

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

2 2⁽³²⁾ 2010

НАУКА ИЗ ПЕРВЫХ РУК

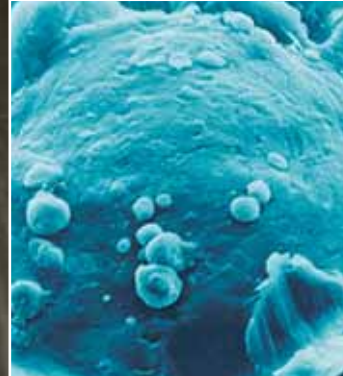
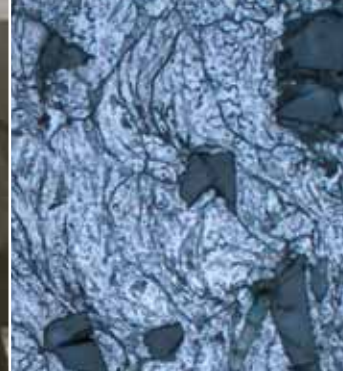
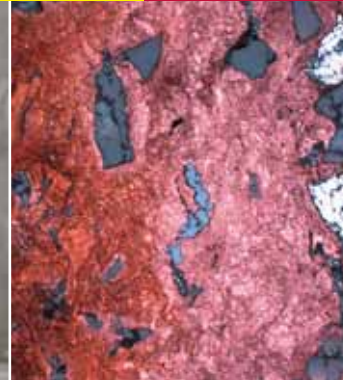
№ 2 (32) 2010

ЦАРЬ-СНАРЯД
ДЛЯ АТОМНОЙ
АРТИЛЛЕРИИ

СИБИРСКАЯ
БАЗА ПОДВОДНОГО
ФЛОТА

КРАСНОРЕЧИВЫЕ
МЕТАБОЛИТЫ

Г. Ф. МИЛЛЕР:
О ДУХОВНЫХ
СВОЙСТВАХ
НАРОДОВ



ISSN 18-10-3960



9 771810 396003 32



АКАДЕМИЯ
ОБЩЕСТВУ

Дорогие друзья!

Дискуссии о роли и путях развития отечественного образования и науки и ее флагмана – Российской академии наук не только не утихают, но приобретают все больший размах и остроту. И это понятно, поскольку речь идет о «столах», на которых держится современное общество.

Российская академия наук с самого начала, в отличие от многих ее зарубежных «собратьев», была государственной структурой, а не «научным клубом». Ее создатель, великий российский реформатор Петр I, собственноручно набросал не только основные черты устава, но и инструкцию для Первой Камчатской экспедиции. Камчатские экспедиции стали одним из самых крупномасштабных научных проектов XVIII в., обеспечивших не только освоение огромных пространств за Уралом, но и само владение ими. В послереволюционной России Академия наук стала одним из ключевых инструментов экономического развития. За это время она доказала свою эффективность, сыграв решающую роль во всех крупнейших государственных проектах (ракетном, атомном, открытии и освоении нефтегазовых месторождений Сибири и др.).

Вопросы модернизации научной сферы чрезвычайно сложны и не терпят скоропалительных решений. Наука и образование, являясь общемировым явлением, в области организации наследует исторически сложившиеся региональные особенности, обладает значительной инерционностью и тонкими механизмами настройки. Поэтому напрямую использовать в наших условиях чужой опыт чревато серьезными последствиями. Сломать легче, чем создать.

Истоки спада научной продуктивности нужно искать в общей ситуации в стране, где нет спроса на научные результаты. Российская фундаментальная наука все последние годы развивалась не столько «благодаря», сколько «вопреки», при практическом отсутствии государственного заказа, сохранив при этом основополагающие принципы своей организации и основные научные школы.

Хорошей иллюстрацией к этим утверждениям служит деятельность Сибирского отделения РАН. Приведем лишь несколько фактов. Львиная доля магнитов запущенного в 2009 г. в Швейцарии международного адронного коллайдера сделана на опытном заводе Института ядерной физики СО РАН. В этом же году получены первые тысячи тонн нефти на Ванкорском месторождении (Красноярский край), где извлекаемые запасы оцениваются в 520 млн тонн нефти и 95 млрд м³ газа. 20 лет назад контуры этого месторождения обозначил академик А.Э. Конторович. Нефть и газ Восточной Сибири, ради которых строятся трубопровод на Восток к Тихому океану, предсказала и открыла команда академика А.А. Трофимука. Он же открыл газогидраты – уникальные образования из природного



газа в твердом состоянии. Сегодня известные запасы этого сырья на шельфах морей и океанов превышают все имеющиеся в мире запасы традиционных углеводородов. Начата добыча алмазов в Архангельской области, открытых при активном участии члена-корреспондента РАН Н.П. Похиленко и академика Н.В. Соболева.

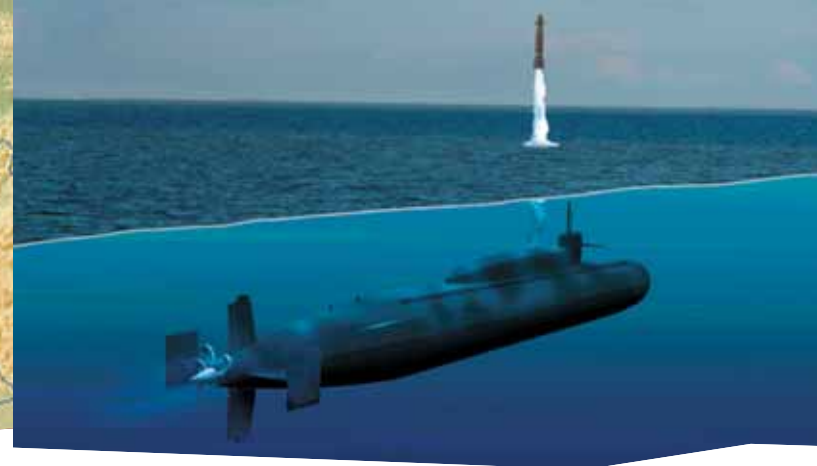
В новом выпуске журнала мы расскажем о некоторых работах ученых Сибирского отделения за прошедший год, результаты которых могут помочь в решении насущных проблем современного общества в таких областях, как энергетика, медицина, модернизация промышленности, защита окружающей среды, предотвращение природных и техногенных катастроф.

В статьях академиком Д.В. Ширкова и Г.В. Саковича рассказано о поучительных примерах прошлого, когда наша наука решала задачи, связанные с обеспечением безопасности и обороноспособности страны – эта тема особенно актуальна в связи с празднованием 65-летия победы в Великой Отечественной войне. Читатели познакомятся с малоизвестной историей создания атомного снаряда для тактической артиллерии, написанной на основе документальных, ранее засекреченных материалов. Руководителем этого проекта был основатель СО АН СССР академик М.А. Лаврентьев.

Пример Сибирского отделения, составляющего немалую часть РАН, наглядно показывает, что Академия не застыла в «башне из слоновой кости», а успешно занимается не только решением фундаментальных проблем – своей прямой обязанностью, но и многими прикладными задачами.

Главная цель публикаций этого выпуска – показать читателям, что обществу требуется не очередная реорганизация науки, к которой призывают некоторые СМИ, а повышение ее востребованности государством.

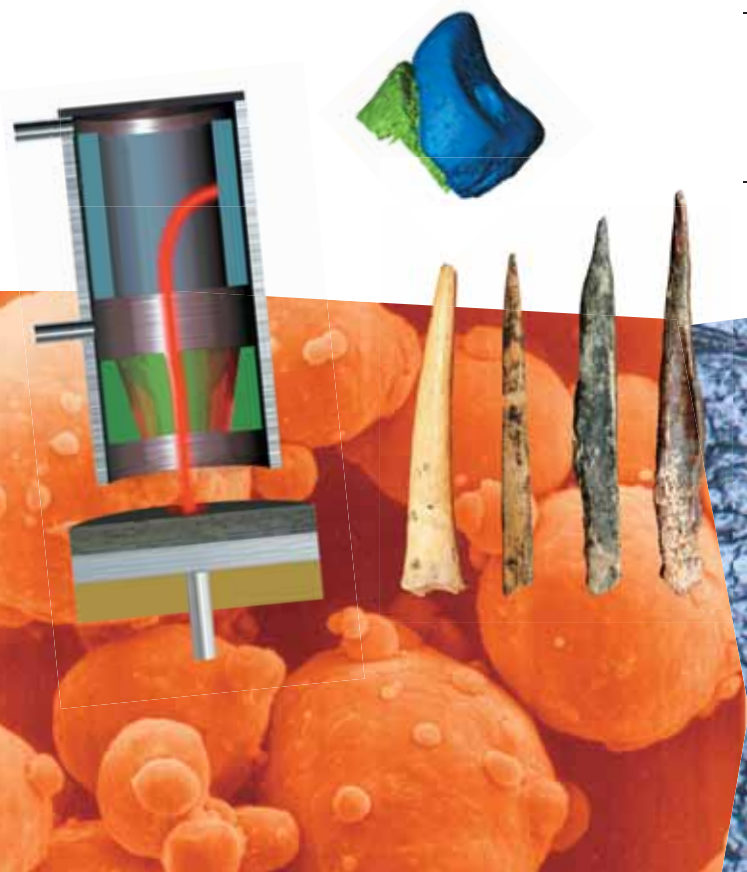
академик Н.Л. Добрецов,
главный редактор



ИННОВАЦИОННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ получаются не по заказу, но рождаются на определенных этапах развития **ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**. С. 6

Межконтинентальная **БАЛЛИСТИЧЕСКАЯ РАКЕТА** оснащена десятками разногабаритных **ДВИГАТЕЛЕЙ**, вес которых измеряется тоннами и граммами. С. 54

Анализ **СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПОВ** позволяет получить разнообразную **ИНФОРМАЦИЮ** об индивидуале, в том числе о месте рождения, миграционной активности и диете. С. 72



.01

УСПЕХИ НАУКИ

- 6 Слово и дело в защиту Российской академии наук
- 12 Фундаментальная – прикладной
- 24 Для здоровья нации
- 36 Человек – среда обитания

.02

ИСТОРИЯ НАУКИ. К юбилею Победы

- 44 **Д. В. Ширков**
Царь-снаряд для атомной артиллерии
- 54 **Г. В. Сакович**
Гарантированная надежность
- 64 **Н. Л. Добрецов, В. М. Фомин**
Сибирская база подводного флота

.03

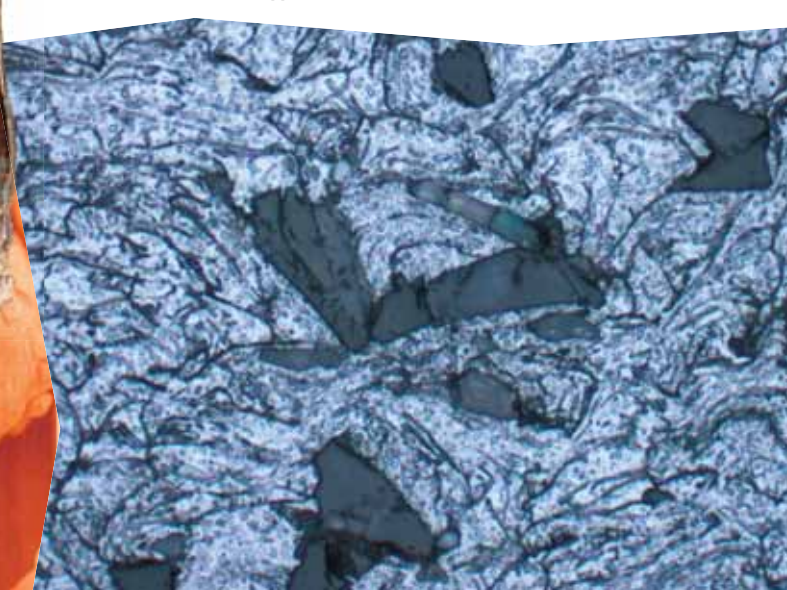
ГИПОТЕЗЫ И ФАКТЫ

- 72 **В. И. Молодин, А. С. Пилипенко**
Древняя ДНК и стабильные изотопы – новые ответы на старые вопросы

.04

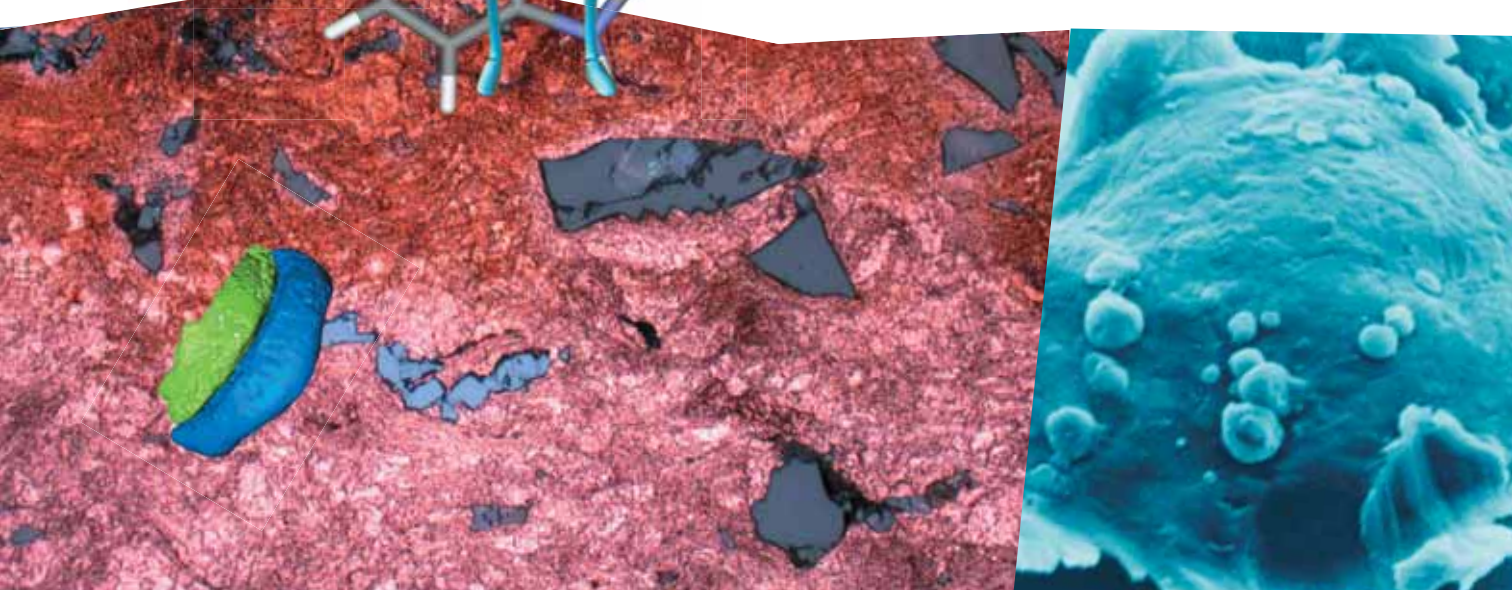
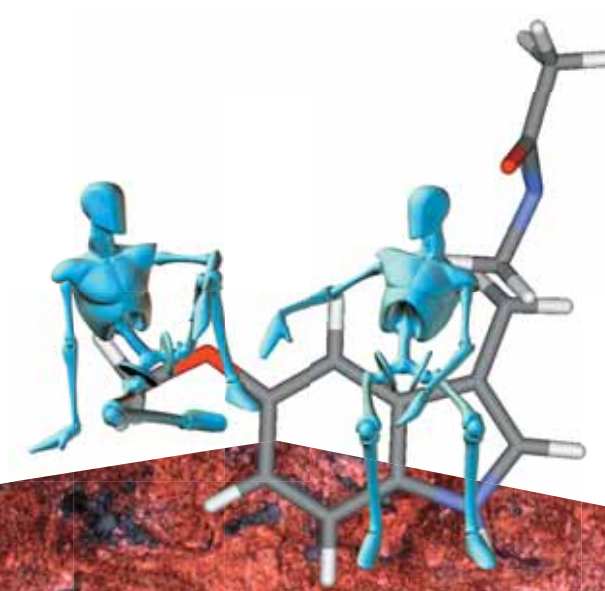
ЧЕЛОВЕК

- 82 **Постгеномная история – повесть длиною в жизнь**



ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ДОЗЫ антикоагулянта варфарина могут **РАЗЛИЧАТЬСЯ** в шесть раз в зависимости от генотипических особенностей **МЕТАБОЛИЗМА** пациента. С. 97

«С этими людьми я должна буду прожить почти полгода, без всякой связи с друзьями, знакомыми и родными. Интересно и страшно входить в **НОВУЮ, ПОЧТИ ПЕРВОБЫТНУЮ ЖИЗНЬ...**». С. 100



.05

ОТКРЫТИЕ СИБИРИ

- 100 **В. И. Осмоловская**
«ЯСНОЙ СОЛНЕЧНОЙ НОЧЬЮ...»
О жизни двух москвичек-зоологов в тундре Ямала в годы войны

.06

КНИЖНАЯ ПОЛКА. Новинки

- 110 Г. Ф. Миллер:
О духовных свойствах народов
- 116 **Н. П. Копанева**
Дни великих испытаний.
Война с Германией

- 84 **О. С. Федорова, В. В. Коваль**
Протеомика – высокотехнологичная «рыбалка»
- 91 **А. А. Черносов**
Красноречивые метаболиты
- 95 **И. В. Алексеева**
От самого рождения
- 97 **Г. И. Лифшиц, Я. В. Новикова**
Терапия – персональная доза

В последнее время все чаще раздаются призывы радикально реформировать Российскую академию наук. В качестве альтернативы предлагается перемещение фундаментальных исследований в университеты и полный переход к грантовому финансированию. Сейчас чрезвычайно важно продемонстрировать, что Академия наук жива и жизнеспособна, продолжает получать очень интересные фундаментальные результаты мирового уровня и выполнять долговременные и дорогостоящие проекты инновационного плана, приносящие весомую практическую пользу.

В связи с этим у редакции журнала возникла идея рассказать о некоторых важнейших результатах СО РАН, полученных в 2009 г.

Читатель познакомится как с фундаментальными результатами, опубликованными в ведущих международных журналах, так и с результатами, готовыми к внедрению в практику или уже внедренными. К числу первых можно отнести работу российских археологов, которые совместно с немецкими палеогенетиками получили свидетельства о существовании нового вида человека разумного, появившегося несколько ранее

неандертальца и *Homo sapiens sapiens*. Эти три вида в течение определенного времени могли существовать на Земле одновременно.

Важным результатом, уже получившим практическое применение, является создание принципиально нового метода лучевой терапии рака, основанного на идее электронного охлаждения ионных пучков, высказанной академиком Г. И. Будкером еще в 1960-е гг. Ускоритель с электронным охлаждением, изготовленный в Институте ядерной физики СО РАН, успешно используется для лечения онкозаболеваний в одной из провинций КНР. Ионный пучок гораздо эффективней и безопасней по сравнению с обычной лучевой терапией.

Следует отметить, что, во-первых, эти результаты, как и многие другие, являются итогом многолетних упорных работ. Во-вторых, инновационные результаты получаются не по заказу, а по инициативе их участников, рождаясь на определенных этапах развития фундаментальных исследований. В-третьих, все важнейшие результаты в настоящее время в той или иной степени являются плодом междисциплинарных, а зачастую и международных проектов.

Выполнить такие крупные работы за счет средств, получаемых по грантам, было бы невозможно. Нужна была спокойная многолетняя работа, способствовавшая появлению, развитию и всесторонней проверке новых идей.

Среди авторов публикаций в этом выпуске журнала много молодых ученых. Как правило, это люди, которые занимаясь реальными научными проектами в институтах СО РАН еще со студенческой скамьи, очень быстро стали полноправными участниками серьезных исследований. Сейчас в институтах Сибирского отделения на 100 исследователей обычно приходится 20–30 студентов-дипломников из местных университетов.

Надеемся, что рассказы об успехах сибирской науки в журнале «НАУКА из первых рук» будут интересны нашим читателям и внесут свою лепту в развитие взаимопонимания между наукой, обществом и властью.

Академик М. А. Грачев, директор Лимнологического института СО РАН, член редколлегии журнала «НАУКА из первых рук»

Человек алтайский?

Ученые Института археологии и этнографии СО РАН (Новосибирск) совместно с палеогенетиками из Института эволюционной антропологии им. Макса Планка (Лейпциг) установили, что фаланга пальца, найденная в культурном слое начальной стадии верхнего палеолита (40—30 тыс. лет назад) в Денисовой пещере на Алтае, принадлежала человеку, существенно отличающемуся по типу митохондриальной ДНК как от неандертальца, так и от ископаемого человека современного физического типа

Раскопки в Денисовой пещере – одном из самых известных археологических памятников на территории России – ведутся давно. За долгие тысячелетия в пещере образовалась многометровая толща отложений, хранящая множество следов деятельности человека от эпохи среднего палеолита до средневековья¹.

В самых нижних слоях найдены каменные орудия раннего этапа среднего палеолита. Возраст этих слоев по данным геохронологии – от 282 до 155 тыс. лет. Их перекрывают культурные слои с типичной среднепалеолитической индустрией. Выше залегают слои с изделиями верхнепалеолитического типа, в том числе

костяные орудия, иглы и украшения, характерные для человека современного физического типа. Верхняя часть отложений связана с обитанием в пещере древних сообществ бронзового века, скифской эпохи, гунно-сарматского времени и периода средневековья.

Раскопки в пещере – работа чрезвычайно кропотливая и трудоемкая: кубометры грунта промываются и просеиваются буквально по песчинке, чтобы ни одна мельчайшая косточка животного или обломок каменного орудия не ускользнули от внимания археологов и палеонтологов. Но несмотря на такие titанические усилия, среди десятков тысяч обнаруженных в пещере костей ископаемых животных, каменных и костяных изделий было найдено только три зуба первобытного человека и фаланга мизинца, предположительно принадлежавшая девочке шести-семи лет.

Последняя находка и была передана в Лейпциг, где исследователям удалось выделить из кости ДНК и составить из обрывков полный митохондриальный геном древнего обитателя Денисовой пещеры².

Каждый участок генома был реконструирован на основе большого количества независимо прочтенных фрагментов ДНК. Затем всю процедуру повторили на основе ДНК из другого фрагмента кости с помощью



Проксимальный



Дорсальный



Латеральный

Компьютерная томография фаланги пальца палеолитического человека из Денисовой пещеры: проксимальная, дорсальная и латеральная проекции соответственно

иной технологии секвенирования. Целый ряд признаков, таких как средняя длина выделенных фрагментов и характерные изменения на их концах, свидетельствуют о древности изученной ДНК и об отсутствии позднейших загрязнений.

Полученный митохондриальный геном древнего человека сравнили с соответствующими геномами 54 современных людей со всех концов света, одного верхнепалеолитического Homo sapiens со стоянки Костенки-14 на Дону (возраст около 30 тыс. лет), 6 европейских неандертальцев и 2 неандертальцев, обнаруженных российскими учеными в гроте Тешик-Таш в Узбекистане и в пещере Окладникова на Алтае, которая, кстати сказать, находится всего в сотне километров от Денисовой.

Судя по результатам сравнения нуклеотидной последовательности митохондриальных геномов, человек из Денисовой пещеры отстоит от ископаемых людей современного физического типа в среднем вдвое дальше, чем неандертальцы, и настолько же отличается

от самих неандертальцев. С помощью специальных математических методов ученые оценили время расхождения эволюционных линий, одна из которых привела к человеку из Денисовой пещеры, а другая – к общему предку сапиенсов и неандертальцев (необходимо отметить, что речь идет только о митохондриальных геномах, которые наследуются исключительно по прямой материнской линии). Расчеты ученых показали, что последняя общая прародительница этих человеческих видов жила около миллиона лет назад. Для сравнения: последняя прародительница сапиенсов и неандертальцев жила примерно 466 тыс. лет назад.





Филогенетическое дерево полных последовательностей мтДНК (митохондриальной ДНК). Филогения была оценена с использованием последовательностей мтДНК 54 современных людей, одной последовательностью от позднеплейстоценового человека современного типа (обозначены серым цветом), 6 неандертальцев (обозначены синим цветом) и гоминида из Денисовой пещеры (обозначен красным цветом). Основание (корень дерева) образуют последовательности мтДНК шимпанзе и бонобо. Карта показывает географическое происхождение образцов. *Институт Макса Планка. (Лейпциг, Германия)*

Конечно, на основе анализа только митохондриального генома при отсутствии данных о ядерном геноме и строении скелета (фаланга мизинца не в счет) невозможно сказать наверняка, кем был человек из Денисовой пещеры и в каком родстве с сапиенсами и неандертальцами он на самом деле состоял. Поэтому пока нельзя с абсолютной уверенностью утверждать, что в Денисовой пещере найден новый вид людей.

Тем не менее важность этого открытия трудно переоценить: оно свидетельствует о том, что палеолитическое население Алтая 30–50 тыс. лет назад было генетически разнообразным. Археологические, геохронологические, а теперь и генетические данные указывают на то, что люди, относящиеся к разным материнским линиям, – неандертальцы, сапиенсы и загадочные «денисовцы» – длительное время одновременно проживали на одной территории. И в этом смысле результаты генетического изучения человека из Де-

нисовой пещеры могут служить аргументом в пользу мультирегиональной теории происхождения человека, согласно которой в наших жилах течет кровь не только сапиенсов, вышедших из Африки около 60–80 тыс. лет назад, но и других видов древних гоминидов³.

Литература

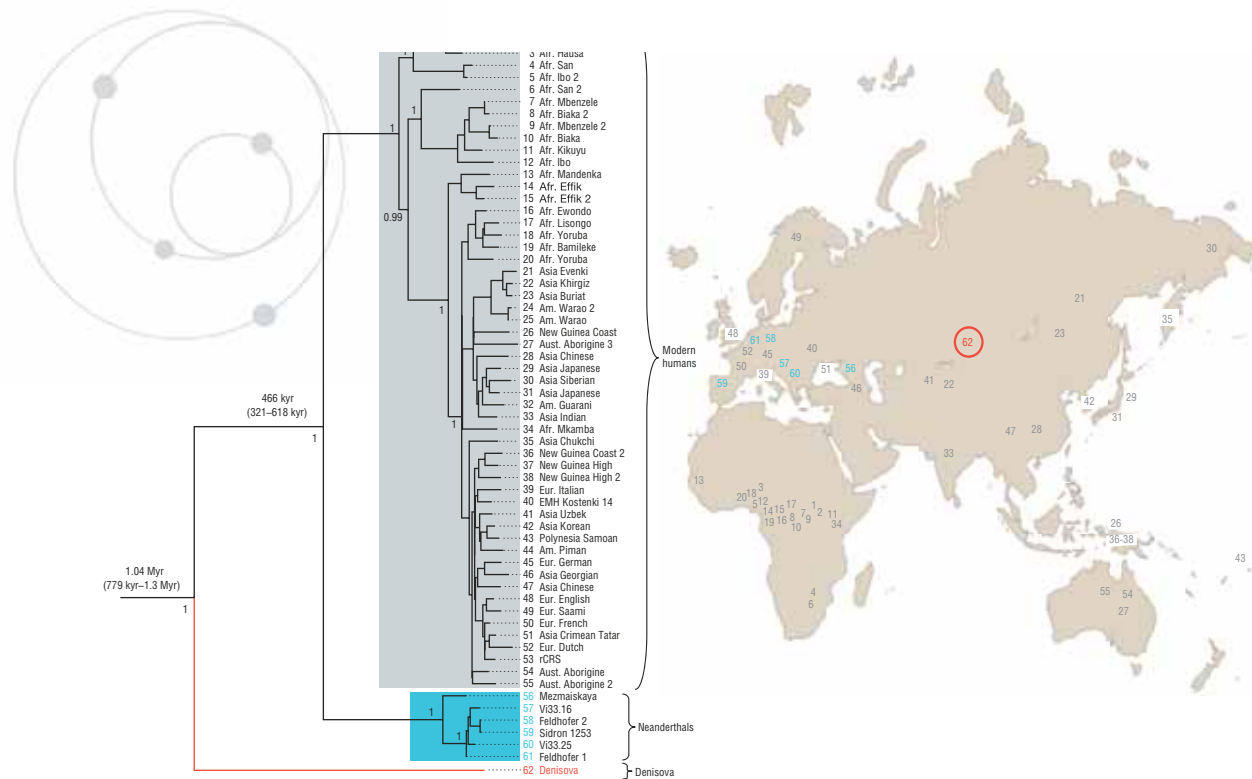
¹Деревянко А.П., Шуньков М.В., Агаджанян А.К. и др. *Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая. Новосибирск, 2003.*

²Krause J., Fu Q., Good J. M. et al. *The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia // Nature. 2010. V. 464. P. 894–897*

³Деревянко А.П. *Переход от среднего к верхнему палеолиту и проблема формирования Homo sapiens sapiens в Восточной, Центральной и Северной Азии. Новосибирск, 2009.*

Ключевые слова: плейстоцен, палеолит, геохронология, палеогенетика, митохондриальная ДНК, гоминиды.
Key words: pleistocene, palaeolith, geochronology, paleogenetics, mitochondrial DNA, hominid

Академик А.П. Деревянко, д.и.н. М.В. Шуньков (Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск)



Филогенетическое дерево полных последовательностей мтДНК (митохондриальной ДНК). Филогения была оценена с использованием последовательностей мтДНК 54 современных людей, одной последовательностью от позднеплейстоценового человека современного типа (обозначены серым цветом), 6 неандертальцев (обозначены синим цветом) и гоминида из Денисовой пещеры (обозначен красным цветом). Основание (корень дерева) образуют последовательности мтДНК шимпанзе и бонобо. Карта показывает географическое происхождение образцов. *Институт Макса Планка. (Лейпциг, Германия)*

Конечно, на основе анализа только митохондриального генома при отсутствии данных о ядерном геноме и строении скелета (фаланга мизинца не в счет) невозможно сказать наверняка, кем был человек из Денисовой пещеры и в каком родстве с сапиенсами и неандертальцами он на самом деле состоял. Поэтому пока нельзя с абсолютной уверенностью утверждать, что в Денисовой пещере найден новый вид людей.

Тем не менее важность этого открытия трудно переоценить: оно свидетельствует о том, что палеолитическое население Алтая 30–50 тыс. лет назад было генетически разнообразным. Археологические, геохронологические, а теперь и генетические данные указывают на то, что люди, относящиеся к разным материнским линиям, – неандертальцы, сапиенсы и загадочные «денисовцы» – длительное время одновременно проживали на одной территории. И в этом смысле результаты генетического изучения человека из Де-

нисовой пещеры могут служить аргументом в пользу мультирегиональной теории происхождения человека, согласно которой в наших жилах течет кровь не только сапиенсов, вышедших из Африки около 60–80 тыс. лет назад, но и других видов древних гоминидов³.

Литература

¹Деревянко А.П., Шуньков М.В., Агаджанян А.К. и др. *Природная среда и человек в палеолите Горного Алтая. Новосибирск, 2003.*

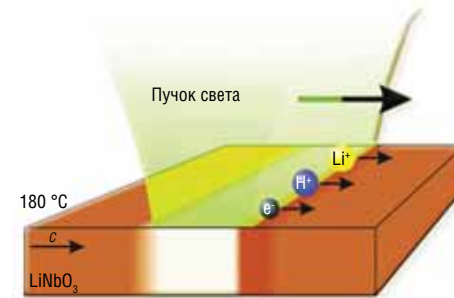
²Krause J., Fu Q., Good J. M. et al. *The complete mitochondrial DNA genome of an unknown hominin from southern Siberia // Nature. 2010. V. 464. P. 894–897*

³Деревянко А.П. *Переход от среднего к верхнему палеолиту и проблема формирования Homo sapiens sapiens в Восточной, Центральной и Северной Азии. Новосибирск, 2009.*

Академик А.П. Деревянко, д.и.н. М.В. Шуньков (Институт археологии и этнографии СО РАН, Новосибирск)

Оптическая чистка ниобата лития

Учеными Института автоматики и электрометрии СО РАН (Новосибирск) и Боннского университета (Германия) предложена и реализована новая технология устранения эффекта оптического повреждения для кристаллов ниобата лития – метод оптической чистки



Используя параллель с полупроводниковыми материалами, кристаллы *ниобата лития* (LiNbO₃) часто называют силиконом фотоники. Они незаменимы и перспективны во многих областях современной оптики: для преобразования частоты света, модуляции лазерного излучения, создания устройств оптической памяти и функциональных микрорезонаторов. Причина тому – уникальное сочетание присущих им важных свойств: простоты выращивания, дешевизны, надежности, прозрачности в широком диапазоне спектра, высоких нелинейно-оптических коэффициентов и т. п. Исследованию свойств ниобата лития посвящены тысячи работ, и их число продолжает быстро расти.

Основное препятствие при использовании ниобата лития во многих оптических устройствах – эффект оптического повреждения (разрушение светового пучка), известный еще с конца 60-х г. прошлого века. Природа этого паразитного эффекта заключается в том, что под действием света небольшое количество фотоактивных электронов перемещается в направлении оси симметрии кристалла, приводя к возникновению сильных электрических полей и связанных с ними изменений показателя преломления. Возможности подавления оптического повреждения широко исследуются учеными в течение последних 10–15 лет. Наилучшим решением сегодня считается введение в кристаллы ниобата примесей магния, однако этот способ дорог и неудобен.

Предложена и реализована новая технология устранения эффекта оптического повреждения – метод оптической чистки. Кристалл нагревается до температуры 170–190 °С, после чего освещается достаточно интенсивным световым пучком.

В основе метода лежит тот же фотогальванический эффект, который прежде выступал в качестве вредного, создавая оптическое повреждение. Теперь он используется как полезный: в засвеченной области фотоактивные электроны движутся вдоль оси кристалла, скапливаясь на периферии области. Если бы перемещались одни электроны, то в месте их скопления возник бы электрический заряд, препятствующий дальнейшему их накоплению. Во избежание этого, необходимо, чтобы вслед за электронами двигались положительно заряженные частицы, которые есть в кристалле – это ионы водорода (протоны) и лития. Их количество

Световой пучок возбуждает фотоактивные электроны и переводит их в зону проводимости. За счет фотогальванического эффекта электроны перемещаются вдоль полярной оси С. В результате движения вслед за ними термоактивированных ионов облученная светом зона освобождается от фотоактивных электронов

на несколько порядков превышает число фотоактивных электронов, однако не в той степени, чтобы повлиять на свойства кристалла.

Нагрев кристалла нужен как раз для того, чтобы ионы приобрели достаточно высокую подвижность и успевали перемещаться вслед за электронами. При этом сам кристалл в каждой точке остается электронейтральным.

Таким образом, в описанных условиях засвеченная область со временем полностью освобождается от фотоактивных электронов. При медленном перемещении светового пучка в направлении движения последних происходит очистка от них всего кристалла, в результате чего источник оптического повреждения устраняется сам по себе. После охлаждения кристалла перемещенные электроны уже не могут вернуться в очищенную область, так как оказываются привязанными к замороженным ионам. В результате чистки наблюдается сильное (более чем в тысячу раз) подавление оптического повреждения.

Как показал эксперимент, на процесс «оптической чистки» пока требуется много часов, что предполагает дальнейшие усилия по его оптимизации.

Эффект «оптической чистки» интересен и как фундаментальный результат. Процесс локального уменьшения посредством воздействия света концентрации фотоактивных электронов в тысячи или десятки тысяч раз не имеет аналогов и ведет к сильному изменению свойств материала. Предполагается, что подобный эффект должен наблюдаться и при работе с другими оптическими материалами, сходными по симметрии с ниобатом лития.

Kösters M., Sturman B., Werheit P. et al. Optical cleaning of congruent lithium niobate crystals // Nature Photonics. 2009. V. 3. P. 510–513.

Sturman B., Kösters M., Haertle D. et al. // Phys. Rev. B. 2009//V. 80. P. 245–319.

Д.ф.-м.н. Б.И. Стурман, чл.-кор. А.М. Шалагин (Институт автоматики и электрометрии СО РАН, Новосибирск)

Ключевые слова: оптическое повреждение, ниобат лития.
Key words: optical damage, lithium niobate

Фундаментальная — прикладной

Электронный пучок дает жизнь топливному элементу

Томские ученые предложили использовать особенности сильнотоочного электронного пучка в производстве топливных элементов для водородной энергетики

Фундаментальные исследования по воздействию импульсных сильнотоочных электронных пучков на поверхность твердых тел с целью модификации их свойств ведутся в Институте сильнотоочной электроники СО РАН более двух десятилетий. Столь устойчивый интерес обусловлен способностью таких электронных пучков плавить поверхность любых материалов. Важно, что при этом существенно изменяются свойства самих поверхностей: уменьшается шероховатость, увеличивается коррозионная стойкость и т.д. Этот эффект нашел и практическое применение. В частности, электронно-пучковая обработка стала незаменимой в финишной полировке сложных металлических деталей.

Недавно у электронного пучка появились интересные перспективы в области производства твердооксидных топливных элементов для водородной энергетики, которые несмотря на высокий КПД, бесшумность и долгий срок службы до сих пор не нашли широкого применения из-за отсутствия экономически приемлемой технологии их получения.

Топливный элемент является электрохимическим генератором, преобразующим энергию химического взаимодействия водорода и кислорода в электрическую. Цент-

ральная часть элемента представляет собой трехслойный сэндвич, состоящий из анода, электролита и катода. Анод – это металлокерамическая пластинка с пористостью до 40%, состоящая из смеси гранул никеля и оксида циркония. Поры нужны для поступления водорода к границе анода с керамическим электролитом (стабилизированная иттрием окись циркония), который должен быть уже газонепроницаемым. Для снижения рабочей температуры топливного элемента необходимо получить такой электролит толщиной всего в несколько микрометров. Для решения этой задачи предложено использовать электронный пучок.

Эксперименты показали, что при соответствующем выборе параметров достаточно одного импульса электронного пучка, чтобы расплавить поверхность металлокерамического анода на глубину около 1 мкм. Пористость переплавленного

слоя становится на порядки меньше, чем у всей анодной пластинки. Пленка электролита, наносимая на такую модифицированную поверхность анода (например методом реактивного магнетронного распыления), становится практически газонепроницаемой уже при толщине 1–2 мкм. Опытные образцы топливных элементов, изготовленные с использованием предложенного метода, продемонстрировали высокие рабочие параметры.

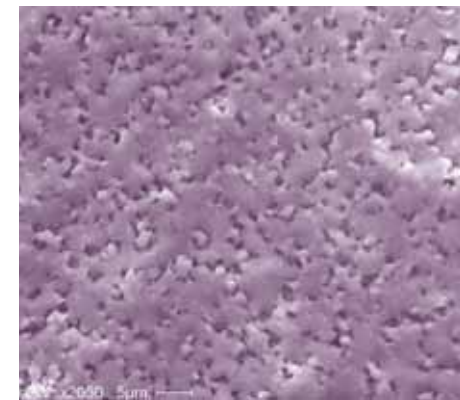
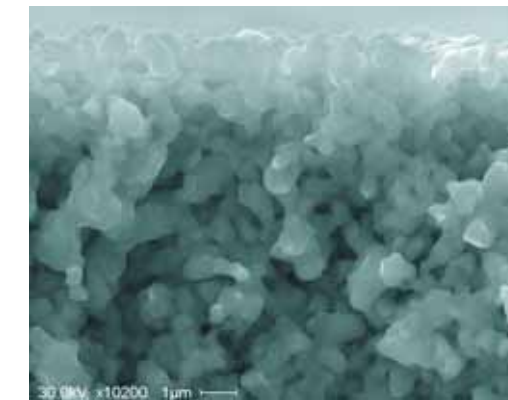
Литература

Соловьев А.А., Сочугов Н.С., Шипилова А.В. и др. Импульсная электронно-пучковая модификация поверхности пористых анодов твердооксидных топливных элементов // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 9. С. 27–32.

