



## РАССКАЗЫ УЧЕНЫХ



Плодотворно работают над многими актуальными проблемами ученые Пермского комплекса научных учреждений УНЦ АН СССР. В его составе Институт механики сплошных сред, отдел селекции и генетики микроорганизмов и лаборатории.

**Эффект  
академического  
исследования**



---

# **РАССКАЗЫ УЧЕНЫХ**

---

***М. Н. Степанов, В. Я. Волин***

ПРИКАМЬЕ СКВОЗЬ ПРИЗМУ  
РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ

***В. В. Мошев, Б. И. Бурштейн***

ЭВМ — ПАРТНЕР ИЛИ ИНСТРУМЕНТ?

***Р. А. Пшеничников***

РАЗВЕДЧИКИ-НЕВИДИМКИ

***В. П. Бегишев, Е. В. Славнов***

СВОЕНРАВНЫЙ МИР ПОЛИМЕРОВ

***А. А. Оборин***

НЕЗРИМЫЕ СПУТНИКИ НЕФТЯНИКОВ

---

---

# РАССКАЗЫ УЧЕНЫХ

---

*Плодотворно работают над многими актуальными проблемами ученые Пермского комплекса научных учреждений УНЦ АН СССР. В его составе Институт механики сплошных сред, лаборатория комплексных экономических исследований Института экономики, отдел селекции и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных, лаборатория геологической микробиологии этого же института.*

---

## Эффект академического исследования

---

Большой вклад в развитие экономики страны, производительных сил Урала и в освоение его природных ресурсов вносит Уральский научный центр Академии наук СССР. Плодотворно работают над многими актуальными проблемами и ученые Пермского комплекса научных учреждений УНЦ АН СССР. В его составе Институт механики сплошных сред, лаборатория комплексных экономических исследований Института экономики, отдел селекции и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных, лаборатория геологической микробиологии этого же института.

В постановлении ЦК КПСС «О работе Уральского научного центра Академии наук СССР» отмечалось, что ученые его подразделений постоянно работают над повышением уровня и эффективности фундаментальных и прикладных исследований, играют важную роль в повышении квалификации научных кадров, развитии образования и культуры старейшего промышленного района СССР. Институтами центра за последние годы решен ряд важных теоретических и прикладных задач в области математики, физики, механики, экономики.

После выхода постановления — долговременной программы деятельности уральских ученых — принято решение создать в Перми новое академическое учреждение — Институт органической химии с опытным производством. Коллектив института займется исследованиями проблем создания новых органических веществ и материалов, так необходимых для высокоразвитой химической промышленности нашего края.

Вкладу пермских ученых академических учреждений в развитие фундаментальных наук посвящен очередной сборник. На его страницах рассказывается о проблемах развития производительных сил Пермской области, о месте и роли электронно-вычислительной техники в жизни человека и в развитии народного хозяйства, об организме человека и микроорганизмах, о новейших разработках в области физики полимеров, о роли бактерий в поиске нефтяных месторождений.

Книга адресована широкому кругу читателей.

*М. Н. СТЕПАНОВ,  
кандидат географических наук,  
заведующий Пермской лабораторией  
комплексных экономических  
исследований Института  
экономики УНЦ АН СССР  
В. Я. ВОЛИН,  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории*

---

## **ПРИКАМЬЕ СКВОЗЬ ПРИЗМУ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ**

Что такое ТПК? ТПК — это территориально-производственный комплекс. Содержание слов знакомо нам со школьной скамьи.

Территория — это зональное пространство с определенными границами, производство — отрасль промышленности, сельского хозяйства, строительства, создающая потребительные ценности, а комплекс — сочетание различных явлений, представлений, процессов.

Было время, когда, вероятно, только так и можно было объяснить смысл этих слов. Но постепенно, с ростом достижений науки и производства, по мере развития нашего государства, менялся предмет понятия, а с ним и само определение ТПК. Сегодня слова территориально-производственный комплекс ассоциируются у всех советских людей с гигантскими масштабами социалистического строительства и производства, с освоением новых районов и разработкой крупнейших месторожде-

ний полезных ископаемых, с непрерывно растущим уровнем нашей жизни. Нынешние старшеклассники на уроках географии привычно рассказывают о развитии Братско—Усть-Илимского и освоении Южно-Якутского ТПК, о проблемах Каратау-Джамбульского и перспективах Южно-Таджикского ТПК... И наряду с ними такое близкое каждому уральцу понятие — территориально-производственные комплексы Прикамья.

Пермское Прикамье — один из важных хозяйственных районов страны. Он — объект исследования самых разных наук. Среди них региональная экономика — молодая, но быстро развивающаяся наука, цель которой — изучение территориально-производственных комплексов. Для решения научных и прикладных проблем развития и размещения производственных сил Прикамья, в том числе проблем формирования ТПК, в конце 1971 года и была создана наша лаборатория комплексных экономических исследований. Последовательно проводя научные разработки, лаборатория к сегодняшнему дню накопила определенный исследовательский опыт.

Прикамье — благодатный край для развития ТПК. Не каждый район страны обладает такими мощными природными ресурсами, какие имеются здесь. Это минеральные соли, лес, нефть, уголь, драгоценные камни... Местные условия включают возможность поступления ресурсов из соседних и других областей страны. Район Перми хорош в этом отношении. Он находится в центре главного пути грузов, идущих с запада на восток и обратно

по железнодорожной магистрали. Кроме того, Пермь связана речными путями с пятью морскими портами.

Колоссальное значение для развития электро- и теплоэнергетики Прикамья, для развития современных отраслей промышленности имеют река Кама и ее притоки. Около Перми они проносят такое количество воды, какое не наберется во всех реках, протекающих возле Свердловска, Челябинска, Оренбурга, Ижевска, Магнитогорска, Кургана, Орска... В Пермской области создано два больших водохранилища — Камское и Воткинское. Работают Широковская, Камская и Воткинская гидроэлектростанции. А в скором времени будет воздвигнута крупнейшая в Европе Пермская ГРЭС, которая сооружается в соответствии с решениями XXVI съезда КПСС. По своей мощности — 4,8 миллиона киловатт — она более чем в 3 раза превысит суммарные мощности Камской и Воткинской ГЭС. Предполагается ее работа на угле (а некоторых энергоблоков — на газе). На технологические нужды тепловой станции потребуется много воды. Именно поэтому ученые, исследовав местные условия, предложили разместить ее в наиболее многоводной части Урала — в Прикамье.

В задачу региональной экономики как раз и входит изучение сырьевых, топливно-энергетических и экономических условий и ресурсов с тем, чтобы ответить на вопрос: какие производства могут развиваться в данном районе? Это позволяет учитывать принцип приближения производства к источникам сы-

рья и топлива. Второй вопрос: каковы пути превращения исходных природных материалов в готовую конечную продукцию? Для ответа на него необходим учет не только действующих технологий производства, но и перспективных, прогнозируемых, то есть учет достижений научно-технического прогресса. Эта информация группируется по цепочкам — исходное сырье, его добыча, первичная переработка, получение конечной продукции.

Много цепочек появилось в Прикамье. Среди них — горно-химические, возникшие в связи с разработкой Верхнекамского месторождения солей. В конце XIX века из поваренной соли и местного известняка научились получать соду. В годы первых пятилеток в этом районе была развернута добыча калийных солей, по запасам которых месторождение занимает одно из первых мест в мире. Из их сильвинитовой части (природный хлористый калий) стали получать калийные удобрения. Именно поэтому камские соли нередко называют солями плодородия. Установлено, что один центнер этих удобрений дает возможность дополнительно получать на полях по несколько центнеров продукции растениеводства. Карналлитовая часть калийных солей (соли хлористого калия в соединении с хлористым магнием) используется для производства легкого, крылатого металла — магния. А он, в свою очередь, необходим для получения другого крылатого металла — титана. Еще одна цепочка производств родилась не без чудес современной химии, «из воздуха»: азот воздуха — камская вода — кокс из

углей Кизеловского бассейна — аммиак — азотные удобрения. Технический прогресс привел ныне к изменению: вместо кокса используется природный газ Западной Сибири. А сколько зародится новых цепочек производств, если, например, извлекать из калийных солей и соответствующим образом использовать содержащиеся в них бром, бор, йод, рубидий?..

Казалось бы, нетрудно запутаться в большом разнообразии технологических цепочек. Однако все они похожи тем, что представляют последовательные звенья превращения главного вида сырья в конечную продукцию. Каждая из них как бы обрастает добывающими и перерабатывающими отраслями, а также отраслями энергетики, транспорта, строительства, даже городского хозяйства. Поэтому на основе технологических цепочек формируются экономико-технологические сочетания производства, их циклы, которые основатель учения о ТПК профессор МГУ Н. Н. Колосовский (1891—1954 гг.) назвал энергопроизводственными циклами.

Каждый цикл представляет собой типичскую, устойчиво повторяющуюся совокупность производственных процессов для данного вида сырья и энергии. Размещение энергопроизводственных циклов по стране крайне разнообразно: иногда добывающие стадии располагаются в одном районе, а обрабатывающие — в другом. Возникает вопрос о правильном распределении по территории страны последовательных стадий превращения сырья в продукцию. Сочетание энергопроизводственных

циклов в одном районе образует специфическую внутреннюю структуру территориально-производственного комплекса.

Мощный ТПК формируется в верховьях Камы на основе использования природных ресурсов упомянутого выше соляного бассейна. Так называемый Верхнекамский ТПК имеет несколько энергопроизводственных циклов: горная химия, электрометаллургия цветных металлов, электрохимия хлора и щелочей, угленефтегазохимия, а также целлюлозно-бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Предприятия комплекса, несмотря на то, что они относятся к разным отраслям и ведомствам, образуют своеобразные комбинации вокруг соответствующих процессов превращения исходного сырья в готовую конечную продукцию. Далеко не одинакова роль каждого предприятия в том или ином процессе, в каждой из его последовательных стадий.

Производственные объединения «Уралкалий» в Березниках и «Сильвинит» в Соликамске ведут добычу и обогащение сильвинита и карналлита. Выпуская необходимые стране удобрения, они одновременно снабжают карналлитом Березниковский титано-магниевый комбинат, хлористым калием и натрием — Березниковское производственное объединение «Сода» имени В. И. Ленина. В свою очередь объединение дает часть продукции калийным предприятиям, Соликамскому целлюлозно-бумажному и Березниковскому химическому комбинатам, который производит различные красители, резиновые ускорители, синтезирует ряд других полупродуктов. Для этого ему

поставляются кислоты: соляная — с объединения «Сода», азотная и серная — с Березниковского азотно-тукового завода имени К. Е. Ворошилова. Круг внутренних связей этих предприятий как бы замыкают поставки аминов жирных кислот с азотно-тукового завода калийщикам. Небольшая добавка аминов придает калийным удобрениям свойство неслеживаемости, необходимое при транспортировке удобрений. Предприятия получают также привозное сырье, например, природный газ Западной Сибири, углеводороды Губахи, Перми...

Производственный комплекс не существует без комплекта обеспечения процесса производства и повседневной жизни населения или, как обычно называют, без производственной и социальной инфраструктуры, включающей транспорт, связь, энергоснабжение, здравоохранение и многие другие отрасли и их объекты. Комплект должен быть полным: он не может обеспечивать нужды комплекса, если из него исключить, например, транспорт или энергоснабжение. Наоборот, в отличие от комплекта обеспечения, производственный комплекс таковым быть не обязан. Тот или иной недостающий вид сырья или продукта можно получить из-за его пределов. Что и делается. Иначе говоря, из комплекса можно убрать или не развивать в нем какое-либо производство, но ни одну отрасль комплекта обеспечения забывать нельзя.

Важно, чтобы комплекс и комплект развивались пропорционально, чтобы гармонично сочеталось централизованное руководство

предприятиями со стороны отраслевых министерств и межотраслевое регулирование в территориальных рамках. Только тогда ТПК дает дополнительный — и очень существенный! — экономический эффект, активно способствует росту производительности общественного труда.

Прикладными и фундаментальными исследованиями в первую очередь по проблемам планомерного формирования Верхнекамского ТПК занимается наша лаборатория. Особое внимание привлекает ядро этого ТПК — Березниковско-Соликамский промышленный район, где и сосредоточены предприятия, связанные с эксплуатацией соляного месторождения. Район дает половину всего производства калийных удобрений в нашей стране, являясь крупнейшим их поставщиком и на мировой рынок. Здесь действуют шесть мощных калийных рудоуправлений. Ученые лаборатории помогают производственникам вскрывать имеющиеся резервы и эффективно использовать их в народном хозяйстве.

Другая проблема — транспорт. Нами выдвинута идея спрямления одной из железнодорожных магистралей Западного Урала. Реализация этой идеи на практике позволит, во-первых, расшить узкие места на путях вывоза из района не только удобрений, но и другой продукции, во-вторых, сэкономить на перевозке транзитных грузов не менее 14 тысяч рублей за каждый миллион тонн, в-третьих, существенно улучшить условия формирования Пермской городской агломерации. Идея была поддержана руководством Института эконо-

мики и учтена при разработке схемы развития транспорта Урала. В ходе железнодорожного строительства в нашем крае, ведущегося на основе этой схемы, в ближайшее время будут уничтожены диспропорции, сложившиеся между потребностями хозяйства Прикамья в транспортном обслуживании и уровнем развития его.

Березниковско-Соликамский промышленный район — это ряд крупных предприятий, расположенных на ограниченной территории, и высокая концентрация городского населения (92 процента всех жителей промышленного района). Здесь большое значение имеют устойчивая работа сельского хозяйства, бесперебойное снабжение горожан продуктами питания. Сотрудник нашей лаборатории В. А. Сторожева выдвинула научную концепцию пригородного агропромышленного комплекса для данного района. На основе концепции разработаны конкретные предложения по формированию агрокомплекса. Реализация наших предложений позволит увеличить обеспечение населения района продовольствием только за счет местного производства мяса и овощей с 21 процента в настоящее время до 35—40 процентов к 1995 году. Все предложения были учтены при разработке Продовольственной программы Соликамского района.

В течение последних лет наша лаборатория ведет исследования по рациональному природопользованию и охране природы Западного Урала. В сотрудничестве с учеными Института географии АН СССР мы разработали комплексную схему охраны природы

Пермской области. Совместно с Институтом охраны природы Министерства сельского хозяйства СССР работаем над перспективной схемой заповедных территорий Уральского региона. Лаборатория поддерживает тесные связи с институтами биологии Татарского, Башкирского и Коми филиалов Академии наук СССР, с Институтом экологии растений и животных в Свердловске. Материалы этих совместных исследований используются в работе по международной программе «Человек и биосфера».

Говоря о вопросах рационального природопользования, нельзя пройти мимо острой проблемы использования отходов калийных рудников. Эти отходы состоят в основном из каменной соли и лишь частично используются в качестве сырья для производства соды и хлорной продукции, технической и пищевой соли, для закладки выработанных подземных пространств калийных шахт. Большая часть их складирована на поверхности земли возле обогатительных фабрик, образуя огромные горы — терриконы. Отсюда, размываемая талыми и дождевыми водами, соль попадает в Каму, загрязняет окрестные территории.

Что делать с этими отходами? Еще несколько лет назад мы предлагали построить электрохимический комбинат для производства различных видов продукции на основе электролиза хлористого натрия. Но для этого надо много электроэнергии, которой пока хватает только существующим предприятиям. Поэтому немалый интерес представляет предложение ведущего ученого пермской группы научных учреждений УНЦ АН СССР академика

Академии наук Латвийской ССР И. М. Кирко, поддержанное коллективом лаборатории, о сооружении в промышленном районе атомной котельной. Это улучшило бы его энергоснабжение и решило проблему солеотходов.

Уже с самых первых шагов деятельности лаборатории было ясно, что заниматься только производственно-экономическими вопросами формирования и развития района недостаточно. На июньском (1983 г.) Пленуме ЦК КПСС было еще раз подчеркнуто: «На XXVI съезде мы четко заявили о необходимости обеспечить тесную связь экономической и социальной политики. Это и понятно: ведь конечной целью наших усилий в хозяйственной сфере является улучшение условий жизни людей. Нам надо научиться, вырабатывая наши хозяйственные планы, всесторонне учитывать и отражать в них важнейшие факторы развития общества — социальные, национальные, демографические».

Между тем, ТПК — это только материально-техническая основа экономических районов. Для углубленного изучения производительных сил Прикамья коллектив лаборатории стал больше внимания уделять социальной и социально-демографической проблематике, региональным социально-экономическим системам (РСЭС). Устойчивого определения таких систем еще не существует в советской научной литературе. В принципе — это исторически и целенаправленно складывающаяся общность людей, внутренне связанная разделением и кооперированием общественного труда, единством систем расселения и общест-

венного обслуживания на определенной территории. Она призвана решать конкретные хозяйственные задачи, обеспечивать достижение целей социального развития, выдвигаемых обществом. Изучением РСЭС в нашей лаборатории занимается научный сотрудник В. А. Черепанов.

В развитии РСЭС есть одна интересная закономерность: чем меньше ее территориальные масштабы, тем больше зависит управление ею от специфики местных условий развития производства. Развивая эту мысль, мы считаем, что образ жизни конкретных людей имеет место только в определенных условиях их жизнедеятельности — социальных, материальных, — которые сложились и развиваются в той или иной местности, населенном пункте, трудовом коллективе. Эта область исследования представляется чрезвычайно важной с точки зрения как новых научно-теоретических достижений, так и практических предложений, направленных на совершенствование территориального планирования. Поэтому разработку вопросов мы ведем на стыке наук: региональной экономики, региональной социологии, экономической географии.

Лаборатория участвует также в разработке плана развития Краснокамска и его пригорода на 1986—1990 годы. Особое внимание в нем мы обращаем на вопросы всемерной экономии труда, обеспечения предприятий промышленности трудовыми ресурсами, улучшения санитарного состояния воздушного бассейна и реки Камы, развития собственной строительной базы района, ускоренного фор-

мирования мощного пригородного агропромышленного комплекса, а также занимаемся проблемами дальнейшего развертывания социалистического соревнования, улучшения идейно-нравственной воспитательной работы среди населения и в трудовых коллективах.

Работы по Перми и Краснокамску имеют свою предысторию. В 70-х годах мы завершили исследование процессов формирования Пермской городской агломерации — «созвездия» городских и сельских населенных пунктов вокруг Перми, взаимосвязанных регулярными поездками их жителей на работу и домой. Нам удалось выявить пространственную структуру этой агломерации, народнохозяйственные функции ее отдельных частей, обосновать пути дальнейшего развития как агломерации в целом, так и различных ее секторов. Мы предложили создать поселения-спутники Перми с целью выноса отдельных производств предприятий города, организации предприятий-филиалов, указали на необходимость участия предприятий города в развитии и благоустройстве тех поселений-спутников, в которых проживают их рабочие. Предложения были приняты плановыми органами.

