонент наполнитель.

Электроплазменные установки (ЭПУ) основаны на использовании электродугового плазмотрона с высоким ресурсом работы электродов (выше аналогов в 3–10 раз), использующего любые газы, в т.ч. воздух. ЭПУ производит высококалорийный синтез-газ, пригодный для сжигания в электрогенерирующих агрегатах.

Назначение — утилизация медико-биологических отходов.

Реализация новой разработки на основе электродугового плазмотрона с большим ресурсом работы электродов, открывает возможность для широкого применения плазменных технологий для экологически безопасной, безотходной переработки отходов, в т.ч., что очень важно, опасных для населения и окружающей среды.

Благодаря внедрению продукции появятся новые возможности достижения изменений:

- в отрасли — замена плазмотронов на новые с высоким ресурсом работы, т.к. существенно снижаются эксплуатационные расходы и удельные энергозатраты (в 2 раза).
- в используемых технологиях — плазменные технологии станут рентабельны для переработки отходов;
- в себестоимости процессов — снижается себестоимость переработки отходов (в 4 раза).

Создана опытно-экспериментальная установка, защищенная патентами РФ.

Оценка уровня готовности технологии (TRL): проведены лабораторные испытания.

Необходимые доработки: масштабирование технологии для промышленного применения.

Оценка стоимости доработок: суммарные инвестиции не более 60 млн. руб.

Решаемая проблема

Экологическая:

- Рост объемов опасных для населения и окружающей среды медико-биологических отходов (МБО) (на 3–4 % в год). Ежегодно в мире производят 15 млн. т МБО, обезвреживают до 20%; в РФ — до 3 млн. т, обезвреживают 0,5 %

- МБО несут инфекционную опасность и не подлежат сортировке/переработке в необезвреженном виде.

- Нелегальный вывоз опасных МБО на свалки, что недопустимо (обычные мусоросжигательные заводы их не принимают т.к. по санитарным правилам требуется оборудовать отдельный участок).

Экономическая:

- Рост затрат на утилизацию отходов (в 4 раза — в развивающихся странах, в 5 раз — в слаборазвитых).

- Практически не используется энергетический потенциал отходов.

- Рост количества и площадей легальных и нелегальных свалок (в РФ порядка 30 тыс.).

Техническая:

- Проблема, из-за которой плазма не используется для уничтожения отходов — большие удельные затраты электроэнергии, низкий ресурс работы плазмотронов. Три основных применяемых способа утилизации опасных МБО — сжигание, захоронение,

нейтрализация — имеют существенные недостатки: сжигание и захоронение наносят значительный экологический вред; нейтрализация имеет ограниченную применимость.

- Системы сбора, удаления, переработки и обезвреживания отходов (в т.ч. МБО) в России в настоящее время находятся на стадии реализации проектов технологических схем и новых технологий (создание специальных служб утилизации медицинских отходов требует значительные капиталовложения).

Суть предлагаемого решения:

- использование дуговой плазмы для газификации медико-биологических отходов (МБО);
- использование электродугового плазмотрона с высоким ресурсом работы (500–1000 ч, выше аналогов в 3–10 раз), работающего на любом газе, в т.ч. воздухе, что достигается путём конструктивных особенностей плазмотрона;
- получение высококалорийного синтез-газа (теплота сгорания в 1,5 и более раз выше аналогов), пригодного для сжигания в электрогенерирующих агрегатах с получением электроэнергии.

Ключевые технико-экономические преимущества решения для потребителя:

- экологическая безопасность;

Соответствие экологических показателей технологического процесса мировым стандартам достигаются высоким уровнем температур в реакционной зоне (выше 1300°C) и быстрой закалкой продуктов переработки, исключая появление вредных веществ (диоксинов или фуранов). Отходящие газы очищают с использованием вихревого скруббера, шлак остекловывают.

- безотходность;

На выходе получают синтез-газ, пригодный для получения электроэнергии (тепла), и инертный шлак, который может быть депонирован на полигоны 1-й категории (для инертных материалов).

- энергоэффективность;

При потреблении установкой 1 кВт электроэнергии получается до 1,5 кВт вторичной электроэнергии. Таким образом, электроплазменная установка при работе производит до 12 кВт электроэнергии.

- низкая продажная цена (по сравнению с импортными аналогами);

- низкие капитальные затраты;

Значительное уменьшение объема очистных сооружений достигается за счет снижения объема газа, подвергаемого очистке. Использование в качестве окислителя водяного пара в 3–5 раз сокращает объем получаемых газов по сравнению с технологией сжигания отходов, обеспечивает их эффективную очистку и тем самым исключает выброс токсичных веществ в атмосферу. Применение вихревого скруббера со слабым щелочным раствором обеспечивает

очистку газов от пыли на 99,6 %, от вредных соединений – до 80 %.

- низкие эксплуатационные расходы.

Используемые в известных установках плазмотроны требуют частой замены электродов, дорогостоящего инертного газа.