*К.ф.-м.н. Н.С. Сочугов,
к.ф.-м.н. А.В. Батраков
(Институт сильнотоочной электроники
СО РАН, Томск)*

Ключевые слова:

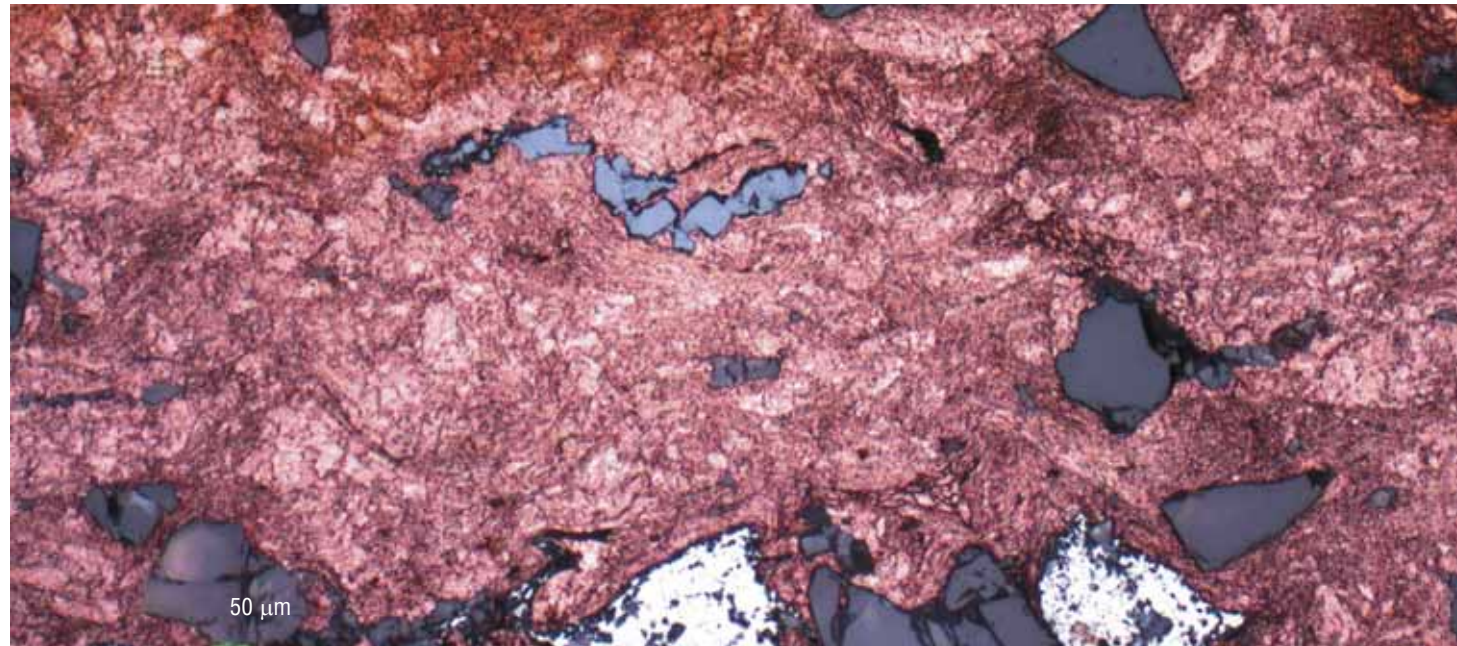
твердооксидный топливный элемент, электронный пучок, магнетронная распылительная система
Key words: solid oxide fuel cell, electron beam, magnetron spraying system



СЭМ-изображения излома (слева) и поверхности обработанного электронным пучком анода твердооксидного топливного элемента. Толщина слоя плавления около 1 мкм

От плавления к ускорению

Плазменный, детонационный, газопламенный и иные высокотемпературные способы получения многокомпонентных покрытий до недавнего времени считались безальтернативными. Теперь у них появился сильный конкурент



Микроструктуры полученных покрытий:
медь + керамика (внизу),
алюминий + керамика (справа)

Впервые явление холодного газодинамического напыления было зафиксировано в начале 1980-х годов в Институте теоретической и прикладной механики им. С.А. Христианович СО РАН (Новосибирск) в процессе экспериментального изучения обтекания затупленных тел сверхзвуковым потоком газа, содержащим частицы алюминия, с температурой торможения около 0–20 °С.

Согласно распространенной тогда точке зрения устойчивые покрытия образуются при напылении расплавленных или близких к этому частиц. Однако показав ошибочность такого утверждения, отмеченный эффект дал толчок быстрому развитию нового способа получения покрытий, названного холодным газодинамическим напылением, созданию новых технологий и техники.

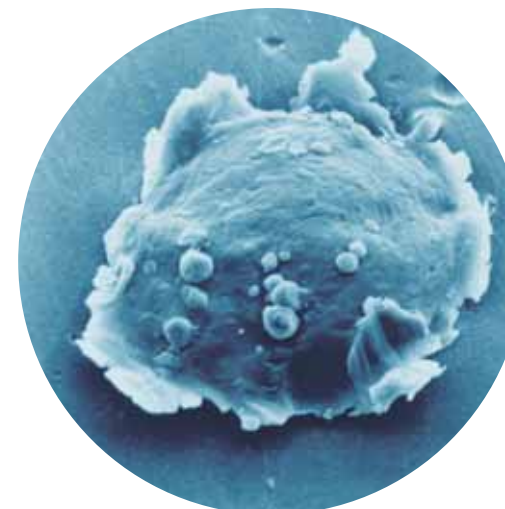
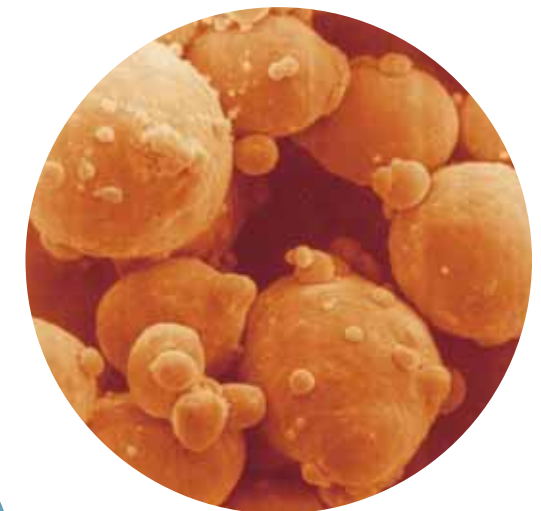
Суть ХГН – не расплавляем, а ускоряем. Дальнейшие исследования, проведенные по схеме «разгоняемая в сопле сверхзвуковая гетерогенная струя – преграда для напыления», показали определяющую роль скорости частиц. Для металлических частиц с размером

менее 50 мкм существуют критические скорости (500–600 м/с) их взаимодействия с подложкой. При скорости частиц меньше критической наблюдается процесс эрозии. Если скорость частиц превышает критическое значение, происходит процесс напыления. Важно, что свойства получающихся покрытий (адгезия, пористость, микротвердость и т.д.) зависят от скорости напыляемых частиц.

Поскольку при ХГН отсутствует сильное термическое воздействие на частицы, то нет и связанных с ним нежелательных побочных эффектов (к примеру, таких как окисление или фазовые переходы), и жестких ограничений на размер частиц. С учетом того, что размеры сопла пропорциональны размеру частиц, а диаметр сопла может быть уменьшен до 1 мм и менее, здесь просматривается прямой путь к нанотехнологиям.

Способ холодного газодинамического напыления позволяет использовать для получения покрытий не только однокомпонентные порошки, но и их смеси. Поскольку эффективное напыление каждого материала происходит при определенных значениях температуры

Исходные частицы алюминия среднего размера 30 мкм (справа); частица алюминия, закрепившаяся на полированной поверхности (внизу) (скорость частицы перед ударом около 1100 м/с, температура около 100 °С)



Ключевые слова: гетерогенный поток, холодное газодинамическое напыление, покрытие, адгезия, композиционное покрытие.
Key words: heterogeneous stream, cold gas dynamic spray, coating, adhesion, composite coating

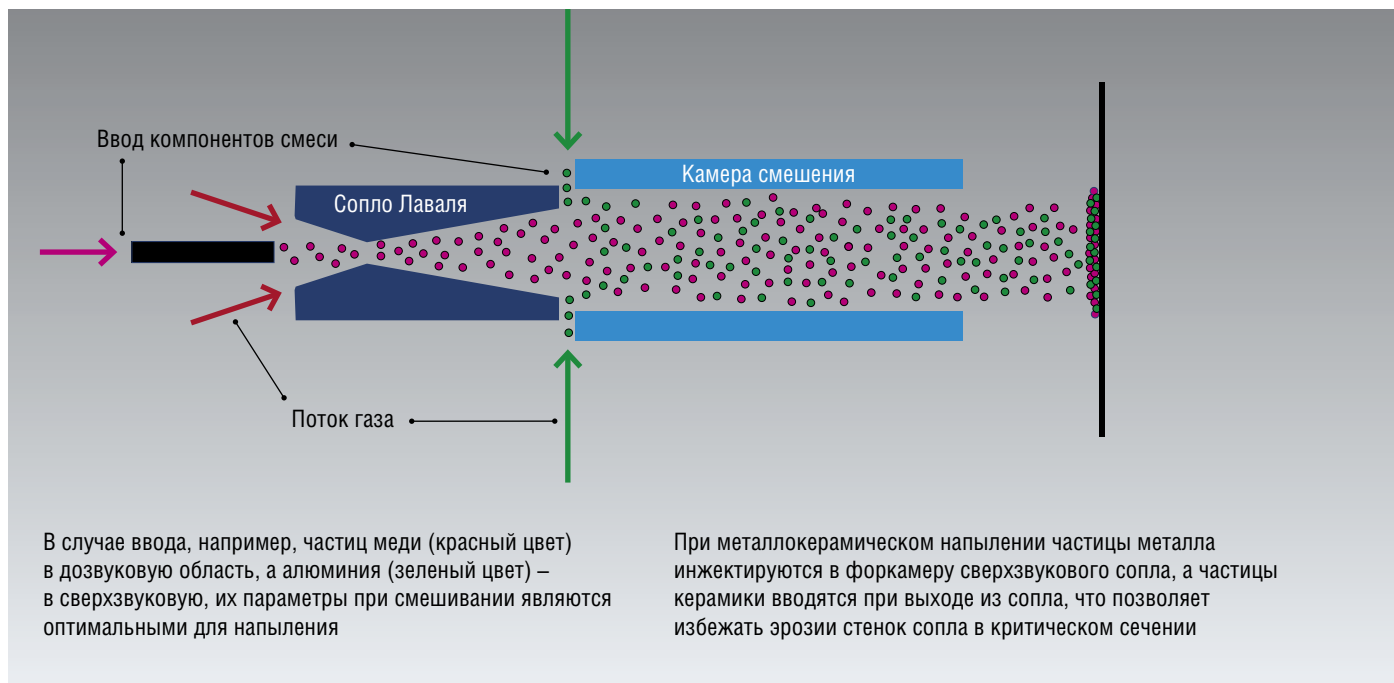


Схема соплового узла, позволяющего реализовать раздельный ввод в поток компонентов смеси

и скорости его частиц, эти значения могут сильно различаться для различных компонентов смеси (например, при смешивании алюминия с железом или титаном).

Предложена схема соплового узла, позволяющего управлять температурой и скоростью напыляемых частиц не только варьированием параметров газового потока и вводимых компонентов смеси, но и независимой инъекцией этих компонентов в разные области потока для достижения их оптимального напыления. В результате применения этого устройства управление процессом получения качественных покрытий при любом сочетании используемых компонентов становится гибким и контролируемым.

Новым перспективным направлением в развитии ХГН можно считать получение металлокерамических покрытий различного функционального назначения (износостойких, эрозионностойких, фрикционных и др.). Добавление керамических частиц в металлический порошок позволяет наносить смесевые металлокерамические покрытия, в которых металлический компонент играет роль матрицы, удерживающей эти частицы. Экспериментально показано, что процесс формирования подобных покрытий имеет ряд особен-

ностей, обусловленных взаимным влиянием керамических и металлических частиц на процесс напыления. В частности, повышается адгезия, прочность покрытия, его износостойкость и т.п.

Способ холодного газодинамического напыления может быть успешно применен как для проведения фундаментальных исследований самого явления ХГН, так и для разработки его приложений с целью получения многообразных перспективных покрытий.

Литература

Papyrin A., Kosarev V., Klinkov S. et al. Cold Spray Technology // Elsevier Science. 2007. 336 p.

Алхимов А. П., Косарев В. Ф., Фомин В. М., Клишков С. В. Холодное газодинамическое напыление. Теория и практика / Издательская фирма «Физико-математическая литература (ООО «Физматлит»), 2010.

Д. ф.-м. н. В. Ф. Косарев (Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, Новосибирск)

Глубокая переработка сырья для нефтехимии

В Институте проблем переработки углеводородов СО РАН (Омск) разработаны новые бицеолитные катализаторы крекинга углеводородного сырья

Нефтехимическая промышленность является одной из важнейших наукоемких отраслей современной промышленности. Стоимость нефтехимической продукции в 7–9 раз превышает стоимость сырья нефти, в то время как стоимость моторных топлив только в 2–3 раза.

Основу нефтехимии составляют процессы получения мономеров (этилен – для полиэтилена, пропилен – для полипропилена, бутилены – для каучуков и т.д.). Основными процессами для получения мономеров являются пиролиз, каталитический крекинг и дегидрирование.

В последнее десятилетие ведущими нефтяными фирмами мира разрабатывается процесс глубокого

каталитического крекинга, являющегося наиболее экономически выгодным процессом получения легких олефинов (в основном пропилен и бутилены) из разнообразного углеводородного сырья. Отличительной чертой данного процесса является применение новых бицеолитных катализаторов крекинга.

Исследования, проведенные в ИППУ СО РАН, позволили разработать номенклатуру бицеолитных катализаторов крекинга, позволяющих в зависимости от задач нефтепереработки получать каталитическим крекингом остаточные нефтяные фракций основные продукты в диапазоне:

- традиционный каталитический крекинг (катализатор внедрен в промышленность): бензин – 56–57 %, легкие олефины – 11–12 мас.%;
- глубокий каталитический крекинг: бензин – 30–35 %, легкие олефины – 35–38 мас.%

Основой данной разработки является применение специальных катионных форм цеолитов типа Y и ZSM-5, высокоактивной алюмосиликатной матрицы катализатора для первичного крекинга углеводородных молекул с 30–60 атомами углерода. Цеолиты проводят вторичные реакции крекинга для получения молекул легких олефинов с 2–4 атомами углерода.

Разработка, внедрение и эксплуатация катализаторов для традиционного каталитического крекинга отмечена премией Правительства РФ в области науки и техники. Реализация новой разработки института уже начата в ОАО «Газпромнефть – Омский НПЗ».

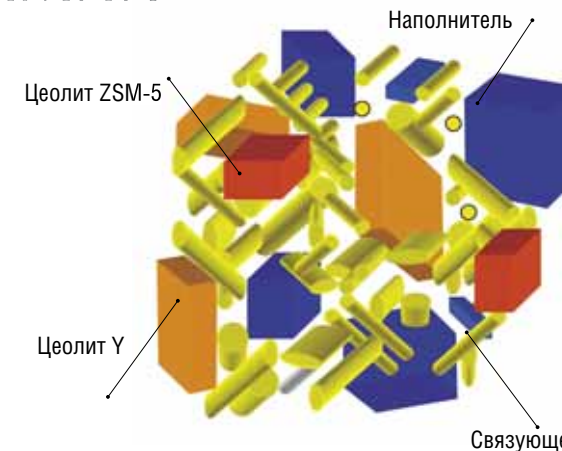
Литература

Доронин В. П., Сорокина Т. П. Химический дизайн катализаторов крекинга // Российский химический журнал. 2007. Т. 51, №4. С. 23–29.

Доронин В. П., Сорокина Т. П., Дуплякин В. К. Катализ в промышленности. 2003. №2. С. 37–42.

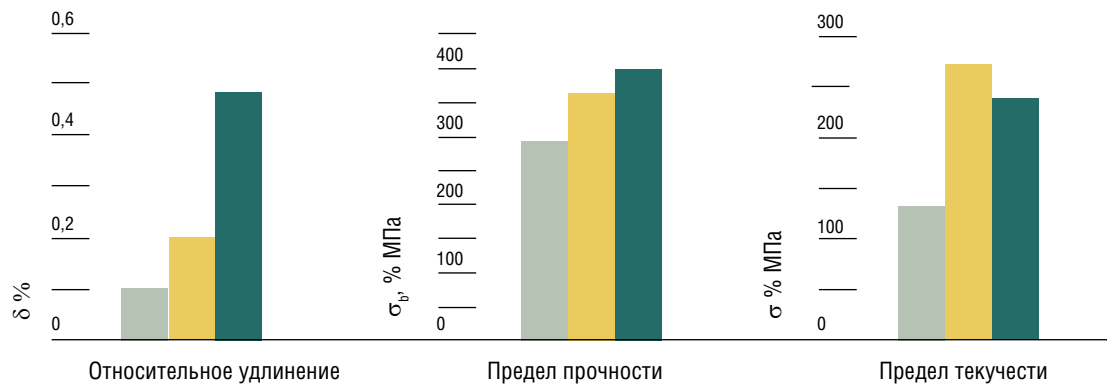
К. т. н. В. П. Доронин (Институт проблем переработки углеводородов СО РАН, Омск)

Ключевые слова: нефтехимия, каталитический крекинг, получение легких олефинов.
Key words: petrochemistry, catalyst cracking, light olefins production



Лазерное преобразование сварки

Впервые в мире предложено производить лазерную сварку в сочетании с добавлением активных нанопорошков и использованием резонансных ультразвуковых колебаний для значительного улучшения структуры сварного шва, не уступающего теперь основному материалу по прочностным характеристикам



Механические характеристики сварного соединения титанового сплава BT-5: относительное удлинение, предел прочности и предел текучести, без добавок и с добавками нанопорошков тугоплавких соединений (серый – без нанопорошка, желтый – с нанопорошком TiN + Cr, зеленый – с нанопорошком TiN + Y₂O₃ + Cr)

Сварка пластин из титанового сплава марки BT-5 толщиной 2 мм (скорость движения луча 2 м/мин, мощность излучения 2 кВт) показала существенное повышение механических характеристик сварного соединения. Используя различные по химическому составу нанопорошковые добавки, можно оптимизировать механические характеристики шва в нужном направлении – повысить его прочностные и пластические характеристики

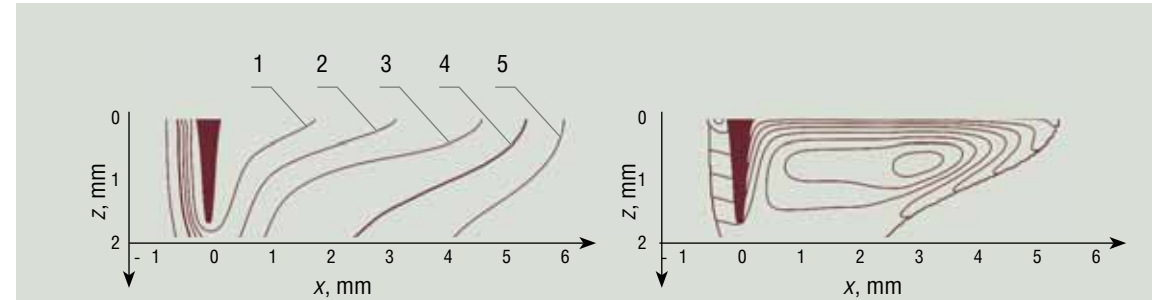
Ключевые слова: CO₂-лазерная сварка алюминиевых и титановых сплавов, низкоуглеродистая сталь, нанопорошок, кристаллическая морфология зерен и дисперсия, механические свойства сварного шва, металлография.

Key words: CO₂-laser welding aluminium and titanic alloys, low-carbon steel, nanopowder, crystal grains morphology and dispersion, mechanical properties of the joint metal, metallographic

В настоящее время существуют разные виды сварки. Однако во всех случаях сварные швы по прочности уступают основному материалу. Эту проблему решают в каждом конкретном случае, добиваясь приемлемых результатов, но в целом проблема остается.

Можно ли добиться прочности сварных швов, не уступающей прочности основного материала? Ответ будет положительным, если удастся решить важную проблему – обеспечить высокое качество материала внутри сварного шва, препятствуя образованию в процессе кристаллизации сложных дендритных структур и пор (газовых пузырьков).

В отличие от традиционной сварки движущийся лазерный луч не плавит материал, а вытесняет его, образуя за собой некую сварную ванночку,



Картина течения и поле температур в сварочной ванне: изотерма 1 – 2800 К, 2 – 2400 К, 3 – 2150 К, 4 – 1881 К (температура ликвидуса), 5 – 1600 К

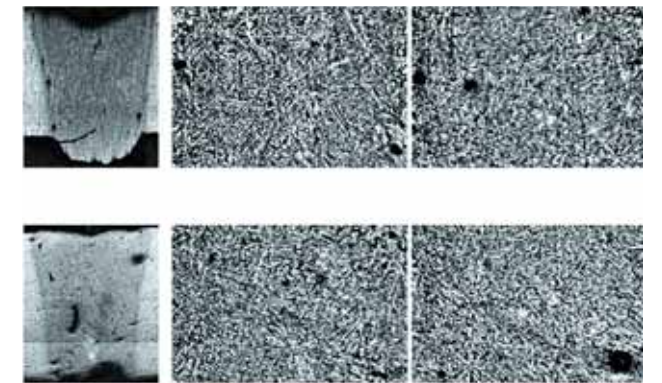
Численное моделирование сварки стальных пластин толщиной 2 мм со скоростью 1 м/мин лазером мощностью 5 кВт

в которой можно создать материал с требуемыми свойствами, в том числе и структурными. При добавлении туда специального нанопорошка его частицы становятся центрами кристаллизации, препятствующими возникновению деструктивных кристаллических образований. Множество центров кристаллизации измельчает структуру шовного материала. Движение лазерного луча способствует тщательному перемешиванию нанопорошка по всей глубине сварного шва. Благодаря этому происходит резкое изменение всех его характеристик, при этом прочность шва становится сравнимой с прочностью основного материала и даже иногда лучше. Вводимые наночастицы особым образом готовятся, активируясь в качестве будущих центров кристаллизации.

С помощью использования ультразвука в сварочной ванне происходит не только рафинирование расплава и уплотнение его структуры, но и убираются возникающие в процессе кристаллизации пузырьки газа. Численное моделирование поведения газовых пузырьков в ванне позволило определить область их резонансных частот. При соответствующем ультразвуковом режиме происходит эффективное схлопывание пузырьков.

В ИТПМ СО РАН выполнены экспериментальные исследования влияния ультразвука на повышение пластических свойств соединений. В результате воздействия ультразвука предел текучести и временное сопротивление разрушению заметно не изменились, но более чем на 20% возросла пластичность.

Проведенные эксперименты показывают, что применение нанопорошков и ультразвука для улучшения структуры шовного материала приводит к образованию сварных швов, не уступающих по прочности (в том числе и усталостной) основному материалу. Эти результаты могут революционным образом изменить многие промышленные отрасли.



Микроструктура сварного шва в алюминиевом сплаве 01420, подвергнутом ультразвуковой обработке, и без нее. В первом случае (вверху) пористость составляла 1.41, во втором – 2.41, при этом после обработки ультразвуком снизился и размер пор

Влияние ультразвука на пористость сварного шва алюминиевого сплава

Литература

Афонин Ю.В., Маликов А.Г., Оришич А.М., Черепанов А.Н. Лазерная сварка низкоуглеродистой стали // III Всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине», 16–19 марта 2009 г. Новосибирск, 2009. С. 7–8

Черепанов А.Н., Афонин Ю.В., Маликов А.Г., Оришич А.М. О применении нанопорошков тугоплавких соединений при лазерной обработке материалов // Тяжелое машиностроение. 2008. № 4. С. 24–26.

Д. ф.-м. н. А.М. Оришич (Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск)

Новые рубежи плазмотронов



Внедренный на предприятиях России плазмотрон для переплава отходов производства титана. Мощность – до 1 МВт, ток дуги – до 3000 А, газ – гелий, ресурс электрода – не менее 200 часов

На основе комплексных исследований плазменно-дуговых процессов получены новые данные по эрозии электродов плазмотронов для широкого спектра материалов в различных газовых средах. Разработаны серии технологических плавильных плазмотронов, используемых в процессе глубокой переработки техногенных отходов

Ключевые слова: плазмотрон, эрозия электродов, электродуговой разряд, плазмотермическая технология, промышленные и бытовые отходы.
Key words: plasmatron, electrode erosion, electric arc-jet discharge, plasmathermal technology, industrial and domestic wastes

Ресурс работы любого плазмотрона определяется временем работы его электродов, которое зависит от интенсивности разрушения материала электрода в зоне переноса тока от плазмы газового разряда, имеющего температуру в диапазоне 10 000–20 000 °С, в металл электрода (или, как говорят, под «пятном» дуги). Эрозия электрода обусловлена высокой плотностью теплового потока, достигающего сотен и тысяч киловатт на квадратный сантиметр его поверхности, химическим взаимодействием с плазмообразующим газом, а также термомеханическими напряжениями под действием термоциклических нагрузок. Все это чрезвычайно осложняет решение проблемы разрушения электродов. Проводимые в ИТПМ СО РАН исследования приэлектродных процессов в дуговых разрядах направлены на выяснение механизмов эрозии

электродов и разработку способов противодействия их разрушению. Получены новые сведения по эрозии широкого спектра материалов (бронза, латунь, дисперсионно упрочненная медь, сплавы меди и серебра) в окислительной, восстановительной и нейтральной газовой среде.

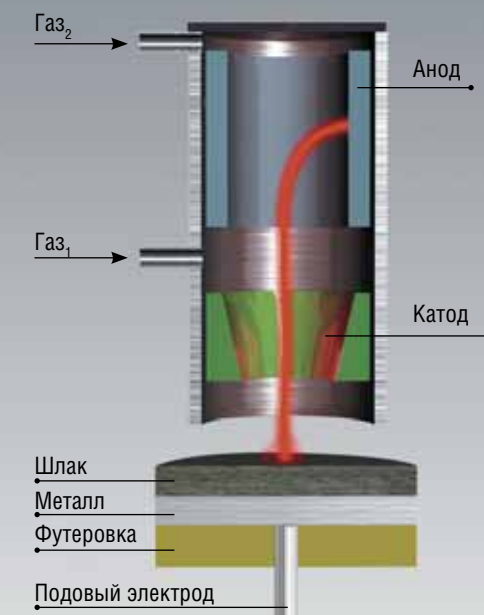
Кроме того, большое внимание уделяется практическому использованию плазмотронов при создании плазмотермических технологий переработки и обезвреживания твердых промышленных и бытовых отходов. В этом контексте электродуговые плазмотроны постоянного тока применяются для переплава и рафинирования различных металлов, выделения и накопления ценных компонентов из техногенных материалов, а также остекловывания неорганической части бытовых, медицинских, промышленных и слаборадиоактивных отходов.

В результате плазмотермической переработки техногенных отходов происходит газификация их органической части с нейтрализацией вредных компонентов и плавление их неорганической части с образованием стекловидного химически инертного шлака. Типичная установка с такой технологией переработки содержит камеру газификации (неполного сжигания) органической части отходов, дожигатель отходящих газов, плавильную камеру с плазмотроном, системы выгрузки и охлаждения расплава и систему очистки отходящих газов.

В подобных технологиях применяются в основном плавильные дуговые плазмотроны. На основании исследований приэлектродных процессов, стойкости электродов из различных материалов, влияния газодинамики и геометрии электродов на величину их эрозии была разработана серия плавильных воздушных плазмотронов в диапазоне мощностей 150–1000 кВт с рабочим током дуги до 1000 А и ресурсом электрода не менее 1000 часов.

Разработанная в институте промышленная серия плазмотронов в настоящее время используется в России при извлечении платины из катализаторов блоков дожигания выхлопных газов автомобилей и при утилизации отходов, содержащих металлы и пластик, а также при переработке асбестосодержащих, медицинских и бытовых отходов в ряде городов Южной Кореи.

Схема устройства и основного режима работы плавильного дугового плазмотрона



Плазмотрон устанавливается на крышке плавильной камеры, которая изнутри футерована жаропрочным материалом. В верхний цилиндрический электрод (анод) вводятся закрученные потоки газа. Электрическая дуга горит между анодом и промежуточным соплом (катодом), нагревая поток газа до температур 3000–5000 К. Это режим работы плазмотрона в струйном режиме. Горячая струя газа расплавляет неэлектропроводный перерабатываемый материал, который приобретает электропроводность, после чего сопло (катод) отключается контактором от цепи электропитания. Дуга начинает гореть между анодом и поверхностью расплавленного металла (или шлака). Это основной режим работы плазмотрона. При плавке электропроводного материала этот режим реализуется практически сразу.

Литература

Лукашов В.П., Ващенко С.П., Багрянцев Г.И., Пак Х.С. Плазмотермическая переработка твердых отходов // Экология и промышленность России. 2005. № 10. С. 2–7.

К. т. н. В. П. Лукашов, С. П. Ващенко (Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН, Новосибирск)

3D диагностика – просто, точно, доступно

Учеными Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН (Новосибирск) разработан оригинальный метод трехмерной диагностики сложных объектов, основанный на использовании пространственно-временной модуляции оптического источника. При простоте реализации он превосходит аналоги по точности на порядок



Метод прецизионного контроля 3D-геометрии крупногабаритных изделий в процессе производства прошел промышленные испытания на крупнейшем предприятии отечественного гидротурбостроения — филиале ОАО «Силловые машины» «ЛМЗ» в Санкт-Петербурге. На фото справа – лопасть гидротурбины и две проекции ее 3D-профиля

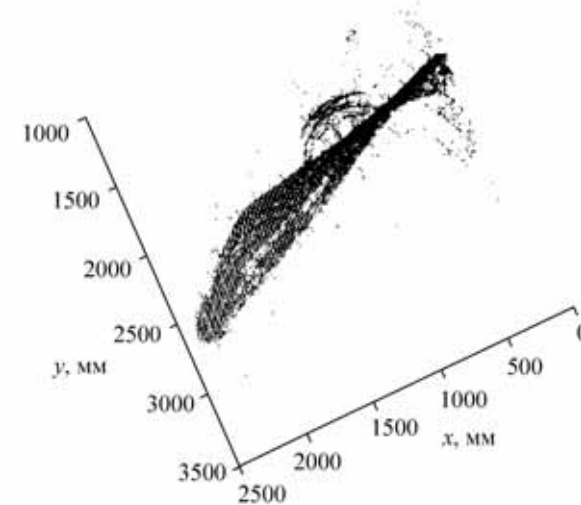
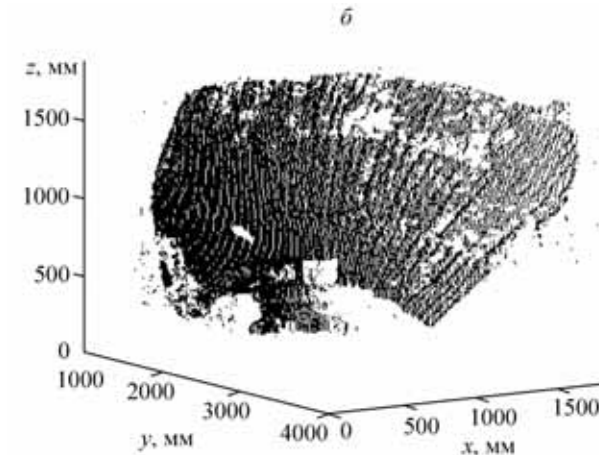
Проектирование и создание сложных крупногабаритных промышленных объектов требует текущей диагностики их трехмерной (3D) геометрии. В мире уже существуют лазерные комплексы, которые сканируют объекты лучом, производят компьютерную обработку данных и вычисляют трехмерные координаты объекта. Такие комплексы сложны в использовании и довольно дороги, поэтому пока мало распространены.

Мировым лидером производства турбин для гидроэлектростанций ОАО «Силловые машины»–«ЛМЗ» (Санкт-Петербург) была сформулирована задача создания импортозамещающей технологии для диагностики геометрии лопастей турбин в процессе их производства, отличающейся высокой надежностью, эффективностью и низкой стоимостью. Ученые ИТ СО РАН предложили новый оригинальный метод трехмерной диагностики

объекта, основанный на использовании пространственно-временной модуляции оптического источника.

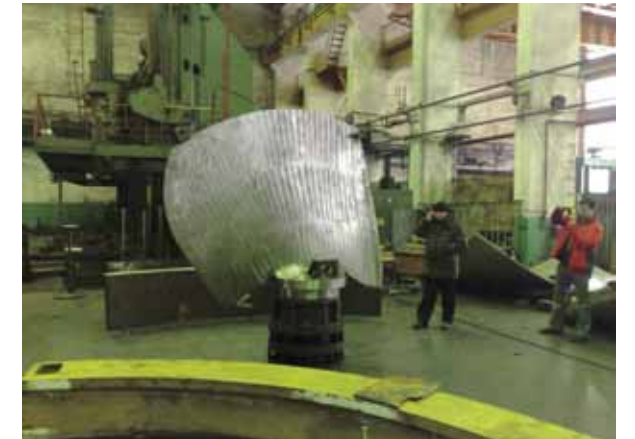
Принцип измерения 3D-геометрии заключается в следующем: компьютер с соответствующим программным обеспечением генерирует световые сетки на объекте, а видеокамера, расположенная сбоку, принимает изображения объекта и передает их в компьютер. Неровности поверхности объекта вызывают деформации проецируемых сеток. Новый метод позволяет считывать информацию в условиях мощных помех и сильных изменений отражающих свойств измеряе-

Ключевые слова: фазовая триангуляция, 3D оптические измерения, методы искусственного интеллекта, адаптивные системы
Key words: phase triangulation, 3D optical metrology, artificial intelligence, adaptive systems



мых поверхностей. Компьютер обеспечивает интерактивность комплекса, управляющего засветкой, чтением данных с камеры, процедурой адаптации и селекцией точек с особенностями в процессе набора статистики до достижения необходимой точности измерения. При получении результата, удовлетворяющего заданным критериям, измерение заканчивается. По точности новый метод превосходит аналоги на порядок.

Важным вопросом для всех измерительных комплексов является калибровка системы, после которой результаты приводятся к стандартной декартовой системе координат. Система отсчета привязывается к известной точке в пространстве, и в компьютере выстраивается правильная система координат, связанная с системой автоматического проектирования. В процессе калибровки и измерений компьютер постоянно обучается на основе реализованных в системе алгоритмов искусственного интеллекта. Процесс обучения существенно сокращает время последующих измерений и увеличивает их точность.



Большой диапазон светоотражающих свойств поверхности исследуемых объектов осложняет процесс измерения. Для решения этой проблемы в зарубежных аналогах измеряемые объекты покрываются белой матовой краской. Метод, разработанный новосибирскими учеными, решает эту проблему по ходу адаптивного процесса измерения: компьютер детектирует точки с повышенными отражательными свойствами и подстраивает яркость источника в выделенных областях.

Отличительными особенностями метода 3D-диагностики являются высокая точность, простота и низкая стоимость его реализации, большой динамический диапазон и принципиально новые функциональные возможности. Новая технология может использоваться в энергетике, машиностроении, строительстве, транспорте и дизайне.

Меледин В.Г. Информатика оптоэлектронных измерений: наука и инновационные промышленные технологии Новосибирск: Изд-во ИТ СО РАН, 2008. 75 с.

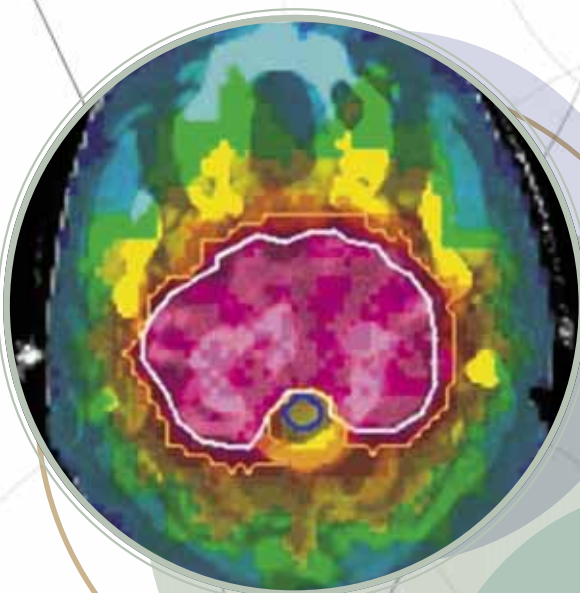
Патент РФ № 2334195. Двойнишников С.В., Аникин Ю.А., Главный В.Г., Меледин В.Г. «Способ бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов». Публикация 20. 09. 2008. Бюл. № 26.

Заявка 2009134025(047884), приоритет от 10. 09. 2009 г. Двойнишников С.В., Меледин В.Г. «Способ бесконтактного измерения линейных размеров трехмерных объектов». 2009.

Meledin V.G. Informatics of Optoelectronic Measurements: Science and Innovative Industrial Technologies // Journ. Engineering Thermophysics. 2009. V.18. N. 2. P. 99–128.

Д. т. н. В.Г. Меледин (Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, Новосибирск)

Для здоровья нации



Сибирский центр генетических ресурсов

Инфраструктура СО РАН пополнилась новым уникальным объектом – SPF-виварием Института цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск), центром коллективного пользования для исследований на лабораторных животных

За последние четверть века во всех развитых странах мира требования к организации работ с использованием лабораторных животных ужесточились. «SPF-виварий» – это помещение для содержания и разведения лабораторных животных стандарта SPF («Specific Pathogen Free»), т. е. свободных от патогенных микроорганизмов. Ведь любые инфекции являются источником изменчивости экспериментальных данных, снижающим надежность полученных результатов.

Именно на таких животных, содержащихся в жестко контролируемых условиях, согласно международным правилам, проводятся в настоящее время основные фундаментальные и прикладные исследования, ориентированные на создание новых подходов к лечению болезней и повышению физического и социального благополучия людей, в том числе проведение доклинических испытаний лекарственных препаратов и оценка биобезопасности новых материалов и продуктов.

Но содержание SPF-животных – лишь одна сторона медали. Сегодня в мире существует уже более 20 тыс. генетических линий лабораторных мышей. Темпы работ по созданию «генетических моделей» – экспериментальных лабораторных животных с заданными генетическими свойствами – в последние годы настолько ускорились, что уже в ближайшее 20 лет их число превысит 300-тысячный рубеж.

Упорядочением и организацией работ в этой области занимаются объединенные международными организа-

Ключевые слова: лабораторные животные, стандарт SPF, генетические модели, генетическая линия.

Key words: laboratory animals, SPF standards, genetic animal models, genetic animal strain

циями 22 национальных Центра генетических ресурсов лабораторных животных, расположенных в Северной Америке, Европе, Азии и Австралии.

До недавнего времени в России аналога подобных центров не существовало – функционировали лишь два «SPF-полигона» в Европейской части страны, притом что в региональных отделениях РАН и РАМН широко велись работы с использованием подопытных животных. Но ограниченное генетическое разнообразие последних серьезно тормозило фундаментальные исследования, а условия их содержания, не отвечающие современным стандартам, препятствовали продвижению инновационных разработок на внешние рынки.

В новом центре будут проводиться исследования по фундаментальным проблемам «постгеномной» системной биологии и работы, связанные с экспериментальными генетическими моделями болезней человека. Центр также станет полигоном для проведения широких доклинических испытаний фармацевтических препаратов и работ, связанных с оценкой новых материалов и продуктов питания, включая наноматериалы и продукты с генно-модифицированными компонентами. В исследованиях будут принимать участие студенты и магистранты вузов, в том числе медицинских, одновременно приобретая навыки экспериментальной работы на уровне мировых стандартов.

Литература

Мошкин М. П. Постгеномная эра или Зачем нужны 300 тысяч линий мышей. // НАУКА из первых рук. 2008. №4(22). С. 16–51.

Д. б. н. М. П. Мошкин (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)

«Клетка» ДЛЯ КЛЕТОК

Ученые из Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и Института физики полупроводников им. В.А. Ржанова СО РАН (Новосибирск) разработали новый метод выделения редких популяций клеток из крови и других биологических образцов, основанный на использовании микроканальных кремниевых матриц

Методы, позволяющие быстро и незатратно выделять популяции жизнеспособных клеток из тканей и биологических жидкостей, востребованы в областях клеточной биологии, иммунологии и онкологии. Особый интерес они представляют для малоинвазивной медицинской диагностики, в частности, для выделения из крови таких редких циркулирующих клеток, как клетки опухолей у онкобольных или клетки плода у беременных женщин. Цитогенетический анализ хромосом таких клеток позволяет не только получать информацию о причинах онкотрансформации клеток и детектировать патологии развития плода, но и получать принципиально новые диагностические данные (например, о метастатическом потенциале, генетическом профиле и лекарственной устойчивости раковых клеток).

В обычных клеточных сортерах клетки поодиночке проходят через измерительное окно, где детектируется светорассеяние или флуоресценция, а затем клетки сортируют на основе этих данных. В последнее время для клеточной сепарации все чаще предлагается использовать микрофлюидные устройства. Такие приборы, изготавливающиеся, как правило, способом фотолитографии, представляют собой структуру с системой микроканалов, устройством для подачи и контроля расхода жидкости и клеточным детектором.

Новые технологии обработки кремниевых материалов, применяемые в микроэлектронике, позволяют сегодня получать принципиально новые пористые структуры – микроканальные кремниевые матрицы (МКМ), которые можно использовать как уникальные мембраны в исследованиях в области современной молекулярной и клеточной биологии.

Технология получения МКМ позволяет с высочайшей точностью контролировать пористость, форму и размеры сечения сквозных микроканалов (период ячейки 4–30 мкм), а также их длину (от десятков

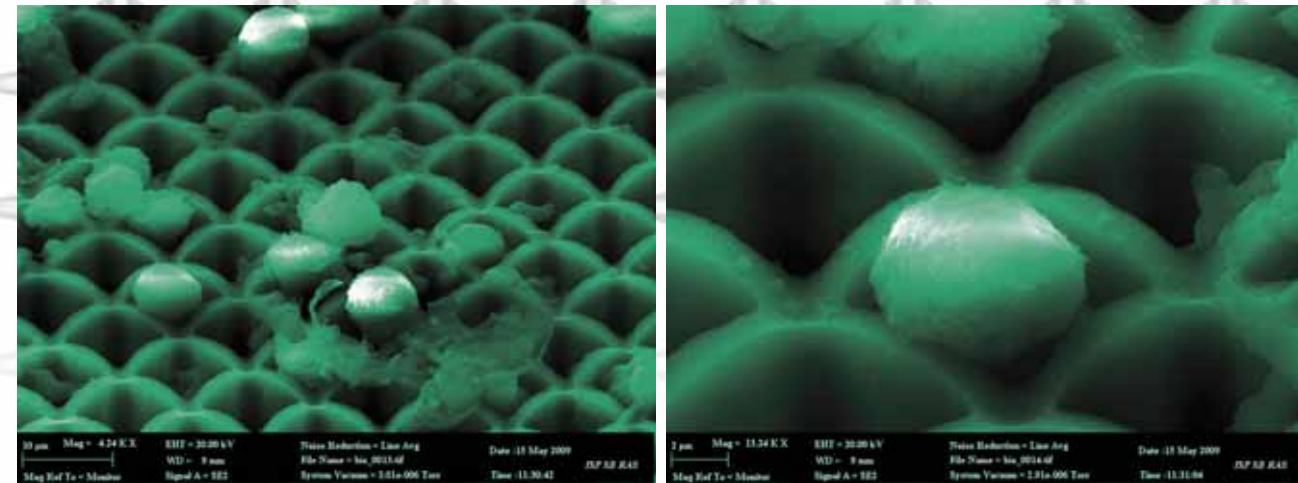
Ключевые слова: клеточная сепарация, минорные популяции клеток, микроканальные кремниевые матрицы
Key words: cell separation, minor cell population, silicon microchannel matrix

до сотен мкм). Поверхность таких матриц, состоящая из окиси кремния, дает возможность иммобилизовать на стенках микроканалов специфические лиганды – вещества, играющие роль своеобразных «якорей». Прочные устройства на основе наборов МКМ с разными структурными характеристиками позволяют выделить из гетерогенных клеточных пулов редкие клетки-мишени, представляющие интерес для исследования или медицинской диагностики.