Эти исследования агломерации стали как бы толчком для последующих работ лаборатории над планами развития Перми и Краснокамска.

В рамках региональных социальных исследований научный сотрудник лаборатории Я. Б. Сотникова в течение ряда лет вела изучение миграции сельского населения Перм-

ской области. Эти миграции — одни из наиболее высоких на Урале.

В целях изучения процессов лаборатория совместно с отделом по труду Пермского облисполкома и обкомом ВЛКСМ провела выборочные обследования. Главное место мы уделили изучению механизма миграции, выяснению их причин и разработке мероприятий по оптимизации миграционных процессов. Было установлено влияние этих процессов на изменение численности населения, его качественного состава, в связи с неравномерным участием в миграциях и разными направлениями движения групп населения. По данным обследований, на миграционных процессах области отражаются условия труда, организация производства, обеспеченность жильем, средняя заработная плата, уровень развития сферы обслуживания, транспортные условия...

В результате работы мы составили план мероприятий по регулированию миграций. Предложения были учтены в практической деятельности местных Советов, благодаря чему удалось сократить поток людей в направлении «село — город» и усилить поток «город — село».

Прямой выход в практику исследований лаборатории — их использование в процессе регионального планирования и территориального проектирования. Наши разработки были учтены Центральным экономическим научно-исследовательским институтом при Госплане РСФСР в ходе составления 10-го пятилетнего плана экономического и социального развития экономических районов РСФСР. Инсти-

туту Ленгипрогор наши исследования помогли детально разработать проект планировки группы центральных районов области, а Институту экономики УНЦ АН СССР — обосновать генеральную схему развития и размещения производительных сил Урала, составить целевые комплексные программы интенсификации промышленного производства.

Деятельность уральских ученых всесторонне проанализирована в постановлении ЦК КПСС «О работе Уральского научного центра АН СССР». В нем, в частности, подчеркнута необходимость решительного поворота всех уральских ученых-обществоведов к реальным практическим задачам разработки социально-экономических проблем комплексного развития производительных сил Урала.

Это указание можно полностью отнести и к деятельности нашей лаборатории. Работа ее коллектива нацелена на дальнейшее усиление фундаментальных исследований научно-теоретических проблем ТПК и РСЭС. Эти исследования опираются на конкретный материал и способствуют выполнению научно-прикладных задач комплексного социально-экономического развития Западного Урала. Наш опыт участия в разработке комплексного плана развития Краснокамска предусматривается распространить на другие города и районы Пермской области. Особое внимание будет уделено проблемам социально-демографического развития области, повышению эффективности использования трудовых ресурсов в целях дальнейшего повышения уровня благосостояния советских людей.

*В. В. МОШЕВ,  
доктор физико-математических наук,  
заместитель директора  
Института механики сплошных сред  
УНЦ АН СССР  
Б. И. БУРШТЕЙН,  
научный сотрудник*

---

## **ЭВМ — ПАРТНЕР ИЛИ ИНСТРУМЕНТ?**

Вопрос о месте электронно-вычислительной техники в жизни человека, в народном хозяйстве все больше занимает умы не только ученых, но и широких масс людей, казалось бы, чрезвычайно далеких от существа проблемы. Об этом думают, говорят, спорят. Предметы спора — ЭВМ и человек, компьютер и его роль в творческой деятельности человека, в искусстве, взаимодействие человека, занятого творческим трудом, в том числе научным, и плода этого творчества — компьютера. Диапазон мнений, возникающих по поводу этих проблем, чрезвычайно широк: от пренебрежительного отведения ЭВМ вспомогательной бухгалтерской роли, своеобразных быстродействующих счетов для расчета зарплаты, до самых радужных, оторванных пока от реальной действительности, оптимистических фантазий на тему о компьютерах, самостоятельно сочиняющих музыку, стихи и, может быть, уже вынашивающих в своих таинственных недрах некий новый невиданный вариант со-

временного шедевра, наподобие «Войны и мира».

Конечно, и о бухгалтерских возможностях ЭВМ не стоит говорить с пренебрежением. В этой области машине уже удается избавить тысячи людей от монотонного, кропотливого и не свободного от ошибок, так свойственных человеку, труда. Недаром профессия бухгалтер становится в наше время престижной и привлекательной для молодых, что тоже немаловажно. Нам же приходится каждодневно иметь дело с использованием вычислительной техники в творческом труде ученого. Для нас, ученых, общение с машиной — это будни. Компьютер — необходимый и, прямо скажем, уже привычный и незаменимый помощник в работе. И чем больше мы взаимодействуем с машиной, тем больше хочется философски осмыслить: чем все же она для нас является — партнером для научного общения или инструментом? Этот вопрос мы и рассмотрим здесь на личном научном опыте и на примере коллег по Институту механики сплошных сред УНЦ АН СССР.

Вспоминается, каким событием для коллектива стало выделение нашему институту современной ЭВМ — БЭСМ-6. В какой-то мере мы к такому великолепному подарку были в то время еще не готовы. Подготовиться к приему следовало в кратчайший срок, объем же работ предстоял колоссальный: ведь для нормального функционирования машины требовалось помещение, которое отвечало бы не только определенным техническим требованиям, но и весьма высокому эстетическому и

культурному уровню работников. Требовались специальное энергообеспечение и множество еще разных других вещей, совершенно для нас новых.

Все работы по организации нового вычислительного центра в институте проходили в обстановке приподнятости, даже какой-то праздничности, хотя многое, если не сказать все, приходилось делать собственными силами и, понятно, не в ущерб основной научной работе. Но все понимали, что появление в институте машины составит в его жизни новый этап, поднимет работу на новую современную ступень. И действительно, весь объем работ был выполнен в срок, и машина заработала практически «с колес».

Больше всех ее появлению обрадовались, конечно, наши теоретики, то есть те ученые, которые занимаются теоретическими изысканиями в области расчетов на прочность и устойчивость различных конструкций, структуры полимерных и композитных материалов, которые исследуют конвективные течения. Для нашей лаборатории сотрудничество с ЭВМ связано с поиском разгадки одной из старейших тайн техники — тайны простой и всем, казалось бы, известной резины.

Есть в этой истории много такого, что можно обнаружить в любом научном поиске: находки и потери, счастливые неожиданности и вызывающие недоумение тупики. История эта пока не завершена, но конец ее видится нам непременно счастливым, потому что для колес многотонных автомобилей, в кабельной промышленности, современным нефте- и газо-

проводам нужна резина с заранее заданными свойствами, которые можно закладывать в материал еще на этапе составления его рецептуры и режимов обработки. А практика показывает, что если производству, народному хозяйству что-то необходимо, то наука этого непременно добьется.

Загадки резины давно привлекают пристальное внимание многих ученых и исследователей. История ее вообще-то полна случайностей. Случайностью, скорее всего, было и само появление резины на свет. Вероятно, это произошло так: в какой-нибудь холодный осенний вечер древний южноамериканский индеец задумчиво подбросил в костер веточку дерева, сырого и для костра непригодного. По рассеянности. А веточка оказалась от каучуконосного дерева. И белый сок, который выделяли эти растения и на который никто не обращал внимания, так как он ни на что не годился, на глазах у индейца затвердел на углях и превратился в тягучий и прочный материал. Как они догадались пропитать этим материалом одежду и обувь, по-видимому, так и останется загадкой в веках. Возможно, тоже случайно, но факт, что пропитка одежды и обуви латексным каучуком с целью придания им водонепроницаемости, придуманная индейцами, и явилась первым практически полезным применением каучука. В Европу каучук завезли конкистадоры — завоеватели Южной Америки. Европейцы вполне оценили новый материал. Ему находили все новое и новое применение, однако продукт был дорог и остродефицитен. Чтобы увеличить массу дорогого то-

вара, изворотливые промышленники стали искать дешевые добавки, которые можно было бы подмешивать к экзотическому продукту, из тех, что имелись у них под рукой. Результаты большинства таких попыток история для потомства не сохранила.

И тогда произошла еще одна случайность, оказавшаяся эпохальной: в каучук подмешали сажу. И получили совершенно новый материал, известный под названием резины, который оказался в 15 раз прочнее исходного материала, с разрывными деформациями в 2—4 раза выше каучуковых, с повышенной износостойкостью. В начале нашего века резина быстро, в течение 5—10 лет, завоевала мировой рынок.

И как же было ученым не обратить внимание на такое феноменальное превращение? Что же произошло? Ввели сажу? Ну и что? Как ни странно, вот уже много лет эти простые вопросы: «Что происходит с каучуком при введении в него сажи? Каким образом простое добавление сажи придает каучуку совершенно новые свойства?» — волнуют ученых всего мира. И что еще более странно, на них до сих пор не найдено общепризнанного ответа. Но, может быть, ответ и не надо искать? В конце концов технология резины освоена достаточно хорошо. Необходимость понимания механизма упрочнения каучука, однако, существует и обусловлена она несколькими обстоятельствами. Во-первых, улучшение качества резины опытным путем, то есть методом проб и ошибок, связано со значительными затратами времени и средств. Во-вто-

рых, нет уверенности в том, что нужные технические решения являются наилучшими. В-третьих, нет ясного понимания механизмов упрочнения. Это исключает возможность целенаправленного изменения качеств резины, получения ее с новыми необычными свойствами.

Вообще, материаловеды очень отстали в этом отношении от других отраслей прикладной науки, таких как, например, проектирование и конструирование машин и механизмов. Даже такое словосочетание, как «проектирование (или конструирование) материала» большинству специалистов представляется непривычным, противоестественным, странным.

Между тем, загадочной оказалась не только резина. В той или иной мере загадки ее свойственны другим современным материалам и, в первую очередь, композитам и наполненным полимерам. Именно поэтому разгадкой тайн структурированных материалов занимается сейчас большой отряд ученых, в том числе и в нашем институте. Так, волокнисто-наполненные материалы изучает коллектив лаборатории, которую возглавляет доктор физико-математических наук Ю. В. Соколкин. Рекомендации, разработанные только по одному из видов материалов кандидатом физико-математических наук В. В. Мельниковым, при внедрении их в промышленность позволят получить более 300 тысяч рублей экономического эффекта.

Для того, однако, чтобы было понятнее, как и чем помогла нам ЭВМ при исследовании резины, необходимо несколько подробнее

остановиться на том, в чем же суть этих самых загадок. Дело в том, что собственная прочность и жесткость сажи в тысячи раз выше собственной прочности каучуковой матрицы, как мы называем каучуковую основу, в которую вкраплены частицы сажи. Поэтому каучук является слабейшим звеном каучуковой композиции. А известно, что рвется там, где тонко. Более того, частицы сажи, на первый взгляд, выступают в роли понизителей прочности! Они способствуют возникновению резко выраженной механической неоднородности. Поэтому первичные микроскопические повреждения должны возникнуть в резине гораздо раньше, чем в ненаполненном каучуковом образце.

И опыт показывает, что все происходит именно так: микроскопическая поврежденность в резине начинает накапливаться почти с самого начала ее деформирования. Об этом можно судить по падению начальной жесткости резины, ее размягчению при повторных нагружениях одних и тех же образцов. Экспериментально это особенно эффективно выявляется в виде так называемого механического гистерезиса. Суть его состоит в том, что из-за накопления поврежденности при растяжении наблюдается несовпадение кривых, отражающих зависимость деформации от приложенного при растяжении усилия: при той же деформации усилие первого растяжения всегда выше, чем усилие при первом сокращении. В результате возникает гистерезисная петля, величина которой может быть использована как мера общей поврежденности

резины, возникающей внутри материала в цикле испытания. Исследование гистерезисных свойств резин выявило несколько удивительных закономерностей.

Было установлено, во-первых, что в тех случаях, когда растяжение повторяют неоднократно и притом до одинаковой деформации, первые и весьма значительные гистерезисные петли начинают сжиматься и в конце концов становятся незначительными. Это свидетельствует о том, что накопление поврежденности в таких опытах прекращается и материал начинает вести себя воспроизводимо, как чисто упругая система. Поведение такой «уставшей» резины в определенном отношении представляется странным. В результате накопления поврежденности сопротивление ее в начале деформирования гораздо ниже, чем у «свежего» продукта. Однако, когда деформация приближается к своей максимальной величине, которая была реализована в прошлых опытах, и кажется — все! — сейчас материал дойдет до предела и разорвется, происходит удивительное: у образца возникает как бы второе дыхание, как у атлета, идущего на рекорд. Сопротивление деформированию начинает быстро нарастать, и образец выходит на финишную прямую, причем, пройдя прежнюю максимальную деформацию, он «забывает» об усталости, которая в нем накопилась в предыдущих циклах. Эта вторая особенность резины отличает ее как конструкционный материал от многих других.

И, наконец, третья, самая непонятная загадка резины, о которой мы говорили. Раз са-

мым слабым звеном системы является каучук, раз в резине подготовка к глобальному разрушению начинается в форме накопления поврежденности почти сразу в ходе деформирования, резина вроде и не может быть прочнее своей основы — каучука и скорее всего должна обладать меньшей прочностью. На самом деле все происходит наоборот — каучук внутри резины обладает разрывными усилиями, которые в 10—15 раз превышают его прочность в отсутствии сажи. Притом чем больше в каучуке развиты гистерезисные потери, то есть чем выше накопленная поврежденность вначале, тем выше его разрывные усилия в конце. Материал упрочняется благодаря повреждениям!

Восемьдесят лет резину используют в промышленности, столько же интенсивно исследуют этот материал в научных лабораториях, а механизм ее упрочнения до сих пор остается предметом дискуссий и споров. В науке, особенно прикладной, часто случается, когда накопление опытных данных опережает их техническое осмысление. Непрерывно возрастающий разрыв между практикой с ее потребностями и теорией становится мощным стимулом для развития теоретических представлений. История резины служит прекрасным подтверждением этого наблюдения.

Отсутствие удовлетворительного объяснения отмеченным загадкам свидетельствует о недостаточности наших теоретических представлений относительно рассматриваемого явления и о наличии каких-то важных пробелов в системе представлений данной области

полимерной науки. Дальнейший прогресс в этой области вряд ли возможен без создания таких представлений.

По-видимому, возникнет необходимость пересмотра или уточнения некоторых установленных представлений. Так, принято считать, что в формировании сопротивления деформированию принимает участие весь объем материала, хотя, может быть, в разной степени. Однако объяснить загадку гистерезисных свойств резины можно только в том случае, если допустить, что не все внутренние механизмы противодействия деформированию (как это обычно молчаливо предполагается в механике сплошных сред) включаются в действие одновременно, сразу после начала растяжения. Как должен быть «устроен» такой материал? На сцену выступает теория. Сравнительно не трудно придумать механическую модель, которая способна вести себя, как уже отмечено. Представим себе систему упругих нитей, например, резиновых, скрепляющих две параллельные планки. Все нити имеют одинаковую длину. Часть из первоначальных длин нитей имеет длину, равную первоначальному расстоянию между планками, остальные — длиннее. Сопротивление каждой отдельной нити раздвижению планок может быть представлено так: пока нить не стала натягиваться, то есть пока расстояние между планками меньше начальной длины нити, ее сопротивление равно нулю. Когда расстояние между планками станет равным начальной длине нити, она начнет противодействовать растяжению со свойственным ей законом со-

противления до разрыва, после чего перестанет участвовать в процессе.

Закон сопротивления нити и условия ее разрушения принципиального значения не имеют. Важной является одновременность включения и выключения нитей, постепенная передача сопротивления от одних нитей к другим. Эту модель можно легко перевести с описательного языка на язык математики — математизировать — и, что очень важно, исследовать свойства модели, не прибегая к физическому экспериментированию. Впрочем, на таком этапе это еще не так важно: подобную модель не так уж трудно выполнить и физически. Хотя и непосвященному понятно, что каждая модель пригодна только для одного эксперимента, потом все надо начинать сначала, потому что она уже будет разрушена. Это чрезвычайно затягивает ход исследований, тогда как с математической моделью можно экспериментировать бесчисленное число раз.

Но дело еще и в том, что описанная модель, конечно же, является абстракцией. Трудно представить себе существование внутри резины заранее заготовленного набора взаимно независимых элементарных противодействий, включающихся и выключающихся при прохождении определенных интервалов деформации. Вероятнее всего, действительные механизмы позднего включения возникают в структуре резины как результат предшествующего разрушения наиболее нагруженных связей и вызванной этим перестройки структуры. Теоретические рассуждения начинают услож-

нять модель. Если мы хотим приблизиться к реальности, то необходимо учитывать, что внутренние связи в резине напоминают хаотичную, случайно построенную сетку с неодинаковыми длинами связей в ячейках. Такую сетку изготовить для физического эксперимента чрезвычайно сложно и трудоемко. Причем плоскую — еще куда ни шло, но пространственную, какая нам именно и нужна, и в тех количествах, которые нужны для эксперимента, — практически невозможно.

Однако с помощью современных вычислительных машин такие сетки удастся «построить» без особых трудностей чисто математическими средствами. Конечно, это будут уже не сетки — физические объекты, а представления о сетках, заложенные в память ЭВМ. Исследование «свойств» таких моделей, также выполняемое посредством ЭВМ, называется математическим экспериментированием. Математический эксперимент содержит в себе мощный познавательный потенциал. Он позволяет не только проверить и подтвердить те или иные качественные теоретические предположения, но и получить результаты, которые в физическом эксперименте получить очень трудно или даже невозможно.

Математическое исследование свойств сеток подтвердило теоретические предположения о гистерезисных механизмах резины. Однако не объяснило главной ее загадки: почему же увеличиваются разрывные усилия в присутствии сажи? Создание такой модели необходимо. Уже сегодня совокупность фактов позволяет сформулировать три опытных за-

кономерности: упрочение наблюдается только в каучукоподобных матрицах, способных к очень высоким собственным удлинениям; упрочение могут производить только очень мелкие частицы наполнителей; предразрывное состояние упроченных систем характеризуется возникновением в резине волокнистой, фибриллярной структуры. Известно также, что вблизи поверхности частиц сажи частицы каучука переходят в особое, так называемое связанное состояние, характеризующееся большей жесткостью и, вероятно, более высокой прочностью. Получается, что носителем прочности, в конечном счете, оказывается совокупность волокон, которые по какой-то причине оказываются более прочными, чем в ненаполненном, однородном по свойствам каучуке.

Можно предположить, что применение достаточного количества очень мелких частиц, обладающих громадной общей поверхностью, переводит значительную долю наличного каучука в связанное, то есть в более прочное состояние. Вместе с тем применение очень мелких частиц одновременно создает в массе большое количество микроскопических, равномерно расположенных разрывов сплошности. Они способствуют переводу каучуковой фазы из сложного (трехосного) состояния в систему многочисленных одноосно нагруженных волокон, ориентированных вдоль действия внешней нагрузки, то есть наиболее эффективным образом.