- новизна — использование новых электродуговых плазмотронов, способных работать на любых газах, не имеющих аналогов в мире:

- по ресурсу работы электродов (от 500 до 1000 ч) (Ресурс работы известных дугowych плазмотронов - до 300 ч),

- по калорийности получаемого синтез-газа,
- по удельным энергозатратам (не более 0,9 кВтч/кг).

Новизна предлагаемого решения подтверждена патентами (авторы - участники команды) :

- патент РФ № 102978 Плазменный инсинератор, 2010;

- патент РФ № 2464748 Плазмотрон струйно-плавильный, 2010;

- патент РФ № 2454044 Электродуговой нагреватель газа, 2010;

- патент РФ № 11734 Плавильный плазмотрон, 2011г.;

- патент РФ № 2518171 Электродуговой нагреватель водяного пара, 2012.

Евразийский патент №030363 «Способ и устройство для плазменной газификации органических отходов для получения синтез-газа», 2018.

Основные конкуренты, наиболее близкие аналоги и их место на рынке.

- Установка фирмы Westinghouse (USA) .

- Основана на плазменной утилизации отходов.

- Недостатки: необходимость в дополнительных компонентах (кокс от 40 т/сут.); использование в качестве газа-окислителя воздуха, что приводит к образованию серы в синтез-газе (1 т/сут.), необходимы дополнительные системы газоочистки и очистки от частиц тяжелых металлов (до 20 т/сут.), которые вывозятся на свалку.

Основанные на огневом сжигании ТБО:

- Установка ИН-50 фирмы ООО «Турмалин».

- Спецзавод «Квант» (Новосибирск).

- Санитарно-ветеринарный завод «Эколог» (Люберцы МО) производительностью 3 тыс. т/год при общей потребности г. Москва не менее 100 тыс. т.

- Недостатки: требуется дополнительная химическая очистка отходящих газов, большие капитальные затраты на очистные сооружения.

Известные близкие аналоги в стадии разработки и их краткое описание с указанием научных групп, институтов, организаций, ведущих разработку.

- Опытно-промышленные установки, основанные на использовании электродуговой плазмы:



- Установка «Плутон» ГУП МосНПО «Радон» (Москва).

- Предназначена для переработки твёрдых радиоактивных отходов (РАО) сложной морфологии низкого и среднего уровней активности с получением кондиционированного продукта в одну стадию и высоким коэффициентом сокращения объемов РАО. Стеклоподобный конечный продукт пригоден для захоронения или длительного хранения на полигоне радиоактивных отходов. Применение технологии наиболее экономически оправдано на атомных электростанциях, где себестоимость электроэнергии невысока.

- Недостатки: используемые в установке «Плутон» плазмотроны требуют дорогостоящего плазмообразующего газа, электроды подвержены эрозии, что создаёт ограничения на увеличение мощности и требует частой замены электродов, высокие удельные энергозатраты, не производит синтез-газ.

- В массовое производство установка «Плутон» не запущена, имеются только единичные продажи по конкретным заказам.

• Установка ООО «Техэкоплазма» (Москва) (опытно-промышленный образец).

- Предназначена для утилизации токсичных химических отходов различного происхождения, в т.ч. и полимерных токсичных отходов, которые подаются в плазму в жидком и дисперсном виде. Основным преимуществом данной системы являются её мобильность, простота и безопасность при сборке и эксплуатации, достаточная автономность, незначительные эксплуатационные расходы.

- Недостатки: используемые в установке ООО «Техэкоплазма» плазмотроны требуют дорогостоящего плазмообразующего газа, электроды подвержены эрозии, что создаёт ограничения на увеличение мощности и требует частой замены электродов, высокие удельные энергозатраты, не производит синтез-газ.

Имеется единичный экземпляр опытно-промышленной установки.

• Плазменная шахтная печь периодического действия мощностью до 50 кВт и производительностью 20-30 кг/ч, ГНУ ИТМО (Беларусь).

- Предназначена для переработки сравнительно небольших объемов медико-биологических отходов непосредственно в медицинских учреждениях, госпиталях, клиниках и производствах медицинских препаратов для переработки медико-биологических отходов.

- Недостатки: используемые в печи ГНУ ИТМО плазмотроны требуют дорогостоящего плазмообразующего газа, электроды подвержены эрозии, что создаёт ограничения на увеличение мощности и требует частой замены электродов, высокие удельные энергозатраты, не производит синтез-газ.

- Промышленного производства нет. Фирмой E.S.T. Ltd (Beer-Sheva, Israel), совместно с фирмой Plasmactor Co. Ltd (Минск, Беларусь), изготовлена и введена в эксплуатацию мобильная опытно-промышленная плазменная установка для утилизации токсичных химических отходов. Монтаж выполнен в 20-футовом транспортируемом автомобильном контейнере. Эта установка предназначена для переработки широкого спектра органических и неорганических отходов, легко адаптируется к переработке различных видов сырья.