В ИФП СО РАН созданы микрофлюидные системы на основе микроканальных кремниевых матриц и подобраны оптимальные гидродинамические условия сепарации клеток. МКМ изготавливаются по разработанной в институте уникальной технологии, основанной на анодном травлении пластин из монокристаллического кремния. Такой способ изготовления позволяет получать по всей площади матрицы сквозные каналы одинакового сечения и с параллельными стенками, имеющими высокий класс чистоты поверхности. Матрицы отличаются высокой степенью пористости, а в силу особенностей процесса изготовления каналы расширяются по направлению к входной поверхности, что дополнительно увеличивает ее пористость и уменьшает сопротивление потоку жидкости.

По оценочным данным при скорости потока до 20 мл/мин (через матрицу диаметром 8 мм) в каналах МКМ формируется ламинарный неравномерный поток, благодаря чему клетки испытывают минимальный «стресс». С другой стороны, при такой скорости потока клетки размером 2 мкм по крайней мере один раз сталкиваются со стенками канала и могут взаимодействовать с адсорбированными там лигандами к клеточным рецепторам.

Экспериментальная оценка гидродинамических условий протекания клеточной суспензии через МКМ показала, что основное сопротивление потоку оказывает не сама матрица, а капилляры, через которые подаются клетки. Выяснилось, что перепад давления в 30 мм водного столба оптимален для их размер-селективного разделения, т.е. клетки, диаметр которых не намного больше эффективного радиуса канала, не продавлива-



Онкотрансформированные клетки *HeLa* на поверхности микроканальной матрицы с периодом ячейки 10×10 мкм. Сканирующая электронная микроскопия. ЦКП «Наноструктуры» при ИФП СО РАН им. В.А. Ржанова

ются через матрицу, а остаются над ней. Такие условия сепарации не влияют на целостность клеточных мембран и общую жизнеспособность клеток.

Удивительной особенностью МКМ оказалась их способность «фильтровать» цельную кровь, представляющую собой необычный «раствор», наполовину состоящий из клеточного материала, который крайне трудно продавить даже через поры, намного превышающие размер обычного эритроцита диаметром около 7 мкм. Таким образом, параллельность и «гладкость» стенок, а также высокая пористость поверхности МКМ делают эти структуры уникальными клеточными фильтрами.

С помощью многоканальных матриц клетки можно разделять по двум характерным признакам: размеру и строению поверхности. Например, раковые клетки эпителиального происхождения, как правило, больше по размеру клеток крови. Кроме того, эти клетки и циркулирующие в материнской крови мелкие плодные клетки несут на своей поверхности специфические белки-рецепторы, отсутствующие на поверхности нормальных клеток крови. Зафиксировав на поверхности каналов МКМ специфические антитела к таким рецепторам, можно «заякорить» нужные клетки в каналах матрицы, и, после отмывки, собрать их.

Чтобы присоединить антитела к матрице, ее поверхность нужно функционализировать – ввести химически активные или маркер-специфичные группировки. В ИХБФМ СО РАН были разработаны методы функционализации поверхности МКМ, а также определены условия ковалентного присоединения антител к поверхности матрицы.

Для оценки эффективности работы подобных структур было проведено исследование по выделению цир-

кулирующих раковых клеток из крови больных раком молочной железы (наличие их является признаком возможного метастазирования), а также эмбриональных клеток из крови матери. С помощью МКМ из крови 5 из 7 больных раком молочной железы на поздней стадии были выделены циркулирующие клетки опухолей. В крови беременных (на 6–7 месяце) плодные клетки были обнаружены лишь в 3-х образцах из 8. Вероятно, что высокая эффективность выделения раковых клеток связана с тем, что они «фиксировались» на матрице не только при помощи антител, но и за счет большого размера, а эффективность выделения мелких плодных клеток определялась только качеством используемых коммерческих антител.

Тем не менее, эти результаты демонстрируют, что устройства на основе МКМ могут быть использованы для клеточной сепарации. Этот метод, не требующий специального дорогостоящего оборудования, в перспективе должен найти применение в практической медицинской диагностике.

Литература

Nagrath S., Sequist L.V., Maheswaran S. et al. Isolation of rare circulating tumour cells in cancer patients by microchip technology // *Nature*. 2007. V. 450. P. 1235–1239.

Романов С.И., Пышный Д.В., Вандышева Н.В. и др. Кремниевая микроканальная матрица для биочиповых технологий // *Нано- и микросистемная техника*. 2007. № 9. С. 55–61.

К.б.н. П.П. Лактионов, к.х.н. Д.В. Пышный (ИХБФМ СО РАН, Новосибирск),
к.ф.-м.н. С.И. Романов (ИФП СО РАН, Новосибирск)

«Ионная» терапия рака

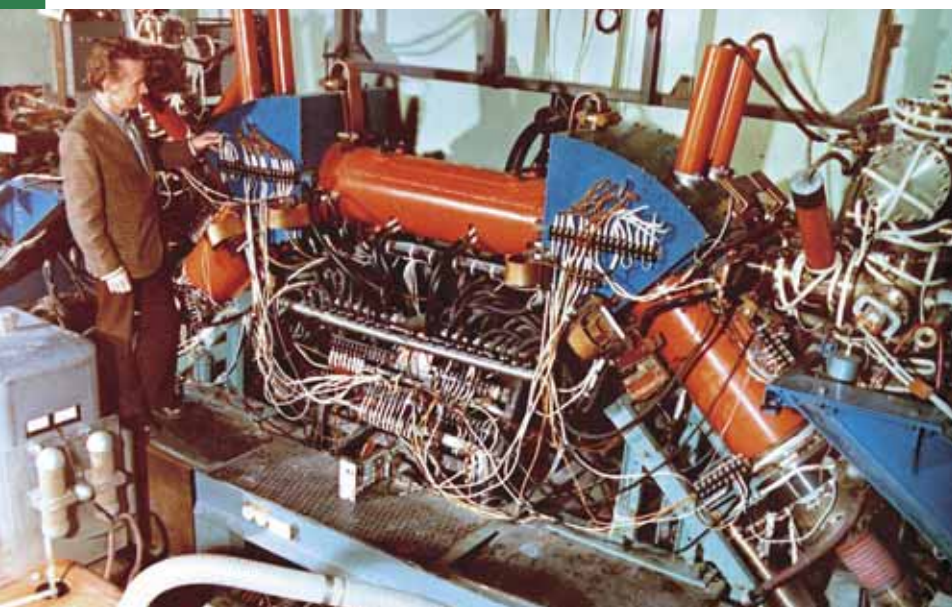
Установки электронного охлаждения ионных пучков, созданные в Институте ядерной физики СО РАН (Новосибирск), используются в комплексе для лечения онкозаболеваний высокоэнергичным пучком ионов углерода. Этот метод, гораздо более эффективный и безопасный по сравнению с обычной рентгенотерапией, в 2009 г. уже опробован в КНР, где показал хорошие результаты

Метод электронного охлаждения ионных пучков был предложен еще в 1966 г. академиком Г. И. Будкером. Эту идею, поначалу встреченную скептически, удалось осуществить десять лет спустя. В экспериментах, которые были проведены в ИЯФе, температуру протонного пучка удалось уменьшить с нескольких миллионов до нескольких десятков градусов по Кельвину, а его диаметр – с нескольких сантиметров до долей миллиметра. В дальнейшем этот метод стал широко применяться во многих мировых ускорительных центрах.

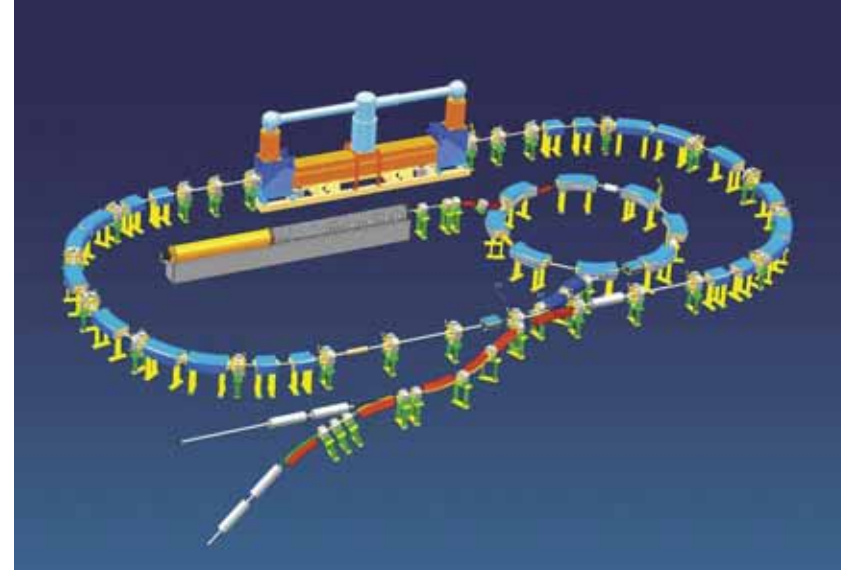
Ионные пучки такого качества нужны для решения как фундаментальных, так и прикладных задач. Сегодня в мире создано несколько десятков установок, основанных на этом методе и служащих для различных целей. Самая крупная из них охлаждает антипротонный пучок на протон-антипротонном комплексе ТЭВАТРОН в США (электронный охладитель для антипротонов создавался командой выходцев из ИЯФа).

В течение многих лет специалистами из Института ядерной физики продолжались работы по развитию метода электронного охлаждения. Но отсутствие спроса на высокотехнологическую продукцию внутри страны стало поводом для выхода на внешний рынок – производство установок по контрактам началось для Германии, Китая, Швейцарии. Первая из них была создана для немецкого синхротрона SIS-18 с целью повышения интенсивности редких ионов. Она работает до сих пор, и в 2009 г. использовалась в экспериментах по накоплению редких ионов рутения (кстати, открытого в 1844 г. и названного в честь Руси Карлом Клаусом, немцем, работавшем тогда в Казанском университете). В 2007 г. еще одна установка для охлаждения ионов свинца, созданная в ИЯФе, заработала в инъекционном комплексе самого большого коллайдера ЛНС, построенном в Женеве.

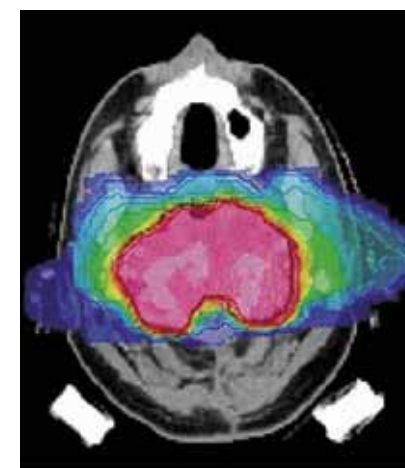
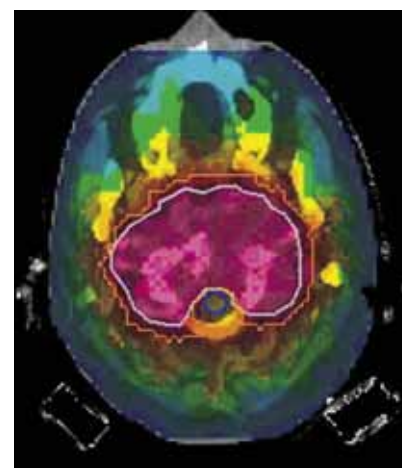
Но особо актуальна возможность применения метода электронного охлаждения в медицине, а именно



Первая в мире установка электронного охлаждения. Справа сверху показан атомарный пучок с диаметром менее 1 мм, возникающий в результате рекомбинации и прошедший расстояние 10 м до попадания на пленку. Угловой разброс пучка существенно меньше 10^{-5} , а температура в сопутствующей системе составляет порядка 10 К



Проект углеродного комплекса для лечения рака с использованием метода электронного охлаждения. Ионы углерода ускоряются в небольшом линейном ускорителе и инжектируются в кольцевой бустер. Оттуда они направляются в основное кольцо с электронным охлаждением, где и накапливаются, затем снова посредством охлаждения, направляются в каналы распределения



Компьютерный план распределения дозы, полученный при использовании рентгеновской терапии с девяти направлений (слева), и углеродной терапии с двух направлений (справа). Видно, что доза, полученная здоровыми тканями, при рентгеновской терапии значительно больше, чем при ионной. Более четкий контур высокой дозы при применении ионной терапии позволяет получать хороший терапевтический эффект за счет быстрого восстановления прилегающих к опухоли тканей

в онкологии. При обычной терапии рентгеновскими лучами максимум дозы облучения достигается на момент входа пучка излучения в тело пациента, однако по мере достижения опухоли она заметно снижается. Для компенсации этого эффекта облучение производят со многих направлений, в результате чего опухоль получает максимальную дозу, а облучение здоровых тканей не достигает опасного предела, хотя и достаточно велико.

В случае использования высокоэнергичного пучка ионов ситуация складывается иным образом. По мере торможения пучка в теле пациента ионизация возрастает, и максимальный разрушающий эффект наблюдается в зоне опухоли. Малый размер ионного пучка позволяет легко его фокусировать, направляя из различных положений на участок ракового поражения. Это дает возможность сконцентрировать большую плотность излучения только в новообразовании, при этом сводя ее к минимуму в здоровых тканях.

Ключевые слова: охлаждение пучков, ионная терапия, медицинские ускорители.
Key words: beam cooling, cooler, ion therapy, medical accelerators

В Китайском научном центре IMP (провинция Ланджоу) создан ионный комплекс с двумя установками электронного охлаждения, сконструированными и построенными в ИЯФ СО РАН. В 2009 г. на них было проведено лечение первых десятков больных, которое дало хорошие результаты. Правительство провинции выделило крупные средства на создание специализированного центра углеродной терапии. Подобных установок в России нет, и если в ближайшие годы аналогичное финансирование не будет выделено, наши соотечественники, нуждающиеся в антираковой терапии, будут вынуждены обращаться за ней за границу.

Литература

Будкер Г.И., Скринский А.Н. *Электронное охлаждение и новые возможности в физике элементарных частиц* // УФН. 1978. Т. 124. С. 561.

Parkhomchuk V. V., Skrinisky A. N. *Cooling Methods for Charged Particle Beams* // *Reviews of Accelerator Science and Technology*. 2008. V.1. P. 237–257.

Патент № 93026, «Ускорительный Комплекс для терапии рака протонными и ионными пучками» зарегистрирован 20 апреля 2010 г.

Чл.-корр. В. В. Пархомчук (Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН, Новосибирск)

Нуклеазы ПРОТИВ МЕТАСТАЗОВ

В Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) в рамках интеграционного проекта с Институтом цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск) обнаружена и изучается противоопухолевая и антиметастатическая активность нуклеаз – природных ферментов, которые уже используются в медицине как средства противовирусной терапии

Как известно, одной из самых больших проблем в онкологии, как и основной причиной смертности раковых больных, является *метастазирование* первичной опухоли, т.е. ее способность образовывать вторичные очаги опухолевого роста. Впервые вопрос о противоопухолевом потенциале фермента ДНКазы I был поднят еще в конце 1960-х гг. выдающимся новосибирским биохимиком Р.И. Салгаником в работе, опубликованной в престижной «Nature» (Salganik et al., 1967). Отдельные исследования, посвященные изучению противоопухолевых свойств нуклеаз, были выполнены затем лишь четверть века спустя (Sugihara et al., 1993; Source et al., 1996; Newton et al., 2001).

Ученые из ИХБФМ СО РАН изучили противоопухолевое и антиметастатическое действие РНКазы А и ДНКазы I на двух моделях метастазирующих опухолей мышей – карциноме легких Льюис и гепатоме А1. Оказалось, что эти ферменты проявляют антиканцерогенную активность при очень низких концентрациях, много меньше используемых терапевтических доз.

Так, при внутримышечном введении РНКазы А в дозах 0.1–50 мкг/кг замедляет рост первичной опухоли на 20–40%. РНКазы А и ДНКазы I

Ключевые слова: метастазы, ДНКазы I, РНКазы А.
Key words: metastases, DNAase I, RNAase A



Антиметастатическую активность нуклеаз можно оценить по гистотопограмме долей легких мышей С57В1/6 с карциномой легких Льюис – модели рака, метастазирующего в легкие. Окрашивание гематоксилином и эозином

I в небольших дозах (35–7 мкг/кг и 0.02–2.3 мг/кг соответственно) способствует значительному снижению числа и общей площади метастазов метастазирующих опухолей.

Гистологическое исследование органов-мишеней показало, что введение нуклеаз вызывает разрушение опухолевых клеток, увеличение числа некрозов и апоптозов (самоуничтожений клеток) в очагах метастазирования, а также инфильтрацию очагов клетками иммунной системы.

Эти результаты свидетельствуют, что РНКазы А и ДНКазы I могут быть использованы в качестве терапии сопровождения при лечении метастазирующих форм опухолей. Однако этому должна предшествовать стадия стандартных доклинических и клинических испытаний препаратов. Это длительный и дорогостоящий процесс, однако он требуется даже в тех случаях, когда лекарственное средство разрешено к применению в медицинской практике, если меняется дозировка либо заболевание-мишень.

Патутина О.А., Миронова Н.Л., Рябчикова Е.И. и др. Противоопухолевое и антиметастатическое действие РНКазы А и ДНКазы I // *Acta Naturae*. 2010.

Шкляева О.А., Миронова Н.Л., Малкова Е.М. и др. Онкосупрессивное действие РНКазы А и ДНКазы I // *Докл. РАН*. 2008. Т. 420, № 1. С. 134–138.

Д.б.н. М.А. Зенкова (Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск)

Вирус гриппа: врага знать в лицо

В Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) при финансовой поддержке Министерства здравоохранения США разработан микрочип для типирования вируса гриппа типа А

Вирус гриппа невозможно искоренить путем массовой вакцинации. Одна из причин – его уникальная изменчивость. В состав генома вируса гриппа входят восемь обособленных генов, тогда как генетический материал большинства других вирусов не фрагментарен. Это позволяет различным вирусам гриппа обмениваться отдельными генами, в результате чего образуются вирусы, обладающие принципиально новыми свойствами.

Гриппом болеют не только люди, но и свиньи, коровы, лошади и т.д. И все же наибольшее количество разнообразных вариантов вирусов гриппа циркулирует среди диких птиц. Известно всего три типа вируса, вызывающих грипп у человека, и более 60 типов вирусов, распространенных среди птиц.

Важной задачей вирусологических исследований является изучение эволюции вирусов гриппа А в процессе взаимодействия вирусных популяций диких птиц, домашних животных, человека и процессов формирования штаммов с эпидемическим потенциалом. Для этого в ключевых точках земного шара (в том числе в России) ведется постоянный мониторинг в рамках международной программы ВОЗ. Эта работа нужна для прогнозирования состава вакцин, оценки эффективности существующих противовирусных препаратов, а также для создания генофонда

Ключевые слова: вирус гриппа, микрочип
Key words: influenza virus, microchip

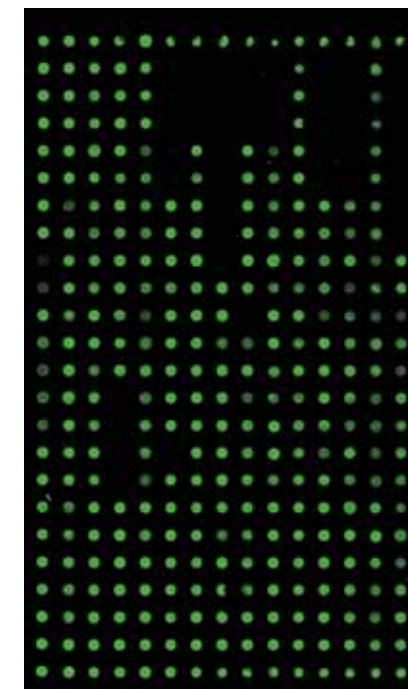
вирусов гриппа, необходимого для производства соответствующих вакцин.

Созданный в ИХБФМ СО РАН микрочип представляет собой стеклянную подложку, на которой иммобилизованы так называемые зонды – небольшие нуклеотидные последовательности длиной до 30 звеньев. Зонды представляют собой синтезированные на автоматических синтезаторах фрагменты различных вирусных геномов. Структура каждого зонда выбрана таким образом, что он специфически связывается только с одним определенным субтипом вируса гриппа. Каждый зонд наносится на определенный участок микрочипа, представляющий круг размером до 300 мкм.

Микрочип способен определять субтипы вируса гриппа, выделенные от разных носителей (птиц, коров, свиней, человека). В дальнейшем предполагается расширить его функциональные возможности: дополнить зондами, позволяющими предсказывать потенциальную патогенность анализируемого штамма и его устойчивость к противовирусным препаратам.

В настоящее время микрочип предполагается апробировать на штаммах вируса гриппа из Института вирусологии им. Ивановского (Москва), Института гриппа (Санкт-Петербург), а также на изолятах вируса гриппа, собранных ГНЦ ВБ «Вектор» (Новосибирск).

К.х.н. А.Н. Синяков
(Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск)



Микрочип (вверху) и фрагмент микрочипа, на котором нанесены зонды для типирования гена гемагглютинина, одного из поверхностных белков вируса гриппа (флуоресцируют точки специфического связывания)

Фундаментальная — прикладной

Электронный пучок дает жизнь топливному элементу

Томские ученые предложили использовать особенности сильнотоочного электронного пучка в производстве топливных элементов для водородной энергетики

Фундаментальные исследования по воздействию импульсных сильнотоочных электронных пучков на поверхность твердых тел с целью модификации их свойств ведутся в Институте сильнотоочной электроники СО РАН более двух десятилетий. Столь устойчивый интерес обусловлен способностью таких электронных пучков плавить поверхность любых материалов. Важно, что при этом существенно изменяются свойства самих поверхностей: уменьшается шероховатость, увеличивается коррозионная стойкость и т.д. Этот эффект нашел и практическое применение. В частности, электронно-пучковая обработка стала незаменимой в финишной полировке сложных металлических деталей.

Недавно у электронного пучка появились интересные перспективы в области производства твердооксидных топливных элементов для водородной энергетики, которые несмотря на высокий КПД, бесшумность и долгий срок службы до сих пор не нашли широкого применения из-за отсутствия экономически приемлемой технологии их получения.

Топливный элемент является электрохимическим генератором, преобразующим энергию химического взаимодействия водорода и кислорода в электрическую. Цент-

ральная часть элемента представляет собой трехслойный сэндвич, состоящий из анода, электролита и катода. Анод – это металлокерамическая пластинка с пористостью до 40%, состоящая из смеси гранул никеля и оксида циркония. Поры нужны для поступления водорода к границе анода с керамическим электролитом (стабилизированная иттрием окись циркония), который должен быть уже газонепроницаемым. Для снижения рабочей температуры топливного элемента необходимо получить такой электролит толщиной всего в несколько микрометров. Для решения этой задачи предложено использовать электронный пучок.

Эксперименты показали, что при соответствующем выборе параметров достаточно одного импульса электронного пучка, чтобы расплавить поверхность металлокерамического анода на глубину около 1 мкм. Пористость переплавленного

слоя становится на порядки меньше, чем у всей анодной пластинки. Пленка электролита, наносимая на такую модифицированную поверхность анода (например методом реактивного магнетронного распыления), становится практически газонепроницаемой уже при толщине 1–2 мкм. Опытные образцы топливных элементов, изготовленные с использованием предложенного метода, продемонстрировали высокие рабочие параметры.

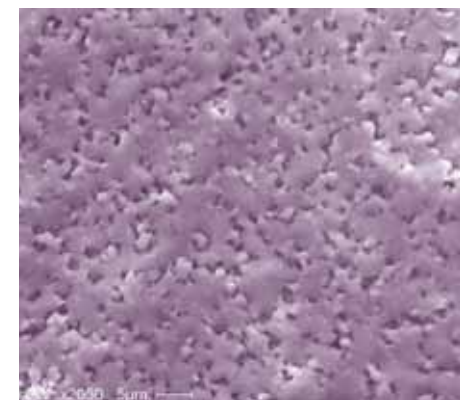
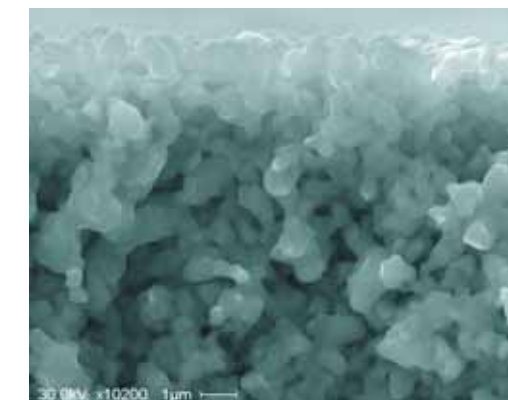
Литература

Соловьев А.А., Сочугов Н.С., Шипилова А.В. и др. Импульсная электронно-пучковая модификация поверхности пористых анодов твердооксидных топливных элементов // Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 9. С. 27–32.

*К.ф.-м.н. Н.С. Сочугов,
к.ф.-м.н. А.В. Батраков
(Институт сильнотоочной электроники
СО РАН, Томск)*

Ключевые слова:

твердооксидный топливный элемент, электронный пучок, магнетронная распылительная система
Key words: solid oxide fuel cell, electron beam, magnetron spraying system



СЭМ-изображения излома (слева) и поверхности обработанного электронным пучком анода твердооксидного топливного элемента. Толщина слоя плавления около 1 мкм

Прикус титановой прочности

На XII Международном салоне промышленной собственности «Архимед-2009» Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (Томск) был награжден в специальной номинации «Лучшее изобретение в сфере нанотехнологии» за разработку «Дентальные имплантаты из объемного наноструктурного титана»

Титан является материалом, хорошо подходящим для производства имплантатов различного назначения – в травматологии, челюстно-лицевой хирургии, ортопедии, стоматологии. Он устойчив к коррозии, имеет малый удельный вес, поэтому изделия из этого металла получаются прочные и относительно легкие. Титан не оказывает токсического, аллергенного и канцерогенного воздействия на организм, не вызывает воспалительной реакции в окружающих тканях.

Дентальные имплантаты, в разработке которых ИФПМ СО РАН выступал как головная организация, изготовлены из наноструктурированного титана марки BT1-0. Наноструктурированное состояние достигается методами интенсивной пластической деформации. В результате получается материал, по свойствам сопоставимый с легированными титановыми медицинскими сплавами, но при этом свободный от таких вредных для организма человека легирующих элементов, как алюминий, ванадий и молибден.

На имплантаты можно также наносить специальное биоактивное резорбируемое кальций-фосфатное покрытие, которое способствует костеобразованию без риска возникновения воспалительных процессов. Его получают с помощью метода микродугового оксидирования поверхности имплантатов на разработанной в институте установке MicroArc-3.0.

Особенности конструкции обеспечивают имплантатам ряд достоинств: первоначальную устойчивость при введении в костную ткань челюсти; сокращение длительности операции имплантации и снижение степени травмирования костной ткани; плотный контакт

Ключевые слова: дентальный имплантат, наноструктурированный титан, микродуговое оксидирование.
Key words: dental implantat, nanostructured titanium, microarc oxidation



Комплект дентальных имплантатов из наноструктурированного титана состоит из внутрикостных винтовых имплантатов 3-х типов конструкций. В комплект входят принадлежности и инструменты, необходимые для выполнения необходимых хирургических и ортопедических процедур

костной ткани с поверхностью имплантата; капиллярное заполнение кровью элементов конструкции. В результате срок приживления имплантатов значительно уменьшается: при выполнении операции на нижней челюсти – на 30%, на верхней – на 15%.

Авторские права на имплантаты нового типа защищены патентами РФ. Завершена подготовка начального этапа производственного процесса: в институте созданы участки интенсивной пластической деформации для получения прутков наноструктурированного титана и микродугового оксидирования для нанесения покрытий. Ориентировочная средняя стоимость имплантата будет составлять 2 тыс. руб., что значительно дешевле зарубежных аналогов.

Шаркеев Ю.П., Данилов В.И., Ерошенко А.Ю. и др. Особенности структуры и деформационного поведения объемно-наноструктурного титана, полученного при интенсивной пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. 2007. №7. С. 27–31

Д.ф.-м.н. Ю.П. Шаркеев (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск)

Флора Сибири – для российской фармацевтики

В Институте органической химии им. Н. Н. Ворожцова СО РАН (Новосибирск) совместно с другими институтами СО РАН и СО РАМН выполнен цикл оригинальных работ в области тонкого органического синтеза, позволивших получить обширную группу фармакологически ценных веществ из сибирских растений с помощью промышленно перспективных технологий

Отдел химии природных и биологически активных соединений НИОХ СО РАН – один из ведущих исследовательских центров РАН по разработке лекарственных препаратов на основе индивидуальных веществ-метаболитов, выделяемых из лесных древесных и ландшафтных растений Сибири.

Сибирская флора оказались настоящей кладовой биологически активных веществ, например, бетулина, содержание которого в бересте достигает 25–30%. На основе амидов бетулоновой кислоты, получаемой из бетулина, созданы первые в мире корректоры токсических эффектов цитостатиков, используемых в онкологии, а также препарат-кандидат против ВИЧ – бетулавир.

Хвоя и живица кедра – сырье для получения ламбертиановой кислоты, применяемой для создания новых высокоэффективных анальгетиков, ноотропных, тромболитических и противолейкемических средств. А производные алантолактона – метаболита из корня девясила – являются перспективными противоязвенными агентами.

Солодка голая издавна используется в традиционной медицине многих стран. Ее метаболит – гли-

Ключевые слова: флора Сибири, растительный метаболит, клатрирование, фармацевтическая промышленность.
Key words: flora of Siberia, plant metabolite, clathrating, pharmaceuticals industry

цирризиновая кислота был использован для создания глицидипина, применяемого при гипертензии и сердечной аритмии, и симваглизина, понижающего уровень холестерина в крови.

Оба препарата разработаны на основе оригинального принципа клатрирования, т.е. комплексобразования лекарственного средства особыми агентами, в качестве которых могут выступать растительные метаболиты (в частности, глицирризиновая кислота солодки и листовичный арабиногалактан). Результатом клатрирования является существенное (в 5–100 раз) снижение необходимой дозы лекарства, уменьшение его побочных эффектов и появление новых полезных свойств.

Благодаря проведению обширных циклов исследований по химии и фармакологии многих сотен новых веществ в активе отдела сегодня имеется, во-первых, настоящая «библиотека» перспективных для дальнейшей проработки агентов. Во-вторых – препараты-кандидаты, прошедших полный цикл доклинических исследований и, частично, клиническую апробацию. И, наконец, – разработки высокого уровня готовности, включая препараты, уже разрешенные к применению.

Эти результаты являются яркой демонстрацией возможностей ресурсной, научной и технологической базы Сибири в производстве высокоэффективных лекарственных препаратов. Растительный мир Сибири может и должен стать

основой для дальнейшего развития отечественной фармацевтической промышленности!

Толстикова Т.Г., Толстиков А.Г., Толстиков Г.А. На пути к низкодозным лекарствам // Вестник РАН. 2007. № 77(10). С. 867–874.

Толстикова Т.Г., Толстиков А.Г. Слабодость скифского корня // НАУКА из первых рук. 2008. №3(21). С. 52–61.

Д.б.н., Т.Г. Толстикова
(Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск)



Эффект гликозидного клатрирования был впервые обнаружен новосибирскими учеными у глицирризиновой кислоты — метаболита солодки

Человек — среда обитания

«Затерянный мир» байкальского дна

Ученые Лимнологического института СО РАН (Иркутск) совместно с Институтом океанологии им. П.П. Ширшова РАН (Москва) в исследованиях с использованием глубоководных обитаемых аппаратов обнаружили в поверхностных донных осадках оз. Байкал мощные слои газовых гидратов и связанное с ними необычное сообщество организмов

Байкал – единственный пресноводный водоем планеты, где обнаружены газогидраты, образующиеся из воды и газа (чаще всего метана) только при определенных температуре и давлении. Основные области распространения этого альтернативного «топлива будущего» – области вечной мерзлоты и донные отложения морей и океанов.

В 2009 г. с использованием глубоководных обитаемых аппаратов «МИР» были найдены большие залежи поверхностных газогидратов в зоне газового «факела» Санкт-Петербурга, обнаруженного в Байкале в 2005 г. методами эхолокации. Исследователям удалось поднять на поверхность около 5 кг образцов. Газ, полученный при их разложении, состоит преимущественно из метана с высокой примесью этана и почти не содержит более тяжелых гомологов.

В области выхода метана было обнаружено необычное бентосное сообщество. В том числе найдены массовые скопления вида амфипод, ранее считавшегося в Байкале редким. Общая же численность «метанового» придонного сообщества оказалась в 4–6 раз выше, чем в фоновых районах озера. Жизнедеятельность этого сообщества обеспечивается вовлечением в пищевую сеть углерода метана через метанотрофных бактерий, а также высокой биомассой других микроорганизмов – криптофитовых жгутиковых и цианобактерий.

Д.б.н. Т.И. Земская (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск)

Ключевые слова: газогидраты, метан, бентос.
Key words: gas hydrate, methane, benthos



Амфиподы *Polyacanthisca calceolata* образуют большие скопления над полями залегающих газовых гидратов



Богатое придонное микробное сообщество в районе метановой разгрузки «Санкт-Петербург». Эпифлюоресцентная микроскопия

Байкал измерили ЭХОЛОТОМ

Ученые из Лимнологического института СО РАН (Иркутск) вместе с бельгийскими партнерами провели масштабное высокоразрешающее картирование дна оз. Байкал с помощью многолучевой эхолотации

Одна из важнейших задач в глубоководных исследованиях Байкала – получение батиметрических данных его дна с высоким разрешением. Такие работы позволяют выявить детали подводного рельефа озера, оценить ход оползневых процессов, обнаружить новые грязевые вулканы, выходы газа и скопления газовых гидратов вблизи поверхности дна. Данные батиметрии дают возможность приблизиться к решению актуальных геологических задач, до сих пор бывших неразрешимыми из-за сложности изучения Байкала с его глубинами, крутизной склонов, сильно пересеченным рельефом и т.д.).

В 2009 г. после многолетних ожиданий и неоднократных попыток иркутским исследователям вместе со своими бельгийскими коллегами удалось с помощью мобильной системы многолучевой эхолотации (*ELAC SeaBeam 1050 System*), установленной на научно-исследовательском судне «Г. Титов», провести масштабное площадное картирование озерного дна.

Пройдя более 12500 погонных километров галсами по определенной сетке, исследователи получили более 56 млн точек измерений глубин Байкала на площади 15 тыс. км². Было закартировано дно в большей части котловин Южного и Среднего Байкала (на глубинах более 300 м), а также в ряде других районов озера (на глубинах до 50 м). В ходе работ были картированы основные впадины, возвышенности и каньоны озера, получены уникальные дан-



На судне была смонтирована мобильная штанга для прочного крепления погружаемого модуля

ные о разрывных нарушениях и подводных оползнях, а также о районах уже известных мест разгрузки газа, нефти и грязевых вулканов (некоторые из них были детально обследованы).

Полученные данные характеризуются более чем четырехкратным увеличением детальности по сравнению с результатами предыдущих замеров. Значительное повышение разрешающей способности наблюдений позволило выявить новые детали в строении подводных возвышенностей и каньонов озера, а также уточнить амплитуду и характер смещений, выраженных в рельефе разрывных нарушений.

В ходе полевых работ велась первичная обработка материалов и строились рабочие трехмерные цифровые модели рельефа озерного дна, которые принесли неожиданные результаты относительно открытых ранее грязевых вулканов. Оказалось, что большинство из них имеют несколько вершин и состоят из нескольких тел, что объясняет характер распределения газогидратных скоплений. В ходе съемки на дне озера было также обнаружено много новых подводных топоструктур, природу которых еще предстоит изучить.

О. М. Хлыстов (Лимнологический институт СО РАН, Иркутск), Л. Наудс, М. Де Батист (Бельгия)

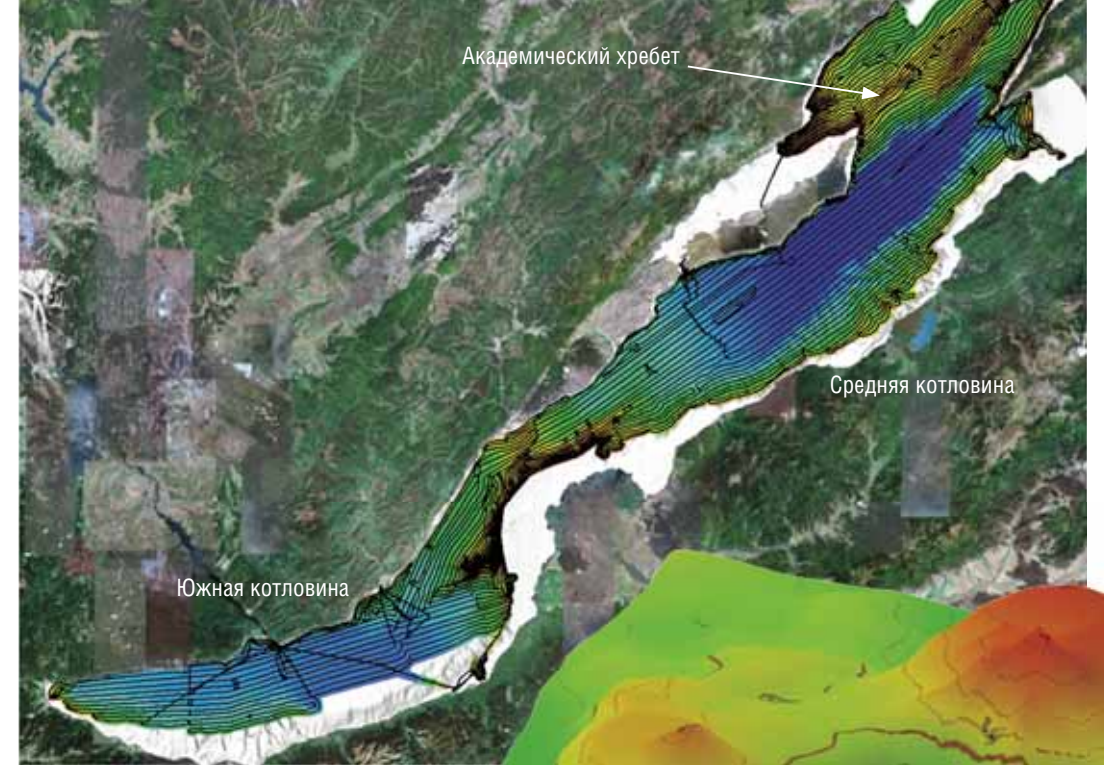
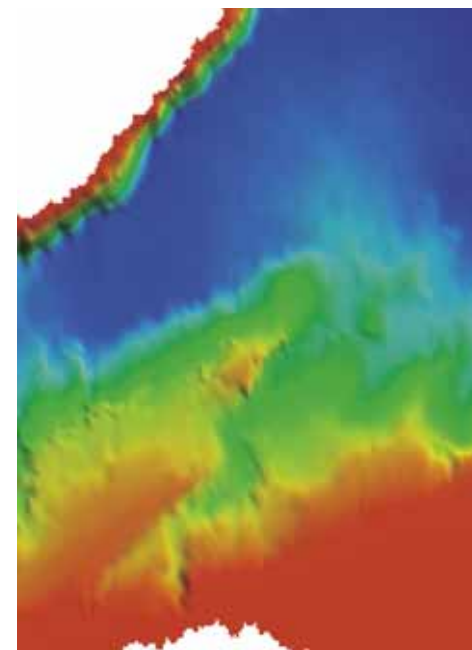
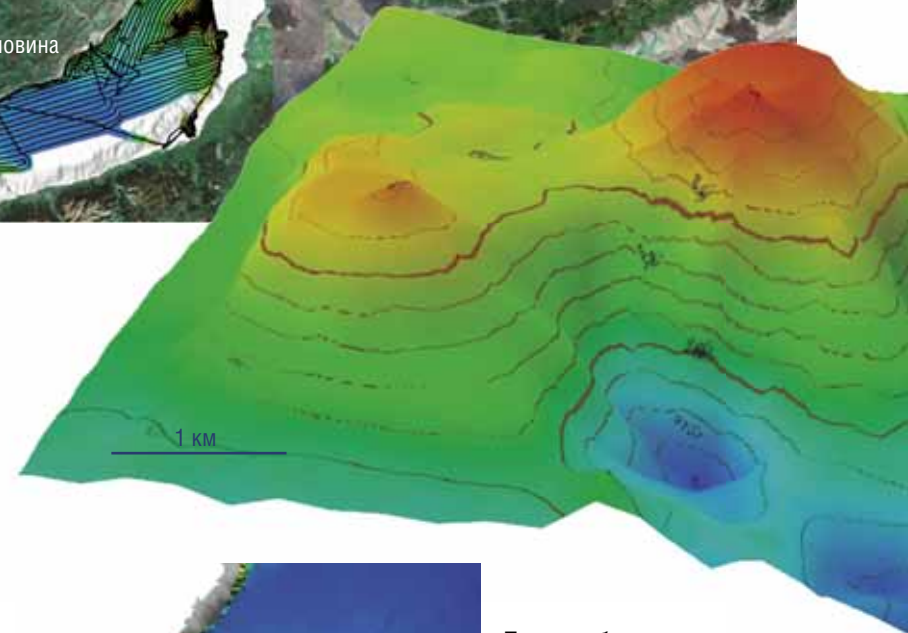


Схема фактических измерений глубин в Южной и Средней котловинах оз. Байкал в 2009 г.