Возникающие в результате такой структурной перестройки волокна представляют

собой цепочки из сажевых частиц, скрепленных частицами связанного каучука. Поэтому разрывные усилия таких волокон должны быть гораздо выше соответствующих величин для каучука в несвязанном состоянии. Дополнительным фактором упрочнения является, по-видимому, и то обстоятельство, что разрывы отдельных мельчайших волокон не могут существенно ослабить испытываемый образец в противовес трещинам в однородной среде, которые, начав расти, обычно распространяются беспрепятственно на все сечение образца.

Пока что у нас есть только словесное описание этой гипотезы, которому еще предстоит быть переведенным на математический язык, а это, в свою очередь, позволило бы обратиться за помощью к ЭВМ. Однако на пути у нас целый ряд пока не преодоленных трудностей: нет опытных данных о механических свойствах связанного каучука, не ясно, как математически описать переход резины в волоконоподобное состояние. Указанные исследования — дело сегодняшнего дня.

До сих пор химики, физики и механики, пытаясь объяснить рассматриваемый механизм, действуют разрозненно, выясняют суть явления со своей, привычной для данной отрасли науки, точки зрения. Такая организация исследовательской работы не способствует быстрому движению вперед. Значительный прогресс в этом направлении станет возможен после объединения усилий различных специалистов.

Здесь необходимо сделать отступление и

сказать о том, что математическое экспериментирование, которое является одним из самых современных научных направлений, используется учеными нашего института весьма широко на самых разнообразных направлениях науки. Так, лаборатория, возглавляемая кандидатом физико-математических наук В. П. Матвеевко, занимается расчетами напряженно-деформированных состояний различных конструкций. Современная техника чрезвычайно сложна, и многие конструкции, применяемые в ней, разрабатываемые в современных конструкторских бюро и лабораториях, работают в таких сложных условиях нагружений, где имеют место разнообразные динамические, вибрационные и прочие воздействия. Классические методы расчета уже не позволяют конструктору с уверенностью сказать, как поведут себя конструкция или деталь определенных размеров и формы в тех или иных условиях. И вот тут на помощь опять приходит математическое экспериментирование, которое в целом ряде случаев позволяет с достаточной для практических целей точностью решить эту задачу. И более того, математическое исследование модели позволяет не только делать пассивные заключения, но и давать активные рекомендации об оптимальной форме деталей. При таких исследованиях открываются зачастую совершенно неожиданные вещи.

Например, математический эксперимент может предсказать предрасположенность детали к разрушению в толще металлического массива, что никакими инженерными расче-

тами обнаружить попросту невозможно. Недавно теоретикам этой лаборатории пришлось решать задачу, связанную с конструкциями, подобными той, которая получается, к примеру, при армировании пластмассовой детали металлическим стержнем, входящим в нее под прямым углом. Известно, что в месте вхождения металла в пластмассу создается концентрация напряжений, и деталь тут легко разрушается. Это обстоятельство пытались обойти, создавая в этом месте различные хитроумные закругления, приливы и прочее, что, однако, не всегда приводило к желаемым результатам. Математический эксперимент дал совершенно неожиданное конструктивное решение, которым сразу же заинтересовались создатели современных полупроводниковых элементов. Применение сделанных нами рекомендаций позволило резко повысить качество выпускаемой продукции.

Сейчас коллектив лаборатории не только мечтает, а предпринимает уже вполне реальные шаги к осуществлению этой мечты: создать такой банк программ, который будет храниться в памяти ЭВМ и позволит конструктору общаться с ЭВМ на таком, предположим, уровне. Возникла у него, скажем, идея создания детали определенной конфигурации. Он рисует эту деталь световым карандашом на экране дисплея и посылает соответствующий запрос. И тут же на экране начинает мигать точка в месте возможного разрушения. Тогда конструктор этим же световым карандашом вносит необходимые поправки и получает от машины ответ, насколько они эф-

фективны. Заметим, что здесь происходит самый настоящий диалог с ЭВМ, однако идея все же принадлежит человеку.

Для сходных целей, но для разрешения уже других задач, использует математическое экспериментирование коллектив ученых лаборатории, которую возглавляет кандидат физико-математических наук А. А. Роговой. В 1983 году в издательстве «Наука» вышла книга, созданная им в соавторстве с кандидатами физико-математических наук Г. Б. Кузнецовым и Л. Л. Кожевниковой. Книга эта носит несколько специфическое название — «Равновесие тел вращения под действием массовых сил». В строго научном этом названии кроется вполне понятная и весьма актуальная суть: ведь огромные емкости, используемые для транспортировки всевозможных жидких нефтепродуктов, технологические установки на предприятиях современной химии и т. п., тоже тела вращения. Они должны быть механически прочными, а это для народного хозяйства весьма актуальная проблема.

Коллектив лаборатории проводит работу по использованию найденных ими методов расчета для оптимизации новых современных технологических процессов, внедряемых на заводах нашей области. Работа эта уже вышла за пределы математического эксперимента, она находится на стадии внедрения и позволит получить существенную экономию дорогостоящих металлов.

Совсем в другой области применили математическое моделирование ученые нашего теоретического сектора, которым руково-

дит доктор физико-математических наук М. И. Шлиомис. Здесь под руководством доктора физико-математических наук Е. Л. Тарунина была математически решена чрезвычайно важная для народного хозяйства задача, связанная с современным и весьма перспективным способом хранения нефтепродуктов в специальных резервуарах, образовавшихся в толще земли в результате вымывания мощных соляных пластов либо созданных специально для этой цели с помощью взрыва. Размеры этих полостей достигают 30 метров в диаметре. Конечно, они далеки от идеальной формы. За счет естественного геотермического градиента — увеличения температуры по мере удаления в глубь земли — температура пластов в разных частях такого резервуара неоднородна.

В неодинаковых температурных режимах находится и нефть на разных глубинах. В итоге — сильные конвективные течения: гигантское подземное озеро бурлит, ни на мгновение не оставаясь в покое. С одной стороны это хорошо: нефть перемешивается, не застаивается, не стратифицируется, то есть не расслаивается на отдельные фракции. Но если течения очень уж разбушуются, то это плохо, потому что тогда нефть захватывает газы, скопившиеся под потолком камеры. Качество ее снижается. Поэтому чрезвычайно важно знать, что творится в нефтяном озере, бушующем под толщей земляных пластов. Для этой цели существуют, конечно, экспериментальные способы, позволяющие путем взятия проб с различных глубин составить приблизи-

тельную картину происходящего. Но эти способы сложные, трудоемкие и дорогие.

Создание математической модели позволило составить программу расчета, с помощью которой, исходя из реальных условий, можно определить характер и направление конвективных течений, температуру в любой точке исследуемого массива, в любой момент времени до тех самых пор, пока система эта не достигнет равновесного состояния. Для того, чтобы представить хотя бы приблизительно всю сложность этой программы, достаточно сказать, что даже такая быстроедействующая ЭВМ как наша БЭСМ-6, выполняющая более миллиона операций в секунду, обчисляет ее в течение многих часов. Сейчас эта программа полностью отлажена.

Математические методы контроля за состоянием нефти, загруженной в подземные резервуары, используются на предприятиях научно-производственного объединения «Союзпромгаз». Внедрение результатов исследований только в этом объединении позволит получить экономический эффект более миллиона рублей.

Ну и, наконец, нельзя не привести еще один пример красивого и в чем-то тоже неожиданного применения результатов теоретических расчетов наших ученых. На этот раз молодые ученые кандидаты технических наук В. Н. Ковров и А. И. Дегтярев производили моделирование и разрабатывали теоретические основы расчета конструкций из пленочных материалов. В это время к ним и обратились пермские лесники с предложением при-

нять участие в решении весьма не тривиальной задачи.

Дело состояло в том, что ежегодно в нашей стране заготавливается около 170 миллионов кубометров круглого леса. Из этого количества 35 миллионов кубометров уходит в отходы в виде сучьев, вершин, которые просто-напросто сжигаются прямо в лесосеке. Использование этой древесины в народном хозяйстве позволило бы получить огромную выгоду. Как ее использовать, в общем, известно. Можно, например, превратить ее в технологическую щепу, которая затем находит широкое применение в бумагоделательной промышленности, в производстве древесностружечной плиты и для целого ряда других целей. Но основная трудность на этом пути состоит в том, как организовать доставку щепы на предприятия, где она может быть утилизирована.

С увеличением объема и расстояния перевозок стоимость их общепринятыми транспортными средствами — автомобильным и пневматическим — резко возрастает. Не зависит от расстояния только стоимость транспортировки по воде. Но как реализовать это технически наиболее выгодным образом?

В мировой практике известны опыты перевозки по воде жидких грузов в пленочных контейнерах. Лесники как раз и задались вопросом: нельзя ли и щепу перевозить в каких-то подобных емкостях из полимерных материалов.

Первоначально эта идея вызывала сомнения. Представлялось, что понадобятся мощ-

ные сооружения, способные выдержать разные превратности водного пути: топляки, соударения с другими бревнами, сопротивление воды, солнечное излучение. Да и вообще, каким им быть, этим емкостям? Расчеты показали, что оптимальным будет искусственное бревно, полученное путем заполнения технологической щепой полиэтиленового рукава с толщиной пленки 0,23 миллиметра. В настоящее время идея прошла уже не только модельные испытания и стадию расчетов, но и натурные испытания.

Отрезки рукавов заваривались с одного конца паяльной лампой, потом этот мешок заполнялся технологической щепой и заваривался с другого конца. Получалось настоящее бревно диаметром 25 сантиметров и длиной около пяти метров. Что только с ним потом ни проделывали. Прежде всего надо сказать, что испытывались бревна на Иньвенском рейде, то есть условия были безо всяких скидок. Там их доставляли на эстакаду и сбрасывали с высоты 3,5 метра, как обыкновенное бревно, перегибали под углом 90 градусов (чего уж никакое бревно не выдержит), затем искусственные бревна увязали на берегу в виде пучков полимерным канатом и буксировали их по воде со скоростью от 2,5 до 12 километров в час в течение шести часов. Искусственный плот благополучно достиг цели, и не было на нем никаких следов повреждений.

Тогда контейнеры повредили умышленно и бросили их вместе с настоящими бревнами в воду на пять суток. Но они сохранили пла-

вучесть и не растеряли свой довольно сыпучий груз. Потом один из них более чем два месяца находился на акватории рейда, где он, как написано строгим языком протокола, подвергался воздействию воды, солнечного излучения и ударам о бревна. Осмотр этой емкости показал ее хорошую сохранность и плавучесть.

Экономический эффект от применения полиэтиленовых контейнеров для транспортировки технологической щепы составит только по рекам бассейна Камы более 300 тысяч рублей в год.

Совместно с производственным объединением «Камлесосплав» проводились такие эксперименты: осуществлялась сплотка древесины полимерным такелажем. Выявились очевидные его преимущества в сравнении с металлическим такелажем: он не тонет в воде, не ржавеет, легко завязывается в разнообразные узлы, практически безопасен и может быть использован многократно.

Вот и подошел к концу рассказ о поисках разгадки тайн простой резины. Одновременно мы рассказали, очень коротко, правда, и о целом ряде других работ, которыми занимаются ученые нашего института. И во всех их одну из ведущих ролей неизменно выполняет «Ее величество» Электронная Вычислительная Машина. Более того, не будет преувеличением сказать, что без ЭВМ, даже в их современном, во многом еще несовершенном виде, многие из работ были бы просто немислимы. Ведь эта помощница человека, совершившая вторую после паровой машины техническую

эволюцию в истории человечества, совершила еще и революцию в умах и сознании людей, многократно усилив интеллектуальные возможности человека. Математическое экспериментирование является чрезвычайно быстрым, экономичным и надежным средством не только для проверки научных гипотез, но и для получения новых научных результатов, которые человеком даже не всегда могут быть предусмотрены при рассмотрении проблемы на качественном уровне, предшествующем созданию математической модели.

Конечно, отвечая на вопрос, вынесенный в заголовок нашего рассказа, можно было бы сказать, что ЭВМ — инструмент для научных исследований. Однако когда работаешь с машиной ежедневно, когда поверяешь ей свои научные и даже человеческие надежды, когда видишь, как справляется она с ошибками и как терпеливо распутывает сложные ходы человеческой мысли, то называть ее просто инструментом как-то неудобно. Для нас, ученых, ЭВМ — это ПАРТНЕР. И притом строгий и доброжелательный.

*Р. А. ПШЕНИЧНОВ,  
доктор медицинских наук, профессор,  
заведующий отделом экологии  
и генетики микроорганизмов  
Института экологии растений и животных  
УНЦ АН СССР*

---

## **РАЗВЕДЧИКИ-НЕВИДИМКИ**

Прежде чем начать наш рассказ, оглянемся назад. Этак на несколько миллионов лет, когда человек, стоя лицом к лицу с неизвестным, не знал иного способа сбора информации, кроме эксперимента на самом себе. Встретился, допустим, незнакомый плод или необычный корень, надо попробовать, иначе не узнаешь, съедобен ли он. Можно представить, какой ценой человечеством был приобретен опыт, позволяющий свободно ориентироваться в окружающем мире...

Мелькали века, житейский опыт превращался в науки, и экспериментировать на себе стало опасно. Вспомним египетских рабов, погибавших при изготовлении киновари, или венецианских мастеров, делавших зеркала из амальгамы пополам со своим здоровьем. И чтобы прекратить человеческие жертвы, приносимые на алтарь прогресса, первоначальное знакомство с неизвестным пришлось в ряде случаев поручить лабораторным животным.

Сейчас во всем мире ежедневно синтезируются десятки новых химических соедине-

ний, многие из которых испытываются на мышах, крысах, кроликах. Но необходимо быть абсолютно уверенным, что ни одно из этих новых веществ не повредит здоровью наших потомков. По данным Всемирной организации здравоохранения ООН, частота наследуемой патологии в странах Европы за последние 10 лет возросла в 1,5 раза и сегодня составляет 10,6 процента. Значит, каждый десятый ребенок не рождается или рождается больным, оставаясь таким на всю жизнь. Остановить эту лавину человеческого горя могла бы долгосрочная, продуманная профилактика. Однако несложные расчеты показывают: если проверять на животных генетическую активность каждого нового вещества, то население Земли должно будет оставить все свои занятия и переквалифицироваться в токсикологов, генетиков, цитологов. А лабораторных животных потребуется поистине космическое количество, но на нашей планете они просто не поместятся. Где же выход?

### **Необходим всеобщий «мозговой штурм»**

Сначала прикинем, что мы уже знаем. И начнем с того, что все наследуемые признаки человека, как и оптимальный порядок их реализации, закодированы в его половых клетках, в находящихся там нитях дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Такая нить является обязательной частью любой клетки нашего организма, и благодаря ей эти клетки имеют свое «лицо», свою индивидуальную

программу развития. Миллионы клеточных программ, объединенных организмом в единое целое, обеспечивают нашу жизнь, здоровье.

Любое повреждение ДНК не проходит бесследно. Оно нарушает эту программу, часто ведет к гибели клетки. Если такие поражения ДНК (мы их называем мутациями) происходят в половых клетках, то это ведет к внутриутробной гибели плода или рождению ребенка с наследственной болезнью. Если же процесс затронул клетки других органов и тканей, то возможно у ребенка развитие рака, который сейчас стал встречаться все чаще и давно перестал быть «привилегией» только пожилых людей.

Что же ведет к повреждению ДНК? Какова природа мутаций? Можно ли этот процесс контролировать, направлять и тем самым снижать уровень наследственных болезней и рака? На многие из подобных вопросов мы уже можем дать определенный ответ.

Причины мутаций, следовательно, и причины наследуемых болезней принято делить на физические, химические и биологические. К физическим относят радиацию, действие сильных электромагнитных полей, вибрацию, ультразвук и некоторые другие воздействия. Более многочисленна и пестра группа химических мутагенов. К ним относят все огромное разнообразие природных и искусственных соединений, которые способны взаимодействовать с ДНК и изменять ее. Группа биологических мутагенов сравнительно малочисленна. Она состоит из ряда мельчайших возбуди-

лей болезней — вирусов, которые, проникая в организм, могут поражать ДНК и также изменять программу развития клеток.

Казалось бы, цель ясна, и враги известны. Дело только за мерами, снижающими уровень перечисленных влияний, что и приведет к уменьшению наследственных болезней. Однако прежде чем спланировать эти меры, обществу необходим определенный уровень знаний и информационное обеспечение исследовательских работ. Каждый, будь то исполнитель или руководитель, должен располагать необходимой оперативной справочной литературой, не только вводящей его в курс дела, но и содержащей перечень решенных и не исследованных вопросов, без чего не избежать повторного изобретения велосипеда, отвлекающего внимание от серьезных проблем. Необходимо также создание «мозгового центра», осмысливающего, направляющего в общее русло все исследования и практические меры по охране наследственности. Кроме того, обязательны разработка общедоступного стандартного набора методов (тестов), позволяющих выявлять и оценивать повреждающее (мутагенное) действие на ДНК, создание и промышленный выпуск препаратов, необходимых для таких анализов, подготовка кадров, развертывание сети специальных лабораторий. И, наконец, должна последовать разработка нормативных документов, ограничивающих поступление мутагенов в окружающую среду. Таким образом, должна быть сформирована общегосударственная система контроля за влиянием природных и вносимых

человеком (антропогенных) мутагенов на природные биологические системы, состоящие из людей, животных, растений, микроорганизмов.

Целесообразность решения этих вопросов диктовалась самой жизнью и вытекала из общих тенденций развития науки и народного хозяйства. Поэтому еще в 1970 году ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли решение «О развитии фундаментальных исследований в основных экономико-географических районах РСФСР», в котором, в частности, было предусмотрено создание в Перми отдела экологии и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных Уральского научного центра Академии наук СССР. С момента возникновения и особенно на протяжении 1979—1983 годов этот отдел является активным участником разработки многих из этих вопросов, одним из опорных центров в реализации всей программы.

Он входит в единый для СССР центр, который объединяет и координирует все исследования по охране наследственности. Этот центр — секция генетических аспектов проблемы «Человек и биосфера», являющаяся совещательным органом при Государственном комитете по науке и технике Совета Министров СССР.