• Плазмохимическая установка, ИЭЭ РАН, (Санкт-Петербург), для утилизации техногенных отходов с получением синтез-газа.

- Недостатки: производимый низкокалорийный синтез-газ не пригоден для использования в электрогенерирующих агрегатах

- Имеется единичный экземпляр опытно-промышленной установки

Основные преимущества плазменной переработки отходов:

1. Уровень выбросов диоксинов не превышает 1/100–1/1000 нормативов EURO 2000.

По сравнению с другими мусоросжигательными технологиями содержание диоксинов на порядок ниже — из-за воздействия сверхвысоких температур (свыше 1300 °C).

2. Сокращение объёма золы и хвостов на захоронение.

По сравнению с другими технологиями сжигания, объем золы может быть сокращён на 50–70 % путем плавления. Хвосты на захоронение не превышают 5–7 % от входящего объема отходов.

3. Рециклинг металлов. Алюминий, железо, сталь, содержащиеся в отходах, могут быть извлечены и использованы в дальнейшем в качестве вторичных материальных ресурсов.

4. Плавленый шлак не содержит диоксинов или тяжелых металлов. Он совершенно безопасен и соответствует японским строительным стандартам JIS.

Предполагаемый интерес для внедрения

- предприятия, производящие МБО, в частности, фармацевтической, биотехнологической промышленности, сельскохозяйственные и др., которые заинтересованы в получении возможности использовать оборудование для утилизации отходов непосредственно на производстве.

- учреждения, производящие МБО, в частности, учреждения здравоохранения (лечебно-профилактические учреждения), которые заинтересованы в уменьшении расходов, связанных с утилизацией отходов.

- предприятия, занимающиеся утилизацией от-

ходов, которые заинтересованы в приобретении нового оборудования;

– предприятия энергомашиностроения, которые заинтересованы в приобретении прав на использование новой технологии с целью организации производства по выпуску инновационной продукции;

По собственным оценкам для переработки производимых ежегодно медицинских отходов:

– в мире (15 млн. т в год) требуется не менее 37 500 ЭПУ производительностью 50 кг/ч при работе 8000 ч в год. Денежный объём рынка переработки медицинских отходов в мире составляет порядка 30 млрд. долл. США при тарифе на переработку \$ 2 за кг.

– в России (1 млн.т в год) требуется не менее 2500 ЭПУ производительностью 50 кг/ч при работе 8000чв год. Денежный объём рынка переработки медицинских отходов России составляет порядка 2 млрд. долл. США при тарифе на переработку \$ 2 за кг.

– в Малайзии (25 000 т в год) требуется не менее 60 ЭПУ. производительностью 50 кг/ч при работе 8000чв год. Денежный объём рынка переработки медицинских отходов Малайзии составляет более 50 млн. долл. США при тарифе на переработку \$ 2 за кг.

– Через 10 лет потребуются замена отработавших свой срок службы установок (в расчетах не учтено).

Запрос на индустриальное партнерство — софинансирование проекта, Изготовление опытно-промышленной электроплазменной установки



Институт Теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН, Новосибирск  
Макаров Максим Сергеевич,  
ученый секретарь ИТ СО РАН,  
к.ф.-м.н.  
330-60-44, 8-952-916-08-27  
e-mail: sci\_it@itp.nsc.ru



На сегодняшний день для утилизации отходов повсеместно используются мусоросжигающие заводы, которые не отвечают современным требованиям экологической безопасности. После сжигания получается новый вид отходов в виде золы. В современном мире происходит постепенный отказ от мусоросжигающих заводов и поиск современных решений возникшей проблемы. Самым распространённым способом утилизации медицинских отходов остаётся сжигание в специализированных инсинераторах. Даже в развитых странах (США, Западная Европа) сжигают до 50 % медицинских отходов. Применение конкретных технологий зависит от законодательства каждой страны. В странах, где допускается сжигание на местах производства отходов (США, Китай, развивающиеся страны) преобладает производство или импорт небольших инсинераторов. В странах Западной Европы, где принято перерабатывать отходы централизованно, преобладают промышленные технологии большой производительности с получением вторичных ресурсов (электроэнергия).

В РФ преобладают стерилизация, химическая дезинфекция и захоронение. В крупных городах МБО сжигают на специализированных заводах. В России на сегодняшний день отсутствует единая система стандартов качества сервиса по обращению с медицинскими отходами, что влечет невозможность контроля за утилизацией. Ежегодно в мире производят 15 млн. т мед. отходов, обезвреживают до 20 %; в России — до 0,6–1 млн. тонн, обезвреживают 0,5 %. Драйверами роста потребности на ЭПУ являются, в первую очередь, фармацевтическая и биотехнологическая отрасли. Фармацевтическая биотехнологическая отрасли - наиболее высокотехнологичны (по объему затрат на НИОКР) и социально значимы. По прогнозу Frost & Sullivan в период 2016–2025 годы мировой рынок фармацевтики и биотехнологий будет расти в среднем на 4,6 %, а к 2025 году его объемы составят 1,7 трлн. долл. По данным аналитической компании DSM к 2020 году объем фармацевтического рынка достигнет 1,4 трлн. руб.