Объемное изображение подводного грязевого вулкана «Большой»



Данные батиметрии, полученные в 2009 г., отличались высокой детальностью (пример – р-он Кукуйского подводного каньона): слева – данные INTAS-99-1669, справа – данные съемки многолучевым эхолотом

Работы по детальному изучению структуры и особенностей дна оз. Байкал состоялись благодаря финансовой поддержке РАН (Программа Президиума РАН №17.8) и бельгийского проекта (FWO Flanders project 1.5.198.09)

Ключевые слова: многолучевой эхолот, батиметрия, Байкал.
Key words: multibeam, bathymetry, Baikal

Смотрим за Солнцем

Ученые из Института солнечно-земной физики СО РАН (Иркутск) совместно с Институтом прикладной геофизики (Москва) работают над созданием самого современного радиогелиографа в рамках Федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008—2015 гг.»

Наиболее динамичными процессами, определяющими возмущения околоземного пространства, являются процессы в короне Солнца. Такие взрывные явления, как солнечные вспышки и выбросы корональной массы, приводят к резкому росту потоков плазмы солнечного ветра, ускоренных частиц и жестких электромагнитных излучений в околоземном пространстве.

Один из основных методов исследования этих процессов – радионаблюдение, поскольку собственные частоты корональной плазмы, определяющие ее излучение, находятся в диапазоне от десятков мегагерц до десятков гигагерц. Для решения современных задач исследователям требуется радиогелиограф с эффективным размером апертуры более нескольких километров, позволяющий получать изображения исследуемой области Солнца одновременно на десятках частот в широком диапазоне.

Создание радиогелиографов с такими характеристиками стало возможным благодаря последним

технологическим достижениям: появлению аналоговых широкополосных волоконных линий, современной элементной базы СВЧ-электроники, позиционированию антенных элементов с помощью космических технологий, резкому удешевлению вычислительной техники с одновременным ростом быстродействия.

В настоящее время в мире не существует инструментов, отвечающих требованиям к современному радиогелиографу, однако в различных странах (КНР, США, Бразилия) запущены проекты по их созданию.

В России этим проектом занимаются ученые Института солнечно-земной физики СО РАН в рамках проработки технических решений по созданию Национального гелиогеофизического комплекса РАН. Новый радиогелиограф создается на базе одного из крупнейших радиотелескопов России – Сибирского солнечного радиотелескопа (ССРТ), расположенного в Тункинской долине, республики Бурятия.

Первым шагом проекта станет создание 100-антенного интерферометра на диапазон частот 4–8 ГГц. В 2009 г.

начаты тестовые испытания систем интерферометра с помощью прототипа, десять антенн которого диаметром 1,8 м установлены на краях трех лучей ССРТ. Примечательно, что тестовые наблюдения на прототипе, несмотря на ограниченность наблюдаемых пространственных частот, уже сейчас могут давать уникальную информацию о спектральной и пространственной динамике процессов в компактных источниках корональной плазмы.

*Д. ф.-м. н. А. Т. Алтынцев,
к. ф.-м. н. С. В. Лесовой
(Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск)*

Сибирский солнечный телескоп ИСЗФ СО РАН в предгорьях Восточного Саяна. Фото В. Короткоручко

Lesovoi S. V., Altyntsev A. T., Zandanov V. G. et al. Ten antenna prototype of a radio heliograph based on the Siberian solar radio telescope // Geomagnetism and Aeronomy. 2009. V. 49, №8. P. 1–3.

Ключевые слова: Солнце, радиоастрономия, вспышки, выбросы корональной массы, магнитография
Key words: Sun, radio astronomy, outbursts, coronal mass emission, magnetography



О хлебе насущном



В Институте цитологии и генетики СО РАН (Новосибирск) созданы генетически «оздоровленные» линии мягкой пшеницы Саратовская 29, которые используются в селекции пшениц как доноры генов комплексной устойчивости к грибным патогенам



Ключевые слова: мягкая пшеница, иммунные линии, устойчивость к патогенам, новый сорт.

Key words: common wheat, immune lines, resistance to pathogens, new variety

Мягкая пшеница — одна из основных продовольственных и кормовых культур, в силу чего является стратегически важным объектом, обеспечивающим продовольственную безопасность государств.

Селекция мягкой пшеницы повсеместно и длительное время проводилась однонаправлено на проявление ограниченного числа признаков, в основном на высокую продуктивность и качество зерна. В результате произошла потеря генотипов, ценных по другим признакам. И особенно остро во всем мире стоит проблема устойчивости мягкой пшеницы к грибным патогенам, которые могут полностью уничтожить посевы.

Сорт яровой мягкой пшеницы *Саратовская 29* — один из наиболее ценных сортов отечественной селекции, устойчивый к засухе и высокопродуктивный. Этот сорт, начиная с 1957 г., был районирован по всему Советскому Союзу и к 2007 г. использован в качестве родительской формы при создании 155 новых сортов мягкой пшеницы. Вместе с тем этот сорт оказался неустойчив к листовой и стеблевой ржавчине, особенно к новым формам этих заболеваний.



Новый сорт яровой мягкой пшеницы *Памяти Майстренко* (слева), созданный на основе иммунной линии *Саратовской 29*, оказался устойчивым к бурой листовой ржавчине — широко распространенному грибковому заболеванию пшеницы (справа)



к полеганию, а также высокое содержание белка и клейковины в зерне, существенно превышающее стандарты сильной пшеницы.

Часть иммунных линий *Саратовской 29* были переданы в НИИСХ Юго-Востока (Саратов), где в 2007–2008 гг. в условиях жесткой засухи и высокой инфицированности грибными патогенами оказались более высокоурожайными по сравнению со стандартами. В результате некоторые линии были включены в селекционные программы НИИСХ Юго-Востока.

Как известно, сорта пшениц «живут» относительно недолго — 15–20 лет, что подразумевает необходимость упорной и непрерывной селекционной работы. Созданные в ИЦиГ СО РАН иммунные линии *Саратовской 29* и сорт *Памяти Майстренко* могут быть успешно использованы в этом процессе в качестве доноров генов, контролируемых адаптивные и хозяйственно ценные признаки важнейшей сельскохозяйственной культуры.

Лайкова Л.И., Арбузова В.С., Ефремова Т.Т., Попова О.М. Создание иммунных линий сорта Саратовская 29 с комплексной устойчивостью к грибам бурой ржавчины и мучнистой росы // Генетика. 2004. Т. 40. № 5. С. 631–635.

Laikova L.I., Arbuzova V.S., Efremova T.T., Popova O.M. Immune Saratovskaya 29 common wheat lines with multiple resistance inherited from a Triticum timopheevii x Triticum tauschii amphiploids // Genetic and Breeding. 2008. V. 37. P. 3–10.

Д.б.н. Л.А. Першина, к.б.н. Л.И. Лайкова
(Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)

Царь-снаряд для атомной артиллерии

Д. В. ШИРКОВ

Советские проекты по созданию атомной и термоядерной бомб, упрочившие победу в Великой Отечественной войне и избавившие мир от угрозы новой глобальной катастрофы, в той или иной мере известны многим. Однако с историей создания атомного снаряда для тактической артиллерии и ее документальными, прежде засекреченными свидетельствами знакомы немногие. Автор этого материала стал самым молодым лауреатом Ленинской премии 1958 года за разработку нового вооружения, сыгравшего важную роль в противостоянии ядерных сверхдержав



ШИРКОВ Дмитрий Васильевич – физик-теоретик, академик РАН. Главные направления научных исследований: квантовая теория поля, теория сверхпроводимости и дисперсионных соотношений. После создания Сибирского отделения АН СССР десять лет работал в Институте математики СО АН СССР, затем совмещал работу в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) и Московском государственном университете. Лауреат Ленинской премии (1958) и Государственной премии СССР (1984). Автор и соавтор более 200 научных работ

Ключевые слова: ядерное оружие, атомный артиллерийский снаряд, ядерный заряд, имплозия
Key words: nuclear weapon, artillery fired atomic projectile, nuclear explosive, implosion

Отечественные атомные проекты стали вынужденной ответной мерой по предотвращению новой угрозы миру, внезапно возникшей на исходе Второй мировой войны. Советские ученые и инженеры, как и их американские коллеги, трудились во имя победы над смертельной опасностью. Однако триумф первых создателей атомного оружия был омрачен его варварским и неоправданным применением против японских городов. Гордость за победу наших ученых и специалистов, сделавших несостоятельной новую мировую, уже ядерную войну, за прошедшие десятилетия только окрепла.

В августе 1949 года было успешно проведено первое испытание советской атомной бомбы, с этого времени переставшей быть монополией США. В 1953 году после испытания в СССР первой в мире водородной авиацион-

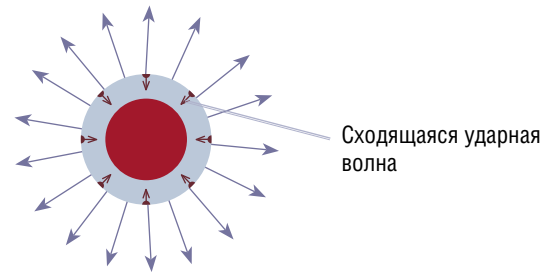
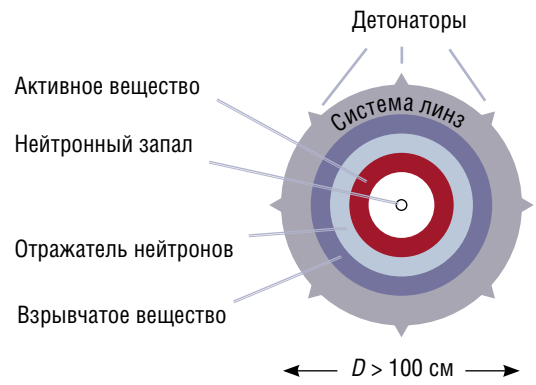


Артиллерийские самоходные орудия с ядерным боеприпасом на военном параде. Москва, 7 ноября 1957 года

ной бомбы возможность тотального ядерного диктата фактически была устранена. Оба проекта осуществлены силами лучших отечественных ученых и специалистов в секретном городке КБ-11 (он же Арзамас-16, ныне Саров).

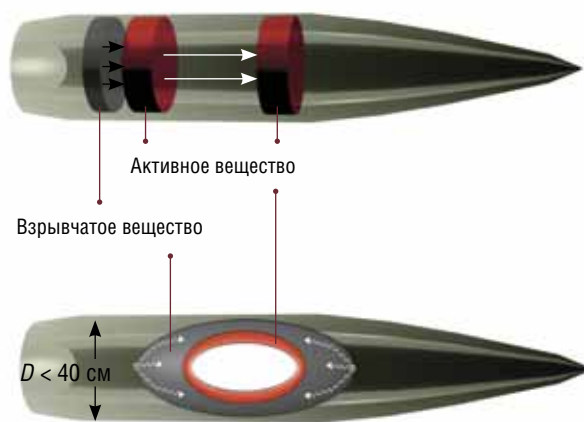
Однако к началу 50-х годов американский ядерный арсенал сохранял подавляющее превосходство: США имели уже несколько сотен атомных бомб, а СССР пока считал их на единицы. Узким местом оставалась и технология разделения изотопов урана. Возможности нашего ответного удара в случае агрессии были весьма ограниченными.

В 1951 году США провели успешные испытания ядерного артиллерийского снаряда. Спустя два года исследования в этой области начались и в КБ-11. Весной 1953 года руководителем теоретических и экспериментальных работ по созданию атомного заряда для артиллерийского снаряда был назначен академик Михаил Алексеевич Лаврентьев. Имея к этому времени солидный арсенал достижений в математике и механике, организационно-технические успехи в области экспериментальной физики взрыва и богатый опыт научно-административной работы, он оказался прекрасным руководителем сложносочиненной и сложноподчи-



Схемы конструкции сферического ядерного заряда (вверху) и его подрыва на механизме имплозии (показан момент схлопывания и срабатывания нейтронного запала)

Механизм пушечного сближения критической массы активного вещества в атомном артиллерийском снаряде (США, 1951)



Артиллерийский снаряд с ядерным зарядом на основе механизма имплозии (СССР, 1956)

Физическая часть атомной бомбы конца 40-х гг. представляет собой сферу диаметром около 100 см со сферическим ядерным зарядом. Сам ядерный заряд из активного вещества ^{235}U или ^{239}Pu выполнен в виде тонкостенной металлической сферической оболочки и в исходном состоянии подкритичен. В центре пустой внутренней полости помещается нейтронный запал. Снаружи к активному веществу примыкает слой из отражателя нейтронов ^{238}U , а затем слой твердого взрывчатого вещества. Далее располагается система линз, фокусирующая ударную волну от детонаторов, расположенных почти на поверхности внешнего слоя взрывчатого вещества. Взрыв бомбы запускается одновременным инициированием детонаторов. Система линз формирует практически правильную сферическую ударную волну, сходящуюся внутрь и сжимающую сферическую оболочку из активного вещества (такой подрыв ядерного заряда именуется *имплозией*). В момент ее схлопывания в сферу приводится в действие специальный запал, впрыскивающий в систему нейтроны, после чего начинается цепная ядерная реакция, приводящая к взрыву. Инициирование ядерного взаимодействия точно в момент схлопывания значительно уменьшает вероятность так называемого неполного взрыва в результате преждевременного начала цепной реакции от случайного нейтрона, рожденного, например, частицей космического излучения. Сжатие ударной волной (сферическое обжатие) активного вещества приводит к существенному снижению его критической массы, что дает заметную экономию ядерного горючего

Ядерную начинку для артиллерийского снаряда калибра около 40 см можно было делать по-разному. Ядерный заряд американского снаряда образца 1951 года приводился в действие механизмом пушечного сближения двух компонент критической массы активного вещества внутри летящего снаряда. Недостатком такого подхода является низкий КПД и значительная вероятность неполного взрыва снаряда. Американцы, уже имевшие солидный запас ядерного горючего, могли себе позволить такие боеприпасы. Можно сказать, что это был снаряд для богатых.

Конструкция ядерного заряда, созданного командой М. А. Лаврентьева, напоминала среднеазиатскую дыню, которую предстояло разместить внутри цилиндрического артиллерийского снаряда. Фактически это было подобие сферического заряда, сильно вытянутого вдоль полярной оси. В этом случае последовательность расположения внутренних оболочек, равно как и физика взрыва, в общих чертах остаются теми же, что и для сферического ядерного заряда. Можно сказать, что это был снаряд для бедных, вызванный жестокой необходимостью



№ 34. Павлову Н.И. – Александров А.С., Харитон В.Б., Целкин К.И., Ильшин А.А.
О переводе Лаврентьева М.А. в КБ-11 для работ по артиллерийским системам.
12 января 1953 г.

РАССЕКРЕТНО
СОБ. СЕКРЕТНО
(Особая значимость)

ТОВАРИЩУ ПАВЛОВУ Н.И.

Исследование возможности создания изделий типа *артиллерийского снаряда* выявило значительные трудности решения этого вопроса на основе существующего метода *сферического обжатия*. Изделие с наименьшими габаритами и достаточно эффективным использованием *активного вещества* в настоящее время представляется возможным в виде наполняемого в полете *надкалиберного снаряда*, в котором сохраняется принцип *сферического обжатия*.

В 1952 г. выдвинут ряд предложений по *обжатию* с применением систем, имеющих *осевую*, а не *сферическую симметрию* (путем применения *овальных зарядов*, *раструбных* систем и т.д.).

Развернутые исследования по разработке и проверке новых принципов *обжатия* с помощью *удлиненных зарядов* предусматриваются в плане работы *КБ-11* на 1953 г. Успех работы решительным образом зависит от теоретического анализа и выбора оптимальных вариантов осесимметричных систем, т.е. от решения весьма сложных теоретических и экспериментальных трехмерных (две координаты и время) задач гидродинамики и газовой динамики. Даже подготовка их решения на быстрых счетных машинах представляет сложную математическую проблему.

Для руководства этими исследованиями в *КБ-11* необходим крупный гидромеханик. Такого рода специалист мог бы оказать существенную помощь также в математической постановке и решении общих гидродинамических проблем, связанных с развитием ядерных реакций и теорией *КПД осесимметричных систем*.

Подходящей кандидатурой для руководства указанной работой является академик Лаврентьев М.А., крупный специалист по гидро- и газодинамике, выдающийся математик, хорошо владеющий современной машинной вычислительной техникой, основатель теории кумулятивных снарядов и известный специалист по применению *взрывчатых веществ*.

Просим перевести товарища Лаврентьева М.А. в *КБ-11* с тем, чтобы он возглавил работу по исследованию *обжатия* с помощью осесимметричных систем в первую очередь применительно к *артиллерийским* вариантам.

Привлечение т. Лаврентьева М.А. в качестве руководящего работника *КБ-11* будет весьма важно как для успешного развития новых работ, так и вообще для укрепления научного руководства в *КБ-11*.

А. Александров.
В. Харитон
К. Целкин
А. Ильшин

12 января 1953 г.

Ф. 1, оп. 2с, ед. хр. 600в, л. 22-23
Отпуск

Академик М. А. Лаврентьев, крупнейший советский математик и механик, выдающийся организатор отечественной науки, возглавил проект по созданию атомного артиллерийского снаряда в СССР

Письмо от 12 января 1953 года генерал-майору Н. И. Павлову, одному из руководителей ведомства по разработке и производству ядерного оружия СССР (с 1957 года – Министерство среднего машиностроения – МСМ), о необходимости привлечения академика М. А. Лаврентьева к научному руководству проектом по созданию ядерного артиллерийского снаряда. Письмо подписано директором КБ-11 А. С. Александровым, научным руководителем Ю. Б. Харитоновым и его первыми заместителями К. И. Щелкиным и А. А. Ильшиным



Д. В. Ширков в мае 1950 года по прибытии в КБ-11

Руководство сложным научно-организационным проектом стало для М. А. Лаврентьева важной прелюдией главного и самого масштабного дела его жизни – создания Сибирского отделения Академии наук.

На снимке слева направо: М. А. Лаврентьев, А. А. Дерибас и Л. В. Овсянников во время эксперимента в Институте гидродинамики СО АН СССР (Новосибирск)

ной команды ученых, инженеров и конструкторов. Он не только держал в голове все детали и особенности разнородных научных и технических вспомогательных проектов, но и с энтузиазмом подключался к решению проблем, возникавших в каждом из них.

Трудности перехода

К разрабатываемой в КБ-11 конструкции ядерного заряда предъявлялись исключительно жесткие требования не только по требуемым габаритам, но и по прочности всех его частей, которая с учетом больших перегрузок при выстреле снаряда должна была многократно превосходить ранее созданное ядерное оружие.

Нарушение сферической симметрии значительно усложняло расчеты несинхронного в этом случае под-

МОИ УНИВЕРСИТЕТЫ

Завершалось мое обучение на физфаке МГУ. В конце 1948 года я решил писать дипломную работу у известного в университете профессора, члена-корреспондента Академии наук Н. Н. Боголюбова, получившего год назад Сталинскую премию за работы по теоретической физике, в том числе за монографию «Динамические уравнения статистической физики».

Передо мной была поставлена задача упрощения кинетического уравнения переноса, т. е. диффузии и замедления нейтронов. Это довольно звероподобное интегро-дифференциальное уравнение для функции распределения, имевшее три независимые переменные даже в случае сферической симметрии. В общем случае оно поддавалось лишь громоздкому численному расчету, а известные приближения (односкоростное, диффузионное, возрастное) были слишком грубы для имевшихся в виду практических применений. Весьма примечателен тот факт, что шеф лишь сформулировал мне задачу, даже не наметив пути ее решения.

Проблема была интересна технически и очень важна по существу – любое серьезное продвижение позволяло надеяться на значительную экономию в численных расчетах, что приводило к выигрышу во времени. А этот фактор сурово довлел над нашей деятельностью. Ведь первая советская атомная бомба была испытана лишь в августе следующего, 1949, года.

В течение нескольких месяцев удалось серьезно продвинуться в решении поставленной задачи. За основу нового приближения я взял упрощение ядра интегрального оператора, так называемой индикатрисы рассеяния (помню, что главная идея пришла мне в голову во время комсомольской конференции МГУ, когда, специально сев на галерке подальше от других делегатов, я погрузился в размышления под монотонный рокот отчетного доклада).

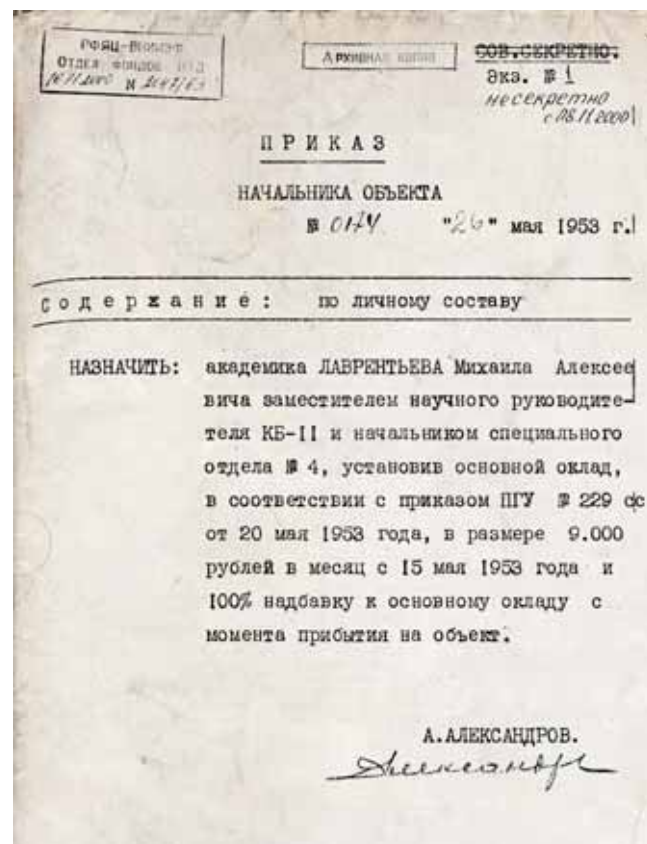
После снятия в середине 50-х годов грифа секретности с теоретической части моих исследований метод так называемого синтетического ядра в теории диффузии и замедления нейтронов был опубликован в журнале «Атомная энергия». Со временем стало ясно, что ничего равноценного американским коллегам придумать не удалось. Доступность мощных вычислительных средств потворствует философии «компьютер есть – ума не надо».

...К моменту появления М. А. Лаврентьева в КБ-11 мне было 25 лет, но я уже прошел четырехлетний путь с Н. Н. Боголюбовым от студента-дипломника до участника проекта по созданию водородной бомбы. Мне удалось придумать и довести до ума простой и точный метод учета замедления и диффузии нейтронов в средах,

содержащих легкие ядра атомов водорода и дейтерия. Эту работу я защитил как кандидатскую диссертацию в присутствии самого И. В. Курчатова, а за участие в проекте получил свою первую награду – Орден Трудового Красного Знамени.

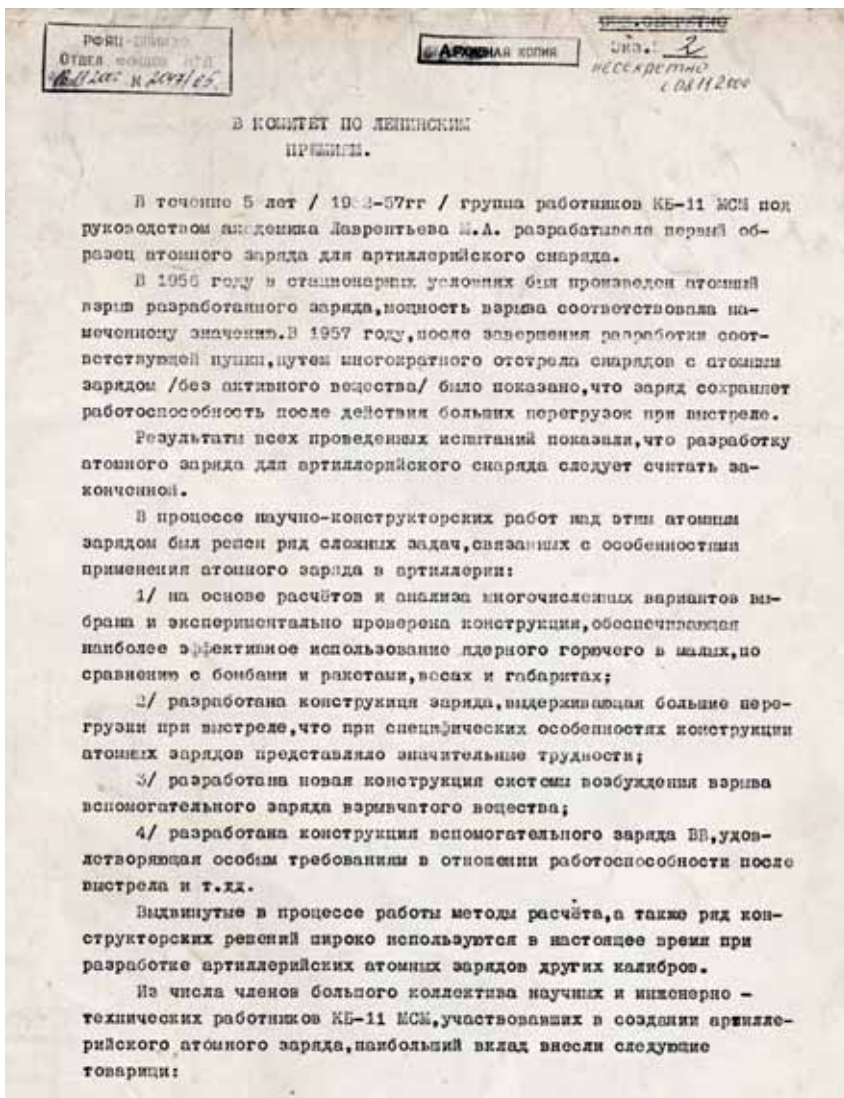
Думаю, благодаря этим результатам, рекомендации Н. Н. Боголюбова и с одобрения высокого руководства, мне доверили ответственность за расчет процесса развития цепной ядерной реакции от момента схождения волны имплозии к центру изделия и вероятности неполного взрыва. Так я оказался в команде М. А. Лаврентьева, в которой проработал следующие три года над созданием ядерной начинки для артиллерийского снаряда.

...Испытания ядерного заряда на Семипалатинском полигоне в марте 1956 года несколько дней откладывались из-за неподходящих метеоусловий (ветер дул в сторону города). В ожидании нужной погоды на берегу Иртыша мы с Л. В. Овсянниковым изобрели азартные шахматы (игра на деньги с бросанием костей перед каждым ходом, дабы как-то уравновесить его высокое искусство и мой авантюризм), а также беседовали об открытой науке. Лев Васильевич заинтересовался функциональными уравнениями ренормализационной группы в квантовой теории поля, которыми я в то время занимался, и в течение нескольких дней нашел их общее решение. Статью с его результатами академик Н. Н. Боголюбов представил в «Доклады Академии наук» спустя всего три недели после успешного испытания нашего ядерного заряда под Семипалатинском.





Ветераны Великой Отечественной войны, лауреаты Ленинской премии 1958 года за создание ядерного заряда для артиллерийского снаряда (слева направо): Л. В. Овсянников (расчет газодинамического обжатия изделия), В. М. Некруткин (отработка газодинамического обжатия изделия), А. И. Абрамов (конструктор изделия)

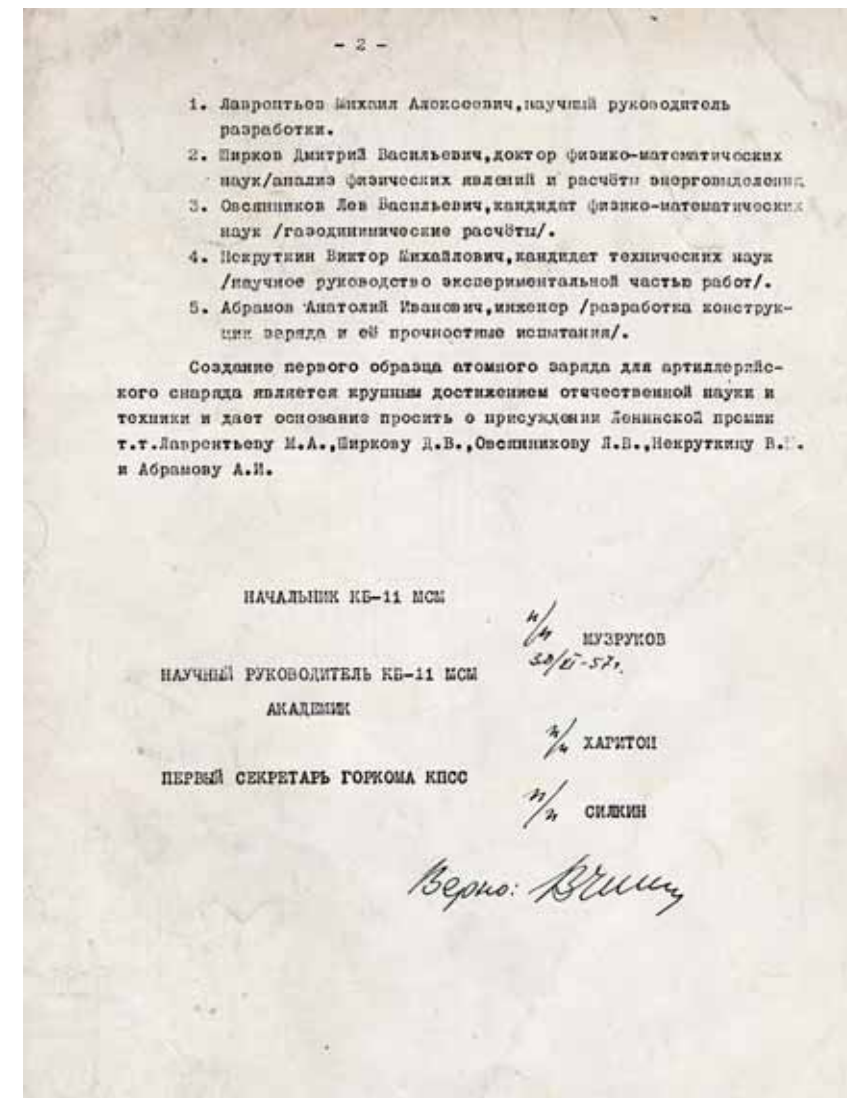


Письмо от 30 ноября 1957 года в Комитет по Ленинским премиям с представлением к высокой награде научных и инженерно-технических работников KB-11, внесших наибольший вклад в создание ядерного заряда для артиллерийского снаряда

рыва детонаторов для синхронного схождения ударной волны к центру изделия (газодинамического обжатия ядерного заряда), а также процесса развития цепной ядерной реакции. В результате имплозии исходно пустотелая тонкостенная оболочка из активного вещества вместе с примыкающей к ней тяжелой отражающей нейтроны оболочкой из ^{238}U превращается в надкритичное сплошное двухслойное и слегка вытянутое квазисферическое тело, в которое впрыскиваются нейтроны из запала. Эта исходная для ядерного взрыва конструкция имеет осевую, а не сферическую симметрию. Появляющаяся при этом дополнительная переменная значительно усложняет расчеты, проводившиеся в то время практически без применения ЭВМ. В результате теоретикам приходилось не только находить упрощенные физически адекватные модели (уравнения), но и преобразовывать их к виду, удобному для численных ре-

шений на арифмометрах. Требования к используемым в расчетах численным методам также были высокими: простота, экономичность, устойчивость и достаточная точность. Здесь существенной была роль математика В. С. Владимирова, будущего академика и Героя Социалистического Труда.

Физические исследования и конструирование нового изделия были поручены заслуженным физикам-экспериментаторам, опытным конструкторам и инженерам, участвовавшим в создании атомной и водородной бомб. В то же время основные теоретические исследования М. А. Лаврентьев доверил молодой команде, самому старшему участнику которой Л. В. Овсянникову, проводившему газодинамические расчеты, было 34 года. Прошлой весной в новосибирском Академгородке мы поздравляли советника РАН, академика Л. В. Овсянникова со славным 90-летием.



Лев Владимирович Альтшулер, ветеран Великой Отечественной войны, лауреат Сталинских премий I и II степени за определение плотности и максимального давления в центре при подрыве первых атомной и водородной бомб, а также за испытания ударно-волнового сжатия элементов конструкций. Внес значительный вклад в создание артиллерийского атомного снаряда



Артиллерийские самоходные установки для атомных снарядов, созданные в КБ И.И. Иванова, в Военно-историческом музее артиллерии, инженерных войск и войск связи МО РФ в Санкт-Петербурге



Музей ядерного оружия ВНИИЭФ в Сарове. Слева направо: первые отечественные атомная (1949) и серийная атомная (1953, сверху) бомбы, первая в мире водородная (термоядерная) бомба (1953), артиллерийский снаряд с ядерным зарядом (1956)

Проверено – снаряд есть!

К концу 1955 года все расчетно-теоретические и газодинамические исследования конструкции ядерного заряда были завершены. Выполнен был и большой объем экспериментальных работ, в том числе и прочностные испытания конструкции. Поскольку экспериментальной базы для таких работ в КБ-11 не было, то для их проведения создавались новые устройства и приспособления. По заданию М. А. Лаврентьева этими разработками руководил экспериментатор Б. В. Войцеховский, будущий академик и автор более ста изобретений, поражающий своей изобретательностью самых опытных конструкторов КБ-11 и умевший сравнительно простыми средствами решать проблемы, казавшиеся многим специалистам неразрешимыми.

Главное испытание нового ядерного заряда состоялось на Семипалатинском полигоне в марте 1956 года. Ответственные разработчики, включая теоретиков, лично присутствовали на испытании созданного ими изде-

лия. Такова традиция, обусловленная необходимостью получения быстрых и исчерпывающих консультаций из первых рук при возникновении нестандартных ситуаций. Здесь этого не потребовалось. Произведенный подрыв ядерного заряда показал достижение верхнего предела его расчетной мощности. Это был полный и заслуженный успех.

Однако окончательное завершение проекта по созданию тактической ядерной артиллерии потребовало еще некоторого времени. Изготовление самоходных орудий, способных стрелять ядерными снарядами, несколько затянулось, и испытательные стрельбы болванками были произведены на Ржевском полигоне только в конце 1956 года. Это были динамореактивные установки (КБ В. Г. Грабина, создавшего легендарную «Катюшу») и традиционные орудия откатного типа (КБ И. И. Иванова).

После окончательной доводки громоздких самоходных систем они были явлены миру на военном параде в Москве по случаю 40-летия Октябрьской револю-

ции – по Красной площади проползли две огромные артиллерийские самоходки, созданные для стрельбы атомными снарядами. Присутствовавшие на параде иностранные военные атташе были поражены увиденным. Однако тем дело и закончилось. В серию артиллерийское ядерное вооружение не пошло. Началась эра ракет!

Фактически с задержкой в два года наш труд был увенчан высокими правительственными наградами. Ключевые участники проекта из команды М. А. Лаврентьева были удостоены Ленинской премии, возобновленной в 1957 году.

В список лауреатов Ленинской премии 1958 года вошли Михаил Алексеевич Лаврентьев (руководитель), Анатолий Иванович Абрамов (конструктор изделия),

Редакция благодарит Музей ядерного оружия ВНИИЭФ (Саров) и его директора В. И. Лукьянова за предоставленные материалы

Виктор Михайлович Некруткин (отработка газодинамического обжатия), Лев Васильевич Овсянников (расчет газодинамического обжатия), Дмитрий Васильевич Ширков (расчет ядерных реакций).

Этот список по праву должен был дополнить Лев Владимирович Альтшулер (методика и проведение измерений при модельных обжатиях), который был представлен к награде, но вычеркнут из списка лауреатов, поскольку в это время открыто выступил в защиту генетики.

Литература
Андрюшин И. А., Чернышов А. К., Юдин Ю. А. Укрощение ядра: страницы истории ядерного оружия и ядерной инфраструктуры СССР. Саров, 2003.

Жогин В. П. Ядерный снаряд // Атом. 2002. № 18.
Власова Е. Академик на Объекте // Наука в Сибири. 2000. № 44–45. 17 нояб.

Век Лаврентьева. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 456 с.

Гарантированная НАДЕЖНОСТЬ

Г. В. САКОВИЧ

Во второй половине XX века стратегическое ракетное вооружение становится стабильным гарантом безопасности страны и основой ее обороноспособности. Федеральный научно-производственный центр «Алтай» начал свою работу в конце 50-х годов с создания твердого топлива для первой межконтинентальной баллистической ракеты. За прошедшие полвека здесь разработаны методологии проектирования твердотопливных зарядов для ракет наземного и морского базирования, а также оценки и контроля их пригодности и надежности. В Центре исследованы и получены перспективные высокоэнергетические материалы, созданы новые промышленные технологии и производства, успешно работающие на предприятиях страны

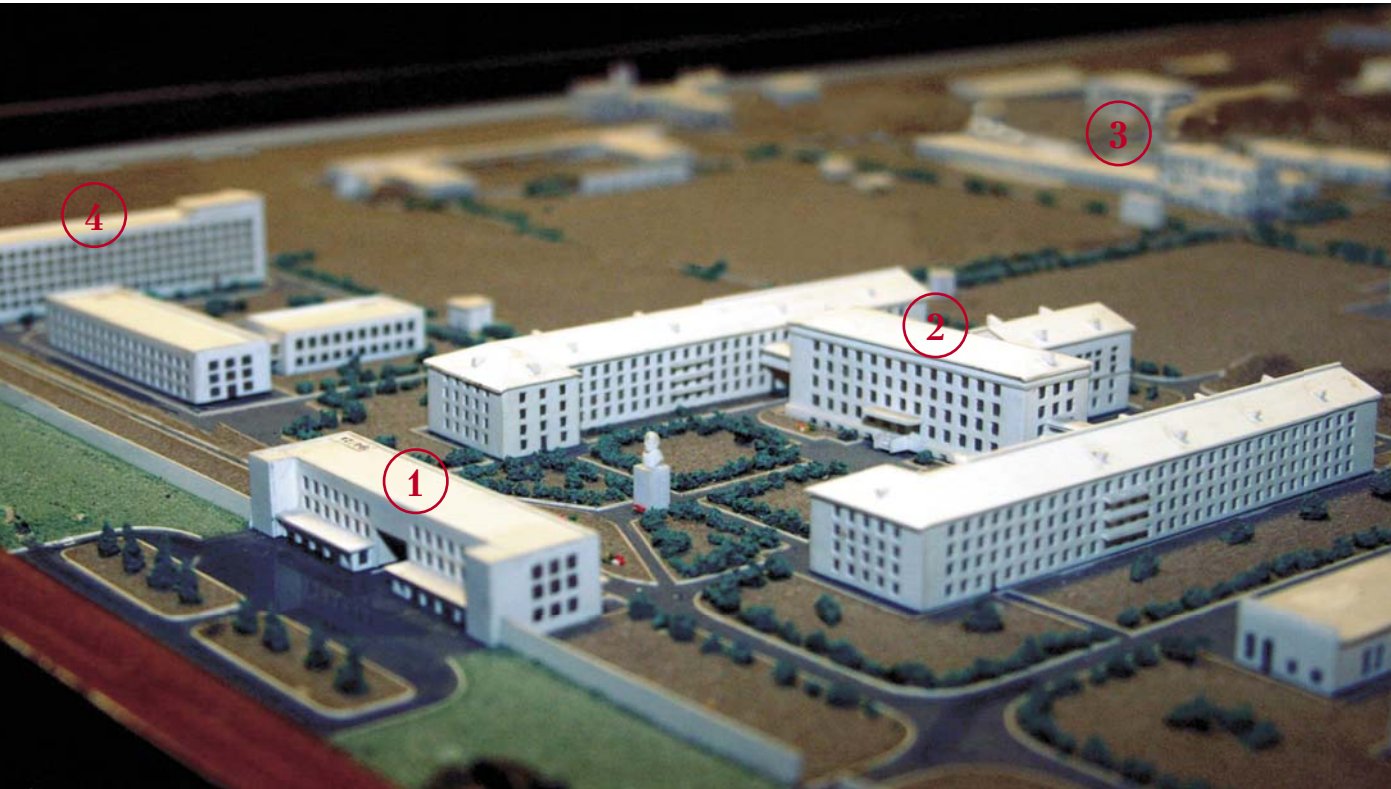
К началу Великой Отечественной войны в СССР были разработаны ракетные пороха, в результате чего арсенал Красной Армии пополнился реактивными минометами – легендарными «Катюшами». Реактивные снаряды содержали пороховую шашку, способную гореть определенное время, создавая в полете тягу. Это было ракетное оружие тактического назначения. Однако ядерная угроза, возникшая на исходе войны, поставила перед советскими учеными новые задачи исключительной сложности. За несколько лет им удалось преодолеть значительное отставание нашей страны в области ядерных вооружений, создать ракетное оружие стратегического назначения. Космический запуск спутника в 1957 году продемонстрировал уровень развития ракетных технологий в СССР, а наши военные тогда же получили межконтинентальное оружие, которого еще не было у США, – стратегические ракеты на жидком топливе Р-7.

Ракетная техника на жидком топливе была малонадежной и сложной в эксплуатации, имела ограниченный срок боевой готовности. Постепенно наметилось серьезное отставание в развитии отечественного ракетного вооружения, поскольку американцы ускоренными

Ключевые слова: твердое ракетное топливо (ТРТ), ракетный двигатель на твердом топливе (РДТТ), энергетика топлива, качество РДТТ, физикомеханика ТРТ, технология
Key words: solid propellant, solid propellant rocket engine, fuel power, impulse-weight ratio, solid propellant physicomechanics, technology



САКОВИЧ Геннадий Викторович – академик РАН, доктор технических наук, профессор. Первый заместитель генерального директора (1961—1984), генеральный директор (1984—1997) ФГУП «ФНПЦ «Алтай». Научный руководитель Института проблем химико-энергетических технологий СО РАН. Член Межведомственного координационного совета по проблемам спецхимии. Научные интересы: физико-химические технологии, высокоэнергетические материалы. Герой Социалистического Труда (1990). Награжден орденами Ленина (1976, 1990), Трудового Красного Знамени (1966) и «За заслуги перед Отечеством» III степени (2006). Лауреат Ленинской премии (1984), Государственных премий (1970, 1994), премии Совета Министров СССР (1990) и премии им. М. А. Лаврентьева «За выдающийся вклад в развитие Сибири и Дальнего Востока» (2003). Автор и соавтор более 500 научных работ и 250 патентов.