Объединенный этим «мозговым центром» поиск десятков институтов, лабораторий, биостанций, испытательных участков не замыкается в рамках страны, ведь загрязнения не признают государственных границ. Химические мутагены выносятся в мировой океан,

ЮНЕСКО

Международный координацион-  
ный совет (МКС) МАБ

↓  
Бюро МКС

↓  
Секретариат

(Отдел экологических наук  
ЮНЕСКО)

↓  
Национальные комитеты

Сотрудничающие организации:

ЮНЕП — Программа ООН по окружающей  
среде

ФАО — Продовольственная и сельскохозяй-  
ственная организация

ВОЗ — Всемирная организация здравоохра-  
нения

ВМО — Всемирная метеорологическая орга-  
низация

МСНС — Международный совет научных со-  
юзов

СКОПЕ — Научный комитет по проблемам  
окружающей среды

МСОП — Международный союз охраны при-  
роды и природных ресурсов

ПРООН — Программа развития ООН

Госкомитет СССР по науке  
и технике

Президиум Академии наук СССР  
Комиссия СССР по делам  
ЮНЕСКО

Советский комитет (СК)  
МАБ

↓  
Бюро СК

↓  
Секретариат

↓  
Республикан- Рабочие группы  
ские комитеты по проектам  
и проблемам

Сотрудничающие организации:

Госкомитет СССР по гидрометеорологии и кон-  
тролю природной среды

Академия наук СССР и академии наук союзных  
республик

Секция генетических аспектов проблем "Че-  
ловек и биосфера" при Госкомитете СССР  
по науке и технике

Госкомитет СССР по лесному хозяйству

Министерство сельского хозяйства СССР

Министерство высшего и среднего специаль-  
но образования СССР

Министерство здравоохранения СССР

Опорные научно-исследовательские, проектные  
и другие институты и учреждения

пылевые облака Европы выпадают в виде кислых дождей в Скандинавии. США черпают из атмосферы кислорода больше, чем производят, поэтому международная координация в решении подобных проблем просто необходима.

Насколько сложное это дело, даст представление схема организации программы «Человек и биосфера», реализуемой на международном и национальном уровнях (с. 48—49).

Охрана природы и человека — дело всех людей планеты, правительств всех стран. Эта идея нашла воплощение во многих принятых по инициативе СССР международных документах: в Заключительном акте совещания по вопросам безопасности и сотрудничества в Европе, во «Всемирной хартии природы», в «Конвенции о запрещении воздействия на среду и климат для военных и других целей, несовместимых с сохранением безопасности, здоровья и благосостоянием человека», в «Основных направлениях сотрудничества стран СЭВ в области охраны и улучшения окружающей среды до 2000 года».

Практически все страны мира, хоть и в разной мере, участвуют в реализации этих программ и документов.

### **«Пермский фронт» наступления**

Думаю, приступая к исследованиям, каждый из сотрудников отдела экологии и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР чувствовал себя путни-

ком на берегу безбрежного моря информации. По сведениям Информационного центра по мутагенам окружающей среды (США) к 1979 году в этой области знаний было опубликовано уже более 30 тысяч работ. Это отчеты, статьи в многочисленных журналах, книги, материалы семинаров, конференций, симпозиумов — около 3 тысяч публикаций ежегодно, на всех языках мира. Переплыть такой океан в одиночку, полагаясь лишь на себя, естественно, невозможно. Как минимум нужен челн с компасом — общедоступная, сжатая справочная литература.

Получилось так, что одновременно были изданы два справочных руководства — краткий справочник по мутагенам Н. П. Дубинина и Ю. В. Пашина (1982) и четырехтомный «Каталог мутагенов» пермских исследователей (1982—1983). В «Каталоге мутагенов» обобщены сведения о тысяче наиболее распространенных мутагенов с описанием их состава, свойств, с результатами проверки на организмах разной сложности. И по каждому веществу приведен список основных работ. Получилось так, что сотрудники отдела сами соорудили и оснастили челн для дальнего плавания.

Итак, список первой тысячи врагов здоровой наследственности — мутагенов — составлен. Но этот список не исчерпывающ, и, чтобы распознать новых врагов, нужны надежные, достаточно простые, дешевые и экспрессные методы. Их поиск велся многими коллективами, и сейчас таких методов уже более ста. В качестве «подопытных» для таких опреде-

лений использовались очищенные препараты ДНК, сверхмелкие паразиты микробов — фаги, насекомые, животные. Немалую роль сыграли наблюдения над людьми, контактирующими с мутагенами. Так что сейчас определение возможных мутагенов можно проводить на доклеточном, клеточном уровнях и даже исследовать организмы. Мало того — сообщества одного вида и биоценозы.

Но тип наблюдаемых поражений неодинаков. Это может быть разрыв нити ДНК, выпадение и перестановка ее отдельных участков, замена субъединиц на нетипичные. И каждый способ определения возможных мутагенов пригоден для этих конкретных поражений в разной степени. Следовательно, нельзя пользоваться каким-либо одним способом, нужна их группа, позволяющая выявлять все основные типы поражений.

И вот в 1978—1980 годах ученые разных стран по взаимосогласованной международной программе «ГЕНЕ-ТОКС» проводят сравнительные испытания 23 способов (известно 100) выявления и количественного определения мутагенов. Формулируется общая стратегия контроля таких веществ.

Во-первых, генетическому контролю подлежат все широко распространенные и вновь синтезируемые соединения, внедряемые в промышленность, сельское хозяйство, медицину и другие отрасли народного хозяйства.

Во-вторых, контроль целесообразно проводить в два этапа. На первом — вещества исследуются лишь с помощью двух-трех ориентировочных, сравнительно простых, дешевых

и общедоступных способов. Полной проверке подлежат лишь вещества, обладающие мутагенным действием, выявленным на первом этапе. Их бывает до 10 процентов. Эта и только эта часть веществ подлежит исследованию по расширенной программе с использованием организмов разной степени сложности. По ним необходимо дать исчерпывающее заключение о степени их генетической опасности и допустимом уровне в окружающей среде.

Целесообразность такого подхода подтверждается весьма впечатляющими цифрами: по подсчетам Американского агентства по охране окружающей среды, проверка на микроорганизмах одного соединения в ориентировочном тесте занимает 10—12 дней и стоит около тысячи долларов, полный же контроль его на животных длится около года и обходится в 200 тысяч долларов. Таким образом, чем больше веществ будет отброшено во время предварительного контроля, тем меньше затраты на заключительном этапе испытаний.

В 1982 году мы обобщили международный опыт работ в области генетического контроля и установили, что такой подход завоевал признание, стал рабочей программой: почти половина всех испытаний проводилась на микробах. В этих испытаниях выяснилось, что из каждых 100 химических мутагенов 90 являются и канцерогенами — веществами, вызывающими рак. Среди немутагенных веществ только 13 процентов обладали таким действием. Значит, есть основания считать, что подавляющее большинство формирующих рак

соединений и мутагенов может быть выявлено в опытах на микробах, а снижение уровня мутагенов в окружающей среде — один из наиболее эффективных способов профилактики рака.

Настоящее, да и будущее, за микробными тест-системами. Причем как на предварительном, так и на заключительном этапах проверки. Именно с их помощью можно избавиться от необходимости содержать гигантские питомники лабораторных животных, сделать генетический контроль реальностью.

Чтобы дальнейшее было понятным, вкратце ознакомимся с этим методом. Он основан на том, что микробы (их называют также бактериями), несмотря на малые размеры и простоту организации, имеют наследственный аппарат, сходный с клетками человека. Наследственные признаки как бактерий, так и людей, записаны на нитях ДНК, которые однотипно реагируют на повреждающие действия, в том числе и на воздействия химических веществ — мутагенов. И хотя между наследственным кодом бактерий и человека есть определенные различия, они не мешают использовать первых в качестве модели для проверки мутагенов.

В принципе, генетический контроль можно провести на любом виде микробов, но чаще он выполняется на салмонеллах — микробах, обитающих в кишечнике животных. Они удобны тем, что достаточно безопасны, легко культивируются в лабораторных условиях, весьма чувствительны к действию химических мутагенов.

Салмонеллы способны синтезировать все необходимые для их жизнедеятельности соединения из растворов солей в присутствии глюкозы. Для генетического контроля используют направленно измененные варианты салмонелл, которые утратили способность синтезировать одну из аминокислот — гистидин. Поэтому эти лабораторные варианты бактерий могут расти только при искусственном введении в питательную среду этой аминокислоты.

Для повышения чувствительности к действию химических мутагенов в наследственный аппарат салмонелл вносится ряд дополнительных изменений. В нити ДНК нарушается работа одного из ее участков (гена), ответственного за синтез полисахаридной оболочки микробной клетки, и в результате клетка лишается этой оболочки, становится более проницаема для химических соединений. Другое повреждение вносится в ген, ответственный за способность клетки «ремонтировать» свою ДНК, поэтому вызываемые мутагенами изменения, как правило, сохраняются в наследственном аппарате и передаются потомкам клетки.

Итак, исследуемое вещество добавляется к взвеси «подопытных» микробных клеток. Через час, которого достаточно для проникновения вещества в клетки и воздействия его на ДНК, микробы рассеиваются на питательной среде и помещаются в термостат. В питательной среде отсутствует гистидин, который салмонеллы сами синтезировать не способны, и поэтому они не могут ни расти, ни размно-

жаться. Если же под влиянием исследуемого вещества происходит изменение наследственного аппарата, и ген, ответственный за синтез гистидина, восстанавливается, то такие клетки начинают размножаться. Регистрируя появление и количество растущих клеток, мы даем заключение о мутагенных свойствах исследуемого вещества и силе его действия на наследственный аппарат клеток.

В специальной литературе этот метод называют микробным и иногда — по имени его автора — методом Брюса Эймса. Долгое время он применялся ограниченно, и одной из причин, препятствующих его внедрению, была нестабильность, изменчивость используемого варианта бактерий. Для поддержания жизнеспособности необходимо было хотя бы раз в неделю переносить микробы в свежую питательную среду, а при большом количестве пересевов они менялись и становились мало пригодными для работы. Исследователи пытались хранить микробы при сверхнизких температурах, но это было сложно и не нашло широкого применения, поэтому многие лаборатории, приступив к генетическому контролю, вскоре вынуждены были свернуть такие работы.

В 1981 году сотрудникам нашего отдела удалось преодолеть это препятствие, наладив сушку микробных клеток под вакуумом. Для этого стандартные и отконтролированные по наследственным признакам микробы помещались в ампулы, замораживались при температуре  $-80^{\circ}\text{C}$  и сушились под глубоким вакуумом. В запаянных ампулах они сохраняли

свою жизнеспособность и наследуемые признаки более двух лет. В любой необходимый момент ампула вскрывалась, в нее добавлялся растворитель, и взвесь микробов становилась пригодной для экспериментов.

Приоритет в создании таких «консервированных» бактериальных препаратов был закреплен за пермскими учеными, которые сейчас являются основными поставщиками нужных для генетического контроля бактерий для лабораторий страны.

### **Замаскированные враги**

Однако опыт использования микробных систем для генетического контроля выявил вскоре необычную группу химических мутагенов, которые были названы непрямыми или потенциальными мутагенами.

В чем их отличие от уже известных нам прямых мутагенов? Если последние генетически активны уже в исходном состоянии и, проникая в клетку, непосредственно влияют на ее наследственный аппарат, то новоявленные враги в своем исходном состоянии неактивны. Активными они становятся, проникнув в организм человека или животных и подвергнувшись воздействию крови, содержащей биохимически активные вещества — ферменты. Под влиянием ферментов происходит их распад, и промежуточные продукты распада начинают действовать на ДНК, вызывая мутации клеток.

Если активно не само вещество, а лишь продукты его биологического превращения,

то, очевидно, можно предварительно обработать его теми ферментами, которые образуются в печени и затем попадают в кровь, и тем самым сорвать с него маску. И действительно, оказалось, что полученные определенным образом экстракты печеночных клеток могут с одинаковым успехом превращать потенциальные мутагены в генетически опасные соединения как в организме, так и в пробирке. Параллельно исследуя вещество до и после обработки экстрактами печени, мы можем обнаруживать и прямые, и потенциальные мутагены.

Способ приготовления таких печеночных экстрактов (специалисты называют их микросомальными фракциями, или МФ) был известен и описан. Для этого взятые у чистопородных крыс кусочки печени отмывались от крови, измельчались и обрабатывались на центрифугах. Получаемая МФ была высокого качества, однако активность ее резко снижалась уже в первые часы после приготовления. Значит, каждая лаборатория должна была иметь питомник лабораторных животных и перед началом очередного опыта готовить свежий препарат МФ. Снова препятствие, снова остановка работ.

И вновь сотрудники отдела с помощью коллектива ПНИИВС находят выход. В 1981 году они создают и успешно применяют сухой, пригодный для длительного хранения препарат МФ. Для этого получаемая обычным способом жидкая МФ разливается в ампулы, замораживается и сушится под вакуумом, после чего ампулы запаиваются.

Затем последовали многочисленные проверки. До сушки и после нее — через месяц, через год, через два года. Проверки в лабораторных и полевых условиях, проверки в родственных институтах. И, наконец, общее заключение: препарат, незначительно снизив свою активность в момент сушки, далее сохраняет ее и остается пригодным более двух лет.

Секция Государственного комитета по науке и технике при Совете Министров СССР, положительно оценив работу пермяков, рекомендует новый препарат для практического использования в лабораториях. Сделан еще один важный шаг к победе над наследственными болезнями и... снова остановка.

Оказалось, что МФ разных видов животных содержат неодинаковый набор ферментов и потому обладают разной активностью по отношению к непрямым мутагенам. Значит, результаты опытов с МФ крыс далеко не всегда можно перенести на других животных, а тем более на человека.

И тогда пермские генетики создают сухие препараты из печени крыс, птиц, человека, которые позволяют в пробирочных опытах выявить и оценить генетическую опасность для основных представителей живого мира практически любых химических соединений. Комплект этих препаратов, делая ненужным содержание целого зоопарка подопытных животных, содержит все необходимое для генетического контроля на микробных системах. Этот комплект пригоден в течение двух лет и

может быть использован не только в любой лаборатории, но и в полевых условиях.

В 1982 году на базе отдела экологии и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР прошла школа-конференция для ученых Урала и Сибири. Участники ее увезли с собой готовые наборы пермских препаратов, чтобы на местах развернуть исследования в полном, но ранее недоступном объеме.

Казалось бы, пути генетического контроля намечены, способы разработаны, препараты созданы, и люди обучены, и нет больше никаких проблем. Но число химических соединений, подлежащих генетическому контролю, огромно: ежегодно химическая индустрия, сельское хозяйство, пищевая, фармакологическая и другие отрасли хозяйства представляют на суд ученых более 250 тысяч новых веществ. Общее число синтезированных за последние десятилетия соединений уже превышает 5 миллионов. Даже применяя наиболее простые, дешевые экспрессные методы генетического контроля на микробных системах, можно проверить не более 10 процентов из них. Значит, остальные останутся в тени, и мы не сможем их различить и тем более обезвредить?

Кроме того, мутагены присутствуют в окружающей нас среде в разных концентрациях и, как правило, не изолированно, а в смесях, при различных соотношениях веществ. Уровень их влияния во многом зависит от температуры, состава и многих других физико-хи-

мических условий среды, в которой реализуется действие мутагенов. Без преувеличения можно сказать, что в природе невозможно дважды столкнуться с одинаковым набором генетических влияний. Даже в одной точке эти влияния варьируются в разные промежутки времени. Поистине, нельзя объять необъятное.

Но этот афоризм не оправдал себя: пермские ученые предложили рациональный подход и к этой проблеме.

Еще несколько лет назад нами было рекомендовано делить исследуемый район на ряд характерных географо-промышленных зон и на первом этапе проводить ориентировочное картирование с установлением суммарного содержания всех химических мутагенов в воде, воздухе и почве. Таким образом определялись «горячие точки» — зоны повышенной генетической опасности, и только в них велась расшифровка природы мутагенов и определение их путей наступления на природу. Такой подход позволяет значительно снизить объем исследований и расходы на их поведение.

Для реализации этой идеи нами была разработана методика определения суммарных мутагенов в воде. Природные образцы воды и промышленных стоков концентрировали и исследовали с помощью разработанного комплекта препаратов на микроорганизмах. Так, например, были исследованы водоемы Сургутского нефтеносного района, где были выявлены источники, вода которых в 6—7 раз сильнее влияла на генетический аппарат клеток, чем обычная чистая вода. Таким образом,

сразу было ограничено число объектов, подлежащих детальному изучению, и доказана безопасность остальных водоемов. Вскоре за рубежом были разработаны аналогичные системы выявления суммарных антимуутагенов в воздухе, почве, пищевых продуктах.

Научных публикаций, посвященных предварительному картированию по суммарному содержанию химических мутагенов с последующей детальной расшифровкой результатов, полученных только в опасных зонах, становится все больше. Во всех их отмечается нарастание концентрации разнообразных химических мутагенов в окружающей среде. Особенно в старых промышленных районах, зонах интенсивного земледелия и в некоторых отраслях народного хозяйства, так или иначе связанных с химией.

### **Поиск противоядия**

Природа не остается безразличной к увеличению мутагенной нагрузки. В ходе непрерывающейся эволюции преимущества получают прежде всего организмы, способные меньше накапливать и более энергично разрушать мутагены, виды, обладающие более прочными системами восстановления ДНК. Важным фактором защиты является и способность вырабатывать особые вещества — антимуутагены, которые могут связывать, нейтрализовывать поступающие в организм мутагены, или активизировать работу репаративных систем.

В 1980—1981 годах сотрудниками отдела экологии и генетики микроорганизмов Инсти-

туда экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР совместно с учеными Пермского фармацевтического института были организованы экспедиции с целью сбора растений, содержащих природные мутагены.

Объектом сбора и изучения были растения, используемые официальной и народной медициной, — всего более ста видов. Из этих растений готовились экстракты, а затем производилась оценка их способности нейтрализовать действие основных химических мутагенов. В дальнейшем уже в лабораторных условиях изучался механизм этого действия. В результате было описано около 30 содержащих антимутагены растений. Экстракты из них в той или иной степени нейтрализовали химические мутагены и предупреждали повреждение ДНК у микробов.

Одновременно группой японских ученых было доказано присутствие подобных антимутагенов и в соках некоторых огородных растений, однако попытки использовать их для профилактики мутаций, как правило, не давали желаемого результата. Дело в том, что уже при термической обработке пищи антимутагены начинали разрушаться, а действие ферментов организма окончательно инактивировало их. Так что противоядие теряло силу, даже не вступив в контакт с проникшими в кровь мутагенами. Необходим был поиск антимутагенов, действие которых бы не снижалось, а еще более усиливалось.

И такие вещества нам удалось обнаружить в соке ряда растений. В исходном состо-

янии они нейтральны, но после встречи с ферментами, попадающими в кровь из печени, они активизируются и приобретают способность нейтрализовать мутагены. Вещества эти были названы потенциальными антимутагенами, и впереди у нас сложная задача выделить их в чистом виде, изучить особенности действия и, может быть, создать препараты, пригодные для профилактики генетических аномалий. Задача, на решение которой потребуются годы, а может быть и десятилетия упорного труда.