Соответствие экологических показателей технологического процесса мировым стандартам достигаются высоким уровнем температур в реакционной зоне (выше 1300 °С) и быстрой закалкой продуктов переработки, исключая появление вредных веществ (диоксинов или фуранов). Отходящие газы очищают с использованием вихревого скруббера, шлак остекловывают. На выходе получают синтез-газ, пригодный для получения электроэнергии, и инертный шлак, который может быть депонирован на полигоны 1-й категории (для инертных материалов).

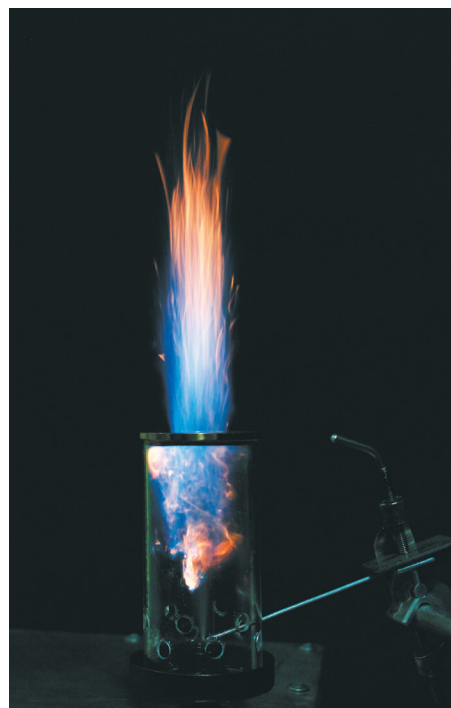
Домаров Павел Вадимович, научный сотрудник лаборатории экологических проблем теплоэнергетики ИТ СО РАН, к.т.н.

# Горелочное устройство для экологически безопасного сжигания жидких углеводородных отходов с получением тепловой энергии

Технология сжигания жидких горючих отходов в струе пара обладает важной социальной и экономической значимостью, поскольку одновременно решает несколько актуальных проблем: 1) утилизация накопленных невостребованных жидких горючих отходов; 2) снижение выбросов токсичных продуктов сгорания в атмосферу; 3) повышение экономической эффективности за счет использования дешевых видов топлива для выработки энергии.

Проблема использования жидких горючих отходов (нефтедобычи и нефтепереработки, углепереработки, отработанные масла, смазочные жидкости, сырая нефть, битум и др.) является чрезвычайно важной для развития современной энергетики. Ежегодное накопление нефтяных шламов во всем мире составляет 160 млн. тонн., а ежегодное мировое накопление только одного отработанного смазочного масла превышает 20 млн. тонн, что подчеркивает масштабы таких энергоресурсов. Общие мировые запасы сырой нефти составляют приблизительно 9–11 триллионов баррелей, среди которых более 2/3 составляют тяжелая нефть и битум. Вовлечение в энергетический баланс таких топлив ограничивается отсутствием энергоэффективных технологий их использования. Традиционные способы сжигания и горелочные устройства не являются эффективными для сжигания отходов по причине отсутствия топливной гибкости (возможность использования разных видов топлива), так как рассчитаны в основном на качественные топлива. Возникают проблемы коксования, засорения топливных форсунок, низкой полноты сгорания топлива и высоких токсичных выбросов.

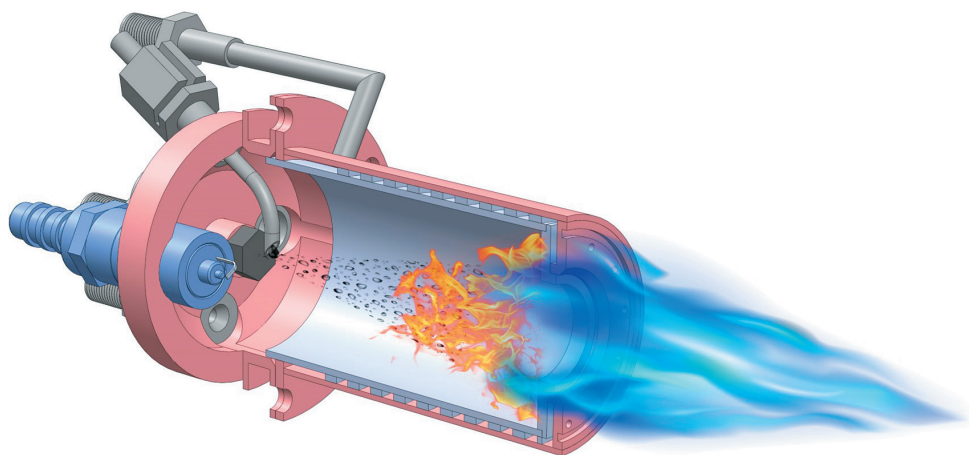
В ИТ СО РАН предложен перспективный способ сжигания некондиционных жидких углеводородов в струе перегретого водяного пара. Автором первоначальной идеи использования пара в горелочных устройствах является ведущий конструктор ИТ СО РАН Вигриянов М.С. Под руководством акад. Алексеенко С.В. и д.ф.-м.н. Шарыпова О.В. уже более 10 лет ведутся работы по исследованию этого способа сжигания. Специфика заключается в том, что горение распыленного жидкого топлива происходит при высокой концентрации перегретого водяного пара (массовое содержание пара по отноше-