Единственный в России научно-образовательный и производственно-технологический комплекс территориально расположен на одной площадке наукограда Бийска. Здесь эффективно сочетаются фундаментальные исследования (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН [1]), научно-технические и технологические разработки (ФНПЦ «Алтай» [2] с опытными производствами [3]) и подготовка специалистов высшей квалификации (Бийский технологический институт Алтайского государственного технического университета [4])

Тяжелая ракетная техника активно использует двигатели, работающие как на твердом, так и на жидком топливе. Оба вида имеют свои достоинства и недостатки, поэтому проблема выбора решается, как правило, в зависимости от назначения ракет.

Ракеты на твердом топливе характеризуются почти стопроцентной надежностью и безопасностью в эксплуатации, значительной тягой и постоянной готовностью к боевому запуску на протяжении десятков лет. С другой стороны, ракеты на жидком топливе имеют существенные преимущества в регулировании величины и направления реактивной тяги. Например, первая советская ракета стратегического назначения Р-7, принятая на вооружение, работала на жидком топливе. Однако горючее закачивалось в баки в течение примерно 12 часов, а готовность ракеты к выполнению боевой задачи ограничивалась всего сутками, поскольку топливо начинало испаряться. При наступлении критического срока приходилось либо запускать ракету, либо сливать токсичное топливо, что в армейских условиях сделать непросто.

К сожалению, до сих пор многие отечественные подводные лодки вооружены ракетами на жидком топливе. Невозможность полного исключения их течи в автономном плавании создает серьезные риски, служащие мощным аргументом в пользу оснащения подводного флота исключительно твердотопливными ракетами.

Однако для огромных космических ракет при хорошо отлаженной инфраструктуре их обслуживания, запуска и эксплуатации проще и дешевле использовать жидкое топливо. Весь процесс подготовки к старту, связанный с заправкой, занимает 2—3 дня. Для космической отрасли такие сроки вполне приемлемы.



Наземное стендовое испытание ракетного двигателя позволяет замерить его рабочие энергетические характеристики для определения их соответствия проектно-расчетным значениям и подтвердить его гарантированную надежность, в том числе с помощью имитации запредельных нагрузок и воздействий



Подготовка к снаряжению корпуса первой ступени твердотопливной межконтинентальной баллистической ракеты, принятой на вооружение. Вес монозаряда – 45 тонн

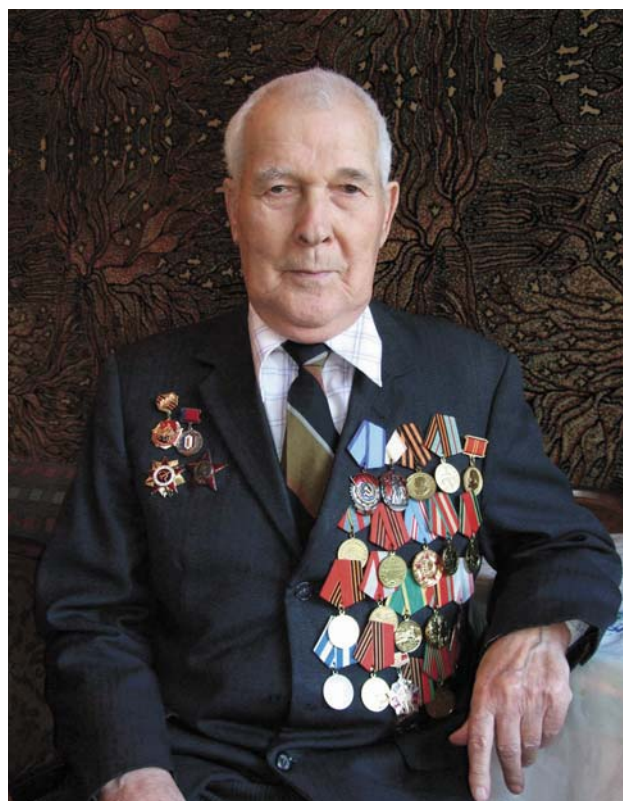
темпами развернули производство крупногабаритных ракетных двигателей на твердом топливе (РДТТ) для комплектации баллистических ракет как подводного базирования, так и шахтного размещения. Единственный выход из этой ситуации заключался в скорейшей разработке тяжелой ракетной техники на основе отечественных высокоэнергетических твердых топлив, которые еще предстояло создать.

В 1958 году вышло постановление советского правительства о создании НИИ-9, известного сегодня как Федеральный научно-производственный центр «Алтай», задачей которого была разработка и промышленное получение энергоемких твердых топлив и взрывчатых веществ самого широкого назначения. Основные усилия ученых и специалистов центра были сосредоточены на создании высокоэффективных твердотопливных зарядов для межконтинентальных баллистических ракет (МБР). Уже в 1967 году на параде военной техники по Красной площади проехала первая твердотопливная МБР с двигателями, снаряженными на «Алтае».

Испытания ракетных двигателей проводились не только на полигоне НИИ-9 (ФНПЦ «Алтай»), но и при запуске ракет наземного и морского базирования с северных полигонов страны в Плисецке и Северодвинске. Головные части ракет принимались на Камчатке.

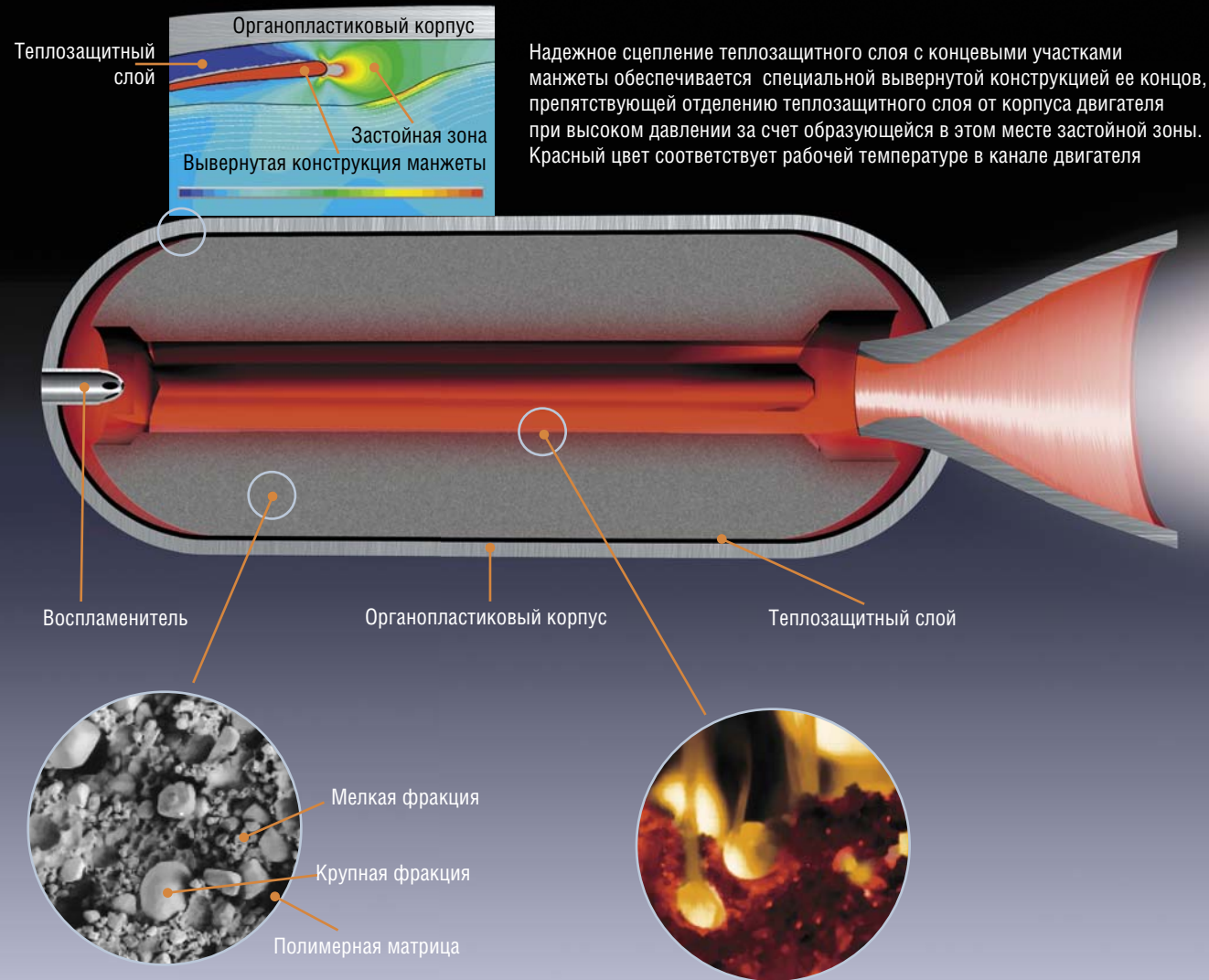
Траектория полета ракеты должна быть рассчитана очень точно, чтобы потом можно было легко найти место попадания. Однако не обошлось без ошибок, и тогда для обнаружения фрагментов ракеты на вертолете отправлялась группа аналитиков, следовавшая за ней в соответствии с расчетной траекторией полета и показаниями специально разработанного поискового комплекса.

Для полномасштабных проверок производились запуски ракет в Тихий океан. Цель находилась в нейтральных водах недалеко от Гавайских островов. В этом случае обязательно ставились в известность все заинтересованные стороны, в частности, рассылались сообщения судам с предупреждением о готовящемся запуске и рекомендацией не заходить в опасный район



Владимир Карпович Жулдыбин (р. 07.11.1924)
 Осенью 1941 г. поступил в военное училище. Воевал под Сталинградом с зимы 1942 г. до весны 1943 г. Дважды ранен в боях за освобождение Украины. Воевал в Польше, участвовал в наступлении на Берлин, освобождал Прагу. День Победы встретил в Бресте.
 В войну дослужился до звания старшего лейтенанта, а в год 50-летия Победы стал майором.
 После демобилизации в 1947 г. отправился домой, в Алтайский край. Поступил в филиал Алтайского политехнического института при Рубцовском тракторном заводе, где работал техником-конструктором.
 В январе 1961 г. пришел в НПО «Алтай», начав работать в должности начальника конструкторского отдела. Занимался разработкой нестандартного оборудования, курировал его работу как на опытном заводе НПО «Алтай», так и после внедрения на серийных заводах. В 1985 г. вышел на пенсию.
 За боевые заслуги Владимир Карпович награжден орденами Отечественной Войны I и II степени, орденом Красной Звезды и медалями, получал благодарности от Верховного Главнокомандующего.
 За активное участие в создании новой спецтехники в НПО «Алтай» награжден орденом Октябрьской Революции, получил почетное звание «Заслуженный изобретатель РСФСР»

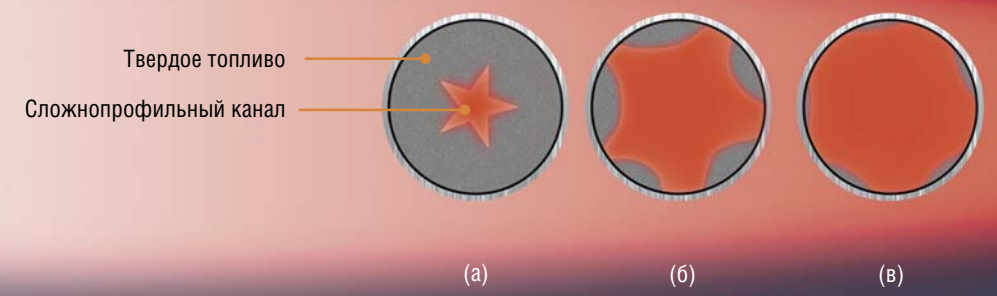
Василий Митрофанович Аксененко (р. 20.05.1921)
 Призван в армию в октябре 1942 г. Сержант, наводчик САУ-100. Освобождал Украину, Молдавию, Румынию, Западную Украину, Западную Белоруссию, Польшу и Германию. 29 апреля 1945 г. ранен в Берлине, после выздоровления в феврале 1946 г. демобилизован.
 Окончил химический факультет Томского государственного университета в 1951 г. и аспирантуру при Томском политехническом институте. Доктор химических наук.
 С ноября 1960 г. работал в НПО «Алтай». Сначала был начальником лаборатории, затем возглавил ведущий контрольно-аналитический отдел. Подготовил около 10 кандидатов наук. Активно участвовал в общественной жизни предприятия, в работе его научно-технического совета.
 В ноябре 1998 г. ушел на пенсию, оставаясь членом докторского диссертационного совета.
 За боевые заслуги Василий Митрофанович награжден орденом Красной Звезды, орденом Отечественной войны I степени, медалями «За победу над Германией», «За взятие Берлина», «За освобождение Варшавы».
 Во время работы в НПО «Алтай» награжден орденом Трудового Красного Знамени и орденом «Знак Почета», получил почетное звание «Заслуженный химик РСФСР»



Надежное сцепление теплозащитного слоя с концевыми участками манжеты обеспечивается специальной вывернутой конструкцией ее концов, препятствующей отделению теплозащитного слоя от корпуса двигателя при высоком давлении за счет образующейся в этом месте застойной зоны. Красный цвет соответствует рабочей температуре в канале двигателя

Представленная на микрофотографии структура топлива определяется отличающимися примерно на порядок частицами крупной и мелкой фракций окислителя, которые соединены между собой эластичным горючим материалом или полимерной матрицей. Использование различных фракций окислителя в структуре топлива обусловлено соображениями наиболее плотной упаковки его частиц в связующем материале

Процесс горения-разложения частиц крупной фракции окислителя на поверхности канала работающего двигателя



Вид поперечного сечения двигателя на начальном (а), промежуточном (б) и конечном (в) этапах его работы отражает трансформацию сложнопрофильного центрального канала в процессе выгорания топлива

Топливо и двигатель как одно целое

Благодаря возможностям новых химических технологий, в 1950-е годы начал развиваться способ получения разнообразных смесевых твердых топлив на основе замешивания горючего полимерного материала с кристаллами окислителя. Напоминавшая вязкое тесто смесь потом затвердевала. Появилась возможность отливать таким способом твердые топливные элементы очень больших размеров (сегодня вес подобной отливки может достигать 100 т).

При создании высокоэффективной межконтинентальной ракеты к смесевому топливу предъявляются исключительно жесткие требования. Основным кри-

терием эффективности топлива является его энергоемкость, способность при малом количестве выделять большую энергию. Для снижения общего веса ракетные конструктивы делают уже не из металла, а из высокопрочного и сравнительно легкого органопластика. Некоторые виды топлива выгорают с огромной скоростью (скажем, тонна в секунду), но при этом ракета должна быть надежно защищена от воздействия экстремальных температур внутри работающего двигателя.

Смесевое топливо помещается и формируется непосредственно в корпусе двигателя, полностью занимая рассчитанный для него объем. Прилегающий к стенкам топливный слой защищает их от пагубного воздействия высоких температур фактически в течение всего времени работы двигателя. Этот слой должен быть на-

УСТРОЙСТВО РАБОТАЮЩЕГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

В размещенную в корпусе топливную смесь с обоих торцов вставляются формовочные стержни нужной конфигурации. После их удаления внутри затвердевшей массы образуется центральный канал со сложным профилем открытой поверхности, при горении которой в канале создается расчетное давление. Процесс возгорания топлива инициируется воспламенителем, доводящим рабочую температуру внутри двигателя до 4000 К. Равномерное сгорание топлива с заданной линейной скоростью при рабочем давлении в 150 атм осуществляется по открытой поверхности заряда, внутренняя поверхность корпуса защищена от воздействия высоких температур слоем несгоревшего топлива практически до окончания работы двигателя. Торцевые части заряда защищены от прогорания эластичными термостойкими манжетами



Межконтинентальная баллистическая ракета оснащена несколькими десятками твердотопливных двигателей самого различного назначения и величины: от маршевых многотонных монолитных зарядов для трех ее ступеней до вспомогательных зарядов с весом от десятков граммов до килограммов. Все они должны обладать высокой гарантированной надежностью и оптимальными весогабаритными параметрами, поскольку входят в полезную нагрузку ракеты.

Работа такого крохотного двигателя позволяет огромной ракете совершать различные маневры в полете. В боевом снаряжении межконтинентальной баллистической ракеты мелочей нет

крепко приклеен к внутренним стенкам корпуса, иначе, в случае его отклеивания, внутри двигателя образуется дополнительная поверхность, искажающая расчетную работу двигателя.

Поскольку топливо и корпус имеют различающиеся на порядок коэффициенты расширения, необходимо учитывать влияние суточных и сезонных перепадов внешних температур на возможность разрыва топлива или его отклеивания от стенок двигателя. Нельзя допускать и разокисления находящегося в топливе кристаллического окислителя. Все перечисленные требования должны выполняться в течение двадцати лет – гарантированного срока несения ракетой боевого дежурства.

Современные ракетные двигатели на твердом топливе – это уникальные устройства, позволяющие ракете быстро разогнаться до огромной скорости и совершать маневры в полете, обеспечивающие безотказную работу различных функциональных модулей для выполнения общей боевой задачи. Хотя люди, создающие это сложнейшее вооружение, основную свою задачу всегда формулировали просто – главное, чтобы не было войны. Слишком высока была цена Великой Победы!



Слева-направо, верхний ряд: начальники отделов И. И. Анисимов, Р. Г. Калимуллов, А. Е. Горощенко; средний ряд: начальник отдела Н. Т. Аполонский, главный технолог Т. В. Манакова, начальник производства С. З. Ситдикова, заместитель генерального директора по науке В. Ф. Комаров, начальник отдела Ю. Н. Одинцов; нижний ряд: начальники отделов В. М. Аксененко и В. К. Жулдыбин, почетный директор ФНПЦ «Алтай» Г. В. Сакович, заместитель генерального директора Б. И. Ворожцов, начальник отделения Б. М. Аникеев

Ветераны-руководители ведущих подразделений НИИ-9 – АНИИХТ – НПО «Алтай» – ФГУП «ФНПЦ «Алтай» пришли на производство молодыми специалистами и стояли у истоков предприятия, пройдя вместе с ним все славные вехи 50-летнего становления и развития. Стойкие и преданные важному делу ученые и специалисты выполнили свой долг по укреплению обороноспособности страны.

Литература

Федеральный научно-производственный центр «Алтай» / Под ред. А. В. Литвинова // Приобские ведомости. 2008.

Соломонов Ю. С. Ядерная вертикаль. События и мысли. М.: Издательский дом «Интервестник», 2009.

Алинкин В. Н., Милехин Ю. М., Пак З. П. Пороха, топлива, заряды. Т. I. Методы математического моделирования для исследования зарядов твердого топлива. М.: Химия, 2003. 216 с.

Структурные механизмы формирования механических свойств зернистых полимерных композитов / Под ред. В. В. Мошова. Екатеринбург, 1997.



Сибирская база подводного флота

Сибирское отделение РАН всегда уделяло особое внимание вопросам обороноспособности страны. На протяжении многих лет в институтах СО РАН выполнялся большой комплекс исследований для Военно-Морского Флота по созданию и совершенствованию высокоскоростных подводных лодок. Тесное сотрудничество, сложившееся у организатора и первого председателя Сибирского отделения академика М. А. Лаврентьева с руководством ВМФ и ведущими конструкторами судостроительной промышленности, сохранялось и укреплялось его преемниками. Полученные сибирскими учеными результаты заслужили высокую оценку военных специалистов и судостроителей, были использованы для модернизации и повышения боеспособности отечественного подводного флота

Ключевые слова: математическое моделирование, экспериментальные исследования, подводная лодка, Академия наук, пограничный слой, турбулентность.
Key words: mathematical simulation, experimental studies, submarine, Academy of Sciences, boundary layer, turbulence



ДОБРЕЦОВ Николай Леонтьевич – действительный член РАН, доктор геолого-минералогических наук, научный руководитель Института геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН (Новосибирск).
Главный редактор журнала «НАУКА из первых рук»



ФОМИН Василий Михайлович – действительный член РАН, доктор физико-математических наук, директор Института теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск)

В конце 1950-х годов в подводном флоте нашей страны происходили революционные изменения. Переход к атомной энергетике позволял резко увеличить водоизмещение подводных лодок, скорость их движения, автономность плавания, скрытность, мощность вооружения и т. д. Решение таких задач требовало мощного научного обеспечения и большой организаторской работы. В результате академики М. А. Лаврентьев, Л. И. Седов и А. П. Александров создали Научный совет по проблемам гидродинамики больших скоростей при Президиуме АН СССР, в который наряду с представителями



В конце 1950-х годов перед Институтом гидродинамики, возглавляемым М.А. Лаврентьевым, были поставлены задачи: исследования возможности резкого уменьшения полного сопротивления подводных лодок и оптимизации их прочностных характеристик. Для проведения необходимых экспериментальных исследований было предложено использовать легкие автономные, в том числе и крупномасштабные, модели, всплывающие под воздействием силы плавучести. Сопротивление движущихся в воде тел при реально достижимой скорости в десятки раз меньше их полного водоизмещения, поэтому достаточно даже небольшой положительной или отрицательной плавучести, чтобы хорошо обтекаемое тело приобрело значительную скорость всплытия или погружения вдоль своей оси. Использование автономных всплывающих и погружающихся моделей имело ряд преимуществ: сравнительная дешевизна, натурная внешняя турбулентность набегающего потока, отсутствие вибраций, большие скорости движения достаточно больших моделей. Однако для проведения таких исследований требовалась акватория с достаточными глубинами вблизи берега. Такие места впоследствии были найдены и использованы на оз. Иссык-Куль в Киргизии и на Черном море, на базе Сухумского филиала Академии наук.

академической науки вошли ведущие специалисты Военно-морского флота, отраслевых министерств и ведомств. На его заседания регулярно приглашались с докладами непосредственные исполнители научных исследований и параллельных конструкторских разработок. Деятельность Научного совета являла хороший пример взаимодействия ученых и конструкторов с военными специалистами.

Возникшее в те же годы Сибирское отделение Академии наук изначально уделяло особое внимание вопросам обороноспособности страны. Большой комплекс работ выполнялся в интересах подводного флота страны, в том числе в рамках Постановления Правительства 1959 года по созданию высокоскоростных подводных лодок. Тесные творческие связи, сложившиеся у организатора и первого председателя СО РАН академика М.А. Лаврентьева с руководством ВМФ и ведущими конструкторами судостроительной промышленности, сохранялись и укреплялись его преемниками. В течение многих лет в Сибирском отделении активно работал Координационный совет по проблемам ВМФ, в состав которого входили видные сибирские ученые, представители головных институтов и командования флота, ведущих предприятий судостроительной отрасли.

В целом исследования, проводившиеся учеными СО РАН для улучшения характеристик отечественных подводных лодок, можно свести к трем основным направлениям:

- повышению быстроходности и маневренности судна за счет снижения сопротивления путем управления пограничным слоем и использования принципиально новых покрытий корпуса;
 - улучшению деформационно-прочностных характеристик корпуса за счет использования новых перспективных материалов;
 - исследованию гидродинамического следа за судном, движущимся в стратифицированной среде.
- Остановимся отдельно на каждом из этих направлений и отметим основные результаты проведенных исследований.

Пузырьки против турбулентности

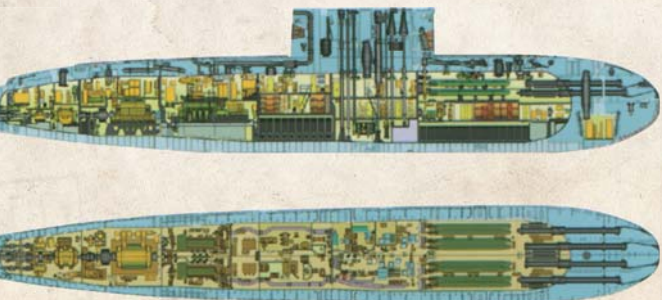
В начале 1940-х годов советскими учеными была предсказана возможность уменьшения касательных напряжений на два порядка путем насыщения турбулентного пограничного слоя плотной пузырьковой пленкой. В 1960–1970-х годах в Институте гидродинамики СО АН СССР экспериментально было подтверждено значительное уменьшение касательных напряжений и, как следствие, полного сопротивления пластины и осесимметричных тел при наличии пузырьков в потоке. Публикация этих результатов в середине 1970-х годов



Большую роль в постановке и проведении исследований сибирских ученых в интересах ВМФ сыграла Секция прикладных проблем при Президиуме АН СССР с отделением в Новосибирске, которое возглавил Г.С. Мигиренко, а также прикомандированный к Институту гидродинамики отдел НИИ ВМФ.



Георгий Сергеевич Мигиренко (1916—1999) – советский механик и математик. Доктор технических наук. Профессор. Лауреат Ленинской премии (1962). Заслуженный деятель науки и техники РФ. Работал в Военно-морской академии кораблестроения (1946—1952), Математическом институте АН СССР (1953—1958), в Институте гидродинамики СО АН СССР (1959—1973). Преподавал в Новосибирском государственном университете и Новосибирском государственном техническом университете. Участник Великой Отечественной войны. Контр-адмирал в отставке. Третье награжден орденами Красной Звезды, другими орденами и медалями СССР.



Полимерные добавки против турбулентности

В начале 1970-х годов в Институте гидродинамики СО АН СССР началось изучение влияния ввода в поток малых высокомолекулярных полимерных добавок для снижения турбулентного трения. Известные к этому времени экспериментальные работы с полимерными добавками позволяли надеяться на быстрое решение проблемы резкого снижения гидродинамического сопротивления водного транспорта. В результате тесного взаимодействия с химиками в кратчайшие сроки было налажено производство отечественного высокомолекулярного полимера – полиэтиленоксида (ПЭО), не уступающего по своим свойствам американским аналогам.

При больших числах Рейнольдса эксперименты с использованием полимерных добавок показали пятикратное снижение полного сопротивления осесимметричного тела под нулевым углом атаки и резкое снижение высокочастотных пульсаций давления на стенке. Большая серия экспериментальных работ была связана с совершенствованием систем эжекции полимерных растворов. Итогом комплексных исследований отечественных ученых стало создание подводной лодки-лаборатории, оборудованной системой хранения, подготовки и эжекции растворов ПЭО.

Поскольку используемые для снижения гидродинамического сопротивления полимеры были довольно дороги, в Институте теплофизики СО АН в 1980-е годы были выполнены исследования, направленные на увеличение рентабельности их использования. Полученные результаты определили наиболее перспективное направление дальнейшей работы по целевому использованию высокомолекулярных добавок – мягкая дезинтеграция их макромолекул перед вводом в поток.

Податливые покрытия против турбулентности

Предложение об использовании податливой поверхности для уменьшения сопротивления тела было выдвинуто в 1950-е годы. Проблема состояла в том,

вызвала большой интерес прежде всего у американских и японских исследователей. Детальное воспроизведение наших экспериментов подтвердило достоверность результатов. Однако при этом выявились и некоторые принципиальные противоречия между результатами, полученными в разных странах на разных экспериментальных установках. Выявленные противоречия вызвали необходимость выяснения механизмов взаимодействия пузырьковой пелены с турбулентностью в пограничном слое.

Проведенные в Институте гидродинамики исследования показали, что под воздействием локальных градиентов давления вихревые структуры, сталкиваясь с мелкими пузырьками, всасывают их в себя и уносят от смоченной поверхности. Сталкиваясь с более крупными пузырьками, вихревые структуры разрушаются и тем самым уменьшают потери энергии, необходимой для их дальнейшего развития, а следовательно, уменьшают и касательные напряжения. Детальное исследование особенностей обтекания тел при отрицательном и положительном градиентах давления вдоль смоченной поверхности позволило понять не только характер взаимодействия пузырьковой пелены с вихревыми структурами вблизи тела при различных режимах обтекания, но и причину экспериментальных разногласий.

Выясненные механизмы взаимодействия дали возможность оптимизировать обводы тел для наиболее эффективного использования этого явления. В настоящее время насыщение турбулентного пограничного слоя пузырьками в упомянутых странах признано одним из наиболее перспективных способов уменьшения полного сопротивления судов.

гидродинамика
и акустика
пристенных
и свободных
течений

СБОРНИК
НАУЧНЫХ
ТРУДОВ

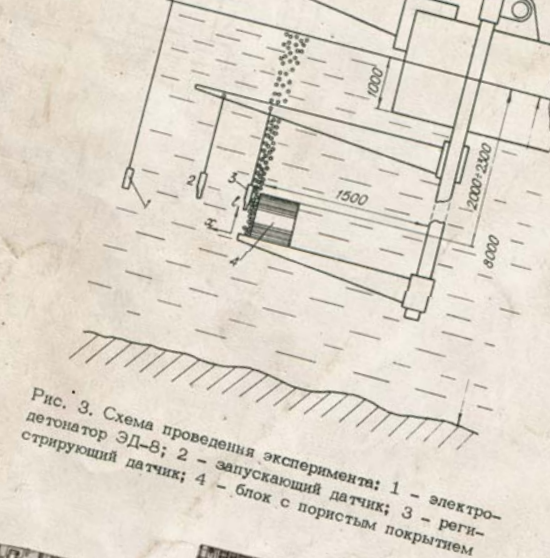
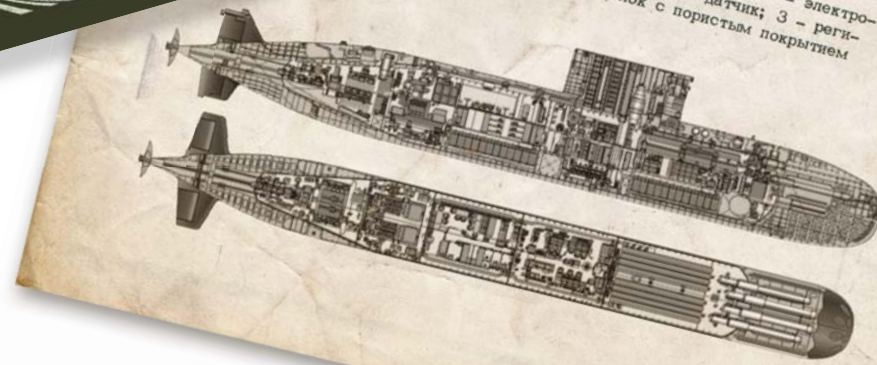


Рис. 3. Схема проведения эксперимента: 1 – электродетонатор ЭД-8; 2 – запускающий датчик; 3 – регистрирующий датчик; 4 – блок с пористым покрытием



что опытным путем была показана возможность как уменьшения, так и увеличения сопротивления тела за счет использования податливой поверхности. Таким образом, требовалось разработать физическую модель, адекватно описывающую это явление и способное указать алгоритм выбора податливой поверхности, уменьшающей сопротивление тела. Такая модель, основанная на волновой интерференции, была предложена в Институте теплофизики новосибирского Академгородка. С ее помощью удалось не только установить физически обоснованные свойства податливого покрытия, уменьшающего сопротивление за счет снижения турбулентного трения, но и предложить методику выбора такого покрытия.

В последние годы сибирскими учеными разработаны композиции и технология изготовления однослойных покрытий, прошедших несколько серий испытаний как в нашей стране, так и за рубежом (США, Англия). Анализ результатов не только подтвердил эффективность предложенного расчетного метода выбора покрытий и гидродинамических условий для снижения сопротивления, но и наметил пути совершенствования покрытий при сохранении простоты их изготовления. Податливые покрытия для снижения сопротивления экономически весьма привлекательны, что поддерживает устойчивый интерес к их разработке и исследованию.

Тройной эффект

Идея совместного использования податливого покрытия, полимерных добавок и пузырькового газонасыщения для управления пристенной турбулентностью возникла благодаря описанным выше успехам в ее исследовании. С другой стороны, области эффективного применения этих способов управления сильно разнятся. Податливая поверхность реагирует на длинноволновые (более 1000 вязких масштабов) возмущения. Малые высокомолекулярные полимерные добавки подавляют микровихревую турбулентность с размерами менее 100 вязких масштабов. Текущий пристенный экран из микропузырьков способен разрушать мощные длинноволновые флуктуации, направленные к стенке из турбулентного ядра и внешнего потока. Можно было ожидать, что совместное применение этих способов управления позволит уменьшить генерацию пристенной турбулентности практически во всем ее пространственном спектре.

Проведение соответствующих экспериментов при широкой вариации гидродинамических условий и параметров показало существование зоны положительного взаимодействия, в которой совместная эффективность в снижении турбулентного трения больше суммы индивидуальных эффективностей.

Это означает, что взаимодействие различных способов управления пристенной турбулентностью является сегодня одним из наиболее важных и перспективных направлений исследований в этой области.



Материал на перспективу

В середине 1960-х годов в Институте гидродинамики СО АН были экспериментально исследованы прочностные особенности титановых сплавов, которые должны были заменить конструкционную сталь в корпусе подводной лодки. Будучи почти вдвое легче стали, титан практически не уступает ей по пределу прочности. Однако оставались вопросы. Так, одной из особенностей титановых сплавов является их ползучесть, означающая неограниченное деформирование при обычной температуре и нагрузках даже ниже предела текучести. Если по упругопластическим характеристикам титан можно считать изотропным материалом, одинаково ведущим себя при растяжении и сжатии, то по характеристикам ползучести титан имеет существенную анизотропию, ведя себя при растяжении и сжатии по-разному. Так, например, один из двух одинаковых образцов, вырезанных из листа в одном и том же направлении, подвергли растяжению, а другой – сжатию при одинаковых напряжениях. Первый разрушился через полтора месяца, второй простоял под нагрузкой около двух лет и не разрушился, после чего эксперимент был прекращен.

Известно, что необратимые деформации сопровождаются накоплением усталости материала, приводящим к его разрушению. Это обстоятельство требует определения напряженно-деформированного состояния любого элемента конструкции с целью определения места и срока ее разрушения. Анизотропия титановых сплавов при растяжении и сжатии существенно усложняет расчет сделанных из них конструкций на прочность, поэтому наряду с экспериментальными исследованиями в Институте был выполнен цикл теоретических работ по определению напряженно-

деформированного состояния элементов конструкций подводной лодки с учетом пластических деформаций и явления ползучести.

Важные результаты были получены и в экспериментах, исследовавших влияние температуры окружающей среды на деформации титановых сплавов в диапазоне от -50 до 100 °С.

На протяжении многих лет проводились численные и экспериментальные исследования деформационно-прочностных свойств конструкций из перспективных композитных материалов.

Движение по следу

Вместе с появлением подводных лодок возникли проблемы их обнаружения и маскировки. Применение акустических методов обнаружения привело к технической модернизации подводных лодок, значительно снизившей их шумность. Развитие неакустических методов обнаружения подводных лодок шло по разным направлениям.

Ученые Сибирского отделения АН сосредоточили свои усилия на исследовании возмущений гидродинамических полей, вызванных движущейся на глубине с большой скоростью подводной лодкой. В этом случае основными являются гидродинамические возмущения от ее обтекания и турбулентный след за ней. Большое разнообразие в такие течения вносит плотностная неоднородность жидкости по глубине (стратификация), существующая в реальных морских и океанских условиях из-за переменной температуры и солености. В такой жидкости существуют внутренние волны



Б. В. Войцеховский и Г. С. Мигиренко на параде Победы в Новосибирске 9 мая 1969 г.

с максимальными амплитудами на глубине и большим диапазоном длин и скоростей распространения. Именно их регистрация представляется наиболее перспективной для обнаружения подводного судна, движущегося на большой глубине под свободной поверхностью.

Попытки решения этой задачи эмпирическим путем к успеху не привели, поскольку малые возмущения гидродинамических полей пришлось выявлять на фоне сильных внешних помех. В связи с этим основной упор был сделан на математическое моделирование кильватерного следа за судном, который состоял из турбулентного следа и поля внутренних волн, генерируемых этим следом и корпусом подводной лодки. Параллельно была выполнена большая серия имевших самостоятельное значение экспериментальных работ, результаты которых были использованы при создании, апробации и корректировке математических моделей.

Особенности трансформации турбулентного следа за телами изучались в отсутствии и присутствии движителя, в однородной и стратифицированной среде. Созданные в результате кропотливой работы сибирских ученых математические модели турбулентного следа и генерируемых им внутренних волн позволили рассчитывать их характеристики, надежность которых была подтверждена результатами лабораторных и натурных экспериментов. Математическое моделирование позволило получить оценки параметров турбулентного следа и генерируемых им внутренних волн в реальной морской среде.

Проведенные исследования дали возможность обосновать переход к упрощенным математическим моделям при расчете следа на больших расстояниях от тела, когда для анализа внутренних волн можно

было использовать двумерные уравнения Эйлера. Для целого ряда практически важных стратификаций была построена линейная теория внутренних волн, генерируемых турбулентным следом. Для расчета характеристик собственно турбулентного следа также была построена приближенная диффузионная модель. В результате применения физически обоснованных упрощений математической модели время численных расчетов сократилось по меньшей мере на порядок, что дало возможность проводить их с использованием бортовых ЭВМ подводных лодок.

Ученые показали, что для внутренних волн, идущих от корпуса, слои с резким градиентом плотности, по сути, являются волноводами, по которым возмущения распространяются на большие расстояния в поперечном направлении. В результате внутренние волны, создаваемые подводной лодкой, проявляются и на свободной поверхности в виде поля поперечных скоростей в узком следе. При взаимодействии с умеренным ветровым волнением (до 4 баллов) этот след может быть обнаружен локационной аппаратурой, установленной на самолетах или спутниках.

Результаты проведенных в Сибирском отделении АН исследований показали возможность обнаружения подводных лодок по кильватерному следу с помощью реальных технических средств. Расчеты по предложенным методикам позволили сформулировать требования к чувствительности, пространственно-временной разрешающей способности и уровню собственных шумов аппаратуры для обнаружения подводных лодок по целому ряду признаков, к которым относятся внутренние волны от корпуса и турбулентного следа, флуктуации скорости и плотности (температуры, солености) в следе, степень радиоактивности. Разработанные математические модели позволяли выбирать оптимальные режимы движения подводной лодки и глубины ее погружения в различных гидрологических условиях для обеспечения скрытности маневров.

Рекомендации сибирских ученых получили высокую оценку командования ВМФ, были использованы при формировании тактико-технических требований к перспективным подводным лодкам и при проведении опытно-конструкторских работ ведущими предприятиями судостроительной промышленности страны.

Литература

Роль российской науки в создании отечественного подводного флота / А. А. Саркисов (ред). Москва: Наука, 2008. С. 176–186.