### **И снова ставка на микробы**

Итак, в природе существует равновесие между возникновением мутаций и защитой от них. Оно может нарушиться при повышении уровня химических и физических мутагенов. Какова же судьба подвергшихся мутации измененных форм?

При повреждении большого участка ДНК или изменении жизненно важных ее фрагментов клетка погибает. Такой исход наблюдается чаще всего. Варианты с незначительно измененными свойствами могут существовать и даже размножаться, но их потомки неконкурентоспособны и поэтому постепенно исчезают. Наиболее редким событием является возникновение вариантов с дополнительными положительными качествами — ускоренным темпом размножения, повышенной конкурентной способностью, возросшей устойчивостью к действию неблагоприятных факторов внешней среды (для микробов — это способ-

ность выживать при действии антибиотиков, химиопрепаратов и неблагоприятных физических влияниях).

Конечный результат всех этих взаимосвязанных процессов предсказать чрезвычайно сложно. Для этого используется специальная система наблюдений, носящая название «мониторинг».

Биологический мониторинг предусматривает наблюдение за количественными и качественными изменениями живых сообществ в пространстве и времени. В сочетании с физическим и химическим мониторингами, описывающими изменения уровня солнечной радиации, состояния атмосферы, воды, почвы и ряда других объективных явлений, он дает достаточно полное представление о состоянии нашей биосферы, меняющейся под воздействием человека, а значит, позволяет планировать мероприятия по охране окружающей среды, прогнозировать будущее нашей планеты.

Так как любая форма мониторинга может быть пространственной и временной, следует пояснить, что в первом случае описывается состояние живых сообществ в различных климато-географических и экономических зонах, во втором такое описание делается периодически, с интервалами в несколько лет.

Естественно, дать количественную и качественную оценку состояния всех видов живых существ, живущих на Земле, и тем более делать это регулярно невозможно. Поэтому для наблюдений избираются те зоны, в которых воздействие человека на окружающую среду наиболее значительно, а в качестве

контрольных используются территории заповедников, заказников, мало измененные уголки дикой природы.

Объектом наблюдения служат так называемые доминирующие виды организмов, численность и вклад которых в обмен веществ и создание энергии в природе велики. В разное время для этих целей предлагали использовать людские коллективы, диких и домашних животных, насекомых, земноводных, некоторые виды растений, водоросли, микроорганизмы. Национальный комитет по проблеме «Человек и биосфера» в 1979 году провел своеобразный конкурс этих моделей и рекомендовал в ближайшие 5 лет сосредоточить усилия на создании системы мониторинга, предусматривающей наблюдение за сообществами людей и микроорганизмов.

Одновременно Госкомитет по науке и технике при Совете Министров СССР поручил разработку этой проблемы Институту общей генетики АН СССР (для коллективов людей) и отделу экологии и генетики микроорганизмов Института экологии растений и животных Уральского научного центра АН СССР (для сообществ микроорганизмов).

Почему же и на сей раз предпочтение отдано микроорганизмам? Дело в том, что, несмотря на малые размеры и простоту организации, микробы обладают рядом преимуществ. Постоянно и в больших количествах они присутствуют во всех биологических системах, благодаря чему их вклад в обмен веществ и создание энергии в природе исключительно велик. Основой их наследственно-

сти является тот же тип ДНК, что и у всех живых существ. Относительно просто, быстро и в больших количествах они размножаются в лабораторных условиях. Содержание их в одной пробирке по численности превышает население крупнейших городов мира. Период их размножения измеряется часами, а у человека и крупных животных — десятилетиями. А это значит, что время наблюдений сокращается в десятки тысяч раз.

Просто, быстро, дешево, общедоступно. Кто может пренебречь столь явными преимуществами микробной модели для изучения процессов изменчивости и наследственности?

Приступая к построению системы биологического мониторинга на микроорганизмах, мы избрали в качестве «подопытного» вид, который называют кишечной палочкой. Микроб, носящий такое название, постоянно и в больших количествах присутствует в кишечнике людей, встречается в организме диких и домашних животных и даже в некоторых насекомых. Вместе с экскрементами он постоянно выделяется в окружающую среду и легко обнаруживается в сточных водах, почве и воздухе, откуда вновь проникает в пищеварительный тракт человека и таким образом циркулирует постоянно, в течение тысячелетий.

В окружающей среде непосредственно, в организме человека и животных опосредованно кишечная палочка подвергается воздействию тех же самых мутагенов, что и люди. В какой же мере и как быстро она меняется под их влиянием? Каково содержание изме-

ненных форм? Какие у них свойства и как быстро изменяются они под влиянием загрязненной окружающей среды? Можем ли мы судить об уровне загрязнения среды мутагенами по изменчивости микробов?

Исследованию были подвергнуты зоны, в которых микроб живет, подвергаясь воздействию факторов, влияющих на его наследственность. Это промышленные стоки крупного нефтеперерабатывающего предприятия с высоким содержанием химических мутагенов, стоки атомной электростанции с их повышенным уровнем радиации, организмы больных людей, где микробы подвергаются действию антибиотиков и химических препаратов, организмы сельскохозяйственных животных при их групповом содержании. В качестве контроля использовались микроорганизмы, высеянные из чистой воды реки Сылвы, из водопроводной воды, из выделений здоровых людей.

Какие же свойства микробов следовало изучить, чтобы сравнить разные сообщества между собой? По-видимому, это должны быть свойства, наследственно обусловленные ДНК и характеризующие ее изменения в данных конкретных условиях среды существования. Кроме того, они должны быть экологически значимыми, то есть отражать способность микроба выживать и размножаться. И свойств этих должно быть изучено достаточно большое количество.

Поэтому после оценки концентрации кишечной палочки в каждой из зон изучались: ее способности использовать для своего развития двенадцать различных сахаров и спир-

тов; развиваться в простых растворах солей с добавлением одной лишь глюкозы или каких-либо аминокислот; размножаться в различных питательных средах; экономичность развития, определяемая по расходу питательных веществ; устойчивость к антибиотикам; конкурентоспособность. Всего около 50 признаков, более 20 тысяч определений, не считая анализов среды обитания. Естественно, пришлось прибегнуть к помощи ЭВМ, и уже сейчас можно утверждать следующее.

Изученные микробные сообщества чрезвычайно разнородны по своим наследственным признакам. Разнородность эта обусловлена средой обитания, действием физических и химических мутагенов, так как концентрация нетипичных вариантов выше в промышленных стоках, водоотстойниках атомной электростанции, в организме переболевших людей и, наоборот, меньше в чистой воде открытых водоемов и у здоровых лиц. Можно предположить, что жизнь микроба в каждой среде обитания накладывает свой отпечаток на его наследственные признаки и ведет к отбору особей, приспособленных именно к этой среде. По концентрации нетипичных особей можно судить о загрязнении среды обитания веществами, влияющими на наследственность.

В настоящее время мы приступаем к повторению этих исследований, чтобы иметь возможность судить: в какой мере изменились условия существования и наследственные признаки микробов в перечисленных зонах и насколько точно можно прогнозировать эффект мутагенных влияний. Эти сведения

вполне могут быть использованы и для оценки эффективности природоохранных мероприятий.

...Этот небольшой рассказ посвящен первым шагам и первым итогам работы сотрудников группы генетического контроля и лаборатории популяционной генетики микроорганизмов нашего отдела. Естественно, они опирались на своих коллег, пользовались помощью сотрудников Пермского научно-исследовательского института вакцин и сывороток, Пермского медицинского института. В совместном поиске за сравнительно небольшой срок получены весьма существенные результаты, но наука сильна не только результатами, а и перспективами. И перспективы эти заманчивы и грандиозны.

Процесс познания бесконечен, и чем дальше будет развиваться человеческое общество, тем многочисленней будут его контакты с неизвестным. И чтобы не расплачиваться за новые знания здоровьем людей, мы, микробиологи, выдвигаем вперед легионы разведчиков-невидимок — микробов, которые могут вовремя предупредить о возможной опасности и нас, и наших потомков.

*В. П. БЕГИШЕВ, Е. В. СЛАВНОВ,  
кандидаты физико-математических наук,  
научные сотрудники  
Института механики  
сплошных сред*

---

## **СВОЕНРАВНЫЙ МИР ПОЛИМЕРОВ**

Оглядываясь на прошлые века, можно сказать, что действительность намного превзошла самый смелый полет фантазии. Легкие металлы — алюминий, магний, титан, о которых знали в ту пору разве что только очень дотошные ученые, — завоевали землю, воду, воздух и космос. Даже быт наш сегодня немислим без них.

Начнется на Земле век двадцать первый. Что станет материалом века, уже недалекого? Конечно, не уйдут в прошлое легкие металлы, как верно служит людям и сегодня бронза — королева бронзового века. Но энергетический кризис, исчерпаемость запасов полезных ископаемых на земле позволяют все более смело предполагать, что в будущем будут преобладать материалы искусственные, рукотворные — пластмассы и полимеры.

Действительно, если вдуматься, собрать по крупицам те сведения, что рассеяны о новых свойствах этих материалов по страницам разных специальных и неспециальных изданий, можно увидеть, что создано их превели-

кое множество. И среди них — пластмассы. Они крепче стали и легче воды, не подвержены внешним воздействиям, эластичны, как резина, и тверды, как сталь. Изолирующие и электропроводящие, прозрачные, как стекло, и растянутые в тончайшие пленки, поражающие своей прочностью, тончайшие нити, как бы светящиеся изнутри волшебным жемчужным светом.

Чем больше всматриваешься в этот рукотворный мир, тем более поражаешься его свойствам. Одно из самых поразительных — память. Так называют его ученые. Совсем еще недавно слово «память» употребляли только в разговоре о живом. Но память... у полимера?! И тем не менее, как же иначе назвать это его удивительное свойство — крепко запечатлевать свое прошлое? Например, изготовят из полимера сложную пространственную конструкцию, двойную спираль, предположим. Затем что только с ней не делают: распрямляют, сплющивают, превращают в плоский, бесформенный или обладающий простейшей формой кусок пластмассы. Однако стоит этот кусок нагреть, вернуть его к тем условиям, в которых он стал двойной спиралью, и он на глазах уверенно и безошибочно «вспоминает», чем (а так и хочется сказать «кем») он был, и сам восстанавливает свою форму с величайшей точностью.

Нельзя сказать, что это свойство полимеров не доставляет ученым, да и практикам, никаких хлопот. Скажем, при переработке полимеров экструзионным способом материал внутри экструдера, по сути и по конструкции

чрезвычайно похожего на мясорубку, очень основательно перемалывается и перемешивается. Однако стоит ему вырваться из выходного отверстия на простор, он тут же вспоминает свою старую форму и довольно заметно, прямо на глазах, разбухает. Сейчас известны и такие материалы, которые разбухают уже внутри самого экструдера, проявляют невиданную упругость, совершенно не предусмотренную никакими теоретическими построениями, и никакими силами его из экструдера выдавить невозможно. Как это преодолеть, как научиться закладывать в память материала нужные свойства, еще предстоит решить. Но и те первые, робкие еще шаги, которые сделаны, весьма интересны и многообещающи.

Все, кому приходится иметь дело с монтажом радиоаппаратуры или электрических схем, знают, какая это мучительная работа — натягивать на места паек изоляционные трубочки. Трубочка ведь должна предохранить место спая не только от повреждений механического характера, но и от атмосферных воздействий, стало быть, должна прилегать к спаю как можно плотнее. Вот и возникает вопрос, как ее натянуть. Работа тонкая и в то же время монотонная и нудная, не поддающаяся никакой автоматизации. Тут-то чудесное свойство полимера — его память — и пригодилось. Из полимера изготавливают трубочку нужного диаметра. Затем ее нагревают и раздувают до тех пор, пока позволяет прочность материала. В таком виде заготовку подвергают специальной обработке, то есть закрепляют ее память. Естественно, эла-

стичную, широкую трубку ничего не стоит надеть на спай. Затем ее нагревают, и она, вспоминая свои первоначальные размеры и возвращаясь к ним, обтягивает спай и провод плотно, точно эластичный чулок.

Казалось бы, замечательное свойство полимера только недавно обнаружено. Однако число мест его применения растет, как снежный ком. Вот уже подобным способом изолируют термоусадочной лентой стыки больших трубопроводов. Термоусадочной пленкой упаковывают мебель и дорогие сервизы. Это экономит большое количество других дорогостоящих материалов. А сколько еще открытий и находок впереди! Причем находки эти не только в свойствах материалов, но и в способах его переработки и превращения в изделия, пока еще мало изученных на научной основе.

Совсем недавно занялись мы двумя совершенно новыми видами обработки пластмасс: экструдированием со смазкой и гидроэкструзией. Каждая из этих технологий уже открывает заманчивые перспективы и в то же время ставит перед учеными все новые и новые загадки.

Взять ту же экструзию со смазкой. Идея тут довольно проста. В каждом экструдере, шнековом, например, есть зона, в которой вращается шнек и где происходит образование массы из исходных компонентов, или превращение в рабочую массу гранул исходного вещества или исходного порошка. Там же материал расплавляется. А далее он попадает в зону формования, где находится формо-

образующий элемент. Здесь и образуются трубка либо цилиндр, профиль нужной формы либо гранулы. Так вот, в формообразующем элементе полимер подстерегают разные неприятности. Для того чтобы продавить через него массу, требуется большая часть мощности, потребляемой экструдером. Там же готовое изделие получает всяческие царапины, задиры, раковины и прочие повреждения поверхности, тогда как надо, чтобы она была как можно чище и ровнее. Вот и возникла идея — покрыть поверхность формообразующего элемента какой-либо смазкой.

За реализацию этой идеи горячо принялся молодой конструктор Сергей Шахов. Собственно, пылкость эта появилась не сразу. Первоначально задача казалась слишком простой. Поставили бачок со смазкой, подвели эту смазку в формующую зону. И что же? Масса, вместо того чтобы выходить из сопла гладкими аккуратными цилиндрами, принялась стрелять оттуда какими-то несуразными лепешками. То есть плавность течения в формующем элементе резко нарушилась. Решили, что смазки многовато. Убавили. Теперь непрерывность уже не нарушалась, но на поверхности экструдата то неожиданно возникали пузыри, то шли сплошные задиры, точно вместо смазки внутрь засунули наждак. Правда, в какие-то отдельные моменты, когда там, внутри экструдера, что-то складывалось оптимальным образом, из сопла вдруг устремлялся экструдат с гладкой блестящей поверхностью, давление на входе экструдера резко уменьшалось, а производительность за-

метно росла. То есть экструдер как бы давал нам возможность увидеть краешек нашей мечты в реализованном виде.

Творческая мысль заработала вовсю. Эти маленькие проблески удачи как золотые крупинки в песке как будто предвещали где-то близко большую золотую жилу. Но где?

Сергей принялся экспериментировать. Может быть, подачу смазки и ее вязкость или температуру надо изменять в зависимости от давления, под которым идет масса? Испробовал он и устройство с пористыми элементами, профиль которых менялся с изменением давления, и хитроумные датчики, которые сигнализировали о величине давления в разных местах сечения. Пористые трубки сменяли пористым кольцом, через которое пропускали то жидкую, то газообразную смазку. Она образовывала между стенкой головки и экструдатом воздушную подушку. Таких изобретений накопилось более десятка. Между тем, заветная тетрадь, где у Сергея есть специальный раздел — «Идеи», все заполнялась.

Для проверки этих идей на практике Шахов вместе со своим другом Андреем Судаковым сконструировали специальный лабораторный экструдер (какого еще — к сожалению! — до сих пор не выпускает наша промышленность). Он отличается малыми размерами, на нем можно испытать небольшие количества вещества. А это особенно важно при работе с экспериментальными массами, которые получают к моменту испытаний в небольших количествах. В этом экструдере Сергей Шахов спроектировал и в большой мере

изготовил собственными руками — такова уж судьба экспериментатора! — механическую часть, а Андрей Судаков всесторонне оснастил его электроникой: датчиками давлений, температуры, расхода смазки и всяческими устройствами для регулирования процесса. Изготовлены тут же в лаборатории умелыми руками экспериментаторов безо всякого специального оборудования аккуратные платки печатных схем с плотным, продуманным двухсторонним монтажом элементов схемы.

У лабораторного экструдера сложилась интересная судьба. Он демонстрировался в 1982 году на выставке «Наука Урала» в болгарском городе Пловдиве и вызвал там огромный интерес не только ученых, но и представителей промышленности разных стран. Каких только непредвиденных, даже экзотических применений не находили этой изящной и компактной конструкции! Самое «вкусное» использование его — в кондитерской промышленности для приготовления конфет, когда смазкой служил бы расплавленный шоколад.

Не раз замечено, что любая удачная конструкция находит применение в самых неожиданных областях деятельности человека.

Интересно, что именно на этом экструдере для некоторых масс удалось подобрать и зафиксировать такие режимы, при которых со смазкой производительность экструдирования возрастает на 30 процентов при одновременном повышении качества экструдата и снижении энергоемкости процесса. Это заинтересовало промышленность. Сейчас ведутся совместные работы ученых с предприятиями

Перми, Березников, Соликамска по созданию промышленных установок для экструдирования со смазкой. А маленький наш экструдер передается для освоения промышленного выпуска.

Однако жизнь не стоит на месте. Полимеры — материалы, конечно, интересные и многообещающие, но необходимо признать, что они все же довольно дороги. Поэтому представляется, что будущее-то как раз не столько за собственно полимерами, сколько за так называемыми наполненными полимерами. А отличаются они тем, что самого полимера в них очень немного — 10—15 процентов всей массы, остальное — наполнитель.

Наполнителем может быть тонко размолотый каолин либо графит, волокна асбеста либо стекловолокно. В зависимости от наполнителя меняет свойства материал. Различаются полимеры с наполнителем активационно наполненные и полимеризационно наполненные, то есть такие, где частицы наполнения сами проявляют инициативу и способствуют возникновению реакции, принимают в ней непосредственное участие. Именно эти материалы сейчас больше всего интересуют. Заманчиво тут же в экструдере произвести смешивание и получить готовый экструдат из наполненного полимера.

Начали эти работы, тут же начались неожиданности. На некоторых режимах все как будто удается, но потом вдруг наступает какой-то перелом, и уже никакими силами экструдат не удастся выдавить из экструдера. Точно он вдруг потерял свою пластичность,

стал неподатливым и твердым, как стекло. Хотя на самом деле совершенно не так. Предположили, что при этом выдавливается вся смазка и остается один наполнитель. Нет, не подтвердилось. Поиск продолжается.