нию к топливу 50–100%). При впрыске пара в камеру сгорания происходит реакция паровой газификации углеродосодержащих продуктов термического разложения и неполного сгорания топлива с образованием водяного газа ( $H_2O + C \times CO + H_2$ ). Образующийся синтез-газ сгорает в пламени, что приводит к повышению степени выгорания топлива. За счет разбавления горючей смеси паром происходит снижение температуры пламени, что сокращает образование термических оксидов азота (на 30–50 %) и CO до уровня ниже предельно допустимых концентраций.

В предложенном способе сжигания распыление жидкого топлива осуществляется струей перегретого водяного пара. За счет ее попадания на каплю топлива происходит первичная атомизация и создание однородного топливного спрея. Это также повышает полноту сгорания топлива. При этом такой способ распыления топлива струей пара (без использования топливной форсунки) исключает





Прототип паромасляного горелочного устройства (патент РФ № 2740722, 2021)

проблему засорения и коксования топливных форсунок и дает возможность использования отходов с механическими примесями. К преимуществам метода также относится автономная генерация пара. Перегретый водяной пар генерируется в камере сгорания за счет тепла от горения без использования внешних устройств и источников энергии. Помимо этого водяной пар расщепляет сложные органические соединения, из которых состоят горючие отходы, в т.ч. высоковязкие, тем самым сокращая время реакции и повышая эффективность сгорания топлива.

Наличие опытных образцов, результатов их испытаний: созданы опытные образцы горелочных устройств, защищенные патентами РФ.

Оценка уровня готовности технологии (TRL): проведены лабораторные испытания.

Необходимые доработки: масштабирование технологии для промышленного применения.

Оценка стоимости доработок: суммарные инвестиции не более 30 млн. руб.

#### Преимущества и уникальность

Горелочное устройство направлено на решение проблемы снижения токсичных продуктов сгорания, повышения полноты сгорания топлива и топливной гибкости при решении проблемы утилизации жидких горючих отходов с получением тепловой энергии. Такие горелочные устройства (различной мощности) могут найти широкое применение для решения ряда важных практических задач:

- снижение риска техногенного загрязнения окружающей среды опасными производственными отходами (нефтепродуктами);
- утилизация запасов некондиционных жидких углеводородных топлив и отходов производства

на тепловых электростанциях и предприятиях других отраслей экономики;

- замещение газа и мазута, используемого для «подсветки» пылеугольных котлов ТЭС, снижение затрат на производство тепловой энергии;
- обеспечение автономного теплоснабжения удаленных объектов (в том числе жилых).

Новизна разработки заключается в создании принципиально нового экологически безопасного и энергоэффективного горелочного устройства, реализующего предложенный авторами новый способ беспламенного сжигания некондиционных жидких углеводородных топлив и отходов производства в струе водяного пара.

Преимущества по сравнению с другими подходами служат:

- возможность экономически эффективной и экологически приемлемой утилизации накопленных запасов опасных производственных отходов;
- перспективы вовлечения в топливно-энергетический баланс невостребованных на сегодня запасов ресурсов, имеющих низкую стоимость;
- замещение дефицитных видов топлив (дизельное топливо, мазут) в ряде технологических звеньев процесса производства тепловой энергии;
- возможность сокращения расходов на автономное теплоснабжение удаленных труднодоступных объектов.

Применение воды в системах с горением известно еще с 30-х годов XX века для подавления детонации в камерах сгорания. Водяной пар действует как разбавитель в процессе сгорания, уменьшая выбросы NOx. На сегодняшний день водяной пар и вода активно применяется в следующих практических приложениях: двигатели внутреннего сгорания (преимущественно дизельные); газотурбин-

ные установки; водотопливные эмульсии, горелочные устройства на жидком топливе (в том числе горючих отходах). В зависимости от практических приложений и конкретных технических устройств механизмы при впрыске воды (пара) в камеру сгорания различаются. Влияние пара на выбросы NOx при сжигании жидкого топлива в горелочных устройствах зависит от двух основных механизмов: химического и физического. Первый эффект связан с тем, что при впрыске пара в зону горения увеличивается концентрация активных гидроксильных радикалов OH, которые эффективно окисляют предшественников сажи, тем самым повышая степень выгорания углерода топлива и снижают токсичные продукты сгорания. Вторым эффектом связан с разбавлением горючей смеси паром, что обеспечивает снижение температуры пламени и концентрации термических NOx. Концентрация NOx зависит как от количества пара, которое отличается для разных систем горения, так и способа и места впрыска. При этом избыток пара может отрицательно влиять на процесс горения, вызывая такие негативные эффекты, как чрезмерное охлаждение камеры сгорания, увеличение задержки зажигания и замедление горения. Кроме этого, впрыск пара может оказывать как положительное, так и негативное влияние и на другие характеристики сжигания: КПД, расход топлива, полнота сжигания топлива, CO и др.