В подготовке статьи использованы иллюстративные материалы из кн. «Роль российской науки в создании отечественного подводного флота» (2008) и фотографии Р. Ахмерова



В. И. МОЛОДИН, А. С. ПИЛИПЕНКО

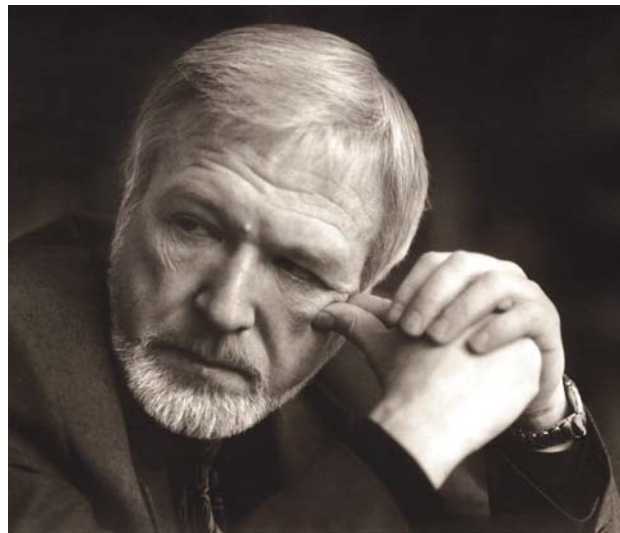
ДРЕВНЯЯ ДНК И СТАБИЛЬНЫЕ ИЗОТОПЫ – НОВЫЕ ОТВЕТЫ НА СТАРЫЕ ВОПРОСЫ



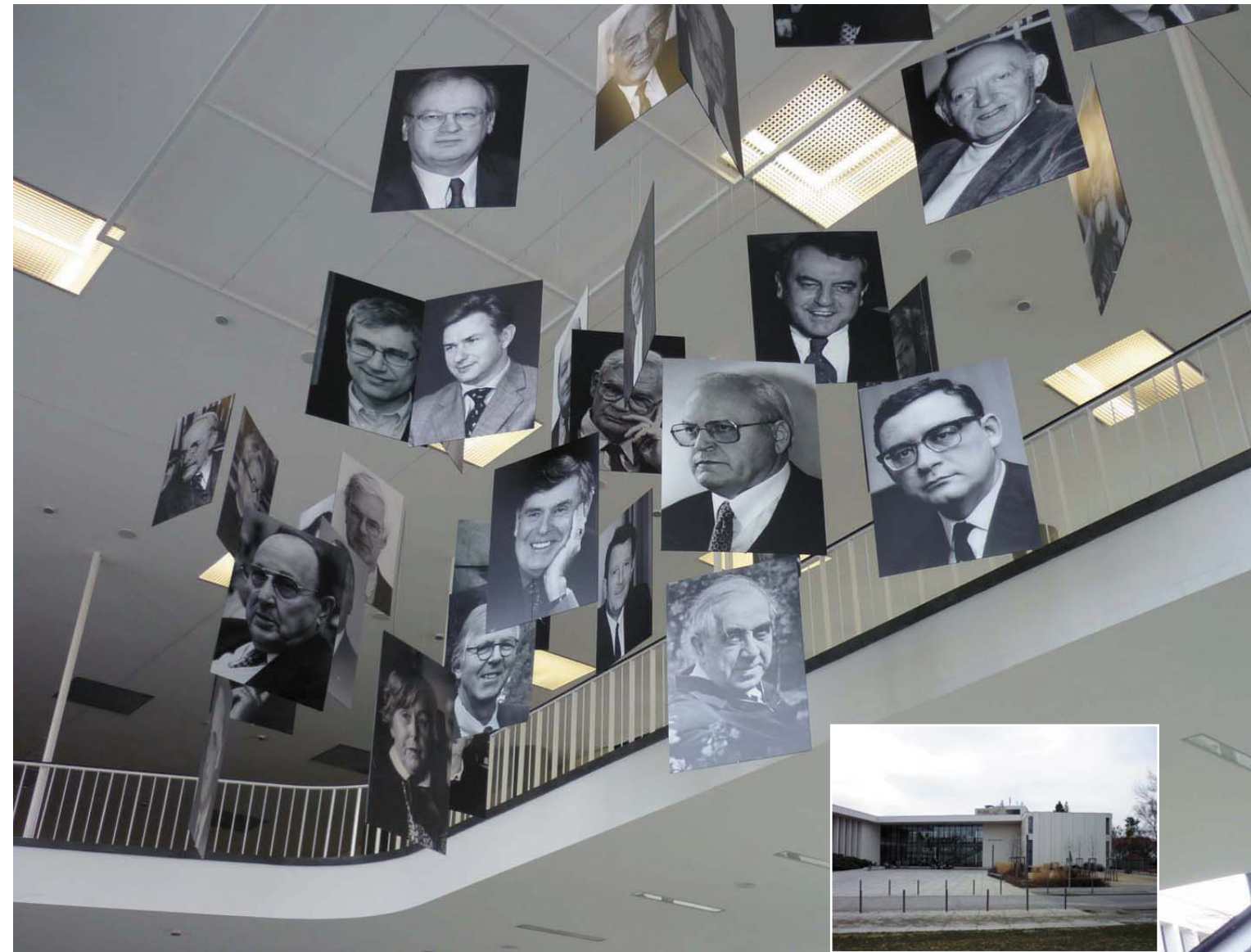
24—26 марта 2010 г. на базе Свободного университета Берлина (Freie Universität Berlin) проходила международная конференция «Миграции в доисторические времена и в ранней истории. Стабильные изотопы и популяционная генетика – новые ответы на старые вопросы?» («Migration in Prehistory and Early History. Stable Isotopes and Population Genetics – New Answers to Old Questions?»). Организаторами конференции являлись: Freie Universität Berlin и Stiftung Preussischer Kulturbesitz. Цель форума – впервые собрать на одной площадке представительное международное сообщество специалистов в области анализа стабильных изотопов, палеогенетики, археологии и смежных направлений для обсуждения возможностей использования новых естественно-научных методов в изучении древних миграционных событий, перспектив и направлений развития этих областей знаний, а также объединения усилий специалистов в сфере комплексных исследований миграций



ПИЛИПЕНКО Александр Сергеевич – окончил аспирантуру ИЦиГ СО РАН в 2008 г., младший научный сотрудник сектора палеогенетики лаборатории молекулярных основ генетики животных ИЦиГ СО РАН. Область научных интересов – изучение структуры генофонда древнего населения Сибири и сопредельных территорий методами палеогенетики, анализ древней ДНК животных, микроорганизмов из археологических памятников. Автор и соавтор около 20 научных работ



МОЛОДИН Вячеслав Иванович – академик РАН, доктор исторических наук, заместитель директора Института археологии и этнографии СО РАН, профессор НГУ, член-корреспондент Германского археологического института, лауреат международной премии им. А. П. Карпинского (2000), Государственной премии РФ (2004)



Конференция проводилась на базе Свободного университета Берлина. На фотографиях – выдающиеся ученые и общественные деятели, связанные с университетом

Наибольшие надежды мирового научного сообщества на прогресс в области исследования древних миграционных процессов на данный момент связаны с развитием методологии анализа древней ДНК и стабильных изотопов из археологических останков. Активная работа в этом направлении ведется более чем в 30 научных центрах, расположенных во многих странах Европы и Америки. Еще более широка география регионов-объектов исследования – от Южной Америки до Западной Сибири и циркумполярных областей Северной Америки. Сегодня наметились две тенденции в развитии

подходов к исследованию древних миграций. Первая предполагает использование одного из новых направлений (анализ стабильных изотопов, палеогенетика) в качестве основного, в то время как другие подходы (включая традиционные – археологию, физическую палеоантропологию) играют роль вспомогательных.

Вторая, альтернативная, тенденция заключается

Ключевые слова: древние миграции человека, палеогенетика, древняя ДНК, митохондриальная ДНК, стабильные изотопы.
Key words: Prehistoric human migrations, paleogenetics, ancient DNA, mitochondrial DNA, stable isotopes



В работе конференции приняли участие специалисты в области палеогенетики, анализа стабильных изотопов и археологии из 11 стран и более чем из 30 научных центров Европы и Америки, занимающиеся проблемами древних миграций человека и сопутствующих ему domesticiрованных животных

также в комплексном подходе к объекту исследования, но в данном случае зарекомендовавшие себя ранее методы, такие как археологический анализ элементов материальной культуры древних этнокультурных групп с поиском аналогий, этнографические исследования, физическая антропология (краниометрия, одонтология), палеозоология (остеометрия), палеоботаника (в первую очередь палинология), выступают в качестве основных, дополняясь одним из новых методов. В результате такого подхода существовавшее ранее представление о миграционных процессах обогащается новыми данными.

По мнению авторов, будущее в изучении миграций принадлежит именно комплексному подходу, который в ближайшей перспективе, несомненно, дополнится новыми методами исследования.

Новые инструменты археолога

Сложность и многогранность миграционных процессов, касающихся как человека, так и сопутствующих ему domesticiрованных животных, к настоящему моменту в наибольшей степени удалось оценить тан-дему археологов и этнографов. Именно при изучении памятников археологии исследователи сталкиваются с проявлениями и последствиями древних миграционных событий самого разного масштаба и характера.

Исследования этнографов часто помогают правильно интерпретировать обнаруженные явления. Представление археологов о ходе миграционных процессов, по-видимому, в наибольшей степени приближается к реальной картине событий прошлого*.

На сегодняшний день методы изотопного анализа и палеогенетики начали широко применяться в исследованиях древних миграций самого разного масштаба – от локальных до континентальных. При этом активность использования данных методов зависит от масштабов исследуемых миграций. Подавляющее большинство работ по изотопному анализу связано с исследованием миграций на локальном уровне (от единичных памятников до небольших территорий), и в меньшей степени – на уровне значительных по площади регионов**.

Палеогенетический же подход пока чаще применяет-

* Проблему необходимости учета и тщательного использования накопленных археологией данных о характере древних миграционных событий в своем докладе на конференции озвучил профессор W. Schier.

** Например – пространство евразийского степного пояса (доклады Gerling et al., Shishlina et al.).



Проф. Молодин (справа) и проф. Бургер



Проф. Парцингер во время доклада



Александр Пилипенко



Момент работы конференции. В центре – проф. Прайс (США), специалист в области анализа стабильных изотопов

Freie Universität Berlin
Exzellenzcluster 264 Topoi
Hittorfstraße 28
14195 Berlin
Tel. +49.30.838-53792
Fax +49.30.838-53770
elke.kaiser@topoi.org
www.topoi.org



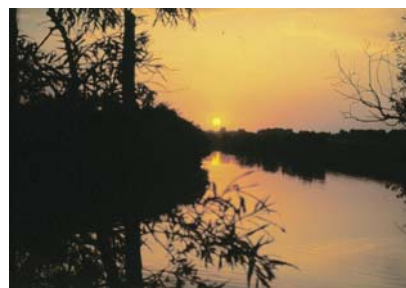
Migrations
in Prehistory
and Early
History

Stable
Isotopes and
Population
Genetics – New
Answers to Old
Questions?

International
Conference
- 26.03.2010
Venue
Henry-Ford-Bau der Freien Universität Berlin
Hörsaal D | Lecture room D
Gärnystraße 35 | 14195 Berlin-Dahlem



Первый импульс внешнего влияния на население западно-сибирской лесостепи фиксируется на раннем этапе кротовской культуры (начало II тыс. до н.э.). В погребальных комплексах этого периода появляются предметы, характерные для культур Средней Азии (ножи особой формы, украшения) (Молодин, 1988). Данные физической антропологии и палеогенетики свидетельствуют о том, что это влияние не сопровождалось миграцией в Барабинскую лесостепь генетически контрастного населения



*** На конференции было представлено также несколько палеогенетических работ, посвященных миграциям на локальном уровне, что является новой страницей в развитии палеогенетики (доклады Fehren-Schmitz (Gottingen) и Molodin et al. (Новосибирск))

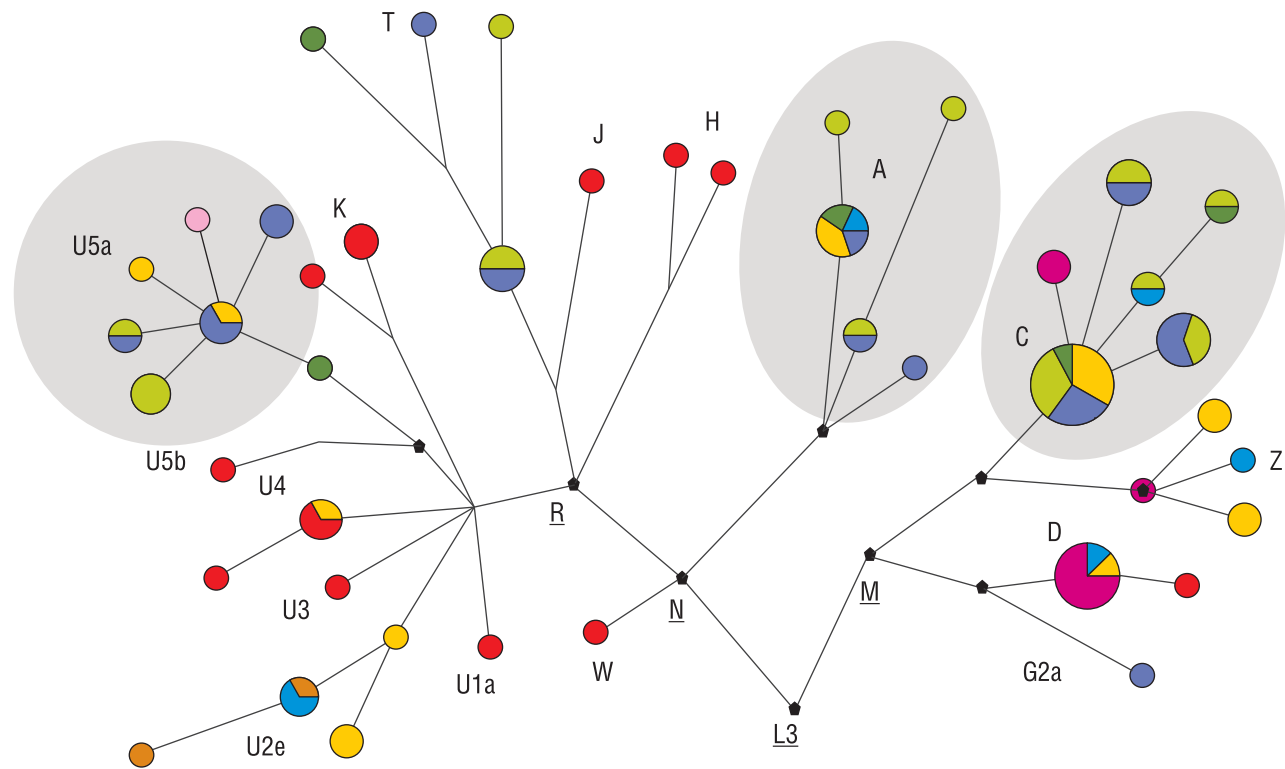
Х р о н о л о г и ч е с к а я ш к а л а к у л ь т у р

Хронологическая шкала археологических культур Барабинской лесостепи эпохи бронзы, исследованных методами археологии, палеогенетики и физической антропологии

н . э .
Д
о
в
е
т
е
л
е
ч
я
с
ы
т

- I Археологическая культура
- Переходный период от бронзы к железу
- Культуры эпохи поздней бронзы
- II Андроновская (федоровская)
- Позднекротовская
- Кротовская (ранний этап)
- III Одиновская
- IV Усть-Тартасская
- VI-V Неолитическое население





Схематическое изображение филогенетического дерева митохондриальной ДНК представителей населения Барабы различных периодов эпохи бронзы. Кругами обозначены отдельные структурные варианты мтДНК. Размер круга пропорционален численности обнаруженных индивидов – носителей данного структурного варианта мтДНК. Цветовые обозначения этнокультурной принадлежности образцов аналогичны обозначениям в Хронологической шкале археологических культур. Контурами выделены группы мтДНК, маркирующие генетическую преемственность между разновременными популяциями

независимыми группами при анализе одних и тех же материалов. К сожалению, в настоящее время, приступая к исследованию миграций методом стабильных изотопов в каком-либо регионе, исследователь часто вынужден самостоятельно получать данные как относительно непосредственного объекта исследования – останков анализируемой древней группы людей или животных, так и общей картины распределения содержания изотопов на территории изучаемого региона, а также в местах предполагаемого источника миграции. В связи с этим большинство авторов работ ограничиваются лишь фактом выявления однородности (неоднородности) содержания изотопов в серии образцов по сравнению с базовым для региона уровнем и констатацией наличия (отсутствия) мигрантов в рассматриваемой древней группе людей.

Создание международной базы данных с открытым доступом, в которую заносятся бы все полученные в рамках направления результаты, стандартизованные по одним критериям (последние еще предстоит

определить международному сообществу), позволило бы в перспективе значительно усилить интерпретационную составляющую исследований древних миграций методами анализа стабильных изотопов.

Бараба в записках древней ДНК

Одним из принципов развития палеогенетических исследований с самого начала было предоставление исследователями результатов своих работ научному сообществу (публикация, размещение в международных базах данных) в полном объеме, пригодном для их дальнейшего независимого использования. Это было связано с настоящей необходимостью выработки общих критериев достоверности палеогенетических результатов, подверженных сильному влиянию контаминации древних образцов современной ДНК. В настоящее время данные, полученные методом анализа древней ДНК, могут быть опубликованы и считаться



Предполагаемое направление миграции носителей андроновской (федоровской) культуры в западно-сибирскую лесостепь. На территории Барабы мигранты сосуществуют с аборигенным позднекротовским населением и взаимодействуют с ним на уровне материальной культуры (Молодин и др., 2009) и митохондриальной ДНК (Пилипенко и др., 2009)

достоверными только при выполнении ряда условий. Речь идет и о методах отбора материала для анализа и об особенностях оснащения палеогенетической лаборатории, и о мерах по верификации результатов в процессе выполнения эксперимента. Опубликованные же палеогенетические данные, признанные достоверными мировым научным сообществом, автоматически входят в состав условной общемировой базы палеогенетических данных и могут быть использованы другими группами исследователей при интерпретации своих результатов.

Требования к достоверности результатов при работе с останками людей современного типа существенно выше (из-за повсеместного распространения ДНК современного человека), чем при работе с животными. По-видимому, этим объясняется относительно небольшое число палеогенетических работ, непосредственно связанных с анализом ДНК останков человека. При этом многие исследования, посвященные изучению древних миграций человека, выполняются на останках одомашненных животных, сопутствовавших человеку – лошадей, свиней, коров, коз, овец. Обнаруженные данные о миграциях животных могут коррелировать, с некоторыми поправками, с миграциями древних популяций человека*.

Исследования же, непосредственно связанные с анализом древней

* На конференции в рамках этого направления были представлены только работы на уровне масштабных регионов.



Схема предполагаемых миграций на территорию Барабинской лесостепи в конце эпохи бронзы. Увлажнение климата приводит к миграции населения таежного пояса в зону лесостепи. В то же время по археологическим материалам фиксируется миграция населения берликовской культуры с территории Северного Казахстана в Барабу (Молодин и др., 2008). Генетические данные подтверждают миграцию в регион населения с юга. Филогеографический анализ позволил выявить несколько вариантов митохондриальной ДНК, маркирующих это направление миграции (указаны на рисунке) (Пилипенко и др., 2009)

ДНК из останков человека традиционно проводятся в отношении масштабных миграций, потенциально повлиявших на генетический состав населения обширных территорий, вплоть до материков. Например, миграции носителей навыков сельскохозяйственного производства из ближневосточного региона на территорию Европы (Burger et al.). В рамках этого научного направления, которое сложилось довольно давно и на данный момент доминирует в палеогенетике, результаты анализа сравнительно небольшого числа образцов древней ДНК (в большинстве случаев митохондриальной ДНК) используются исследователями для реконструкции достаточно схематичной картины миграционных событий. Возможность подобной интерпретации данных обеспечивается применением последующего сложного математического моделирования исследуемых процессов.

Относительно новой тенденцией является появление палеогенетических работ, рассматривающих миграционные процессы на небольших локальных территориях. С нашей точки зрения, такой подход позволяет получить картину, более приближенную

к действительности. При этом на первый план выходит проблема выбора адекватного объекта исследования, и, следовательно, – корректного учета данных археологии, физической антропологии и других областей знаний. Это позволяет, в некоторых случаях, распространить выявленные закономерности на более масштабные явления.

К немногим работам, выполненным в этом направлении, относится исследование, проведенное авторами этой статьи (Molodin et al., 2010). В результате длительных исследований удалось реконструировать и охарактеризовать динамику состава линий мтДНК в генофондах древних этнокультурных групп, населявших лесостепную полосу Западной Сибири на протяжении более 3 тыс. лет в эпоху бронзы, на модели населения Барабинской лесостепи, скоррелировав полученные результаты с данными археологии и физической антропологии. Анализ проводился в контексте поставленной проблемы о предполагаемых миграционных событиях, фиксируемых в регионе в данный период. В результате удалось показать, что существенную роль в генезисе

населения Барабы различных периодов эпохи бронзы играли автохтонные генетические и этнокультурные компоненты. Вместе с тем наблюдались и существенные изменения генетического состава населения, во многих случаях коррелирующие с археологическими представлениями и связанные с приходом в западно-сибирскую лесостепь носителей новых этнокультурных образований.

Таким образом, показана эффективность данного подхода для изучения миграционных событий и реконструкции этногенеза в целом, а также укреплен доказательная база предлагаемых реконструкций. Следует подчеркнуть, что рассматриваемое исследование построено на анализе более 100 образцов, взятых из культурно и хронологически достоверных археологических комплексов, что существенно превосходило источниковую базу, используемую

нашими коллегами.

Эта работа получила высокую оценку международного научного сообщества и продемонстрировала, что палеогенетические исследования, выполняемые в СО РАН, находятся на переднем крае этого научного направления. Недавно заключенный и ныне уже действующий договор между Институтом археологии и этнографии СО РАН, Институтом цитологии и генетики СО РАН и Институтом антропологии и палеогенетики Йоханес-Гуттенбергского Университета (Майнц, Германия) позволяют надеяться на активную творческую кооперацию в рамках проблем палеогенетики. Это позволит выйти на качественно новый уровень в интерпретации событий, происходивших на территории Евразии в различные исторические эпохи.

Литература

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Новикова О.И. и др. Этнокультурные процессы у населения Центральной Барабы в эпоху развитой бронзы (по материалам исследования памятника Тартас-1 в 2009 г.) // Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009а. Т. 15. С. 337–342.

Молодин В.И., Мыльникова Л.Н., Дураков И.А., Кобелева Л.С. Культурная принадлежность городища Чича-1 (по данным статистико-планиграфического изучения керамических комплексов на разных участках памятника) // Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009б. Т. 3, Гл. 4. С. 44–50.

Молодин В.И. О южных связях носителей кротовской культуры // Историография и источники изучения исторического опыта освоения Сибири: Тез. докл. и сообщ. Всесоюз. науч. конф. Новосибирск, 15–17 нояб. 1988 г. – Новосибирск, 1988. Вып. 1: Досоветский период. С. 36–37.

Пилипенко А.С., Журавлев А.А., Ромащенко А.Г. и др. Генофонд мтДНК населения лесостепной полосы Западной

Сибири эпохи развитой бронзы: влияние миграционных потоков // Факторы экспериментальной эволюции организмов: сборник научных трудов. Т. 7. Киев: Логос, 2009а. С. 369–372.

Пилипенко А.С., Ромащенко А.Г., Молодин В.И. и др. Особенности структуры генофонда митохондриальной ДНК населения городища Чича-1 (IX–VII вв. до н.э.) в Барабинской лесостепи // Чича – городище переходного от бронзы к железу времени в Барабинской лесостепи. Новосибирск: Изд-во ИАЭТ СО РАН, 2009б. Т. 3, Гл. 7. С. 108–127.

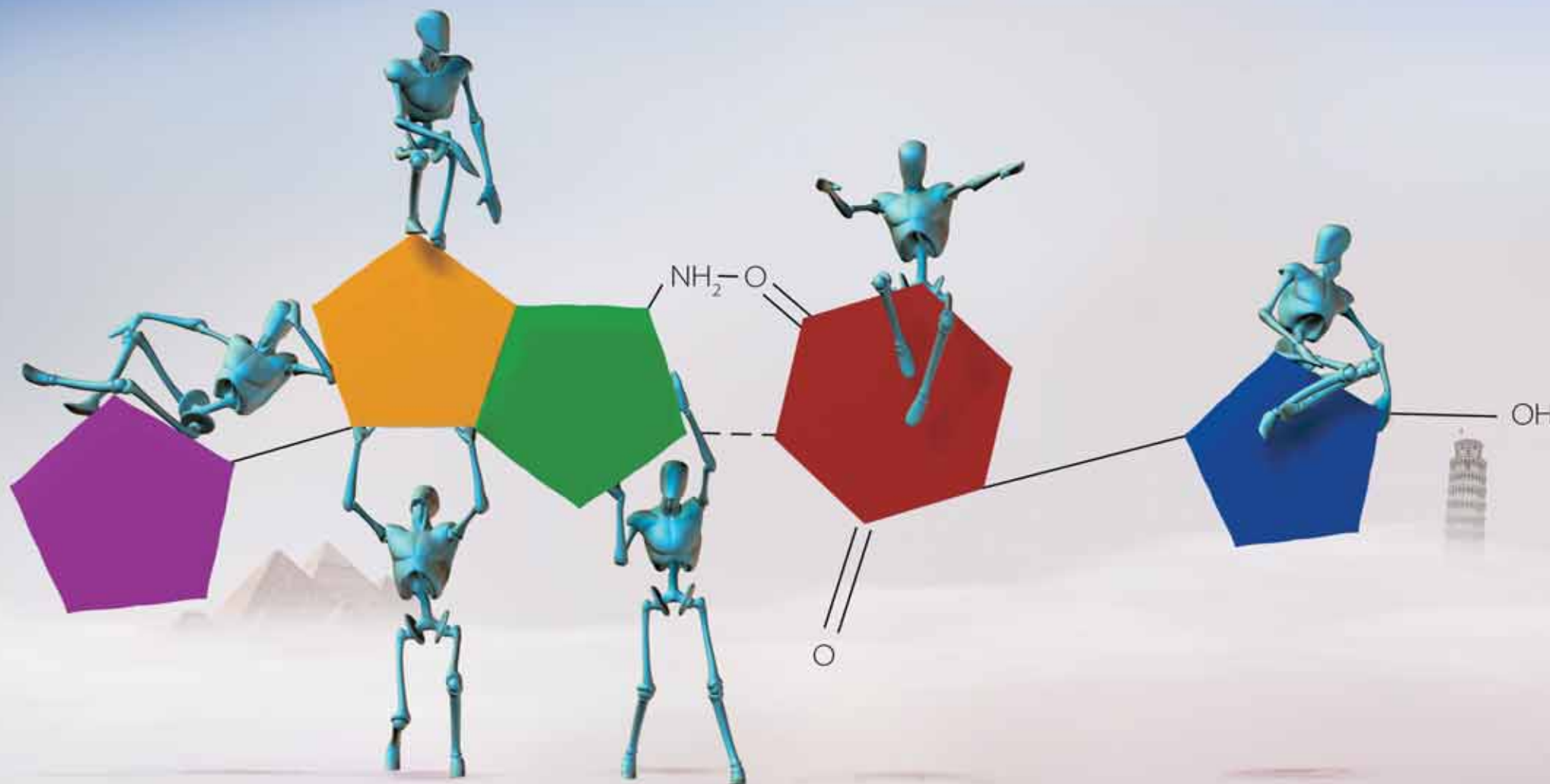
Пилипенко А.С., Ромащенко А.Г., Молодин В.И. и др. Особенности захоронения младенцев в жилищах городища Чича-1 Барабинской лесостепи по данным анализа структуры ДНК // Археология, этнография и антропология Евразии. 2008. № 2. С. 57–67.

Molodin V.I., Pilipenko A.S., Romaschenko A.G. et al. Migrations in the south of the West Siberian Plain during the Bronze Age (4th-2nd millennium BC): archaeological, paleogenetic and anthropological data // Materials of International Conference «Migrations in Prehistory and Early History/Stable Isotopes and Population Genetics – New Answers to Old Questions?». March 24–26. 2010. P. 15

В публикации использованы иллюстрации из книги А.И. Соловьева «Оружие и доспехи» (Инфолио, 2003) и архива авторов

Постгеномная история – повесть длиною В ЖИЗНЬ

Каждый человек отличается от другого, и с каждым днем отличается сам от себя.
А. Пап

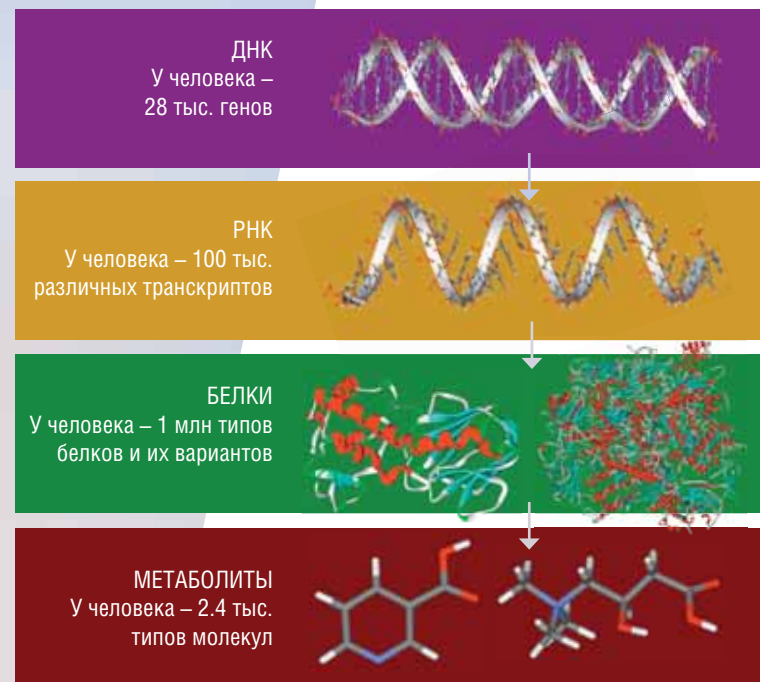


Вряд ли сегодня найдется человек, не знающий, что геном – это совокупность всех генов организма определенного биологического вида. Сегодня уже расшифрованы геномы многих простых и сложных организмов – от бактерий до животных и растений, а международный проект «Геном человека» по идентификации и секвенированию полного набора человеческих генов многими учеными признан триумфом биологии XX века. Не умаляя этих действительно выдающихся достижений, следует заметить, что хранящаяся в наших ДНК наследственная информация все

же является лишь «чертежами» сложнейшей живой «машины». Геном организма в течение жизни постоянен и неизменен, причем в каждый момент времени для жизнедеятельности требуется информация, заключенная лишь в небольшой его части.

Как известно, в каждом гене зашифровано строение одного из белков – важнейших функциональных и структурных биомолекул. Избирательная активация тех или иных генов в течение жизни приводит к тому, что количественный и качественный состав белков постоянно меняется, являясь чутким

индикатором состояния организма. Этот же принцип распространяется и на малые, более простые органические молекулы, которые образуются в организме в результате протекания различных биохимических процессов, а также попадают в него из внешней среды. Это означает, что наши белковые и метаболические профили в каждый момент времени будут уникальны, а значит, – информативны. Их изучением занимаются новые биологические дисциплины, цель которых не только выявить молекулярные основы заболеваний, но и разработать средства их лечения и профилактики



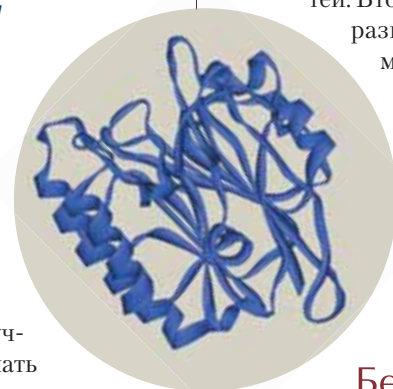
Новые науки, изучающие совокупности белков и малых биомолекул, хорошо вписываются в центральную догму молекулярной биологии – правило реализации наследственной информации в живом организме: от ДНК к РНК, от РНК – к белку. Они дополнили существовавшую иерархию дисциплин – геномики и транскриптомики – наук, изучающих геном и гены, синтез и распределение транскриптов (молекул РНК) в организмах



О.С. ФЕДОРОВА, В.В. КОВАЛЬ

Протеомика — высокотехнологичная «РЫБАЛКА»

Мы живем в эпоху, которая регулярно обогащает язык массой новых слов, терминов и понятий. Области знания и информация, наполняющая их, множатся быстрее, чем возможности человека позволяют осознать этот процесс. «Протеомика» — новое направление науки, появившееся совсем недавно. Объектом ее изучения являются белки — «рабочие лошадки» любой клетки. Интерес к этим соединениям вызван не только их огромной ролью в функционировании живых организмов, но и тем, что они могут служить мишенями при создании новых лекарств



за прошедшие десятилетия? Во-первых, была успешно реализована программа по геномике, включающая разработку технологий быстрого секвенирования ДНК, создание баз данных нуклеотидных последовательностей. Вторая предпосылка связана со взрывным развитием инструментальных методов: масс-спектрометрии белков и пептидов (небольших цепочек аминокислот), а также электрофореза и хроматографии, используемых для разделения органических молекул. Эти факторы сделали возможным появление новой «высокотехнологичной» биологической дисциплины.

Белковое изобилие

В отличие от геномов, *протеомы*, т.е. полные наборы белков клетки, представлены активным набором молекул, которые постоянно модифицируются. При этом, если биохимия имеет дело с отдельными выделенными молекулами, то в случае с протеомом мы имеем дело с огромным молекулярным пулом (уместно провести аналогию с рыбой, пойманной на удочку, и рыбным изобилием принесенным неводом).

Из этих положений вытекают цели и задачи науки протеомики. Прежде всего, эта дисциплина отвечает за белковую «систематику» — инвентаризацию всех белков, закодированных в геноме определенного организма, которая предполагает также и построение молекулярных белковых атласов отдельных клеток, органов и тканей.

Однако более интересна и намного более существенна задача (назовем ее «физиологической»), которая заключается в определении принципов взаимодействия между белками, а также в установлении закономерностей регуляции их работы при так называемой *пост-*

трансляционной модификации (изменении) белков. Это важно для поиска новых маркеров патологических процессов (болезней) в организме человека.

Дело в том, что пост-трансляционная модификация белков происходит в клетке уже после их синтеза в ответ на какое-либо внешнее возмущение или болезнь. В результате свойства белков могут быстро измениться, что влияет на скорость их синтеза и деградации. В итоге результат таких процессов отразится на общем профиле белков. Изучая его, можно обнаружить белки, «производство» которых в состоянии болезни отличается от «здоровой нормы». Такие белки могут использоваться в диагностических целях в качестве биомаркеров того или иного заболевания.

Функциональная, структурная и медицинская

Протеомика — наука молодая, но исследования в этой области уже имеют хорошую организационную поддержку. В 2001 г. была основана «Human Proteome Organisation» (HUPO) — международная организация, которая объединяет и направляет усилия ученых.

На официальной странице HUPO подробно изложены основные направления исследований, перечень которых может многое сказать даже неспециалисту: протеом человека, протеомика мозга, изучение антигенов, болезни, вызванные нарушениями метаболизма сахаров, про-

Ключевые слова: белки, нуклеиновые кислоты, ферменты репарации, конформационная динамика, протеомика, метабономика.

Key words: proteins, nucleic acids, repair enzymes, conformational dynamics, proteomics, metabolomics



ФЕДОРОВА Ольга Семеновна — доктор химических наук, профессор, заведующая лабораторией исследования модификации биополимеров Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Профессор кафедры молекулярной биологии Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор 3 патентов РФ и 118 печатных научных работ



КОВАЛЬ Владимир Васильевич — кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск), старший преподаватель кафедры молекулярной биологии Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор 3 патентов РФ и 44 печатных научных работ

Протеомика является классическим образцом междисциплинарной науки: она объединяет биологию, химию, компьютерное моделирование, сложную инструментальную технику

теомика сердечно-сосудистых заболеваний, протеомика стволовых клеток, определение биомаркеров заболеваний, изучение заболеваний человека на мышинных моделях и т. д.

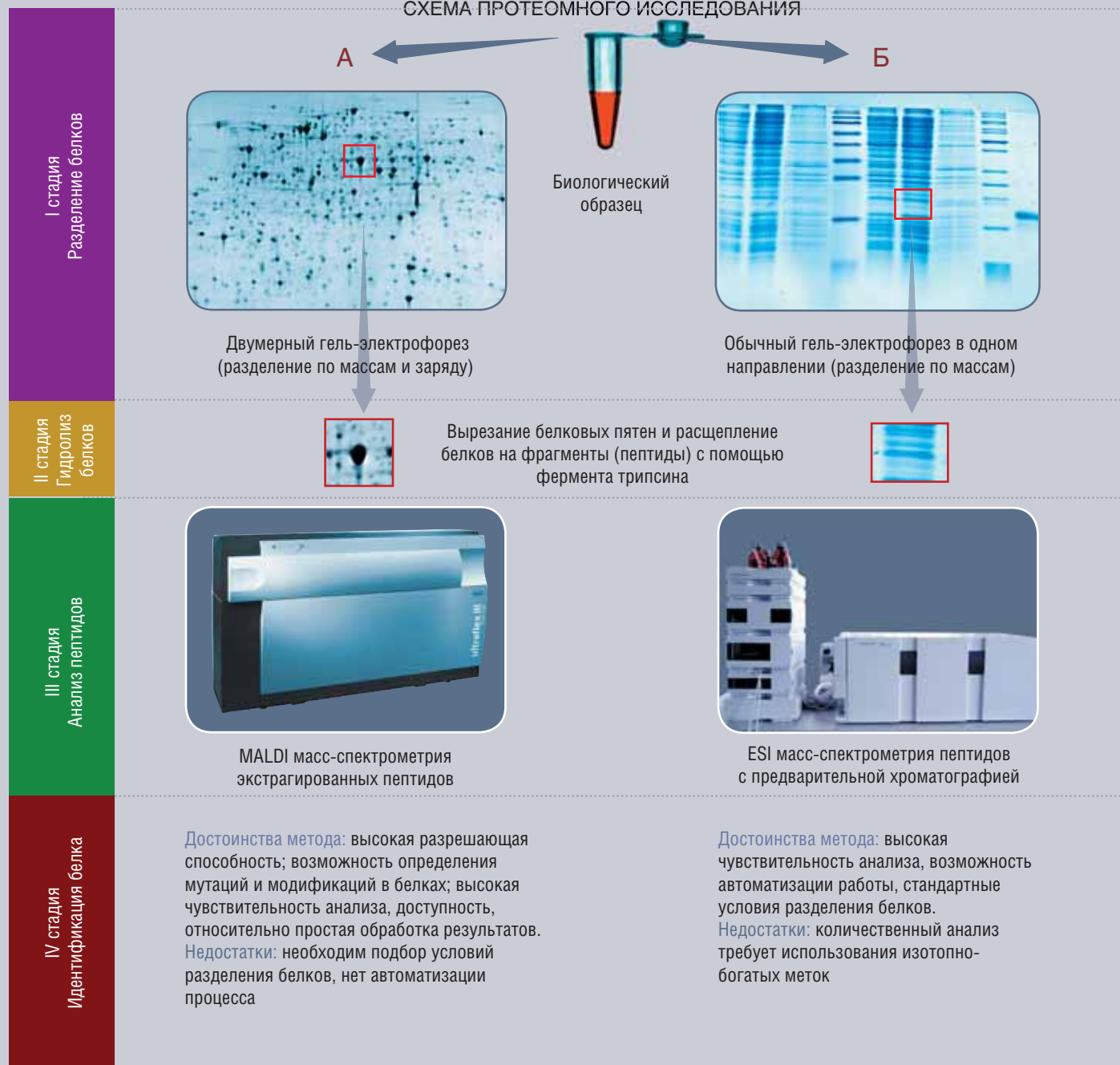
Методологически в протеомике выделяют несколько направлений, главными среди которых являются функциональная, структурная и медицинская (клиническая) протеомика.

О целях функциональной протеомики уже упоминалось выше. Это получение информации о межбелковых взаимодействиях и их влиянии на экспрессию и модуляцию активности генов, а также пост-трансляционную модификацию белков в составе белковых комплексов.

Структурная протеомика, несмотря на то что является классическим направлением исследования белков, тем не менее, продолжает активно развиваться вследствие совершенствования аналитических методов, таких как новые варианты ЯМР-спектроскопии, рентгеноструктурного анализа и масс-спектрометрии.

Медицинская протеомика — новая и перспективная область биомедицинских исследований, позволяющая адаптировать достижения функциональной протеомики, геномики и биоинформатики в буквальном смысле непосредственно «к жизни», т.е. использовать имеющиеся знания для клинического анализа биологических образцов, взятых у пациентов.

СХЕМА ПРОТЕОМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ



Типичное протеомное исследование проводится в несколько стадий. В настоящее время существуют две почти равные по значимости и частоте использования протеомных методик (А и Б) с использованием разных методов масс-спектрометрии. Выбор зависит от предпочтений исследователя и конкретной задачи, при этом зачастую используют комбинацию обоих подходов. С помощью масс-спектрометрии определяют массу фрагментов исследуемого белка. Затем по специальной базе данных проводится поиск белка, аминокислотная последовательность которого соответствует полученным результатам. После того как белок определен, уточняются его строение, функции, функционально-важные модификации в молекуле и другие существенные характеристики.

КАК МОЛЕКУЛЫ НАУЧИЛИСЬ «ЛЕТАТЬ»

Современные масс-спектрометрические методы – инструментальная основа протеомики, метаболомики, фармакокинетики и других «-омик».

Что же измеряет масс-спектрометр? Строго говоря, он детектирует не массу молекулы, а соотношение m/z (соотношение массы иона к его заряду). В масс-спектрометре зачастую одни и те же молекулы могут иметь различные заряды и, соответственно, детектироваться в разное время. Понятно, что не имеющие заряда молекулы (нейтральные) не взаимодействуют с электрическим и (или) магнитным полем и для масс-спектрометра невидимы.

Вся история этой молодой науки пестрит именами Нобелевских лауреатов. Создателем первого масс-спектрометра заслуженно считают профессора Кембриджского университета Дж. Томпсона (Нобелевская премия по физике 1906 г.), который еще в самом начале XX в. века наблюдал изменения в движении ионов под действием электромагнитного поля. Основываясь на этих наблюдениях, он создал «параболический спектрограф», в котором молекулярные ионы двигались в электрическом поле по параболическим траекториям и детектировались по свечению люминесцентного экрана.

Эта работа была развита и усовершенствована коллегой Томпсона профессором Ф. Астоном, который за создание масс-спектрографа был удостоен Нобелевской премии по химии в 1922 г.

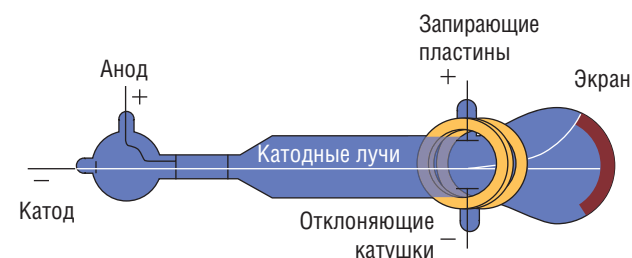


Схема первого масс-спектрометра (параболического спектрографа), созданного нобелевским лауреатом Д. Томпсоном. В спектрографе под действием электромагнитного поля ионы двигались по параболическим траекториям и детектировались по свечению люминесцентного экрана. Строго говоря, на этом принципе основана и работа всех электронно-лучевых трубок, которые до недавнего времени использовались во всех экранах телевизоров и мониторов

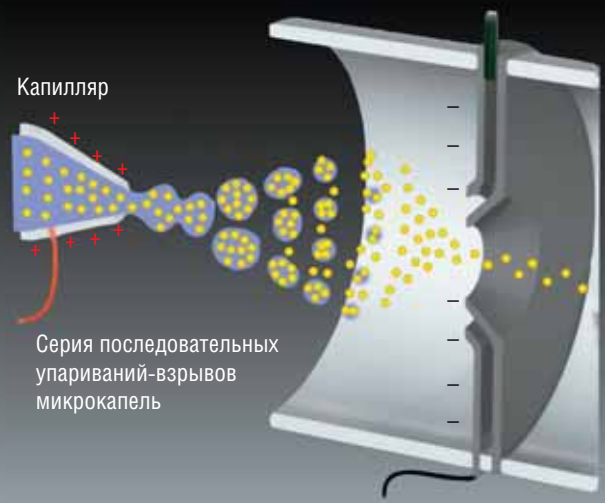
В это же время профессор Чикагского университета А. Демпстер работал над повышением эффективности ионизации молекул в масс-спектрометре. В 1918 г. он создал масс-спектрометр, в котором молекулы ионизировались под действием направленного потока электронов. Этот метод до настоящего времени является основным для ионизации небольших, легко летучих молекул. Сам же автор использовал прибор для определения изотопного состава элементов. Став полноправным участником «ядерной гонки», он в 1935 г. открыл изотоп урана ^{235}U . Его последователь – профессор Университета Миннесоты А. Ниер стал одним из ключевых участников Манхэттенского проекта: первая атомная бомба была создана из ^{235}U , выделенного Ниером с использованием масс-спектрометра.