Зато совершенно поразительные результаты дает обработка этих же материалов по новой технологии — гидроэкструзии. Процесс отличается от описанного тем, что при переработке материал не разогревается. На него накладывается такое высокое давление, что под влиянием приложенных усилий он начинает течь и продавливается через формующую головку, образуя нужный профиль. Причем в этом случае что-то происходит с памятью материала, потому что, выходя из сопла, он не разбухает, а идеально сохраняет заданную форму. Более того, удалось подобрать такие режимы гидроэкструзии, при которых материал не только сохраняет заданную форму, но и в некоторых направлениях не меняет свои размеры при нагревании, то есть коэффициент линейного расширения его равен практически нулю.

Трудно даже представить в полном объеме те области, в которых подобные материалы могут найти свое применение. Но сама возможность их получения наводит на мысль, что гидроэкструзия — технология, позволяющая получать материалы с заданными удивительными свойствами.

И вот тут-то смазка тоже оказалась как нельзя более кстати. Интересно наблюдать в эксперименте, как опрокидываются представления, еще недавно казавшиеся очевидными.

Ведь до начала работы со смазкой считалось неизменным оформление формующей головки в виде полости из полированной стали. А если взять два щелевидных сопла одинаковых размеров и формы (одно из полированной стали, другое — в виде пористого элемента со смазкой)? И начать продавливать через них массу из общей емкости. И что же видят экспериментаторы? Пока нет щели с пористым элементом, масса легко идет через сопло из полированной стали. Однако стоит подключить к нему сопло со смазкой, как давление в системе резко падает, поступление массы через стальное сопло совершенно прекращается. Она вся устремляется через смазку. Что тут происходит: перестройка ли всей внутренней структуры материала по каким-то еще неизвестным законам? Другое ли какое-то явление? Это все еще также предстоит изучить.

Интересно, однако, отметить, что то, о чем мы до сих пор рассказали, — все поиски и находки исследователей. А результаты, которые мы имеем, — достижения практической технологии. Недаром среди ученых-полимерщиков бытует парадоксальная, на первый взгляд, но по существу своему очень глубокая и точная мысль: «Полимерная технология развивается впереди науки»... Хорошо это или плохо? Ни хорошо, ни плохо. Скорее всего это один из этапов естественного развития событий. В сущности, любая наука движется именно по такому пути: от фактов к обобщениям, от обобщений к теории, от теории снова к практике, только на другом более высоком

уровне, когда сами практические шаги — технология, в частности, строятся на базе глубоких научных знаний. Они позволяют организовать технологический процесс оптимально и точно прогнозировать то, что получится в результате его применения.

Сегодня же наука о полимерах, можно сказать, находится в стадии накопления фактов, а технология — на стадии интуитивного проектирования, которое порой тоже дает блестящие результаты. Взять хотя бы такой практический случай.

В начале семидесятых годов в нашей стране сложилась сложная ситуация с валами бумагоделательных машин. Дело вот в чем.

Одним из решающих этапов получения бумаги является ее отжим. При этом бумажная масса, разлитая равномерным тонким слоем на транспортерной ленте из высококачественного сукна, проходит между двумя валами. Один из них изготавливается из натурального гранита, а второй — металлический. Размеры этих валов огромны: длина более шести метров, а диаметр около метра. Между тем зазор между ними по всей длине должен быть как можно более равномерным. Это и понятно, ведь именно от одинаковой ширины этого зазора и зависит равномерность бумажной ленты, а также качество ее отжима. Но понятно и то, что на такой огромной длине обеспечить совершенно правильную форму металлического вала, да и гранитного тоже, практически невозможно. Неминуемы искажения поверхности, прогибы. Для того чтобы соз-

давшееся противоречие преодолеть, металлические валы обрезают.

Обрезывание — это деликатная операция, которую выполняли зарубежные фирмы Финляндии, Японии. Это обходилось чрезвычайно дорого. Но и такие дорогие валы работали без перешлифовки недолго, не более трех месяцев. Затем весь агрегат останавливали, тяжелые валы снимали и направляли специализированным предприятиям на ремонт, что опять требовало больших материальных затрат.

Вот тогда-то перед рядом коллективов пермских ученых была поставлена задача разработки технологии покрытия валов бумагоделательных машин, чтоб можно было изготовлять их на отечественных предприятиях. Ученые должны были решить проблему долговечности таких валов.

К выполнению этой задачи подключились многие пермские ученые: Л. Н. Козлов, В. И. Михалкин, В. А. Ворошилов, Г. И. Тихонов и другие. Занимался тогда этой проблемой и один из авторов этих строк — В. П. Бегшев.

Оказалось, что проблем было огромное множество. Но самые главные из них: чем же все-таки покрывать вал? Совершенствовать дальше обрезающее или идти по совершенно новому для нас пути — покрытию валов полиуретаном?

Что-то об облицовке валов полиуретаном промелькнуло в зарубежной печати, но совершенно без всяких подробностей. Нам материал тоже был знаком, но он обладал чрезвычай-

чайной малой живучестью, то есть быстро затвердевал, за пять минут. Между тем для покрытия одного вала требовалось не менее 600 килограммов полиуретана. Чтобы эту массу приготовить и уложить, нужно не менее часа. Таким образом, если остановиться на полиуретане, вторая задача состояла в том, чтобы найти такую рецептуру полиуретана, который по всем характеристикам удовлетворял бы требования к валам бумагоделательных машин и в то же время достаточно долго сохранял бы свойства, пригодные для обеспечения нормального течения технологического процесса.

Составов тогда перебрали огромное количество. На многие из них были получены авторские свидетельства. Наконец остановились на некоторых из них. Но дальше вставала проблема: как же этот состав нанести на вал. Классический способ состоял в том, что вокруг вала следовало нарастить форму, металлическую, конечно. Затем в форму налить полиуретан, после чего вал вместе с формой и заливкой поместить в печь, где создать соответствующие температурные условия для правильного протекания полимеризации и кристаллизации покрытия.

Трудно представить это. Сам по себе вал весит около 30 тонн. Как проконтролировать, чтобы слой полиуретана был равномерным? Как организовать температурный режим, оптимальный по всему объему детали? Много еще вопросов, которые делали в общем классическую технологию неприемлемой. Тогда попробовали сделать так. Устроили форму

вокруг части длины вала, залили ее, полимеризовали и так постепенно передвигали по всей длине. Но процесс оказался очень трудоемким и протяженным во времени. Кроме того, тут была еще трудность: при полимеризации вала в форме развивались такие внутренние напряжения, что при остывании они могли даже разрушить покрытие.

Вот тогда-то и возникла идея, поразительная в своей простоте. Состояла она вот в чем. От металлической формы решительно отказались. Вместо нее надели на вал такой рукав, или оболочку из брезента, укрепленного деревянными рейками. На торцы его укрепили металлические диски, чтоб придать брезентовой оболочке нужную форму. И вот в этот «мешок» залили полиуретан. (Надо сказать, что полимеризоваться он может и при комнатной температуре, только долго.) В таком виде вал оставался до тех пор, пока полиуретан «схватился», то есть затвердел настолько, чтобы самостоятельно сохранять форму. После этого «мешок» сняли и поместили вал в печь, где полуготовое полиуретановое покрытие приобретало необходимую твердость. В нем не возникало ненужных внутренних напряжений, деформаций, потому что оно могло свободно «дышать».

Изготовленный таким способом вал использовался на Камском целлюлозно-бумажном комбинате без перешлифовок два с половиной года, что в 12 раз превышает его первоначальный срок службы. Новый вал оказался не только долговечнее, он лучше отжимал бумажную массу. Экономический эффект

за счет повышения сухости бумажного полотна и исключения перешлифовок составил 75 тысяч рублей в год.

Работа по созданию полиуретановых материалов для облицовки валов интенсивно продолжалась. Разработаны составы разной твердости и прочности адгезии к металлической поверхности вала, обладающие высокой износоустойчивостью и гидролитической стойкостью. Свойства этих составов на уровне лучших мировых образцов.

Один из пермских институтов разработал ряд конструкций технологических форм, обеспечивающих качественное формование валов требуемой геометрической формы. Работы по созданию полиуретановых облицовок для валов бумаго- и картоноделательных машин были отмечены дипломом на Международной выставке «Химия-77». Теперь таких валов изготавливается несколько десятков в год. Все они хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Экономический эффект от применения одного вала составляет 35—114 тысяч рублей в год, в зависимости от размеров вала. Ведутся работы по организации промышленного выпуска всего объема валов, необходимых для нашей промышленности.

Более того. Найденный принцип, как это часто бывает с удачно найденными решениями, оказался плодотворным не только для бумагоделательной промышленности, но и в металлургии. Там применяются сходные по конструкции узлы станов для обезжиривания листовой стали, из которой изготавливают многие специальные сорта стали, в том числе

всем известную белую жечь. Обрезиненные валы в этом производстве быстро выходили из строя, так как кромка стальных листов, рваная и острая, буквально изрывала резиновое покрытие за очень короткий срок. Полиуретан же гораздо тверже, и стойкость его к воздействию железа, а также различных химических реагентов, которые применяются для обезжиривания листов, оказалась гораздо выше.

В истории с валами бумагоделательных машин просматривается несколько аспектов, представляющих большой и именно научный интерес. Это пример интуитивного проектирования, то есть результаты получены в итоге огромного труда, множества проб.

Вспоминается похожий случай на одном из заводов. Там задались целью получить органическое стекло, не уступающее по своим качествам самым лучшим сортам оптического стекла. Сама технология его изготовления как бы исключала такой результат, потому что когда компоненты, из которых оно получается, загружали в реактор, то происходила реакция с бурным выделением тепла. Масса буквально вскипала. А вскипев, естественно, вспенивалась и мутнела. Ученые, которые занимались этой проблемой, целыми днями не выходили из цеха. На печь поставили датчики во всех мыслимых и немыслимых ее точках. В конце концов исследователям удалось подобрать такой температурный режим, при котором получилось оргстекло отличного качества.

Полимеры сейчас стараются применить

езде. Однако никто не может толком сказать, где же их применение наиболее рационально. Иногда результаты такого применения совершенно неожиданны.

Нам пришлось иметь дело с сельскохозяйственной машиной, которая называется стога-разрезатель. Назначение ее состоит в том, чтобы отрезать кусок слежавшегося, а чаще всего и смерзшегося, сена или соломы. Для этой цели по специальной направляющей движется цепь с механической пилой. Цепь ломалась катастрофически быстро, ее без конца совершенствовали, в основном усиливая ее прочность путем подбора все более и более прочных и дорогих сортов стали для ее изготовления. И тут мы подсказали изготовителям: может быть, попробовать сделать направляющие для этой цепи из капролона. Это предложение вызвало категорический протест. Лучшие сорта стали не выдерживают, а тут какой-то капролон! Однако попытка не пытка, как говорит старая русская поговорка. Тем более, что реализовать это было не так уж сложно. И вот уже четыре года на машине не меняют ни цепь, ни направляющие. Вот вам и капролон!

Необходимо, чтобы само применение полимеров стало наукой и чтобы занималась эта наука научным определением мест, в которых те или иные полимеры могли бы использоваться оптимально.

Пока же такой науки нет, и выбор места применения полимера и технология изготовления детали из него остаются интуиционными. Роль интуиции урезать нельзя. В конце

концов, интуиция лежит в основе многих блестящих открытий и не только в технических науках. Интуитивное проектирование не дает ответа на вопрос, какой должна быть конструкция детали и каким — режим полимеризации, чтобы гарантировать отличные свойства деталей, к тому же стабильные как между отдельными деталями, так и по всей толщине одной какой-то детали.

В сущности, как происходит процесс получения детали из полимерных материалов, например, из капролона? Немного мы уже касались этого вопроса, когда говорили о валах бумагоделательных машин, потому что для разных материалов технология эта имеет много общих черт.

Компоненты, из которых образуется будущий материал, смешиваются в специальном реакторе. Из него смесь поступает в литьевые формы, где формируются детали или блоки. Процесс этот называется химическим формованием. Затем формы помещают в печи, где поддерживают определенный температурный режим. Режим весьма сложен, и поддерживать его оптимальным образом еще не умеют. Ведь сначала температура в печи должна быть достаточно высокой, чтобы началась реакция. Но продолжается реакция с достаточно интенсивным выделением тепла.

Порой температуру в печи надо поддерживать в определенном интервале, чтобы деталь не перегрелась. Между тем это как раз и есть самое трудное.

Тепловыделение во время реакции зависит от целого ряда факторов: скорости течения

реакции, конфигурации детали, ее массы, меняющихся характеристик теплоотвода. Затем, когда процесс полимеризации закончится, происходит кристаллизация, от правильного ее течения зависят механические свойства будущей детали, которая требует уже совершенно иного теплового режима. В этом трудность. Именно самые крупные изделия, материалоемкость которых особенно велика, то есть переход на полимерные материалы был бы особенно ощутим, менее всего поддаются правильному технологическому расчету. В итоге — неоднородность структуры, механических свойств, высокие внутренние напряжения, ведущие к деформациям, а порой и к полному разрушению детали.

Кроме того, получается так, что каждая новая деталь требует особого подхода. Все начинается заново. Рождаются разнообразные технологии для одних и тех же групп деталей и процессов, иногда более удачные, иногда вовсе кустарные — кто как сумеет.

Мы решили найти какой-то единый принцип, который позволял бы к группе процессов подойти с единой платформой, с общим подходом. Для того чтобы такой единый подход выработать, необходимо создать модели, которые бы по своей сущности охватывали все или, по крайней мере, большинство процессов. На моделях можно было бы отработать все константы и тепловые режимы, чтобы потом каждый конкретный случай рассматривать как разновидность общего, для которого простыми инженерными методами могут быть рассчитаны все особенности течения процес-

са. Мы вообще считаем, что моделирование — будущее нашей науки.

Однако, чтобы правильно создать модель, надо четко и правильно составить представление о том, что является главным для того или иного материала, то есть сформулировать задачу. Например, капролон. Модель процессов изготовления деталей из этого материала должна быть составлена по температуре, скорости превращения при кристаллизации, динамике возникновения внутренних напряжений. По ней можно оценить конструкцию в разные моменты времени в зависимости от ее напряженно-деформированного состояния. Образно говоря, модель должна давать возможность заглянуть внутрь, оценить, как идет процесс. Конечная цель состоит в том, чтобы, изучив все стадии — полимеризацию, кристаллизацию и оценив напряженно-деформированное состояние детали, дать такие рекомендации, в результате которых получилась бы ненапряженная конструкция.

А вот для полиуретана главное в ином. Здесь важны течение, живучесть состава, исследование его риокинетики по времени формирования изделия, длине трубопроводов и по конструкции литьевой оснастки.

Такие сложные задачи стоят перед моделированием. Ведь модель должна воплощать в себе характерные черты множества конкретных процессов, быть предельно простой и одновременно не слишком схематичной. Как найти решение?

Решение отыскалось неожиданно.

Процесс горения — это не что иное, как

химическая реакция окисления, протекающая с большим выделением тепла, но в строго определенном количестве. В зависимости от соотношения основных величин (тепловыделения, теплоотвода и теплопоглощения) реакция протекает по-разному. Это может быть еле заметное тление. Это может быть и бурный взрыв.

Так вот, реакция полимеризации, таинственно протекающая в глубинах вещества, оказывается весьма похожей на этот хорошо изученный процесс горения. И дело все в том, что если продолжать аналогию, то применяемая в настоящее время технология получения крупных деталей из полимеров подобна взрыву. Реакция полимеризации идет по всему объему детали, происходит бурное тепловыделение, тепловые потоки вырываются туда, куда им легче идти, неравномерно, в разные стороны. Отсюда неравномерный разогрев, усадочные и тепловые деформации, усадочные и тепловые остаточные напряжения. Свою «верную» роль играет и литьевая форма. Хорошо бы, стенки ее были полностью теплоизоляционными или уж наоборот — полностью пропускали бы через себя тепловые потоки. Ни того ни другого на практике не происходит, и форма тоже вносит свою долю в неравномерное распределение остаточных напряжений, которые практически невозможно полностью снять при последующей термообработке детали.

Однако как раз теория горения подсказывает, что ведь не обязательно горение взрывом. Даже если поджечь цилиндр, спрессо-

ванный из пороха, но поджечь его сверху, то при оптимально подобранных параметрах процесс примет так называемый фронтальный характер, то есть цилиндр будет сгорать постепенно. При этом тепловыделение будет сбалансировано с теплопоглощением, то есть тепла, выделяемого при горении верхнего слоя, будет как раз достаточно для разогрева и подготовки к реакции нижележащего слоя. Таким образом, и по энергетическим показателям такой процесс будет оптимальным, так как он не требует дополнительного подвода энергии, что делает его чрезвычайно экономичным.

Эта-то аналогия и навела ученых на мысль: а нельзя ли и реакцию полимеризации организовать так, чтобы она протекала не в виде неуправляемого взрыва, а подобно фронтальному процессу горения — постепенно, слой за слоем. Помимо уже упомянутой энергетической экономичности здесь просматривалось также и то, что полимеризация будет происходить со свободной поверхности. А в этом случае и остаточные напряжения, и деформации не должны были принимать такой катастрофический характер.

Наши первые опыты в этом направлении были простыми. Крупные детали из капролона мы попытались формовать послойно. Наливали в форму тонкий слой исходного материала, он полимеризовался. На него наливался следующий, и так далее. Мы получили деталь, равномерную по своим свойствам. Это и стало основой изобретения. Значит, можно организовать такие условия, при которых ис-

ходный материал из реактора подается в зону реакции непрерывно и также непрерывно из нее выводится. Таким образом, наращивание слоев идет непрерывно, и процесс этот возможно автоматизировать.

Однако послойная полимеризация, производимая путем наращивания слоев, не исчерпывает всех возможностей, раскрываемых принятой моделью. Горение цилиндра из спрессованного пороха подсказывает, что при производстве крупных и сложных деталей наиболее перспективно так организовать процесс, чтобы полимеризация сама происходила послойно. При этом слои, прилегающие к зоне реакции, разогревались бы за счет тепловыделения во время ее течения, что помимо разных других преимуществ сулит большую экономию энергии.

Изучением как раз этого вопросы мы сейчас заняты. Нельзя сказать, что наша модель (даже в самом простом цилиндрическом варианте) не подбрасывает нам никаких сюрпризов. А казалось бы, для нее уже подобраны режимы, кинетика процесса как будто ясна. Между тем в ходе эксперимента выявляются вдруг удивительные вещи. Например, вместо того, чтобы процесс развивался равномерно по плоской поверхности и шел себе послойно вглубь, вдруг откуда ни возьмись возникает особо разогретая точка и, как блуждающая звезда, стремительно обегает по спирали всю толщу материала, оставляя за собой выжженный спиральный след. Что это за «звезда», откуда она берется и что ей здесь надо, можно пока только строить гипотезы.