Наиболее близкими аналогами разработок являются жидкотопливные горелочные устройства лидирующих мировых брендов (Viessmann, Weishaupt, Elco, Oilon и др.). Такие горелки на дизельном топливе по вредным выбросам соответствуют стандарту DIN EN 267 (NOx < 120 мг/кВт ч, CO < 60 мг/кВт ч). Разработанная в ИТ СО РАН горелка превосходит эти показатели в несколько раз (по NOx — в 3 раза, по CO — в 12 раз), что говорит о преимуществах технологии сжигания с использованием пара.

Другими преимуществами горелки являются простота изготовления и эксплуатации, автономность горелочного устройства, а также возможность сжигания широкой гаммы топлив при высокой полноте сгорания.

Предполагаемый интерес для внедрения

- Тепловые электрические станции.
- Предприятия топливно-энергетического комплекса.



Заведующий лабораторией радиационного теплообмена ИТ СО РАН, д.т.н. Ануфриев Игорь Сергеевич

Сотрудниками ИТ СО РАН за последние 7 лет выполнен большой объем НИР (в рамках ФЦП, РФФ, РФФИ, КНП), направленных на исследования процессов при горении жидких углеводородов в струе перегретого водяного пара. Разработаны и созданы лабораторные образцы горелочных устройств разной мощности, защищенные патентами РФ. Проведены испытания горелок, достигнута высокая степень выгорания топлива и низкие показатели токсичных выбросов. Показана возможность эффективного сжигания широкой гаммы жидких углеводородов (дизель, отработанное машинное масло, сырая нефть, мазут и др.). Накопленный значительный научный задел и созданная экспериментальная база позволяют перейти к масштабированию технологии и разработке полупромышленных образцов горелочных устройств на жидком топливе, в т.ч. для утилизации горючих отходов с получением тепловой энергии.

- Производители горелочного и котельного оборудования.
- Нефтеперерабатывающие заводы.
- Нефтехимические предприятия.
- Угледобывающие компании.
- Суда по ликвидации аварийных разливов нефти.
- Другие производственные предприятия с накопленными отходами.

Запрос на индустриальное партнерство

Участие в КНТП, продажа лицензий, инвестиции для доработки технологии до промышленного уровня.



Институт Теплофизики им. С.С. Кутателадзе  
СО РАН, Новосибирск  
Макаров Максим Сергеевич,  
ученый секретарь ИТ СО РАН, к.ф.-м.н.  
330-60-44, 8-952-916-08-27, e-mail: sci\_it@itp.nsc.ru

## Метод получения арктического мазута из покрышек

По самым скромным оценкам, каждый год в России выбрасывается около миллиона тонн покрышек, в мире — около миллиарда тонн. Часть просто остается на свалках, где даже под действием обычного солнечного света покрышки выделяют токсичные вещества, часть сжигается со значительным объемом вредных выбросов, еще 30 % перерабатываются в крошку.

Ученые Томского политехнического университета (ТПУ) разработали технологию получения морозостойкого мазута из старых автомобильных покрышек. Для этого впервые в России был апробирован метод паровой газификации. Лабораторные исследования показали, что этот мазут не замерзает и не теряет своих свойств при температурах до  $-50^{\circ}\text{C}$  (обычный замерзает в диапазоне от  $+10$  до  $-10^{\circ}\text{C}$  в зависимости от марки). И в нем примерно в два раза ниже содержание серы, производные которой относятся к основным загрязнителям атмосферы.

В Научно-исследовательском центре «Экоэнергетика 4.0» ТПУ ученые создали экспериментальную установку. В ней под действием перегретого водяного пара исходный материал — мелкая резиновая крошка из покрышек — разлагается на полезные продукты. В частности, выделяются жидкие углеводороды — мазут, который сегодня широко применяется в арктических зонах в качестве топлива для котельных и судов. Мазут, полученный в ТПУ методом паровой газификации, прошел серию лабораторных исследований, показавших, что он по всем свойствам превосходит обычный. В частности, в нем гораздо ниже содержание серы, что делает его более экологичным, при этом он менее вязкий и плотный, что важно для использования. Горит он и дает энергии столько же, сколько и традиционные марки.

Ученые ТПУ уже провели необходимый комплекс фундаментальных исследований, создали экспериментальную установку. Сейчас вместе с промышленным партнером — компанией НПО «Инноватех» из Санкт-Петербурга — разрабатывается конструкторская документация на создание пилотной установки, способной перерабатывать до 300 кг резиновой крошки в час.