Развитие и совершенствование методов разделения-идентификации молекулярных ионов велось в направлении создания физических моделей, позволяющих дискриминировать ионы по их характеристикам. Самый очевидный способ – позволить ионам лететь в вакууме и разделяться по скоростям, как производные массы молекулы. Так, в 1946 г. профессор Университета Пенсильвании У. Стефенс предложил время-пролетную масс-спектрометрию. Этот метод основан на том, что все ионы ускоряются электрическим полем и получают одинаковую кинетическую энергию. Скорость же каждого из них зависит от соотношения m/z , что позволяет легко их определять.



Нобелевский лауреат Ф. Астон работает над усовершенствованием своего масс-спектрометра. 1937 г. © Photographic Archives of the Cavendish Laboratory

Капилляр
Серия последовательных упариваний-взрывов микрокапель



Биополимеры для масс-спектрометрии невозможно ионизовать обычным способом – нагреванием или облучением пучков электронов. При методе ионизации электроспреем образование ионов достигается путем распыления раствора образца через капилляр, находящийся под высоким напряжением (2.5 – 4 кВ). На выходе из капилляра в вакуумную часть масс-спектрометра образуется пучок микрокапель с высоким поверхностным зарядом. Уменьшаясь в размере за счет испарения растворителя, капли движутся в электрическом поле. В какой-то момент, за счет достижения предела Релея, они «взрываются» с образованием более мелких капель. (Предел Релея описывает размер капли, при котором сила отталкивания одноименно заряженных частиц уравновешивается силой поверхностного натяжения жидкости.) В итоге после нескольких серий фрагментации возникают многозарядные ионы.

На фото справа – ионная ловушка для ESI масс-спектрометрии

Альтернативный метод разделения молекулярных ионов в середине 1950-х гг. был предложен профессором Боннского университета В. Паулем. Он разработал метод разделения ионов в переменном электрическом поле, положив начало другому типу масс-спектрометров – ионной ловушке. Квадрупольная ловушка Пауля использует для удержания (разделения) ионов постоянные и переменные (радиочастотные) электрические поля. Хотя точность такого метода по сравнению с время-пролетным масс-спектрометром существенно ниже, он выигрывает в скорости сканирования и ширине динамического диа-

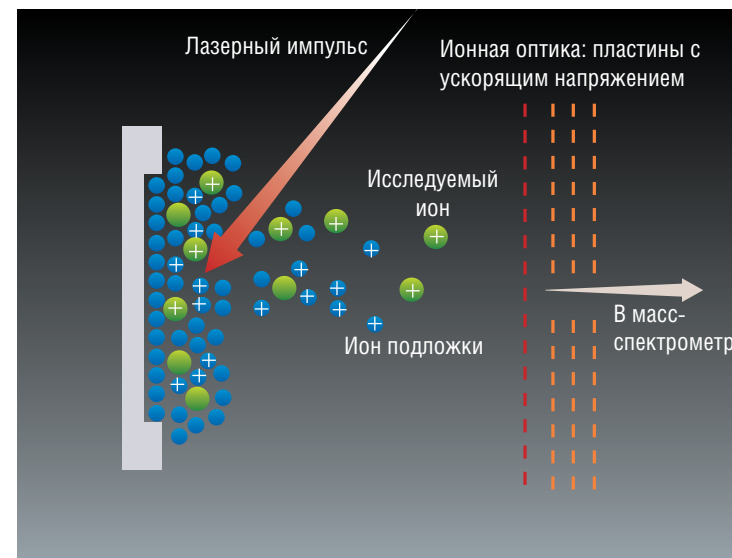
пазона. Поэтому ионные ловушки являются идеальными детекторами для анализа в метаболомике, фармакологии, экологических исследованиях, а их создатель также удостоен Нобелевской премии по физике в 1989 г. (совместно с Х. Демельтом).

Масс-спектромер, основы конструкции которого были заложены в 20-х годах прошлого века, успешно используется и в настоящее время. Этот прекрасный лабораторный инструмент, способный очень точно характеризовать как химические элементы, так и небольшие органические молекулы, был и остается неизменным и безотказным помощником химиков-синтетиков. С другой стороны, с помощью традиционных масс-спектрометров оказалось невозможным проводить анализ биологических макромолекул, поскольку биополимеры невозможно ионизовать и перевести в газообразное состояние нагреванием либо облучением пучков электронов. (Почти каждый из нас убедился в справедливости этого утверждения на своем опыте: яичница, забытая на плите, пригорает к сковородке, а не испаряется.) Широкое использование масс-спектрометрии в изучении структуры и функций белков и пептидов стало возможным лишь благодаря технологическому прорыву, случившемуся в 1980-х гг., когда были разработаны новые, подходящие для биомолекул методы ионизации. В 1983 г. команда профессора Йельского университета Дж. Фенна предложила метод ионизации электроспреем, в котором образование ионов достигалось путем распыления раствора образца при прохождении его через капилляр, на который подается высокое напряжение. В это же время немецкая команда Ф. Хиленкампа пред-



ложила метод ионизации органических молекул путем облучения их высушенных образцов ультрафиолетовым лазером. При этом молекулы испарялись и ионизировались вместе с твердым летучим органическим веществом – матрицей. Это было рождение, пожалуй, самого популярного и востребованного в настоящее время метода биологической масс-спектрометрии – MALDI («Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization»). Выбор вещества матрицы и подбор оптимального соотношения вещество/матрица обуславливает чувствительность метода за счет максимально эффективного перевода исследуемого вещества в газообразную фазу. Уже через три года после публикации Хиленкампа сотрудник японской компании «Shimadzu» К. Танака предложил готовое решение для масс-спектрометрии белков массой до 100 кДа – время-пролетный MALDI масс-спектрометр. Справедливости ради нужно отметить, что используемые в нем матрицы были жидкими: белки растворялись в глицерине, в котором были взвешены микрочастицы металлического кобальта. Эти работы отмечены Нобелевским комитетом в 2002 г.: Фенн и Танака разделили премию по химии за развитие мягких методов ионизации биомолекул в масс-спектрометрии.

В современных спектрометрах распространенным анализатором для MALDI является время-пролетный масс-спектрометр. Молекулярные ионы движутся в вакуумированной трубе, и детектора они достигают в порядке увеличения своей массы. Эффективность получения (регистрации) ионов в MALDI масс-спектрометрии зависит от многих параметров:



способа приготовления и очистки образца; количественного соотношения матрицы к анализируемому веществу и правильного выбора материала подложки. Важными условиями получения устойчивого сигнала являются мощность лазерного излучения, выбор «горячей точки» на образце, давление в области ионизации. Для масс-спектрометров с электроспрейным ионным источником в качестве анализаторов наиболее часто используют ионные ловушки. В настоящее время сочетание квадруполя с электроспрейным источником ионов – один из наиболее часто применяемых инструментов в биохимии и метаболомике. Оба масс-спектроскопических метода имеют свои достоинства и недостатки. Во-первых, для них требуется высокая химическая чистота анализируемого вещества. ESI является более «мягким» способом ионизации, чем MALDI. При ESI образуется непрерывный поток ионов, при MALDI – очень ограниченный во времени (до 10 нс) пакет ионов; при этом ESI-анализу подлежит более 10 фемтомоль вещества, MALDI – в 10 раз меньше. Но все эти замечания чисто технические и свидетельствуют лишь о том, что методы масс-спектрометрии биологических молекул сегодня стали доступны и широко используются в научных экспериментах и клинических исследованиях. Кроме того, сильные стороны этих методов хорошо дополняют друг друга, исполняя роль поистине мощного аналитического инструмента. ...К настоящему моменту история развития масс-спектрометрии насчитывает вторую сотню лет. Но лишь совсем недавно, как сказал Джон Фенн в своей Нобелевской лекции, «...молекулярные слоны смогли летать на ионных крыльях».

Принцип MALDI масс-спектрометрии основан на десорбции (испарении-ионизации) белковых молекул вместе с твердым летучим органическим веществом – матрицей – под действием коротких лазерных импульсов. Если большие нелетучие молекулы изолированы друг от друга в матрице, то их можно, не разрушив, выбить лазерным импульсом из этого окружения в виде ионов, частично с захватом молекул матрицы, то есть с образованием квазимолекулярных ионов. Сегодня в качестве матрицы используется ряд низкомолекулярных, полярных, легко поддающихся ионизации органических веществ, способных образовывать кристаллы (кристаллоиды) в присутствии белков (пептидов) и инертных по отношению к ним



MALDI масс-спектрометр – рабочая лошадка в протеомных исследованиях

Современные достижения

Над поиском протеомных маркеров значимых заболеваний интенсивно работают исследователи всего мира – не только ученые из академических институтов, но и специалисты из исследовательских подразделений крупных и средних фармацевтических компаний.

Уже достигнуты определенные успехи в одной из самых проблемных областей медицины – ранней диагностике тяжелых заболеваний. В первую очередь это относится к раку предстательной железы (Downes et al., 2007; Larkin et al., 2010). Диагностика этого широко распространенного заболевания, проводящаяся по наличию в моче пациента белка простатспецифического антигена, – на сегодняшний день одна из самых ранних и точных.

К настоящему времени достигнуты неплохие результаты и в выявлении маркеров рака молочной железы (Mathelin et al., 2006; Gast et al., 2009). Из-за широкой клинической вариабельности этого заболевания в качестве маркеров предлагается использовать набор из 40 белков. Такой белковый профиль позволяет не только с высокой точностью диагностировать заболевание, но и прогнозировать эффективность лечения. Основные диагностические белки этого набора – гаптоглобин, трансферрин, аполипопротеины А-I и С-I – уже сегодня используются при диагностике рака молочной железы.

Ведутся исследования и по обнаружению маркеров нейродегенеративных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера, склерозов различной этиологии и т.д. (Cedazo-Minguez, Winblad, 2010). В этой области основными прогностическими маркерами являются ангиогенин (фермент, обеспечивающий рост кровеносных сосудов), креатининкиназа, фибриноген, аполипопротеин Е (Bowser, Lacomis, 2009)

В Сибири проблемами структурной и функциональной протеомики интенсивно занимаются в новосибирском Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН. В результате совместной работы с НИИ Психического здоровья ТНЦ СО РАМН проведена большая работа по поиску белков-маркеров шизофрении.

Этиология и патогенез этой тяжелой психической болезни неизвестны. Согласно одной из теорий возникновения шизофрении, в основе заболевания лежит нарушение белкового обмена. Сравнение протеомных профилей статистически достоверной выборки людей, страдающих шизофренией, и протеомных профилей здоровых добровольцев уже позволило исследователям выявить определенный набор белков в качестве маркеров: аполипопротеин А-II, фосфомевалонат киназу и сериновую (треониную) киназу. Дальнейшие усилия ученых будут направлены на уточнение роли этих белков в патогенезе болезни и внедрение этих маркеров в клиническую биохимию.

У работы исследователей-протеомщиков огромный потенциал и перспективы. Учитывая то, что в организме человека число различных белковых молекул и их вариантов может составлять миллионы, ученые уверены, что их высокотехнологичная белковая «рыбалка» будет и в дальнейшем гарантированно приносить богатый улов. Успехи последних лет в этой новой биомедицинской области внушают обоснованный оптимизм.

Литература

Cox J., Mann M. *Is proteomics the new genomics?* // *Cell*. 2007. V. 130(3). P. 395–398.

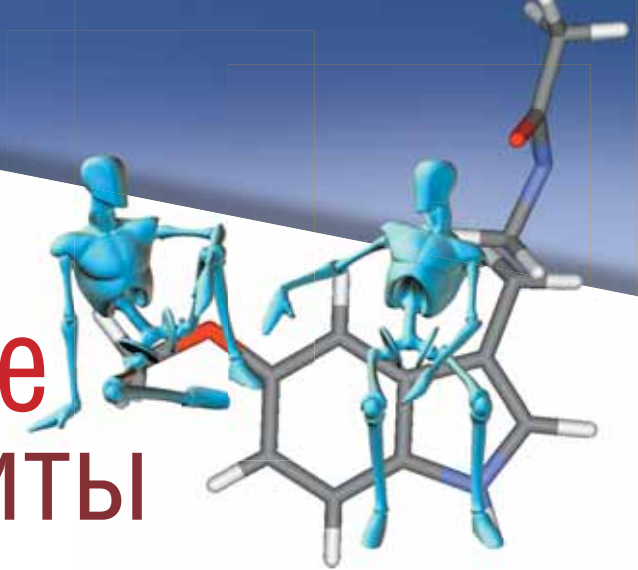
Capelo J.L., Carreira R., Diniz M. et al. *Overview on modern approaches to speed up protein identification workflows relying on enzymatic cleavage and mass spectrometry-based techniques* // *Anal. Chim. Acta*. 2009. V. 650. N 2. P. 151–159.

Ulrich-Merzenich G., Panek D., Zeitler H. et al. *New perspectives for synergy research with the «omic»-technologies* // *Phytomedicine*. 2009. N. 6–7. P. 495–508.

Feng X., Liu X., Luo Q., Liu B.F. *Mass spectrometry in systems biology: an overview* // *Mass Spectrom. Rev.* 2008. V. 6. P. 635–660.

А.А. ЧЕРНОНОСОВ

Красноречивые метаболиты



Примелькавшееся выражение «болезнь легче предупредить, чем лечить» наполняется новым смыслом, когда человек, обратившийся к врачу с запущенной болезнью, вынужден тратить средства, время и нервы на лечение. Задача раннего обнаружения и диагностики заболеваний появилась одновременно с самой медициной. Однако долгое время основными инструментами анализа для врачей были их органы восприятия, а параметрами служили цвет и запах выделяемых жидкостей и общее состояние больного. Сегодня на помощь медицине приходит наука. В данном случае речь идет о метаболомике, занимающейся изучением небольших молекул, являющихся результатом различных биохимических процессов в организме, в том числе патологических



ЧЕРНОНОСОВ Александр Анатольевич – кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории исследования модификации биополимеров Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск) и старший научный сотрудник лаборатории иммунобиотехнологии Института экологии человека СО РАН (Кемерово). Автор и соавтор 10 научных работ

Метаболомика – область биологии, изучающая так называемый *метаболом*, т.е. всю совокупность относительно небольших молекул-метаболитов, функционирующих в живом организме. Очевидно, что состав такого метаболома тесно связан с геномом и протеомом организма, с составом поступающей пищи, а также с условиями окружающей среды.

Метаболомика органично встраивается в иерархию наук, изучающих геном и гены живых организмов, синтез и распределение транскриптов (молекул РНК), белки и их взаимодействия в живых организмах.

Однако спускаясь вниз по этой иерархической лестнице, мы приходим к парадоксальному открытию: если в связке геном–транскриптом–протеом наблюдается увеличение количества молекул различной структуры, то метаболом (набор всех метаболитов) оценивается гораздо меньшим числом составных частей. Например, если геном человека состоит примерно из 28 тыс. генов, протеом – более чем из 1 млн белков, то метаболом содержит примерно 2400 метаболитов.

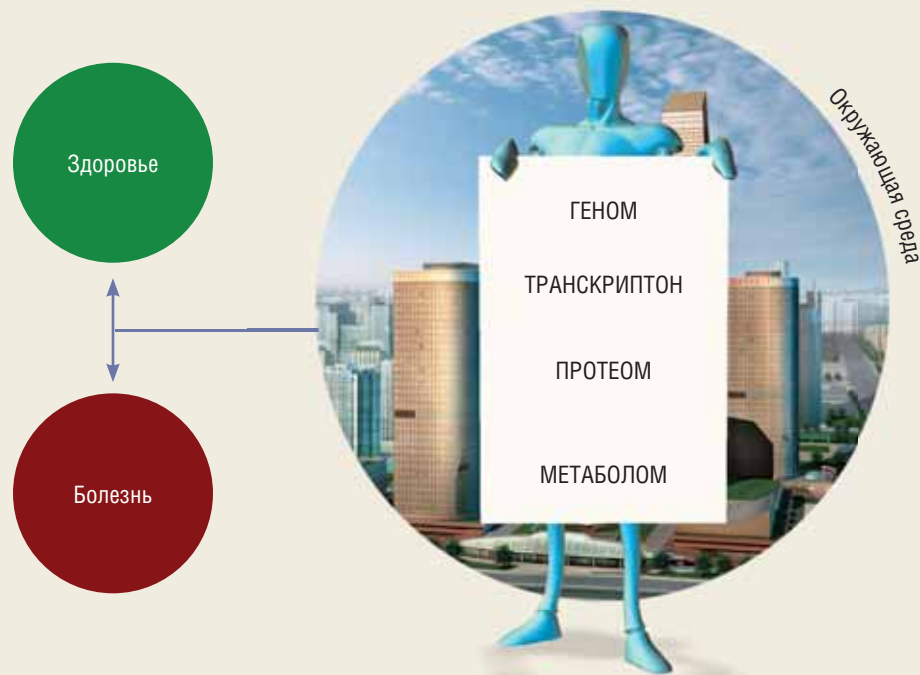
Ключевые слова: метаболомика, масс-спектрометрия, маркеры заболеваний.
Key words: metabolomics, mass spectrometry, disease markers

Генетика – образ жизни – среда

Почему же количество метаболитов, образующихся в результате биохимических реакций, намного меньше, чем число молекул, ответственных за протекание этих реакций?

Во-первых, метаболиты – это молекулы небольшого размера, уже претерпевшие каскад биохимических превращений, и потому сами по себе достаточно устойчивы к дальнейшим преобразованиям.

Во-вторых, в человеческом геноме, при всех его различиях у разных людей, закодированы одни и те же или очень схожие биохимические процессы, необходимые для жизнедеятельности. Поэтому индивидуальные особенности строения ферментов или других важных составляющих биохимических процессов не должны оказывать существенного влияния на конечные метаболиты, но лишь при том условии, что речь идет о норме.



На текущий профиль метаболитов в живом организме оказывает влияние целый ряд факторов – от внутренних (генетических) до внешних (окружающая среда). Эти влияния в совокупности и определяют состояние здоровья человека, информацию о котором можно получить по анализу конечных звеньев метаболических процессов

В противном случае такое влияние может приводить к серьезным патологиям или даже нежизнеспособности организма.

При знакомстве с объектами новой науки возникает закономерный вопрос: если число метаболитов относительно невелико, как же их можно использовать для выявления патологий? Ведь если предположить, что каждый метаболит может служить биомаркером, то в этом случае можно идентифицировать не более двух с половиной тысяч болезней, хотя реально их много больше. И это при том, что маркерами могут служить далеко не все метаболиты.

Более того, выделение, идентификация и даже количественное определение отдельных метаболитов, как правило, не позволяют однозначно судить о наличии или отсутствии того или иного заболевания. Но это затруднение преодолимо – метаболиты следует рассматривать не по отдельности, а в комплексе и следить за изменением в составе всего комплекса. При таком подходе любые отклонения от нормы могут служить биомаркерами болезней или неблагоприятных изменений в организме пациента.

Кроме генетической предрасположенности к определенным заболеваниям на здоровье человека влияют его образ жизни, в том числе диета, и окружающая среда. Поэтому последние факторы имеют огромное влияние на текущий уровень метаболитов. При этом в течение жизни их роль возрастает, поскольку со временем они оказывают воздействие уже на всю цепочку биохимических преобразований в организме.

В связи с этим главной целью метаболомики является поиск и характеристика значимых различий в составе

метаболитов между здоровым и любым патологическим состоянием человека, вызванных именно заболеванием.

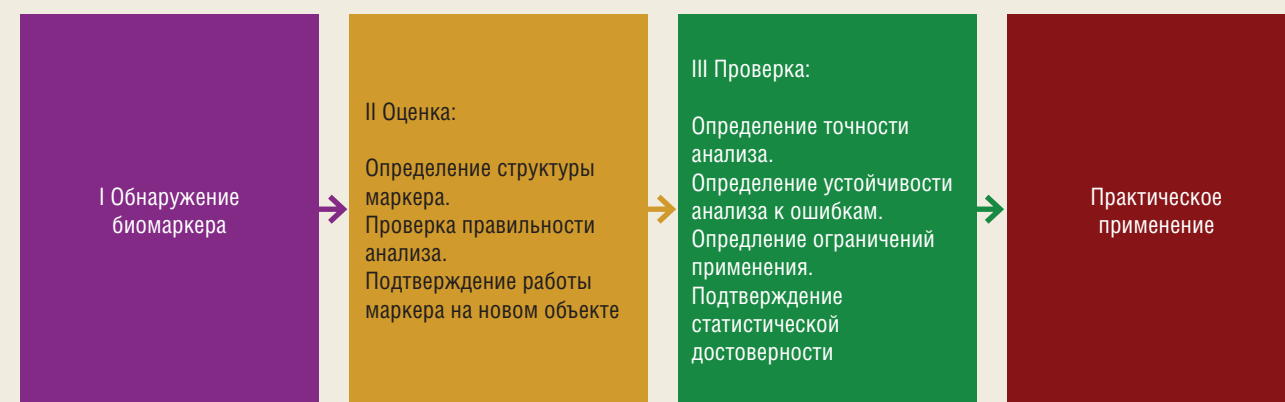
Для успешного использования различий в составе метаболитов в качестве биомаркеров нужно решить еще одну важнейшую проблему, связанную со статистической достоверностью таких отклонений. Ведь изменения, достаточные для детектирования заболевания у одного пациента, могут быть недостаточными для определения патологии у другого.

Возможна и обратная ситуация: благодаря индивидуальным особенностям состава метаболитов здоровый человек может быть, наоборот, признан больным. Цель метаболомики как раз и состоит в том, чтобы разработать подходы, применение которых корректно не только по отношению к определенному индивидууму, но и для группы, популяции и даже всего вида в целом. Рациональное решение этой проблемы – анализ всего набора метаболитов, но сама по себе эта задача достаточно сложная.

По ступеням анализа

Пациенты, у которых патологические изменения в составе метаболитов детектируются легко и однозначно, обычно являются тяжело больными и имеют значительные нарушения в обмене веществ.

Большинство же нарушений не так явны. Они обусловлены косвенными эффектами патологического процесса или попытками организма компенсировать изменения в обмене веществ, вызываемые первоначальной патологией. В связи с этим поиск биомаркера



Поиск метаболита-маркера заболевания длителен и сложен. В ходе предварительного исследования определяют изменения в составе метаболитов при различных состояниях организма: в норме и при патологии, до и после внешнего воздействия окружающей среды или приема лекарств, и проводят сравнительный анализ. В более сложных случаях проводят дополнительные исследования: изучают выборку образцов из разных тканей, определяют состав метаболитов в зависимости от стадии болезни или концентрации применяемых лекарств. В результате выявляют метаболиты-указатели, уровень которых либо понижается, либо повышается при патологических изменениях в организме.

какого-либо заболевания, как правило, длительный и многоступенчатый процесс.

Оборудование и протоколы для определения метаболитов, используемые в подобных исследованиях, должны отвечать ряду требований. Ведь анализируемые метаболиты могут, например, очень сильно различаться по своим физическим свойствам, таким как масса, гидрофобность и т. п.

Не менее сложной является и задача извлечения, идентификации и количественного определения всех метаболитов в биологическом образце. Поскольку результаты должны быть воспроизводимыми даже в том случае, когда сам исследователь еще не знает, ни что это за соединение, ни что оно вообще присутствует в образце. Поэтому, как правило, используется комбинация различных методов выделения и анализа.

Другая существенная проблема в анализе метаболитов – широкий диапазон их концентраций в биологических жидкостях и тканях. Например, концентрация аминокислот в крови составляет от 50 до 500 микромолей, а в спинно-мозговой жидкости она в 100 раз меньше. Впечатляет и сам диапазон концентраций

После установления метаболитов-указателей проводится анализ их соответствия основной патологии, а не побочным проявлениям. Только после этого выявленные метаболиты можно считать кандидатами в биомаркеры. Следующий этап – подтверждение правильности и точности работы метаболитов в качестве биомаркеров, определение возможных ограничений для их использования. Подтвердив статистическую достоверность анализа при использовании таких метаболитов, их можно считать доказанными биомаркерами и использовать для решения прикладных задач профилактики и ранней диагностики заболевания

у отдельных метаболитов: от нано- до миллимолярных (т. е. в 1000 раз больше)!

Существенно упростить методику анализа метаболитов как биомаркеров заболевания позволяет использование масс-спектрометрического оборудования. Особый интерес представляет тандемный масс-спектрометр с электро-спрей системой ввода образца в анализатор (ES-MS/MS), с помощью которого можно провести анализ в течение нескольких минут.

Детекция небольших, но достоверных изменений состава метаболитов этим методом позволяет определять болезни на самых ранних стадиях, что особенно важно при неонатальном скрининге – обследовании новорожденных детей для выявления наиболее распространенных врожденных и наследственных заболеваний. Метаболомика находит применение при разработке анализов индивидуальной восприимчивости к лекарственным средствам, например, варфарину, при определении уровня проканцерогенов – полиароматических углеводов и т. д.

Безусловно, разработка и внедрение метаболомных методов анализа в первую очередь происходит для



В исследованиях по метаболомике эффективно используется тандемный масс-спектрометр с электро-спрей системой ввода образца в анализатор (ES-MS/MS) – прибор позволяет провести анализ в течение нескольких минут. Суть методики заключается в объединении процессов очистки раствора образца методом высокоэффективной жидкостной хроматографии и масс-спектрометрического анализа. После хроматографии очищенный раствор с исследуемыми метаболитами сразу попадает в масс-спектрометр. Все вещества, находящиеся в растворе, ионизируются и под действием электромагнитного поля попадают на детектор. Соотношение массы и заряда для каждого метаболита уникально, за счет чего происходит дальнейшее разделение молекул во время их движения к детектору. На основании массы молекул можно делать предположение относительно их строения, что позволяет идентифицировать метаболиты

наиболее распространенных заболеваний. К сожалению, пока еще рано говорить, что в распоряжении врачей имеются полностью «готовые» методы анализа метаболитов, прошедших испытание временем и применением в клинике. Поэтому развитие метаболомики как науки, нацеленной на практическое применение в медицине, является актуальной задачей во всем мире.

Разработкой и оптимизацией методов анализа метаболитов занимаются в России. В новосибирском Академгородке на базе Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН совместно с Центром новых медицинских технологий и Институтом экологии человека СО РАН (Кемерово) проводятся исследования, позволяющие упростить анализ и увеличить точность определения врожденных и наследственных заболеваний.

Область возможного применения анализа метаболитов и использования их в качестве биомаркеров практически не ограничена. Развитие метаболомики как науки и успешное внедрение анализа метаболитов в практическую медицину в будущем позволит последней эффективно работать в направлении профилактики заболеваний. Теперь основные усилия по защите здоровья пациентов сосредоточились в рамках совместной работы науки и медицины — тандеме, основанном на инструментальной базе самого высочайшего уровня.

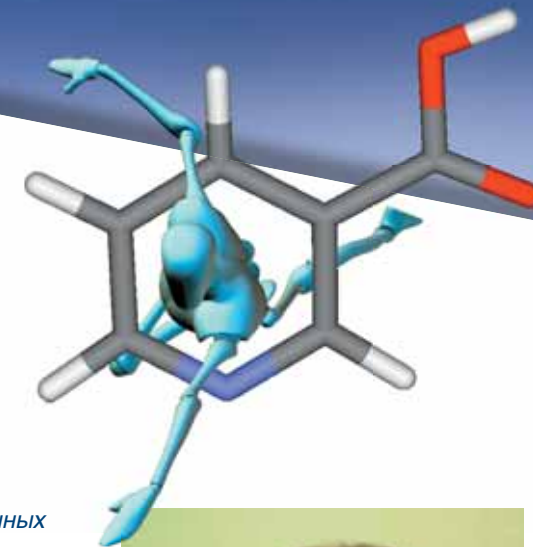
Lutepamyra
Hollywood K., Brison D.R., Goodacre R. *Metabolomics: current technologies and future trends // Proteomics. 2006. N 6(17). P. 4716–4723.*

Ellis D.I., Dunn W.B., Griffin J.L. et al. *Review etabolic fingerprinting as a diagnostic tool // Pharmacogenomics. 2007. N 8. P. 1243–1266.*

Koulman A., Lane G.A., Harrison S.J., Volmer D.A. *From differentiating metabolites to biomarkers // Anal. Bioanal. Chem. 2009. N 394. P. 663–670.*

От самого рождения

И.В. АЛЕКСЕЕВА



Неонатальный скрининг – это массовое обследование новорожденных детей, один из эффективных способов выявления наиболее распространенных врожденных и наследственных заболеваний. Неоценимый вклад неонатального скрининга в охрану здоровья нации состоит в том, что он позволяет обеспечить раннее выявление заболеваний и их своевременное лечение, а это в свою очередь позволяет предотвратить не только физическое и умственное отставание в развитии, но в некоторых случаях даже смерть

Неонатальный скрининг начинается прямо в родильном доме: у каждого новорожденного берется капля крови на специальный тест-бланк, который направляется в медико-генетическую консультацию для проведения исследования. В том случае, если в крови обнаружен маркер заболевания, родители с новорожденным приглашаются в медико-генетическую консультацию для проведения повторного исследования крови с целью подтверждения диагноза и назначения лечения. В дальнейшем ведется постоянное наблюдение за ребенком.

Здоровье будущих поколений

Скрининг новорожденных, призванный выявлять генетические заболевания, берет свое начало с 1962 г., когда Р. Мак-Криди, директор диагностической лаборатории в отделе здравоохранения штата Массачусетс (США), совместно с врачом Р. Гатри организовали сбор бланков из фильтровальной бумаги с сухими пятнами крови, полученной от каждого новорожденного в своем штате. Используя разработанный Гатри микробиологический метод исследования фенилаланина, они проводили тестирование детей на наличие фенилкетонурии. В конце 1960-х гг. подобное тестирование новорожденных стало проводиться почти во всех американских штатах и некоторых странах Европы.

Тогда же началось тестирование и на другие наследственные болезни. Сегодня неонатальный скрининг широко распространен в мире, однако программа, включающая тестирование новорожденных на наличие более десяти заболеваний, была принята только в Японии.

В России с начала 1990-х гг. в обязательном порядке проводится скрининг-тест на фенилкетонурию и врожденный гипотиреоз. С 2006 г. перечень диагностируемых заболеваний дополнили адреногенитальный синдром, галактоземия и муковисцидоз.

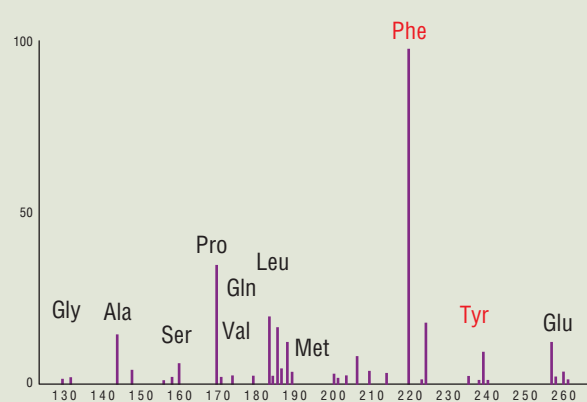
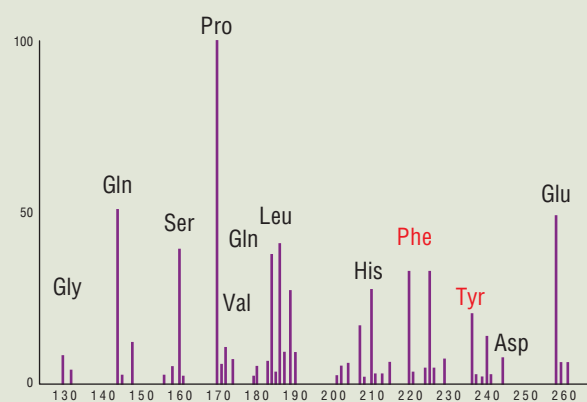
Ключевые слова: метаболомика, неонатальный скрининг, фенилкетонурия.
Key words: metabolomics, neonatal screening, phenylketonuria



АЛЕКСЕЕВА Ирина Владимировна – младший научный сотрудник лаборатории исследования модификации биополимеров Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Автор и соавтор 4 научных работ

Самый быстрый

В основе классического теста Гатри на фенилкетонурию лежит микробиологическая методика: обследуемую кровь добавляют к бактериальной культуре, рост которой тормозят специальным ингибитором. Влияние последнего устраняется, если в крови обследуемого повышена концентрация фенилаланина. Эти концентрации можно оценить путем измерения зон роста микроорганизмов и сравнения их с соответствующими стан-



Фенилкетонурия представляет собой генетическое заболевание, связанное с дефицитом фермента фенилаланингидроксилазы (ФАГ), ведущим к накоплению аминокислоты фенилаланина в крови и ее метаболитов в моче. Токсическое воздействие этих продуктов на мозг приводит к серьезным неврологическим нарушениям и умственной отсталости у детей. Основное лечение заключается в назначении специального питания, в котором отсутствует фенилаланин. В зависимости от тяжести заболевания на специальном питании больные должны находиться первые 10 лет, а иногда и более. При своевременно начатом лечении уровень интеллекта таких детей не отличается от уровня у здоровых сверстников. Средняя частота заболевания составляет примерно один случай на 10 000 новорожденных. На графике – масс-спектры бутиловых эфиров аминокислот: А – при анализе пятна крови здорового новорожденного; Б – при анализе пятна крови новорожденного с фенилкетонурией. Из анализа данных отчетливо виден не только рост концентрации фенилаланина, но и увеличение соотношения Phe/Tyr, что свидетельствует о наличии метаболических нарушений

самым высокочувствительным физико-химическим методом анализа широчайшего спектра соединений. Это позволяет проводить анализ метаболитов в организме младенца уже на вторые-третьи сутки с момента рождения (при традиционных методах анализ проводится на пятые-седьмые сутки) и в случае обнаружения отклонений от нормы назначить необходимое лечение в кратчайшие сроки.

Еще одним немаловажным преимуществом этого метода для неонатального скрининга является быстрота проведения анализа (около 2 мин.) и отсутствие необходимости хроматографического разделения анализируемого образца.

На сегодняшний день во многих областях медицины отмечается все более возрастающий интерес к возможности описания болезней на молекулярном уровне.

Метаболомика – та самая дисциплина, которая обещает добиться прогресса в характеристике различных подтипов болезни и идентификации личных метаболических особенностей и даже предсказать ответ организма на методы лечения. Используя ее подходы, врачи могут не бояться прослыть докторами, которые, по мнению Вольтера, «прописывают лекарства, о которых мало знают, чтобы лечить болезни, о которых знают еще меньше, людям о которых они не знают вообще ничего».

Литература

Lukacs Z., Santer R. *Evaluation of electrospray-tandem mass spectrometry for the detection of phenylketonuria and other rare disorders* // *Mol. Nutr. Food Res.* 2006. V. 50. P. 443–450.
 Idle J. R., Gonzalez F. J. *Metabolomics* // *Cell Metab.* 2007. V. 6(5). P. 348–351.
 Baraldi E., Carraro S., Giordano G. et al. *Metabolomics: moving towards personalized medicine* // *Italian J. Pediatrics.* 2009. V. 35(1). P. 30.

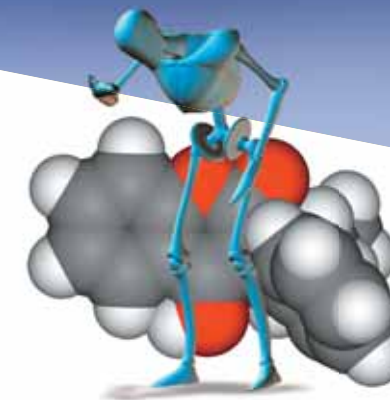
дартами. Этот достаточно трудоемкий метод широко применялся в 1970–1980-х гг.

Позже для проведения неонатального скрининга стали повсеместно использовать *иммуоферментный анализ* (иммунологический метод определения и количественного измерения антигенов и антител), а также флуориметрия (хроматография на ионно-обменных смолах с помощью автоматических флуориметров).

Сегодня на смену этим методам приходит более эффективный и быстрый метод *тандемной масс-спектрометрии*, входящий в арсенал современной метабомики. Пока масс-спектрометрия является

Терапия: персональная доза

Г. И. ЛИФШИЦ, Я. В. НОВИКОВА



Большинство препаратов, попадая в наш организм, претерпевают ряд сложных химических преобразований, в результате чего реализуется их лечебный эффект. Затем лекарство переходит в неактивную форму и выводится из организма. Понимание механизмов влияния генетических, внешних и индивидуальных факторов на систему биотрансформации лекарств позволит индивидуально подходить к назначению препаратов, что уменьшит количество побочных воздействий, и добиться максимального эффекта от медикаментозной терапии



ЛИФШИЦ Галина Израилевна – доктор медицинских наук, заведующая лабораторией персонализированной медицины Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск), профессор Новосибирского государственного университета



НОВИКОВА Яна Владимировна – кандидат медицинских наук, сотрудник Института химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН (Новосибирск). Член Ассоциации флебологов России. Автор и соавтор около 50 научных работ

Процесс биотрансформации и выведения лекарственных средств из организма осуществляется через сложную систему механизмов, тесно связанных между собой. Он проходит в несколько стадий: всасывание в кишечнике, изменение структуры препаратов, образование конъюгатов с веществами эндогенного (внутреннего) происхождения и, наконец, сама экскреция – выведение.

Эффективность и безопасность лекарственных средств зависит от характера функционирования участников всех этапов биотрансформации, которыми являются белковые образования, служащие различными ферментами и модуляторами. И если в структуре гена, кодирующего определенный белок, который принимает участие в метаболизме лекарства, имеется мутация, то строение и функция этого белка могут также изме-

ниться. Соответственно, изменения могут коснуться и активности процессов биотрансформации лекарственного средства на той или иной стадии.

Такие «измененные» гены называют *полиморфными*. Полиморфный ген представлен в популяции несколькими разновидностями (*аллелями*), что обуславливает разнообразие признаков внутри вида. Медикам важно учитывать то, что различия в строении ферментов, участвующих в биотрансформации препарата, а также белков-мишеней могут стать причиной значительных различий в реакции разных пациентов на один и тот же препарат, включая развитие осложнений.

Фармакогенетика – наука, изучающая влияние наследственности на индивидуальную чувствительность к лекарственным средствам. Эта дисциплина позволяет выявить определенные гены, кодирующие белки, которые участвуют в метаболическом пути лекарства. Однако изучение одних лишь генетических особенностей метаболизма не может дать полного представления о процессах биотрансформации лекарственного средства в организме.

Ключевые слова: метабомика, фармакогенетика, варфарин.
Key words: metabolomics, pharmacogenetics, warfarin

В решении этой проблемы способна помочь метабомика, целью которой в данном случае является систематизация, идентификация и количественное определение всех метаболитов лекарственного препарата в отдельно взятом организме или биологическом образце. Этих данные позволяют выявить взаимосвязи между различными генетическими вариантами (*полиморфизмами*) и скоростью метаболизма лекарства. При этом значимые генетические полиморфизмы становятся маркерами, которые уже могут использовать клиницисты для подбора лекарственной терапии при различных заболеваниях.

Все дело в дозе

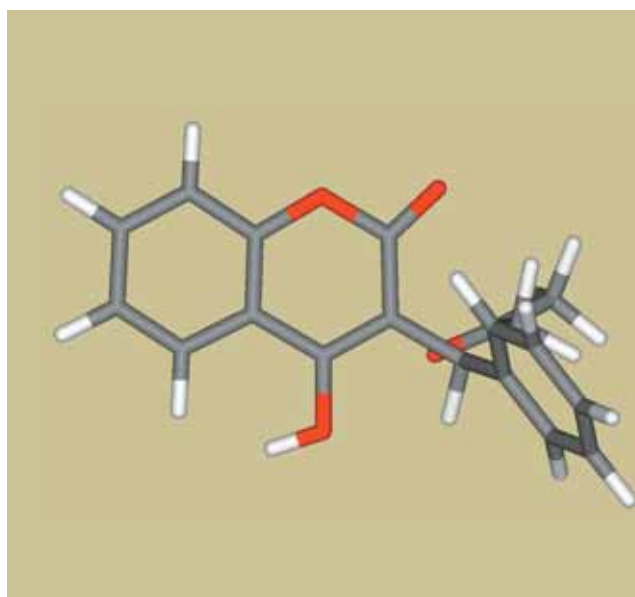
Наиболее активно технологии фармакогенетики и метабомики применяют для изучения биотрансформации непрямых *антикоагулянтов* – группы лекарственных препаратов, которые понижают свертываемость крови и препятствуют тромбообразованию. Важный представитель этой фармакологической группы – *варфарин*, антагонист витамина К – необходимого звена в процессе свертывания крови. Этот препарат жизненно необходим пациентам с нарушениями сердечного ритма, с венозными тромбозами, тромбоэмболиями различной локализации, а также после кардиохирургических операций.

Варфарин назначают на длительный срок, иногда пожизненно, при этом прием лекарства чреват развитием различных осложнений, в первую очередь малых и больших кровотечений. Кроме того, в некоторых случаях эффект от лечения варфарином отсутствует, несмотря на увеличение дозы препарата.