Послойная полимеризация, надо сказать, изучалась не только нашим коллективом. При этом хочется подчеркнуть, что именно послойная полимеризация. А потом уж по порядку, как заведено, производились кристаллизация и дальнейшая термообработка. Причем было известно, скажем, что из капролона таким способом детали формовать нельзя: у него для фронтальной полимеризации не хватает собственного тепла, то есть реакция быстро затухает. Мы проводили много экспериментов для выработки удовлетворительной модели процесса. Возникла идея фронтального процесса, совмещающего полимеризацию и кристаллизацию. Для осуществления такой технологии в качестве формы мы применили сосуд Дюара, то есть создали максимальную теплоизоляцию. Воспламенитель — разогретую пластину — расположили на верхнем слое. И результаты превзошли все наши ожидания. В частности, оказалось, что таким образом можно формовать и детали из капролона, потому что при совмещенном фронтальном процессе полимеризации и кристаллизации сумма тепла вполне достаточна для нормального течения процесса.

Сейчас процесс этот нами хорошо изучен, есть вполне удовлетворительные его модели. При выработке этих моделей на помощь приходит молодая наука риокинетика, которая занимается изучением изменения вязкости материалов в зависимости от температуры и времени реакции. В этом случае происходит синтез, взаимопроникновение наук: риокинетика движет вперед наши теоретические исследо-

вания по созданию математических и физических моделей технологических процессов, моделирование, в свою очередь, позволяет добывать новые сведения для риокинетики. И для обеих необходимыми являются эксперименты и еще раз эксперименты.

Множество реакций, проведенных в разных условиях и с разной скоростью, служат в первую очередь для того, чтобы установить константы, тепловые режимы, способы управления ими. Для чего это нужно? Главным образом для того, что именно при этом проходит основной путь к широкой автоматизации производства изделий из полимерных материалов. Причем, именно к широкой автоматизации, а не к отдельным автоматам, которые умеют более или менее качественно штамповать одну какую-то, пускай и сложную деталь, которые есть у нас в производстве в настоящее время.

Уже сегодня вырисовываются контуры автоматических линий недалекого будущего, управляемых компьютером. На них будут изготавливаться крупные и ответственные детали из полимеров. Деталь такая, залитая в форму и со всех сторон обложенная датчиками, которые донесут до компьютера все особенности течения реакции в ней, попадет в печь. Температурный режим этой печи также будет управляться вычислительной машиной на основании заложенных в нее программ и алгоритмов оптимального течения реакции. В такой автоматической линии можно автоматизировать все: и дозирование компонентов, попадающих в реактор, и продолжительность,

и интенсивность смешивания их, и дозировку порций, отпускаемых в литьевую форму. Не говоря уж о различных транспортных приспособлениях, которые будут автоматически подавать литейную форму в свободную нагревательную ячейку. При этом учитывается, что процесс «созревания» детали в одной ячейке протекает довольно продолжительно, но само производство можно организовать так, что линия будет выпускать продукцию непрерывно.

Очень интересной является проблема не косвенного, а непосредственного контроля течения реакции полимеризации. Для этого в настоящее время существует целый ряд способов. Например, с помощью специального вибратора от датчика колебаний на деталь передаются строго дозированные колебания. Другие датчики, укрепленные на детали, принимают эти колебания уже через нее и передают их на приемное устройство. Понятно, что колебания эти изменяются. Оказывается, что характер этих изменений довольно точно передает параметры, характеризующие качество детали. При этом на каждой стадии физических превращений массы наиболее информативными оказываются колебания той или иной частоты. Нас во всех этих способах недостаточно устраивало следующее. Мы не знаем, в какой конкретный момент каково истинное качество детали, и не совсем понятно, какая частота в данный момент является оптимальной для проведения испытаний. И в итоге мы все время как бы немного опаздываем. Между тем, сам процесс испытаний

тоже занимает довольно продолжительное время. Испытание, таким образом, затягивается и дает недостаточно достоверные результаты.

Размышление над этим противоречием навело нас на мысль: надо производить испытание не одной какой-либо частотой, а меняя ее по мере течения реакции. С помощью специального зонда запускать в деталь через определенные промежутки времени импульс сложной формы. Этот импульс должен представлять собой сумму сигналов, смешанных в специальном миксере. Затем этот сигнал снимают с помощью датчиков и вводят его в анализатор, который раскладывает его в ряд Фурье, то есть на синусоиды, имеющие разные частоты и амплитуды колебаний.

Сопоставление выходного сигнала с входным и анализ произошедших изменений позволяют получить огромную полезную информацию за максимально короткий срок. Применение такого способа контроля позволит и на автоматической линии вести непрерывный контроль качества детали не только по температуре, которую будут показывать датчики, заложенные в стенки литейной формы, но и на основании данных о физических свойствах самой детали, полученных из разных ее слоев. Такой способ контроля признан нашим изобретением.

Очень ли далекого будущего перспектива использования таких вот линий? Думается, нет. Наш институт ведет совместные работы с заводами и отраслевыми институтами, которые можно рассматривать уже как первые

практические шаги в создании автоматической линии. На одном из заводов создается огромный специализированный участок по облицовке валов для бумагоделательных машин.

Воплощаются в реальные проекты идеи создания подшипников для гребных валов огромных океанских судов из полимерных материалов. Но необходимым фундаментом, основой, да и строительным материалом для таких сооружений будущего станут, несомненно, те знания о тайнах поведения материалов, о таинственных процессах, происходящих в их глубинах, которые добыты учеными в тиши академических лабораторий.

*А. А. ОБОРИН,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
заведующий лабораторией  
геологической микробиологии  
Института экологии растений  
и животных УНЦ АН СССР*

---

## **НЕЗРИМЫЕ СПУТНИКИ НЕФТЯНИКОВ**

Что общего между геологией и микробиологией? На первый взгляд ничего. Геология изучает Землю, объекты неживой природы. Это нам известно еще со школьной скамьи. А микробиология исследует микроскопических представителей живого царства. Понятие «микробиология» ассоциируется у нас со знаниями о самых маленьких организмах, вызывающих тем не менее тяжелые болезни у человека, изучением которых занимается медицинская микробиология.

Противоположны и представления специалистов геологов и микробиологов о масштабах времени, пространства и массы. Первые оперируют понятиями времени, измеряемыми десятками и сотнями миллионов лет. Вторые имеют дело с жизнью бактерий, длящейся несколько десятков минут. Даже время существования всего человечества лишь мгновение в истории Земли, а жизнь самого почтенного долгожителя живого царства — секвойи (более 1,5 тысячи лет) — только миг. Геологи из-

меряют земную кору километрами, нефтяники выкачивают из ее недр нефть и газ миллионами тонн и миллиардами кубических метров. Микробиологам же часто с трудом удается разглядеть своих подопечных в самые совершенные не только оптические, но и электронные микроскопы с разрешающей способностью до одного ангстрема (ангстрем — десяти-миллиардная доля метра). Поэтому геологи, в частности, геологи-нефтяники, оперируя тысячами атмосфер, миллионами тонн, миллиардами кубометров и лет, весьма скептически относятся к столь мелкому объекту, как бактерия и вообще к оценке роли микроорганизмов в природных и техногенных процессах. А зря! И в этом уже сейчас убеждаются нефтяники-эксплуатационники при заводнении месторождений, когда сталкиваются с активными бактериальными процессами, вызывающими интенсивную коррозию металлических конструкций.

В последнее время интерес нефтяников к микробиологии несколько повысился. Это следует отметить. Однако нефтяная микробиология не приобрела еще для них должного значения, а отношение к ней находится на уровне глубокомысленного: «В этом что-то есть». Судя же по темпам развития отрасли науки, изучением которой и занимается наша лаборатория геологической микробиологии, не за горами стадия всеобщего признания, выражающаяся формулой: «Ну кто же этого не знает? Это известно всем!»

На огромную, до сих пор до конца не познанную роль живого вещества в геологиче-

ских процессах, на поистине геологические масштабы результатов жизнедеятельности микроорганизмов впервые обратил внимание академик В. И. Вернадский, основоположник учения о биосфере как особой геологической оболочке Земли. Выдающийся советский ученый сделал вывод о том, что толща земной коры — продукт жизнедеятельности былых биосфер. Сегодня это убедительно доказывают результаты исследований советских геологов. По мнению академика В. И. Сидоренко, сейчас рождается биогеология — наука о роли живого вещества в геологических процессах, в формировании осадочных горных пород земной коры. Наибольшей энергией обладают самые мельчайшие представители биосферы — микроорганизмы. Верится с трудом, но вот пример, на наш взгляд, весьма убедительный.

Время заселения земной поверхности бактерией при благоприятных условиях ее роста всего 30 часов! Это означает, что скорость ее распространения достигает 33100 сантиметров в секунду. Такая скорость соизмерима разве что со скоростью звука. Одна диатомея (микроскопическая водоросль) за 8 дней может образовать биомассу, равную объему нашей планеты, а в течение следующего часа может удвоить эту массу! Приведенные примеры дают представление о поистине грандиозных потенциальных возможностях наших невидимых и вездесущих спутников. Даже при очень низком проценте реализации возможностей в благоприятные периоды существования на Земле представители микромира оставили о себе весьма внушительные памятники в виде

мощных пластов горных пород, измеряемых сотнями и даже тысячами метров — фораминиферовых известняков, диатомитов, радиоляритов, бурых железняков, горючих сланцев и т. д. Да и в происхождении нефти они, очевидно, сыграли не последнюю роль.

В 1954 году американский биохимик-микробиолог Эрнст Бирштехер сформулировал основные задачи и пути развития новой отрасли — нефтяной микробиологии, отличающейся спецификой объекта исследований. Отрасль призвана изучать микроорганизмы, экологически связанные с нефтяными углеводородами, в природных процессах и в искусственных лабораторных и промышленных условиях.

В настоящее время геологическая и нефтяная микробиология, как в нашей стране, так и за рубежом, — быстроразвивающиеся отрасли науки. Они решают важнейшие вопросы синтеза белковых продуктов, охраны окружающей среды, поиска и разработок месторождений.

Полезные свойства нефти известны человечеству с древнейших времен. Стерильность минерала, его способность убивать бактерии (как говорят медики, его асептическое воздействие) использовались для лечения кожных заболеваний. В народном хозяйстве широко применяются битумы — антикоррозионные вещества, защищающие металлические и деревянные конструкции.

Сегодня большие успехи достигнуты в вопросах синтеза белка. Некоторые виды бактерий хорошо усваивают углеводороды нефти.

При этом происходит синтез белковых продуктов; получается биомасса. А ведь нефть и природный газ — самые дешевые виды минерального сырья и важнейшие потенциальные источники пищевых продуктов!

Первым в нашей стране крупнотоннажное производство кормового белка из нефти начал Уфимский завод белково-витаминных концентратов. Опыт уральских нефтяников и микробиологов используют сейчас другие крупные биокombинаты по производству кормовых белков на основе утилизации нефтяных углеводородов. Это обеспечило значительный рост кормового белка для нужд сельского хозяйства и служит весомой добавкой для кормовой базы животноводства в связи с переводом его на индустриальную основу, способствует реализации Продовольственной программы страны.

Парафины нефти раньше были нежелательными отходами переработки. Сейчас они утилизируются полностью. А в качестве ближайших потенциальных видов углеводородного сырья для получения белково-витаминных концентратов могут служить газообразные углеводороды, метанол.

Мы рассказали о синтезе протеина и белковых продуктов. Но перспективы развития микробиологического способа переработки нефтяных углеводородов не ограничиваются только этим. Известны формы углеводородокисляющих микробов, способных синтезировать витамины группы А и В, аминокислоты, различные ферменты, биологически активные вещества, антибиотики, лекарственные соедине-

ния. Поэтому изучению новых форм микроорганизмов, познанию природы этих процессов микробиологи уделяют большое внимание. Многие ученые в нашей стране и за рубежом занимаются разработкой проблемы микробиологического синтеза на углеводородной основе. Эта отрасль нефтяной микробиологии прочно завоевала себе место как самостоятельное научное направление и вышла на путь промышленного производства.

Свой вклад в дело большого народнохозяйственного значения вносят сотрудники нашей лаборатории. За последнее время научному сотруднику И. В. Ившиной удалось выделить из грунтовых вод в районах нефтяных месторождений Прикамья и изучить представителей специфической группы бактерий. Эти бактерии интересны тем, что могут избирательно утилизировать газы — пропан и бутан. В минеральной среде с пропаном, как источником питания, они синтезируют большое количество аминокислот, в том числе таких дефицитных, как аргинин, валин, гистидин и другие.

Изучение процессов взаимодействия нефти и микроорганизмов представляет значительный практический интерес и с другой точки зрения — с позиции нефтепромысловой геологии и разработки месторождений. Интересно, что способ микробиологического синтеза белка впервые был открыт совершенно случайно одной английской нефтяной компанией. Компания занималась поиском способа очистки жидкого топлива от парафина (парафин делает топливо очень вязким, непригодным для

использования). Было обнаружено, что очистку успешно выполняет один из видов дрожжей, клетки которого богаты белками. Некоторые виды дрожжей и бактерий способны расщеплять углеводороды нефти. В благоприятных условиях микробиологическому разложению подвергается даже асфальт. Безусловно, разработка микробиологического способа переработки тяжелых фракций нефти в промышленных масштабах представляет очень сложную задачу недалекого будущего.

Одна из главных задач советских нефтяников на ближайшие годы — улучшить использование природных ресурсов нефти, повысить коэффициент нефтеотдачи пластов. Год от года растет добыча нефти, идет разведка новых месторождений, осваивается север, труднодоступные районы страны. Добыча нефти дорожает, а потребление увеличивается. Особенно остро стоит проблема рационального использования для эксплуатируемых месторождений Волго-Уральской нефтегазодобывающей провинции. Поддержание высоких темпов разработки старых месторождений и достигнутого уровня добычи нефти в этом районе возможно только с помощью интенсификации нефтедобычи и повышения коэффициента нефтеотдачи. Методы, которые применяются, не всегда достаточно эффективны и в ряде случаев исчерпали свои возможности. Это относится в первую очередь к залежам высоковязких нефтей, когда нефтеотдача не превышает 20—30 процентов. В одиннадцатой пятилетке такие месторождения должны играть значительную роль в обеспечении пред-

усмотренного планом прироста добычи, так как в них сосредоточено еще достаточно геологических запасов нефти. Естественно, что в следующем пятилетии проблема будет еще острее. Сейчас подход к разработке старых месторождений принципиально не отличается от разработки месторождений с высокой вязкостью нефти. При этом коэффициент нефтеотдачи обычно редко превышает 60 процентов. Повышение коэффициента на 10—15 процентов равносильно открытию новых месторождений в обустроенных нефтедобывающих районах, возможности которых уже весьма ограничены.

Впервые вопрос о возможности использования бактерий для вторичной добычи нефти поставил в 1926 году американский ученый Бекман. Через 20 лет другой ученый Зобедл получил патент на способ бактериальной обработки нефтеносной формации. Он предложил использовать бактерии для повышения нефтеотдачи при вторичной добыче нефти. Что делают при этом бактерии?

Первое — образуют кислоты, растворяющие известковые породы, что ведет к увеличению их пористости.

Второе — образуют газообразные продукты — углекислый газ, метан, сероводород, азот, водород, — которые, растворяясь в нефти, увеличивают ее подвижность.

Третье — разрушают высокомолекулярные углеводороды до более подвижных низкомолекулярных соединений.

Четвертое — выделяют поверхностно ак-

тивные вещества, вызывающие уменьшение поверхностного натяжения в породах.

И, наконец, пятое — вытесняют пленку нефти, обволакивающую стенки пор породы. Эти микроорганизмы имеют свойство прикрепляться к твердым поверхностям. Вот сколько могут сделать маленькие бактерии!

Полевые опыты проводились в ГДР, Венгрии, Польше, США. В Советском Союзе опыт закачки накопительной культуры в нефтеносный пласт проведен в 1958 году на одном из месторождений Поволжья. Однако первые эксперименты ощутимых результатов не дали. Ученые не учли тогда экологические условия, упустили ряд особенностей расположения разведочных скважин. Но исследования были продолжены.

Коллектив сотрудников нашей лаборатории тоже включился в научный поиск. Главное было — во всех деталях разработать бактериальный метод повышения нефтеотдачи. В качестве наиболее перспективного пути решения проблемы предложили активизировать жизнедеятельность микрофлоры пласта. Это можно сделать искусственно, поддерживая оптимальные условия, при которых развитие процессов идет в нужном направлении. Правильность этого пути подтвердили исследования сотрудников ИБФМ и ВНИИНефть. Ученые этих институтов в 1981 году провели промысловые эксперименты на одном из месторождений Татарии. Эксперименты оказались удачными, но мы могли лишь наблюдать за ними. Заниматься подобными промысловыми экспериментами на месторождениях Перм-

ского Предуралья наша лаборатория не имеет возможности.

Современный уровень изученности микроорганизмов, способных ассимилировать углеводороды и другие органические соединения нефти, позволяет утверждать, что теоретически возможно осуществить интенсификацию нефтедобычи с помощью бактерий. Что же сдерживает разработку этого способа увеличения добычи нефти? Недостаточная изученность микрофлоры пластовых вод. Мы еще мало знаем о процессах изменения микрофлоры при нарушении природного равновесия, связанных с добычей нефти, закачкой вод и так далее. Много трудностей вызывает разнообразие химического состава нефти и природных вод. Мешает отсутствие современных технических средств и методик непрерывного наблюдения.

Очевидно, именно этими обстоятельствами во многом можно объяснить неудачи и малую эффективность выполненных и ведущихся в настоящее время экспериментальных работ на природных объектах. Эмпирический путь решения проблемы методом проб и ошибок без выяснения сущности и закономерностей процессов едва ли позволит успешно ее решить. Только основываясь на всестороннем знании видового состава, особенностей отдельных групп бактерий, биоценозов и их взаимоотношений с вводимыми в пласт культурами, сущности и направленности биохимических процессов, возможно будет разрабатывать свой подход, свою методику и комплекс решений для конкретных условий нефтяных месторож-

дений. Без учета всех факторов проблему решать нельзя. Это очевидно уже сейчас.

Известно, что пластовые условия часто при наличии сульфат-иона в воде являются своеобразной экологической нишей для сульфатовосстанавливающих бактерий. При эксплуатации месторождений они активизируют свою деятельность. Возникает агрессивная среда, ржавеют металлические конструкции на нефтепромыслах, повышается сернистость нефти, появляются токсические продукты. Разработка экономически эффективных методов подавления сульфатредукции остается нерешенной проблемой нефтепромысловой геологии.