Помимо мазута, технология также позволяет одновременно получать газ, который можно возвращать в технологический цикл, и технический углерод в виде мелкодисперсного порошка. Его можно использовать, например, в материалах для дорожного покрытия.



Образцы полученного мазута



Мы к покрышкам относимся не как к мусору, а как к источнику полезных для промышленности продуктов. И мы целенаправленно искали методы, позволяющие перерабатывать покрышки с максимальной пользой — экономической и экологической. Тема переработки покрышек развивается в разных странах, лидеры в этом плане — США и Китай. Обычно для переработки используется метод пиролиза. Это термическое разложение продукта. Процесс протекает в безвоздушной среде. В России есть несколько малотоннажных производств, занимающихся переработкой покрышек этим методом, однако они дают относительно небольшие объемы продукции. Мы же предложили использовать метод паровой газификации, то есть разложение резины происходит под действием перегретого водяного пара. Этот метод и ряд наших инженерных решений позволили получать продукты переработки более высокого качества в экологически безопасном режиме.

Владимир Губин, заместитель директор Инженерной школы энергетика ТПУ



Томский политехнический университет, Томск  
Владимир Евгеньевич Губин, заместитель  
директора Инженерной школы энергетика ТПУ  
+7 903 914-15-71, gubin@tpu.ru



# Эколого-экономическое обоснование применения природоохранных технологий в коммунальной энергетике зон особого природопользования

В России выделено значительное количество зон особого природопользования — территорий, которые имеют в законодательном порядке ограничения хозяйственной деятельности и зачастую включают особо охраняемые природные территории (ООПТ).

Предполагается проведение комплексных исследований, начиная с осуществления инструментальных измерений состава выбросов в атмосферу, определения режимов работы оборудования, выработки рекомендаций для улучшения энергетических и экологических характеристик и вплоть до эколого-экономической оценки, включающей экологические и экономические показатели внедрения природоохранных технологий и мероприятий в сравнении с текущим состоянием.

В результате инструментальных измерений непосредственно на энергопредприятии определяются основные параметры: мощность котла, коэффициент избытка воздуха, температура уходящих газов, КПД котла. На основе анализа параметров разрабатывается перечень возможных наилучших доступных технологий (НДТ) для повышения энергетических и экологических характеристик производства тепловой энергии, включая оптимизацию режимов работы котельного оборудования.

Для проведения эколого-экономической оценки разработаны расчетные имитационные модели на основе утвержденных методик, которые адаптируются для конкретных энергообъектов по технико-экономическим показателям, качественным характеристикам и расходу топлива. Вследствие невозможности обоснования применения природоохранных мероприятий только с экономических позиций эколого-экономическим критерием выбора той или иной природоохранной технологии служит минимум стоимости сокращенных выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Предлагаемая разработка универсальна, но позволяет учитывать актуальные данные конкретных объектов коммунальной энергетики и особенности территорий, на которой они функционируют.

С использованием разработанной методики и модельного инструментария по заказу Министерства природных ресурсов и экологии РФ сотрудниками ИСЭМ СО РАН под научным руководством чл.-корр. РАН В.А. Стенникова, д.т.н., профессора Б.Г. Санеева и ответственного исполнителя к.э.н. И.Ю. Ивановой

выполнена научно-исследовательская работа «Разработка программы эффективного и экологически чистого развития теплоэнергоснабжения центральной экологической зоны Байкальской природной территории на основании использования возобновляемых источников энергии (тепловых насосов, солнечной и ветряной энергии), малых ГЭС и энергосберегающих технологий». Работа выполнялась в рамках реализации федеральной целевой программы «Охрана озера Байкал и социально-экономическое развитие Байкальской природной территории на 2012–2020 годы». За результаты этапа НИР «Исследование эколого-экономической эффективности применения альтернативных энергетических технологий для снижения антропогенной нагрузки в центральной экологической зоне Байкальской природной территории» основные исполнители (д.т.н. Б.Г. Санеев, к.э.н. И.Ю. Иванова, к.э.н. Е.П. Майсюк, к.т.н. Т.Ф. Тугузова, вед. специалист А.К. Ижбулдин) отмечены премией правительства Иркутской области в сфере науки и техники 2020 г.

Реализация первоочередных программных мероприятий, обоснованных в результате выполнения НИР, позволяет снизить потребление топлива на 40 тыс. т/год и тем самым сократить выбросы от коммунальных котельных в атмосферу центральной экологической зоны на 10,7 тыс. т/год, то есть достигнуть 50–60 % от существующего уровня.

Предполагаемый интерес для внедрения: органам государственной и муниципальной власти для учета при принятии решений по развитию экологически чистого электро- и теплоснабжения; энергетическим компаниям, проектным и эксплуатирующим организациям при подготовке проектов по внедрению нового оборудования, перехода на другие виды энергоносителей на объектах коммунальной энергетики; лицам, принимающим решения, как на региональном уровне, так и Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства регионального развития РФ.



Институт систем энергетики  
им. Л.А. Мелентьева, Иркутск  
Иванова Ирина Юрьевна, К.э.н., заведующая лабораторией энергоснабжения децентрализованных потребителей отдела комплексных и региональных проблем энергетики ИСЭМ СО РАН  
+7 914 8781292, nord@isem.irk.ru



Научно-исследовательский центр

# «ЭКОЛОГИЯ»

**Научно-исследовательский центр «Экология» Сибирского отделения Российской академии наук — обладатель междисциплинарных компетенций, разработчик научно-технологических программ и решений в сфере изучения и охраны окружающей среды.**

- Мониторинг экологической обстановки на территориях и объектах.
- Разработка проектов работ в области экологии, рекультивации и рационального пользования ресурсами (вторичная переработка и извлечение).
- Работы на объектах в зоне многолетнемерзлых пород (оценка устойчивости инженерных конструкций и гидротехнических сооружений, прогнозное моделирование).
- Изучение состояния и динамики экосистем, в т.ч. подвергшихся атипичным природным и антропогенным нагрузкам.
- Научное и методическое сопровождение проектов по линии экологической безопасности и влияния на экосистемы.
- Экспертиза и работы в области нормативного регулирования (определение фоновых значений поллютантов для специфических территорий).
- Консультационные услуги и подготовка кадров.

## Кейсы

- разлив нефтепродуктов на Норильской ТЭЦ-3, лето 2020 г.
- разлив нефтепродуктов из трубопровода на нижней Оби, ноябрь 2020 г.
- проект вторичного извлечения на Беловском хвостохранилище, 2020 г.

Контакты: директор Юркевич Николай Викторович, +79232401042, [ecology@sb-ras.ru](mailto:ecology@sb-ras.ru)





# День Академгородка

2021  
26/09

Драйв и творчество — диалог поколений — наш общий праздник

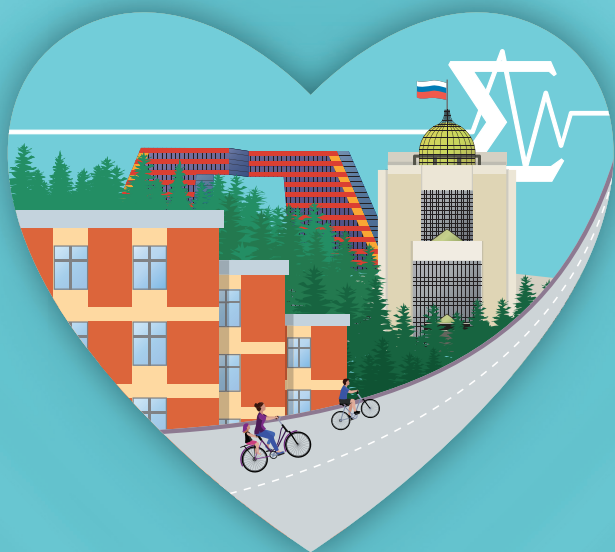
День Новосибирского Академгородка — ежегодный праздник, учрежденный президиумом Сибирского отделения РАН в 2019 году по инициативе председателя СО РАН академика Валентина Пармона.

**26 сентября 2021 года**

В основной День Академгородка-2021 на открытых площадках и в залах пройдут

- хакатоны и экспертные сессии,
- лекции для школьников и студентов,
- уличные выставки и творческие мастерские,
- концерты и веселые старты,
- экскурсии по лабораториям, музеям, институтам и по Новосибирскому научному центру... и не только.

Закончится все флэшмобом **#ОбнимиАкадем** и гала-концертом в Доме ученых СО РАН.



Есть идеи?

Оргкомитет: l.batraeva@sb-ras.ru, +7-(383)-217-45-78 [www.day.akademgorodok2.ru](http://www.day.akademgorodok2.ru)



25-27 августа 2021 года  
г. Новосибирск

**Ключевая миссия Форума — содействие технологическому лидерству России посредством углубления национальной и международной кооперации в сфере науки и высоких технологий.**

ЗАСЕДАНИЕ  
**«НАУКА КАК ИНДУСТРИЯ. ПОВЕСТКА 2024»**

Международный Форум Технологического развития «Технопром» проводится на территории Новосибирской области ежегодно с 2013 года.

Форум «Технопром» занял позиции международной деловой площадки по вопросам обеспечения технологического развития страны через синергию взаимосвязей науки, технологий, инжиниринга прогрессивных моделей экономики и образовательной среды.

Целевой аудиторией форума являются ведущие российские и зарубежные ученые, технологические предприниматели, венчурные инвесторы, представители образовательной среды и органов государственной власти в сфере развития технологий и инноваций.

Одним из значимых результатов работы деловой площадки станет подготовка предложений по актуализации национальной научно-технологической повестки для преодоления современных вызовов и подтверждения статуса России как равноправного партнера в ряду стран — лидеров научно-технологического развития на основе обсуждения актуальных вопросов повестки Технопрома широким кругом участников — экспертов мирового и отечественного уровня.