А можно ли решить сегодня эту проблему? Можно. Для этого нужно подавить жизнедеятельность бактерий. Пока наиболее эффективны для этих целей органические вещества под названием фенилртутный лактат, формальдегид и другие. Происхождение и состав этих веществ объяснять не имеет смысла, главное — их нельзя использовать в широких масштабах по экономическим причинам. Разработка всех этих вопросов интенсивно ведется в Институте микробиологии АН СССР и в отраслевых институтах Ленинграда, Баку, Уфы, Перми, Куйбышева, Ухты.

Однако фундаментальных исследований еще недостаточно. Специфичность объекта исследований вызывает необходимость разработки особых методов исследований, специальной аппаратуры для дистанционного наблюдения за жизнедеятельностью бактерий в природных условиях, для отбора герметизи-

рованных стерильных глубинных проб и т. д. Все эти вопросы требуют сосредоточения усилий высококвалифицированных специалистов: геологов, микробиологов, биохимиков, технологов; координации планов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, ведущихся пока разрозненными группами энтузиастов в научных и производственных организациях, специализированным научным советом по проблеме в системе Академии наук СССР.

Познание сущности биохимического механизма расщепления углеводов и расшифровка генетического кода, управляющего процессами расщепления нефтяных углеводов, на уровне достижений современной и молекулярной биологии, возможно, позволит в будущем разработать теоретические основы принципиально новых технологических процессов, так называемого мягкого крекинга нефти.

В перспективе микробиологический метод в комплексе с другими можно будет применять и для разработки сланцев бесшахтным способом, а также для решения многих других вопросов разработки нефтяных месторождений. Например, большой интерес представляет проблема устранения побочных процессов жизнедеятельности бактерий при разработке нефтяных месторождений.

Наиболее перспективны для интенсификации добычи нефти газообразующие формы бактерий. Именно эти формы и изучают сотрудники нашей лаборатории. Из подземных

вод в районах нефтяных месторождений Пермского Прикамья мы выделили более 100 накопительных культур, активно окисляющих нефть, изучили их морфолого-физиологические особенности. Благодаря использованию электронной микроскопии нам удалось изучить характер строения внутриклеточной мембранной системы. Сотрудник лаборатории микробиолог М. В. Бердичевская установила, что заводнение нефтяного пласта изменяет экологические условия его и вызывает изменения в составе микрофлоры. При этом создаются условия для последовательного развития бактерий. М. В. Бердичевская вычислила время удвоения бактериальной биомассы, которое в разных условиях составляет от 18 до 120 часов. Научный сотрудник Л. М. Рубинштейн с помощью радиоизотопного метода впервые для пластовых вод нефтяных месторождений установила образование метана с помощью бактерий даже на глубинах 1,5—2 километра. Она выявила формы метанобразующих бактерий и определила оптимальные условия для их жизнедеятельности в зависимости от минерализации и содержания сероводорода. Практическая ценность этих исследований несомненна.

Важная проблема нефтяной микробиологии — охрана окружающей среды. Весомый вклад в решение этой сложной экологической проблемы должна внести и нефтяная микробиология. Круг ее вопросов широк: от установления роли микроорганизмов в круговороте углеводов до разработки практических мер по ликвидации загрязнения почв, водо-

емов и атмосферы сырой нефтью и нефтепродуктами.

Промышленные стоки нефтеперерабатывающих предприятий и нефтепромыслов — один из основных источников загрязнения среды. Существующие сегодня способы очистки сточных вод от нефтяных углеводородов, в том числе и биологический, еще недостаточно эффективны. Большие трудности представляет очистка от различных органических соединений (фенолов, жирных кислот) и углеводородов нефти ароматического ряда. Наблюдения показывают, что химических соединений, совершенно не разлагающихся под воздействием тех или иных видов микроорганизмов, не существует. Известны более 200 форм микроорганизмов, ассимилирующих фенолы и их производные, ацетон, бензин, асфальт, дизельные топлива, смазки и другие нефтепродукты. В Японии, например, фенольные сточные воды используются для выращивания кормовых дрожжей. В Западной Германии полиэтиленовые водопроводные трубы были разрушены почвенными микробами.

Статистика говорит: более 60 процентов нефтепродуктов портится при хранении из-за активной жизнедеятельности микроорганизмов. Однако сырая нефть и тяжелые ароматические углеводороды — не очень благоприятная пища для известных групп бактерий. Сырой нефтью они «лакомиться» не хотят. Значит, первоочередная задача нефтяной микробиологии — отыскать штаммы, окисляющие сырую нефть и тяжелые углеводороды. Тогда можно будет использовать бактерии для био-

логической очистки почвы, сточных и поверхностных вод от нефтяных загрязнений. Существенным преимуществом микробиологического способа очистки от нефтяных загрязнений, по сравнению с физико-химическими методами, является его экологическая безупречность. В природе при этом не происходит никаких нарушений.

Экологический аспект при изучении микроорганизмов представляет большой интерес. Существуют большие потенциальные возможности самоочистки биосферы с помощью бактерий. Эти возможности очень заманчивы. Сколько средств мы тратим на строительство очистных сооружений. И здесь работают бактерии. Что для этого надо? Как заставить микроорганизмы работать на человека? «Необходимо вскрывать законы, которым подчиняется развитие биосферы, настойчиво разрабатывать систему ведения хозяйства, которая позволяла бы сочетать интересы развивающейся промышленности с интересами сохранения оптимальной природной среды», — так писал академик С. С. Шварц. По его мнению, лишь после создания общей теории биогеоценозов наступит время переходить от пассивной охраны природы к созданию оптимальной природной среды для биогеоценозов, способных к саморегулированию в мире, изменяемом человеком.

Для создания теории необходимо накопить большой фактический материал. Необходима организация систематических комплексных экологических наблюдений, включающих изучение микробных биоценозов в природных ус-

ловиях на базе существующих биостационаров. Надо создать сеть опорных биостанций для каждой ландшафтно-климатической зоны Урала — от арктической до степной. Уральский меридиан с продолжением в Казахстане и Средней Азии может в этом отношении служить эталоном для характеристики всех географических зон Советского Союза.

Начало таким комплексным исследованиям с целью изучения процессов естественной деградации нефти в почвах, установления скорости этих процессов было положено в 1977 году. Произошло это по инициативе профессора МГУ М. А. Глазовской и кандидата геолого-минералогических наук Ю. И. Пиковского. Взялись за дело сотрудники кафедры геохимии ландшафтов МГУ и нашей лаборатории. Мы создали модели нефтяного загрязнения почв в трех пунктах Урало-Западносибирского региона: в условиях тундры на базе Салехардского стационара Института экологии растений и животных УНЦ АН СССР, в северной таежно-болотной зоне Западной Сибири около Сургута и в типичной лесной южно-таежной зоне в Добрянском районе Пермской области. Вместе с нами эксперимент начали в зоне полупустыни около Баку сотрудники Института географии и сектора микробиологии АН СССР.

Велики аварийные разливы нефти при транспортировке ее по магистральным нефтепроводам. Непроизводительные затраты на ликвидацию этого явления только по Главтюменнефтегазу составляют около миллиона рублей в год. Учитывая большое народнохо-

заявленное значение проблемы борьбы с аварийными разливами, Госкомитет по науке и технике принял решение об организации в 1979 году группы нефтяной микробиологии при лаборатории геомикробиологии. Ее задача — проводить исследования по изучению процессов биodeградации нефти в условиях Урало-Западносибирского региона. Цель — разработать комплекс природоохранных мероприятий. Эти исследования выполняются в рамках общесоюзной проблемы: «Разработка и научное обоснование системы мероприятий по предотвращению загрязнений природной среды нефтью, нефтепродуктами, пластовыми водами и восстановление загрязненных сельскохозяйственных и лесных земель». Возглавила группу кандидат геолого-минералогических наук геохимик-нефтяник И. Г. Калачникова.

После организации группы значительно возросли объемы исследований. К работе подключились специалисты других научных организаций и вузов. Геоботанические исследования курирует кандидат биологических наук И. И. Шилова. Изучением почвенной мезофауны занимаются специалисты Института биологии Казанского филиала АН СССР под руководством кандидата биологических наук Т. И. Артемьевой. Агрехимические исследования выполняются Пермской областной сельскохозяйственной станцией под руководством кандидата сельскохозяйственных наук С. И. Поповой. Комплекс агротехнических мероприятий на экспериментальных делянках опытного поля нашей лаборатории

ведут сотрудники кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка Пермского сельскохозяйственного института. Возглавляет группу кандидат географических наук В. К. Ладыгин.

Если предварительно проанализировать результаты исследований, станет ясно, что биodeградация нефти протекает условно в два этапа. Первый этап — утилизация, довольно интенсивная. На втором этапе активизируется деятельность более сложных представителей почвенной микрофлоры — грибов, дрожжей, актиномицет, водорослей и бактерий. Скорость биodeградации нефти на втором этапе, очевидно, будет намного ниже, чем на первом и завершится возможно через 20—30 лет. Безусловно, что полная рекультивация с восстановлением прежних биологических свойств почвы даже к тому времени еще не произойдет. Результаты наблюдений на рекультивационных участках говорят нам о том, что создание благоприятных условий для жизни почвенной микрофлоры с помощью применения различных агрохимических мероприятий ускоряет процессы деградации нефти.

Что показали исследования нефтепромыслов Западной Сибири и Пермского Предуралья? Мы установили, что при сжигании нефти или при закапывании ее в почве начинают скапливаться наиболее устойчивые к разложению нафтоароматические фракции, в том числе канцерогенные вещества. То есть при широком применении нефтяниками этих двух основных методов ликвидации аварий возрастает опасность устойчивого загрязнения

природной среды (атмосферы, почв, грунтовых и поверхностных вод), биомассы растительности и речного планктона. Даже если концентрация общего содержания углеводов будет низкой. Это плохо. Значительно увеличиваются сроки естественной рекультивации земель. Контроль за уровнем загрязнения следует вести не по суммарному количеству нефтепродуктов, а по наличию токсичных ароматических соединений, что в настоящее время уже делается. А какие способы более эффективны?

Торф, мох и лишайники. Казалось бы, что они могут? А вот наблюдая за ними в зоне тундры и болот Среднего Приобья, наши ученые обнаружили их способность локализовать аварийные разливы нефти. Правда, пока только в начальной стадии аварии. Но в целом торфо-мохо-лишайниковые горизонты перспективны для использования в качестве местного локализирующего аварийю материала.

Вместе с Институтом прикладной геофизики Госкомгидромета наша лаборатория ведет разработку региональной системы контроля канцерогенных веществ, в том числе нефтепродуктов, в объектах окружающей среды. Заканчиваются испытания новой модели спектрофлуориметра «Нева» с автоматической записью характеристик веществ и обработкой материалов на мини-ЭВМ. Этот аппаратный комплекс, создаваемый НПО «Буревестник», должен явиться базовой моделью для серийного производства и обеспечения общегосударственной сети контроля загрязнения природных сред нефтепродуктами.

Специфическую отрасль нефтяной микробиологии составляет нефтепоисковая микробиология, основал ее в Советском Союзе Г. А. Могилевский. Он установил, что некоторые виды углеводородокисляющих бактерий можно использовать как индикаторы при поисках залежей нефти и газа.

Опыт применения водной и грунтовой газобиохимической съемки в Пермском Предуралье показал широкие возможности использования его при рекогносцировочных нефтепоисковых исследованиях. Такие работы проводятся во многих районах Советского Союза. Лаборатория геомикробиологии принимает активное участие в разработке теоретических основ этих методов и усовершенствовании методики, в создании аппаратуры и внедрении ее в практику.

Как правило, большинство месторождений нефти и газа залегает на глубинах 1,5—2 километра от дневной поверхности в так называемых структурных ловушках, то есть в сводовых участках перегибов нефтемещающих пластов горных пород — коллекторов. Поэтому широко применяемые способы поисков месторождений (сейсморазведка, структурно-поисковое бурение) нацелены на выявление этих структур. Нефтегазоносность их определяется последующим разбуриванием глубоких разведочных скважин. Часто выясняется, что далеко не все из переданных для разведочного бурения структур оказываются продуктивными. Это, естественно, существенно снижает эффективность поисков в связи с непроизводительными затратами на разбуривание

«пустых» структур. А ведь стоимость проходки каждой разведочной скважины — 100—300 тысяч рублей!

Геохимики давно теоретически и экспериментально доказали, что над залежами нефти образуются ореолы рассеивания за счет миграции наиболее подвижных газообразных углеводородов. Эти ореолы при благоприятных условиях достигают дневной поверхности, и тогда их можно обнаружить газовой съемкой. В большинстве же случаев уверенно определять газовый ореол-аномалию можно лишь на глубинах от десятков до сотен метров, в так называемых опорных геохимических горизонтах. Для этого необходимо бурение специальных геохимических скважин.

Выявить газовые аномалии ореола рассеивания в приповерхностной зоне земной коры трудно. Трудно по двум причинам, зависящим от жизнедеятельности двух групп микроорганизмов. Одни из них активно окисляют метан, образуя своеобразный «бактериальный фильтр», и могут полностью нивелировать газовую аномалию. Другая группа бактерий при наличии органических веществ и благоприятных условий развития активно синтезирует метан. За счет этого может образоваться ложная аномалия, не обусловленная влиянием миграционного газового потока от залежи.

Л. М. Рубинштейн понадобилось провести многочисленные исследования с использованием радиоизотопного метода. Она определила, что бактериальный синтез метана идет во всех водоносных горизонтах подземных вод.

Существующие методы изотопного анализа в принципе позволяют различить любой метан в газовой смеси. Однако практически осуществить это трудно из-за очень низких его концентраций, ведь они составляют десяти-тысячные доли процента.

Для успешного обнаружения ореолов рассеивания залежей в почвогрунтах необходимо использовать комплекс газовых и бактериальных показателей.

Сотрудник лаборатории М. А. Шишкин решил использовать новую методику. Она основывается на сборе большого фактического материала как в районе развития типично газовых месторождений Ставрополя, так и нефтяных месторождений с азотно-метановыми газовыми шапками Удмуртии.

По результатам работ М. А. Шишкина, можно осуществлять прогноз нефтегазоносности структур, выявленных и подготовленных к разведочному бурению другими методами. Это значительно повышает эффективность поиска, снижает непроизводительные затраты на разбуривание «пустых» структур. Перспективность наших методов еще и в том, что с их помощью можно выявить залежи нефти неструктурного типа (отклонения), которые обычным поиском обнаружить просто невозможно. По оценке специалистов, залежи такого типа составляют не менее 20 процентов в нефтегазоносных районах Волго-Уральской провинции.

Проверка прогнозов подтвердила эффективность разработанной методики. Коэффициент «удачи», по В. И. Галкину, составил

для южных районов Пермской области 0,75. Это высокий показатель.

Ожидаемый экономический эффект, по оценке производственного объединения «Центргеофизика» Министерства геологии РСФСР, за счет широкого применения газобиохимических методов поисков только, например, по объединению «Удмуртнефть» составит не менее 1—1,5 миллиона рублей. Аналогичный эффект может быть получен и по объединению «Пермнефть». К сожалению, широкомасштабное внедрение геохимических методов поиска в производственных организациях сдерживается. Нет высокочувствительной газоаналитической аппаратуры — хроматографов серии «Цвет», которые пока выпускаются отечественной промышленностью мелкосерийно, не решены многие организационные вопросы.

В результате исследований И. Б. Ившиной были выявлены специфические формы бактерий, избирательно окисляющие пропан и бутан. Они являются своеобразными высокочувствительными поисковыми индикаторами, обнаруживающими газовый ореол от залежи в приповерхностной зоне. Работы проводились в большой кооперации. Были привлечены биохимики Пермского медицинского института под научным руководством доцента Н. Н. Кеворкова, сотрудники Института микробиологии и вирусологии АН УССР (руководители группы — член-корреспондент АН УССР Е. И. Квасников и доктор биологических наук О. А. Нестеренко). Разработан экспресс-метод диагностики бактерий-индикаторов при мик-

робиологических поисках газонефтяных месторождений. Эти поиски основываются на использовании серологических реакций для ускоренного обнаружения индикаторных бактерий. Испытания метода в условиях Пермского Предуралья показали его эффективность в сравнении с применяющимися в настоящее время микробиологическими определениями углеводородгазоокисляющей микрофлоры. Новый метод позволяет резко повысить качество и чувствительность анализов, сократить время с 14 дней до 1,5 часа, снизить затраты труда высококвалифицированного персонала. Сейчас метод внедряется в полупроизводственных условиях Центральной геохимической экспедицией.

Воистину безграничны возможности адаптации к различным экстремальным условиям этих вечных невидимых спутников всех природных процессов и нашей жизни! Недавно американскими микробиологами обнаружены термофильные бактерии, живущие в термах на дне океанической впадины при температуре минус  $250^{\circ}\text{C}$  и давлении более 250 атмосфер.

Рекордсмены криофилов снежного покрова наших и арктических широт и термофилов подземных вод нефтяных месторождений ждут своих первооткрывателей!

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |    |
|---|----|
| <i>Степанов М. Н., Волин В. Я.</i><br>Прикамье сквозь призму региональной экономики | 5  |
| <i>Мошев В. В., Бурштейн Б. И.</i><br>ЭВМ — партнер или инструмент? . . . . .       | 20 |
| <i>Пшеничников Р. А.</i><br>Разведчики-невидимки . . . . .                          | 43 |
| <i>Бегишев В. П., Славнов Е. В.</i><br>Своенравный мир полимеров . . . . .          | 71 |
| <i>Оборин А. А.</i><br>Незримые спутники нефтяников . . . . .                       | 99 |

**Р24** Рассказы ученых. — Пермь: Кн. изд-во, 1984. — 122 с.

Книга рассказывает о вкладе ученых Пермской группы научных учреждений АН СССР в решение важных теоретических и прикладных задач в области экономики, физики, биологии.

Р  $\frac{20400-37}{M152(03)-84}$  64—84.

001



Пермское книжное издательство 1984

## РАССКАЗЫ УЧЕНЫХ

Составитель М. А. Первов

Рецензент И. М. Кирко

Редактор Е. В. Ключева

Художник С. Р. Ковалев

Художественный редактор М. А. Курушин

Технический редактор В. И. Чувашов

Корректор З. Н. Селюк

---

ИБ № 1035

Сдано в набор 16. 01. 84. Подписано в печать 18. 05. 84. ЛБ02119. Формат 70×90<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бум. тип. № 2. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл. печ. л. 4,53. Усл. кр.-отт. 4,676. Уч.-изд. л. 4,254. Тираж 5000 экз. Заказ № 45. Цена 15 к. Пермское книжное издательство. 614000, г. Пермь, ул. К. Маркса, 30. Книжная типография № 2 управления издательств, полиграфии и книжной торговли. 614001, г. Пермь, ул. Коммунистическая, 57.