Известен ряд факторов, влияющих на степень безопасности и эффективность лечения данным препаратом. К факторам первой группы относятся пол, возраст, масса тела пациента, особенности его питания (например, вегетарианство), сопутствующие заболевания, прием других лекарственных препаратов и т. п. Однако по имеющимся на сегодня данным, эти факторы лишь на 17% объясняют взаимосвязь вариабельности терапевтической дозы варфарина и индивидуального ответа пациента (Caldwell et al., 2008). Что касается роли факторов второй группы – генетических, то оценить ее не так-то просто: для этого нужны данные о метаболизме варфарина в организме пациента.

Под угрозой осложнений

Как и многие другие лекарственные средства, варфарин метаболизируется в печени. В виде неактивных метаболитов он выводится вместе с желчью и попадает в желудочно-кишечный тракт, где всасывается в кровь и затем выводится с мочой.

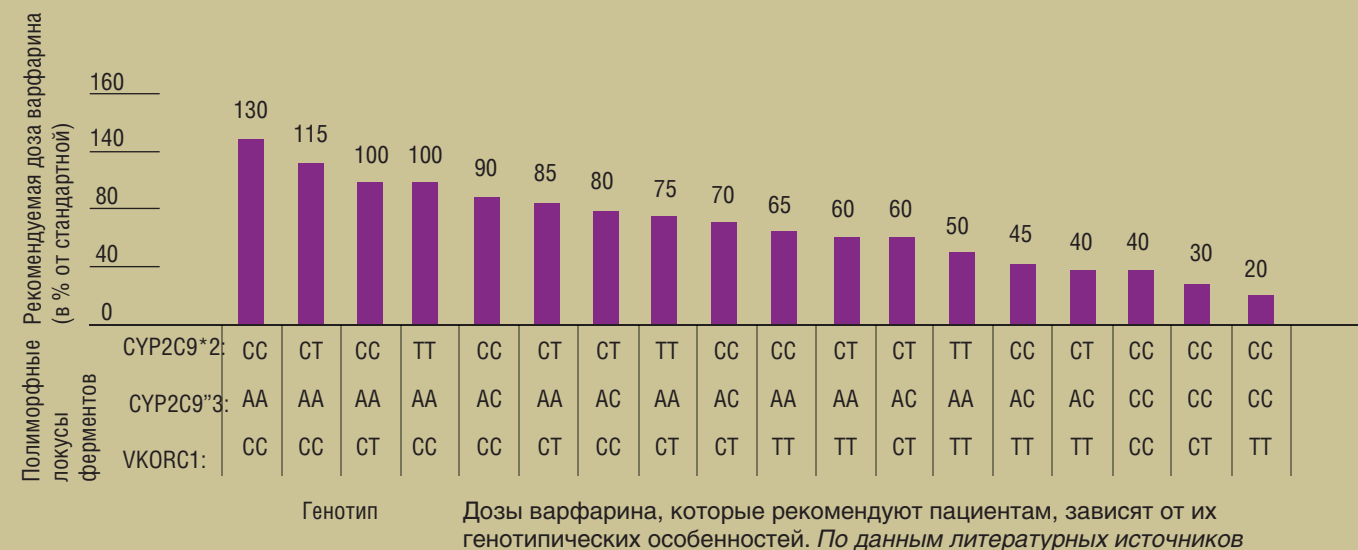


Варфарин состоит из двух изомеров, отличающихся пространственным расположением атомов и метаболизирующихся разными печеночными ферментами. Терапевтически более активным является *s*-варфарин (*слева*)

Основными белками-ферментами, участвующими в процессе метаболизма варфарина, являются *печеночные цитохромы* системы Р 450 (СУР). Сам препарат состоит из двух *изомеров* (молекул одинакового химического состава, но отличающихся пространственным расположением атомов), при этом терапевтическая активность *s*-варфарина намного выше. Основным катализатором метаболизма для него является цитохром СУР2С9: изменение в его активности может значительно влиять на чувствительность пациента к лечению варфарином.

Кроме того, индивидуальная чувствительность к варфарину зависит еще от одного небольшого белка, локализованного внутри печеночных клеток – *витамин-К эпоксид редуктазного комплекса* VKORC1. Его функция заключается в реактивации витамина К, и именно этот белок и является мишенью для варфарина при осуществлении последним лекарственного воздействия.

Для генов, кодирующих данные белки, известны полиморфизмы, влияющие на скорость метаболизма варфарина и степень чувствительности к нему пациентов. Как правило, изменения в этих генах сопровождаются снижением скорости утилизации лекарства из организма, следовательно, соответствующий рост его концентрации в плазме крови может приводить к возникновению кровотечений.



Рецепт для генов

В Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН и Центре новых медицинских технологий в Академгородке с 2008 г. проводится широкое изучение фармакогенетики и фармакокинетики варфарина у пациентов, вынужденных длительное время принимать антикоагулянты. Из лейкоцитов пациентов выделяют ДНК, в которой определяют полиморфные варианты генов СУР2С9 и VKORC1. На основании полученных данных можно с уверенностью утверждать, что более половины обследованных являются носителями измененных генов. Это означает, что дозу варфарина для таких пациентов необходимо корректировать относительно стандартно рекомендуемой. Здесь возникает проблема дозировки.

Чтобы точно определить необходимую дозу препарата для конкретного пациента, сначала нужно с помощью масс-спектрометрии определить уровни метаболитов лекарства в организме через равные промежутки времени после приема, а затем построить фармакокинетическую кривую. Однако подобное исследование – сложная и трудоемкая задача, выполняемая обычно только в научно-исследовательских целях.

Доступными методами для использования в повседневной медицинской практике могут служить генетические тесты. Для этого необходимо изучить количественные взаимоотношения между генетическими полиморфизмами и скоростью метаболизма варфарина на группе пациентов с различными генетическими вариациями нужного гена. Подобные исследования проводились ранее среди европейской популяции, но в Сибири они проводятся впервые.

Результаты работы по варфарину с привлечением методов метабомики и генетики служат примером наиболее эффективного и перспективного подхода в медицине – персонализированного. Подобные исследования помогают подобрать дозу лекарства пациенту с учетом его генетических особенностей, что дает возможность сократить количество побочных эффектов, оптимизировать и минимизировать фармакотерапию и снизить расходы на лечение, а значит, существенно улучшить качество жизни людей.

Литература

Семиголовский Н. Ю. *Непрямые антикоагулянты в кардиологии (впечатления о применении варфарина)* // *Трудный пациент*. 2007. № 3. С. 31–37.

Сироткина О. В., Вавилова Т. В., Кадинская М. И. и др. *Определение индивидуальной чувствительности к варфарину методом молекулярно-генетического анализа гена цитохрома P450 2C9: Руководство для врачей*. СПб.: Издательство СПбГМУ, 2006.

Сычев Д. А. *Лечить не болезнь, а больного, или фармакогенетика в действии* // *Вестн. Моск. городского науч. о-ва терапевтов*. 2007. № 14.

Gardiner S. J., Begg E. J. *Pharmacogenetics, drug-metabolizing enzymes, and clinical practice* // *Pharmacol. Rev.* 2006. V. 58. P. 521–590.

Wysocki D. K., Nourjah P., Swartz L. *Bleeding complications with warfarin use: a prevalent adverse effect resulting in regulatory action* // *Arch. Intern. Med.* 2007. V. 167. P. 1414–1419.

НАШИ МАРШРУТЫ

В. И. ОСМОЛОВСКАЯ

«ЯСНОЙ, СОЛНЕЧНОЙ НОЧЬЮ...»

О жизни двух москвичек-зоологов в тундре Ямала в годы войны



Ошейниковый (копитный) лемминг. Экз. с п. в Ямале.

Публикацию подготовил Николай Александрович Формозов, к.б.н., ведущий научный сотрудник биологического факультета МГУ, сын Варвары Ивановны Осмоловской и известного эколога, зоолога и зоогеографа Александра Николаевича Формозова

ОСМОЛОВСКАЯ Варвара Ивановна (1916–1994) родилась в Перми, где ее отец, И.А. Бонч-Осмоловский, находился в это время в связи со службой в армии. Детство ее прошло в Минской губернии. После переезда в Москву поступила в КЮБЗ (кружок юных биологов зоопарка), где, к ужасу родителей, пропадала неделями. Закончила кафедру зоологии позвоночных биологического факультета МГУ в 1940 г. После окончания аспирантуры защитила кандидатскую диссертацию по материалам, собранным на Ямале в 1941–1943 гг. До 1977 г. работала на той же кафедре, где училась. В 1947 г. вышла замуж за своего университетского профессора А. Н. Формозова. Двое детей – Елизавета (1951 г.р.) и Николай (1955 г.р.)



Воспоминания Варвары Ивановны Осмоловской, отрывки из которых перед Вами, были написаны, как говорится, для домашнего употребления. Один из подзаголовков рукописи – «детям и внукам». История же такова. Две подруги – Варя Осмоловская и Таня Дунаева, окончив Московский университет, в 1941 г., в свое первое аспирантское лето, отправились в экспедицию на Ямал. Выехали в мае; о том, что началась война, узнали уже в тундре, на реке Щучьей. Но план работы решили не менять. В середине августа в верховьях одного из притоков Щучьей они встретили топографа, пробирающегося поперек Ямала из Байдарацкой губы в Салехард. От него-то и узнали, что немцы под Смоленском, что бомбят Москву... Стало ясно, что возвращение домой в этом году вряд ли возможно. Экспедиция, рассчитанная на один сезон, растянулась на две зимы и три лета. И для Вари, и для Тани эти годы были наполнены самоотверженной работой и интереснейшими впечатлениями от жизни среди ненцев (в 1942 г. почти пять месяцев они кочевали с оленьими стадами).

Мы с сестрой Лизой много раз просили маму написать воспоминания «о ненцах» – рассказы о них нам нравились с детства. Но мама все отнекивалась: к своим писаниям она относилась с непонятным пренебрежением. Но как-то летом 1986 г. ей попала в руки новая книга Юрия Рытхэу. Понравилась, чем-то задела; дочитав ее, мама засела за письменный стол и на одном дыхании за несколько месяцев написала свою «документальную повесть». Мама рассказывает о ненцах с юмором, но и они к ней относились также: подшучивали, давали забавные прозвища. Ей с ненцами, как она пишет, было интересней, чем с местными русскими. Мне кажется, что и ненцы тоже понимали, что к ним приехали какие-то необычные девушки. Было ли и им с ними интересно? Вероятно, да. Но больше всего ненцы о них беспокоились – на единственной сохранившейся фотографии лета 42-го г. только что приехавшая в чум к Тане Варя укутана в зимний мужской соок. «Русский девка потерял – мозе суд будет», – как-то пошутил Пари.

Благодаря этому удивительному эксперименту ненецкая культура вошла в наш дом – я и моя сестра выросли на рассказах о Ямале. Оставило ли это межэтническое взаимодействие какие-то следы у ненцев, какова судьба «Нолику Таня» и «Нолику Варя» (маленьких девочек, названных родителями в честь двух московских аспиранток), пересказал ли кто-нибудь еще хоть раз в ненецком чуме пушкинскую «Золотую рыбку» в интерпретации моей мамы – неизвестно.

Выйдя на пенсию, мама несколько раз ездила на Север. В 1977 г. вместе с Таней – в Лапландский заповедник на Хибин, в 1986 г. – на Чукотку с экспедицией своей бывшей студентки. Каждый раз это называлось «Прощание с тундрой». Я много раз уговаривал маму поехать на Ямал. Но она всегда отказывалась: «Там все изменилось и никого не



Татьяна Николаевна Дунаева (1916 г. р.), д.б.н., крупный специалист по туляремии. Отец – врач, сын известного толстовца А.Н. Дунаева. В детстве посещала вместе с подругой Варей Осмоловской КЮБЗ, одновременно с ней училась в МГУ на кафедре зоологии позвоночных. Еще в студенческие годы совершила вместе с мужем В.В. Кучеруком (тоже кюбзовцем) две экспедиции на Ямал (в 1938 и 1939 гг.). При поддержке известного исследователя Ямала проф. Б.М. Житкова Таня и ее муж Валент еще студентами подготовили монографию: «Материалы по экологии наземных позвоночных тундры Южного Ямала» (1941) (уникальный случай в истории университета). Всю жизнь она проработала в Институте эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи. На фото: конец мая 1941, Звенигородская биостанция

осталось», – и так не поехала. Как-то уже после смерти мамы в 1994 г. Татьяна Николаевна сказала: «Варя очень хорошо написала о тундре, мне так не написать. Ведь Варю ненцы любили, а меня уважали... и чуть-чуть побаивались». Татьяна Николаевна вправляла вывихи оленям, отдавала распоряжения, что делать после нападения бешеного волка, а как-то даже, видимо, спасла человека, который неосторожно снял шкуру с оленя, больного сибирской язвой, – приггла ему ранку на руке. «Таня, пыдай лекарь саворка! (Таня, ты хороший врач!)» – говорили ненцы... Сейчас Татьяне Николаевне 94 г., она неважно себя чувствует, не встает. Недавно, в последнюю нашу встречу, Татьяна Николаевна загадала мне ненецкую загадку, которую ее память удерживает 68 лет: «Тюко амге? Сиде пухочи ядемпей пёуда (Что такое? Две женщины все время ссорятся)». Отгадка – две палки, на которых стоит чум, они весь день скрещены, ветер трет их друга о друга. А еще Татьяна Николаевна часто повторяет слова Лоусомы: «Ман Варя хупта, – пыдыр оптике Варя (Моя Варя далеко, ты все равно, что Варя)». Все географические названия и ненецкие слова в воспоминаниях приводятся именно в той транскрипции, в которой были записаны автором.



Весна 1941 г. На балконе в Петровском Парке.
(Варя – третья слева, первый слева – ее дядя,
археолог Глеб Бонч-Осмоловский)

Варя со степным орлом на практике в Казахстане
(фото слева)

На оленях вверх по реке Полуя

Сразу после конца занятий мне предложили командировку в верховья Полуя в качестве инструктора-охотоведа. Оказывается, в плане Союзпушнины был предусмотрен расход «по техпропаганде», и его надо было выполнить. Что я буду делать, не зная языка, в чем будет заключаться мой инструктаж и будет ли от него какая-либо польза – это никого не интересовало. Важно было выполнить план и израсходовать отпущенные деньги. Я с радостью согласилась <...> Выехала я 19 декабря в 6 часов вечера. Ночь ли, день ли, ненцам все равно, когда ехать. Ехали мы в какой-то совершенно белой мгле. <...> Олени бегут широкой рысью по твердому уплотненному снегу, возница спокойно сидит впереди с левой стороны нарт и тянет какую-то заунывную песню без слов и без мотива. В левой руке у него длинный шест с круглым набалдашником, или тюр, в правой – постромка от уздечки передового быка. Но мне не заметно, правит ли он оленями, кажется, что они бегут сами по себе. Я сижу позади ненца с правой стороны нарт, ноги на полозьях, сижу, слушаю пение своего возчика, пытаюсь, что-то разглядеть в бесконечной мгле и ничего не вижу. Кажется, что мы едем в какое-то белое «небытие» и что нашему пути никогда не будет конца.

Но вдруг залаяли собаки, среди белой мглы показались треугольные силуэты трех чумов, и мы приехали, куда хотели. Тогда и много позднее у меня часто возникала мысль, что прежде чем изучать перелеты птиц и понять их изумительную способность к ориентировке, надо постичь, как ориентируются ненцы, как они находят дорогу.

Навстречу нам высыпало все население чумов и среди них, как белые ядерные грибы, маленькие ребятишки в складно сидящих на них оленьих парках, сшитых из шкур молодых оленят. Слова приветствий, громкий непонятный мне разговор. Все идем в чум. В чуме посередине ярко пылает костер, над ним подвешен большой котелок и чайник. Дым от костра поднимается прямо вверх и уходит в отверстие между кольев. Снаружи, как я узнала позднее, отверстие прикрывают куском шкуры, которую передвигают за спускающиеся веревки в зависимости от направления ветра и этим устанавливают тягу. По бокам костра лежат по две широкие доски, дальше идут циновки из прутьев, покрытые оленьими шкурами. Все рассаживаются. Меня, как гостя, сажают впереди, рядом садится мой возница, потом хозяин, хозяйка, далее дети и у самого входа – собаки. У хозяина волосы завязаны в две небольшие косички, и по этому признаку я определила, что попала в чум к хантам.

<...> Когда мы вышли из чума было совсем светло. Крики хантов и лай собак опять наполнили тундру. Собаки быстро собрали стадо оленей, и мой возница легко отловил своих быков, набрасывая им на рога аркан, или тынзян. Упряжка готова, можно ехать дальше. Теперь олени сразу взяли в галоп. <...> Олени могут нестись галопом или быстрой рысью 10–15 км. Это расстояние называется «попрыском». Величина попрыска зависит от силы и выносливости оленей, а также от трудности пути. Бегут, бегут олени, и мы опять подъезжаем к одиноким чумам, где нас всегда ждет горячий чай и мороженная оленина или рыба. Когда горит костер,

В начале октября, когда ушел последний пароход, у нас прервалось почтовое сообщение до установления твердого санного пути. Самолеты тоже не летали в это время. Почтовое сообщение восстанавливалось только к концу ноября, причем помимо самолетов, почту возили и на исторических почтовых лошадях

в чуме всегда тепло. Зимой у него двойные покрышки из оленьих шкур, или нюги, – мехом внутрь и мехом наружу.

<...> Олень удивительное животное. Всю зиму питается только лишайником-ягелем, который теперь добывает, разрывая снег глубиной в 30–40 см, а взамен этого одевает, кормит и возит все северное население. Как тепла оленья одежда! Перед поездкой мне выдали меховые чулки (чижи), сверх которых надеваются расшитые оленьи кисы. Далее одежда, сшитая мехом внутрь, – малица (одевается через голову, мужчины подпоясывают ее ремнем). Сверх этого еще одежда мехом наружу, называется соок, или по-русски – гусь. У малицы и у соока есть капюшоны, обшитые мехом, у соока капюшон обычно обшивают песцовым хвостом, и он хорошо защищает лицо. В такой одежде трудно повернуться, но когда едешь на нарте, знаешь, что до тебя не доберется никакой мороз. Правда больших морозов здесь еще не было, а 30–40° здесь за мороз не считается, да он и действительно не чувствуется.

<...> На факториях я имела дело с русскими охотниками, что было значительно проще. Основным объектом промысла здесь были горностай и белка. На белку охотились без собаки, так как снег был слишком глубокий, а искали ее, простукивая деревья. Горностаев ловили капканами. Я ходила с охотниками проверять капканы и рассказывала им все, что знала об этом зверьке и о разных способах его добычи. На одной фактории даже сделала



Варя с Понькой на корме парохода «Коммунист»

Таня с Понькой (конец мая 1941, Звенигородская биостанция)

употреблявшиеся ранее ледяные ловушки. Для этого надо было выставить на мороз ведро с водой. При морозе в 40° лед вскоре образовывался по всему периметру ведра. Когда лед достигал 1,5–2 см, нужно было в середине сделать круглое отверстие с диаметром, равным норке горностая. Затем вылить оставшуюся воду, а ведро внести в теплое помещение. Через некоторое время, как только лед начинал подтаивать, ледяная ловушка легко вынималась из ведра и была готова. Теперь только нужно было, чтобы горностай залез в нее, привлеченный положенной внутрь приманкой. Но этого у меня не получилось. С собой можно было унести не более двух ледяных ловушек, а охотник брал и расставлял не менее 10 капканов. Многие способы добычи зверей ушли в невозвратное прошлое.

<...> Вообще я с интересом наблюдала ненецких ребятишек. Во всех их играх сразу была видна жизнь среди тундры и оленьих стад. Любая веревочка в руках маленького мальчика сразу превращалась в тынзян, который он накидывал на находящихся в чуме собак. Любопытный лоскуток шкурки совсем маленькая двухлетняя девочка сразу начинает мять и скрести щепочкой, подражая матери, выделяющей шкуру. <...> Удивительно быстро дети научаются обращению с острым ножом, причем даже в самом раннем детстве – нож для них не запретная вещь. Обычно ненцы едят мясо, придерживая его зубами и отрезая кусок у самого носа движением острого ножа снизу вверх. Я не сразу и с опаской освоила этот прием за едой, а маленькие трех–четырёх летние ребятишки делали это совершенно спокойно.

<...> Через полтора месяца кончились деньги, отпущенные мне на разъезды, и в конце января я вернулась в Салехард. На заработанные деньги я купила для нас с Таней тушу оленя, кожи на две пары сапог, хорошей материи на штаны и фланели на теплые рубашки. Привезла также небольшой запас сахара и других продуктов, которые на факториях можно было покупать без ограничения. В Салехарде в это время уже были введены карточки, и продукты давали по норме.



Таня на палубе парохода «Коммунист»

В феврале и в марте мы стали получать известия о самых тяжелых потерях – гибели близких родных и друзей. В первые дни и месяцы войны на фронте погибли наши лучшие молодые зоологи – Кафтановский, Модестов, Успенский. Под Киевом без вести пропал наш большой друг Алеша Сергеев. Алешу мы хорошо знали еще по КЮБЗу, но очень подружились с ним уже в университете

Конец первой зимы.

<...> Результатами первого года работы я была не очень довольна. Конечно, даже сам Дементьев не видел и не наблюдал столько соколов-сапсанов, сколько наблюдала я, но разве можно написать диссертацию по наблюдениям за шестью гнездами, тем более что биология сапсана – этого великолепного сокола, давно привлекала внимание орнитологов и была хорошо изучена еще в прошлом веке. Для того чтобы написать диссертацию, нужен был сравнительный материал, нужно было еще раз ехать в тундру. У Тани дела с леммингами были в таком же положении. Мы давно с ней обдумывали вопрос о втором годе работы в тундре. <...> Было ясно, что весной мы не сможем вернуться домой. На фронте было временное затишье, победы под Москвой не меняли общей картины. Положение было напряженным, казалось, что немцы готовятся к новому наступлению,

и, вероятно, на Москву, которую им не удалось взять с первого удара. Въезд в Москву был запрещен, и о возвращении домой не могло быть и речи.

<...> Надо было найти работу, обеспечивающую разъемы, а уж прокормиться в тундре было нетрудно, мы это знали. Вопрос этот разрешился совершенно неожиданно и довольно просто. В Оленеводческом техникуме, где преподавала Таня, студенты проходили летнюю практику в оленьих стадах. В их обязанности входило наблюдение за отелом, проведение прививок против сибирской язвы, учет падежа оленей и другие зоотехнические мероприятия. Таня могла ехать в стада на тех же условиях, что и студенты, получая за эту работу небольшую сумму денег. Имея университетские деньги, я могла ехать вместе с ней.

<...> Изучив схему движения оленьих стад, мы решили кочевать по водораздельной тундре южного Ямала, к озерам Яро-то и далее к большой реке Юрибей. Мы 17 апреля выехали в районный центр Яр-сале, в 380 км от Салехарда. <...> В Яр-сале нас ждала приятная новость. В связи с сильным увеличением заготовок мяса для фронта, районная заготовительная контора (райпо) решила с весны закупить оленей и послать их на летний выпас, с тем чтобы иметь возможность осенью выполнить план заготовок. Стадо в 2000 голов было почти укомплектовано, и мне предложили пройти с ними всю летнюю кочевку в качестве зоотехника, а вернее, просто в качестве учетчика движения поголовья.

В Яр-сале мы уточнили маршруты кочевки оленьих стад. Нам очень хотелось забраться подальше на север, к местам массового норения песцов и гнездования полярной совы, но в стаде райпо было много больных и слабых оленей, и оно не могло идти на далекие летние пастбища. Пастухи в новом стаде были наняты из колхоза имени Буденного, поэтому и Таня взялась за работу в стаде этого же колхоза. В результате наши стада должны были кочевать недалеко друг от друга.

Фактория Порс-яха – это четыре черных домика. Один, самый маленький на берегу реки – баня. Другие – пекарня, склад и лавка. До ближайшего поселка на берегу Оби больше ста километров, а кругом белая равнина тундры.

<...> Наконец настал и день нашего отъезда. Порс-яха – это последнее наше пристанище с твердой крышей над головой. Только поздней осенью, когда все опять будет покрыто снегом, и окрепшие олени будут без труда пробегать по 100 км в день, мы вновь вернемся сюда.

<...> Таня уже уехала со своими пастухами, а мои все еще продолжали пить чай.

<...> С этими людьми я должна буду прожить почти полгода, без всякой связи с друзьями, знакомыми и родными. Интересно и страшно входить в новую, почти первобытную жизнь, невольно отрываясь от всего старого.



Лето 1942 г. В гостях в Танином чуме. Варю встречают две жены Худи Хасова (Ольга справа) и Понька.



На нартах по весенней тундре



Лемминги. Рисунки А.Н. Формозова

Дальние походы в тундру мы чередовали с работой вблизи Хе-яги. В эти дни я оставалась наблюдать за гнездами сапсанов, а Таня уходила с Понькой в тундру ловить леммингов. На Сопкее и Хе-яге гнездилось шесть пар сапсанов, и некоторые гнезда находились на расстоянии меньше 1 км друг от друга. Передо мной стояло много вопросов. Сапсаны не делали никаких гнезд и откладывали яйца в небольшой ямке на земле, и хотя на высоких песчаных обрывах влияние вечной мерзлоты было невелико, надо было проследить режим насиживания в суровых условиях севера. После вылупления птенцов важно было выяснить, как складывается «рабочий день» сапсанов при круглосуточном освещении солнцем, и, наконец, нас особенно интересовали вопросы о взаимоотношениях этих смелых и крикливых хищников с другими обитателями тундры



Diposaurus torquatus juv
30.I.42.
(15.10.1942)

<...> «Хось тара, хось тара» («ехать надо») говорит молодой ненец и тихонько тянет меня за рукав. Он уже одет. Малица коротко подпоясана широким ремнем с неизменными бляхами, ножнами и медвежьими клыками сзади. Как позднее объяснил мне Пари, медвежьи клыки на поясе мужчины это «оптике пардон» – все равно, что лекарство, своего рода талисман. Если на поясе висят медвежьи зубы, ненец ничего не боится, ни волков, ни бурана, он сильный, смелый и ему не страшно в темную зимнюю ночь караулить оленей.

<...> Я сажусь на нарту, ненец выводит оленей вперед, хлопает вожжей, и они сразу берут в галоп. На ходу он ловко садится впереди меня. Мы влетаем на горку

и уже мчимся по полированной зимними ветрами тундре.

<...> Но вот залаяли собаки, и как из-под земли вырос черный силуэт чума. Нарты резко остановились, круто повернув упряжку, пастух привязал к нартам передового оленя. Мы вошли в чум. В чуме оставалась одна старуха, вчера все от мала до велика уехали на факторию. У нее к их приезду посередине чума весело потрескивает костер и кипят два больших медных чайника. Мне показывают место впереди, где я могу располагаться. Я ложусь среди мягких шкур, тепло накрываюсь и спокойно сплю остаток ночи.



Летом на оленях
(снимок сделан с нарты)

На холмах Сопкей.
Внизу течет р. Щучья



<...> Пастухи все время проводили в стаде, помогая самкам находить и откапывать оленят. Им помогала единственная в своем роде старая собака Икча. Она находила засыпанного снегом олененка, но не трогала его, а только лаем подзывала пастуха. Пастух осторожно хореом раскапывал снег и, отойдя в сторонку, начинал подманывать самку, подражая голосу олененка. Подбегит взволнованная важенка, обнюхает, оближет тележку, подпахнет мордой и заставит встать на неокрепшие ножки. В стаде все время слышались взволнованные голоса самок, потерявших своих оленят.

<...> При случае пастухи стреляли куропадок. Еку и Пырико ловили их в капканы. Для этого из первой добытой куропатки делали так называемый «гамдал», то есть убитой птице спереди вставляли в шею заостренную палочку и эту палку втыкали в землю на каком-нибудь возвышении. Куропатке придавали позу осматривающего свои владения самца. В брачном наряде, белые с ярко рыжей шеей самцы были хорошо заметны. К такой выставленной птице прилетал драться другой самец и попадал в поставленный тут же капкан. Один раз в капкан попала даже белая сова, которая напала на «гамдал» и изрядно его потрепала. Мясо пойманных птиц шло в пищу. Приходя в чум, я с удивлением смотрела на котел, из которого торчали лохматые белые лапы и крылья плохо ощипанных куропадок. Зачем щипать твердые и жесткие перья, когда после варки они сами легко отделяются от мяса? Ко всему надо было привыкать.

<...> Стояли погожие дни. Тундра с каждым днем все больше и больше освобождалась от снега. Снег не таял, он просто исчезал, испарялся при круглосуточном освещении солнцем. Олени кормились только по освобожденным от снега вершинам холмов. Важенки с маленькими телятами тоже держались по проталинам, здесь на темной земле было теплее. Отел подходил к концу. Мы потихоньку стали кочевать, давно пора было сменить пастбища. Теперь за самками ковыляли темные, нескладные фигурки маленьких оленят. <...> Куропатки токовали всюю. Самцы неистово дрались. При этом каждый старался подойти к другому сбоку, а тот встречал его грудью. Так они забегали вперед друг перед другом, двигаясь в одну сторону. Я наблюдала, как два куропаха перешли таким образом все ледяное зеркало озера. Временами они останавливались и налетали друг на друга. Самцы, не имеющие пары, вели себя очень возбужденно. Вспугнутые они с клетотом перелетали на другое место, в ажиотаже начинали расхаживать, распуская хвост, именно эти самцы, в поисках противника, летели на «гамдал» и попадали в капканы. Самцы от пары вели себя значительно спокойнее. При приближении они вытягивали шею, тихонько гоготали и поднимались на крыло только после того, как взлетала самка. Самки были теперь совершенно незаметны в сво-

ем пестром одеянии, самцы же, наоборот, привлекали внимание вызывающим поведением и ярким брачным нарядом – белая птица с кирпично-красной шеей. Все это способствовало лучшему сохранению самок, уже начавших откладку яиц.

Озера стали вскрываться только в начале июня, и полыньи образовывались в первую очередь на месте впадения в озеро небольших речек или ручьев. Здесь держались прилетевшие утки (шилохвосты, чирки), а из нырков – многочисленные авлейки или морянки. На изолированных озерах лед сохранялся значительно дольше, и еще 19 июня я наблюдала авлеек, лежащих на льду, где они грелись на солнце. Гуси, прилетевшие в начале июня, кормились у берегов низких травянистых озер. Они вырывали осоку и съедали сочную подземную часть стебля. Еку и Пырико перешли на капканную ловлю гусей. Они ставили капкан прямо в воду на мелком месте, а кругом разбрасывали вырванную осоку, имитируя место кормежки.

<...> Как-то захромала еще одна молодая важенка. На другой день нога раздулась, и оленуха почти не наступала на нее. Пари позвал меня и сказал: «Важенка немножко резать надо. Все равно хальмер. Сегодня мясо хороший, завтра плохой, есть нельзя будет». Я согласилась, мяса у нас давно уже не было. Весть о том, что будем резать оленя, сразу облетела оба чума. Все высыпали наружу, что-то шумно и весело обсуждали, вытаскивали деревянные корыта, точили ножи, переговариваясь друг с другом. Несчастную важенку поймали и привели к чумам. Чтобы не пропало ни одной капли крови, ее сначала задушили тынзыном, а потом резким и точным ударом ножа пронзили сердце, и вся кровь вытекла в полость тела. После этого, быстро орудуя ножами, сняли шкуру, вскрыли брюшину, вынули внутренности и положили в корыто (потом и они пойдут в дело). Важенка лежала на боку, и у нее отделили верхнюю часть ребер, подрезая их вдоль грудины и позвоночника. На земле, как чаша осталась нижняя часть грудной клетки, наполненная кровью. Туда, в эту естественную чашу, стали резать куски печени, сердца, длинную мышцу спины и другие мягкие части. Потом все сели вокруг этого пиршественного блюда, и, вылавливая ножом пропитанные кровью куски мяса, с наслаждением, отправляли их в рот. Все лица были перемазаны в крови. Хорошенькое личико Нябуку было измазано до самых ушей, и только в счастливой улыбке поблескивали ее белые зубы. Я с интересом и удивлением смотрела на это кровавое пиршество, а они смеялись надо мной, предлагая попробовать то один, то другой кусок. Некоторые даже черпали чашками и пили еще теплую кровь. Все это было оправдано и обусловлено историческим развитием северных кочевых народов. Употребление сырого мяса и крови только что убитых животных предохраняет ненцев от цинги, которой они



Капюшон нарядного соока. Верхняя часть сделана из головы молодого оленя, вместо глаз и носа вшиты кусочки белого меха. Опушка из хвостов песца не сохранилась



Весы и разновесы, которые были с В.И. Осмоловской в тундре. На переднем плане гири, с которыми играла Хапи: «Илья Иванович», «Хапи», «Пырико» и «Хантони». На заднем плане – ненецкий мешочек для гирек, сшитый из лоскутков кожи оленьими жилами



Мешочек, сшитый девочкой 10—12 лет и подаренный В.И. Осмоловской



А.Н. Формозов, 1943 г.

В это же время пришло письмо от А.Н. Формозова с советами относительно работы, написанное еще в сентябре. Это письмо окрылило меня, исчезли мысли о ненужности нашей научной работы

никогда не болеют. Ни цинга, ни различные простудные заболевания не страшны ненцам. Жизнь в суровых условиях севера выработала у ненцев своего рода стойкость. Их губят другие болезни, завезенные русскими, против которых у них нет иммунитета, и в первую очередь туберкулез.

<...> Вся жизнь в тундре основана на ловле удачных моментов, а встреча стаи линных гусей на небольшом озере – это тоже удача, которая может обеспечить мясом все наше становище. Ее нельзя упускать.

За следующим увалом перед глазами открылась поверхность заросшего осокой продолговатого озера и черным пятном выделяется на его зеркале стая линных гусей. Ненцы не долго совещались, как лучше организовать ловлю, в тот же момент олени понеслись с увала и окружили озеро с двух сторон. Гуси забеспокоились. Сверху мне видно как старые гуси осторожно вытягивают свои шеи и как они поплыли к противоположному берегу, намереваясь спастись бегством. Нарта Лоусомы перерезала им путь. Он кричит, машет руками, и гуси всей стаей повернули назад. Теперь среди гусей чувствуется смятение, они плывут к другому берегу – опять страшные крики останавливают их. Беспечно передвигаясь, они держатся все вместе, плотной стаей, и это резко выраженное стадное чувство позволяет ненцам удерживать на небольшом озере стаю в 150–200 гусей, пока тем временем идет подготовка к ловле. Вот уже на озеро спустили лодку, и ненцы протягивают через озеро сеть. Я и Лоусома залегли с разных сторон озера с винтовками в руках. Гуси медленно вереницей плывут мимо меня. Свистит пуля и чиркает воду позади стаи. «Хупта...» (далеко), – кричит мне Лоусома, и в тот

же момент один гусь завертелся, захлопал крыльями под его пулей. Я беру немного пониже и вот самый большой и красивый гусь как-то сразу осел и поник головой. «Пыдор тая» (твой есть), – несутся с того берега ненецкие слова. «Оба мои», – отвечаю я, глядя, как ветер колышет и подвигает ко мне бесформенные и мертвые тела птиц. А гуси плывут дальше. Вот их головы уже мелькают в прибрежной осоке. Чувствуется, что и женщина, и собака напряжены до последней степени, и мать не слышит, как плачет бедная Савоне. «Палая – при», – пускает она собаку, как только гуси отошли достаточно далеко. Собака срывается с места. Часть гусей бросается бежать и скрывается за увалом, часть как горох сыплется обратно в воду, но собака хватает одного и начинает его трепать, пока к ней не подбегает ее хозяйка.

<...> Тем временем на другом конце озера наладили сеть. Сетью отгородили небольшую заводь и теперь, опуская ее в воду, стали потихоньку на лодке загонять туда гусей. Гуси медленно и осторожно заплывают в заводь. Раз – и с берега несутся дикие крики, ненцы бьют палками по воде, гуси поворачивают обратно, но сеть вздергивают, и несколько гусей бьются, запутавшись в ней. Все настолько увлеклись этим способом ловли, что никто не заметил, как основная масса гусей выбралась из озера и добралась уже до вершины склона. Догонять их теперь бесполезно. Они уйдут на большое озеро, где их нельзя окружить и поймать. Нужно кончать с теми, которые остались здесь. Вот один гусь спрятался в осоке и Пырико, подкравшись, бьет его тюрком. Другой вылез на берег и опять пытается спастись бегством, но его догоняют на нарте, он напрасно помогает себе

крыльями, стараясь уйти от настигающих его оленей. Гуся, спрятавшегося в кустах ивняка, разыскала собака... Наконец все кончено. Наша добыча – 43 гуся. Среди них старые и молодые, темные большие гуменники и розовоклювые белолобые казарки. У многих кровоточат поломанные пеньки отрастающих перьев. Груда теплого, еще не остывшего мяса и измазанных кровью перьев. Глядя на это, мне стало как-то не по себе...

<...> Ненцы очень любят сказки, но хороших рассказчиков у них не так уж много. Помню одного, его звали Няку. В чуме Няку по вечерам, когда все напьются чаю и на разостланных у стен хобах (зимние шкуры оленей) улягутся спать, начинался рассказ Няку, который нередко затягивался до полуночи. <...> Сказки все однообразные, о том, как у ненца было три тысячи оленей, как он поехал ловить гусей, а жена ему пела песню о том, что не надо ехать ловить гусей, что с ним будет беда, и Няку протяжно поет скрипучим голосом песню жены. Как не послушался ненец жены, поехал ловить, много наловил гусей, наловил их целую лодку, но на обратном пути на него напал другой ненец и убил его, а жену, гусей и оленей забрал себе. Как брат убитого ненца решил отомстить, как долго искал он убийцу и, наконец, нашел, но убить не смог, потому что тот был шаман, как семь дней и семь ночей стреляли они друг в друга из лука и т. д.

<...> А в августе 1943 г. я ехала в Омск на пароходе с белоснежной палубой. Из Омска в это время возвращался в Москву Вахтанговский театр. В кармане у меня записка от Юры Исакова к его школьному товарищу Мише Зилу – главному распорядителю по реэвакуации театра. В Омске я разыскала Мишу,

и по этой записке он мне сразу выдал талон на получение билета в кассе. В кассе я получила билет в общий вагон и со своими вещами смогла втиснуться только на площадку. Помню, что перед посадкой на вокзале я купила себе какую-то репу. Я грызла ее, сидя на своих мешках, и была совершенно счастлива.

<...> Помню только, как вышла в Москве на платформу и бодро зашагала по асфальту с огромным рюкзаком за спиной и завязанным веревочкой пятеричным мешком, перекинутым через плечо.

<...> На другой день пошла в университет. В вестибюле обычный спокойный полумрак.

<...> Я опять засела в своей «клетке» на хорах зоологического музея. <...> Как-то я спустилась вниз на кафедру и увидела, что впереди по коридору, в сторону зала сравнительной анатомии, бодрой упругой походкой идет Александр Николаевич.

– Окликнуть? Нет, страшно. Что я ему скажу? Я вихрем взлетела обратно на хоры и уткнулась в свои тетрадки. Через некоторое время на железной лестнице послышались его шаги. На кафедре сказали, что я приехала, и он пошел меня разыскивать. Я побежала к нему навстречу в своем коричневом салехардском платье.

– Здравсте, Александр Николаевич!

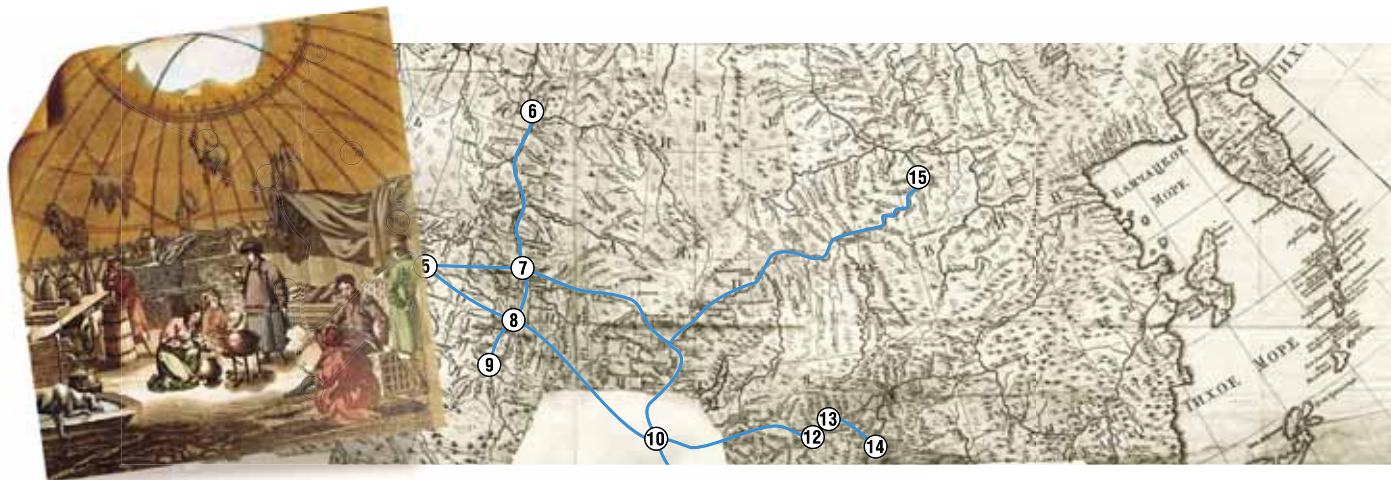
Он улыбнулся.

– А поцеловать можно?

Ответа не последовало, мы просто расцеловались с ним на крутой лестнице зоологического музея.

Г. Ф. Миллер: О ДУХОВНЫХ СВОЙСТВАХ НАРОДОВ

Одно из заметных культурных и научных событий 2009 г. – выход в свет первого издания на русском языке фундаментального труда по этнографии «Описание сибирских народов» Г. Ф. Миллера, выдающегося исследователя Сибири XVIII в. Сегодня мы предлагаем читателю выдержки из главы, посвященной межличностным отношениям, взаимоотношениям полов, отношению к собственности и другим «духовным свойствам» коренных народов Сибири



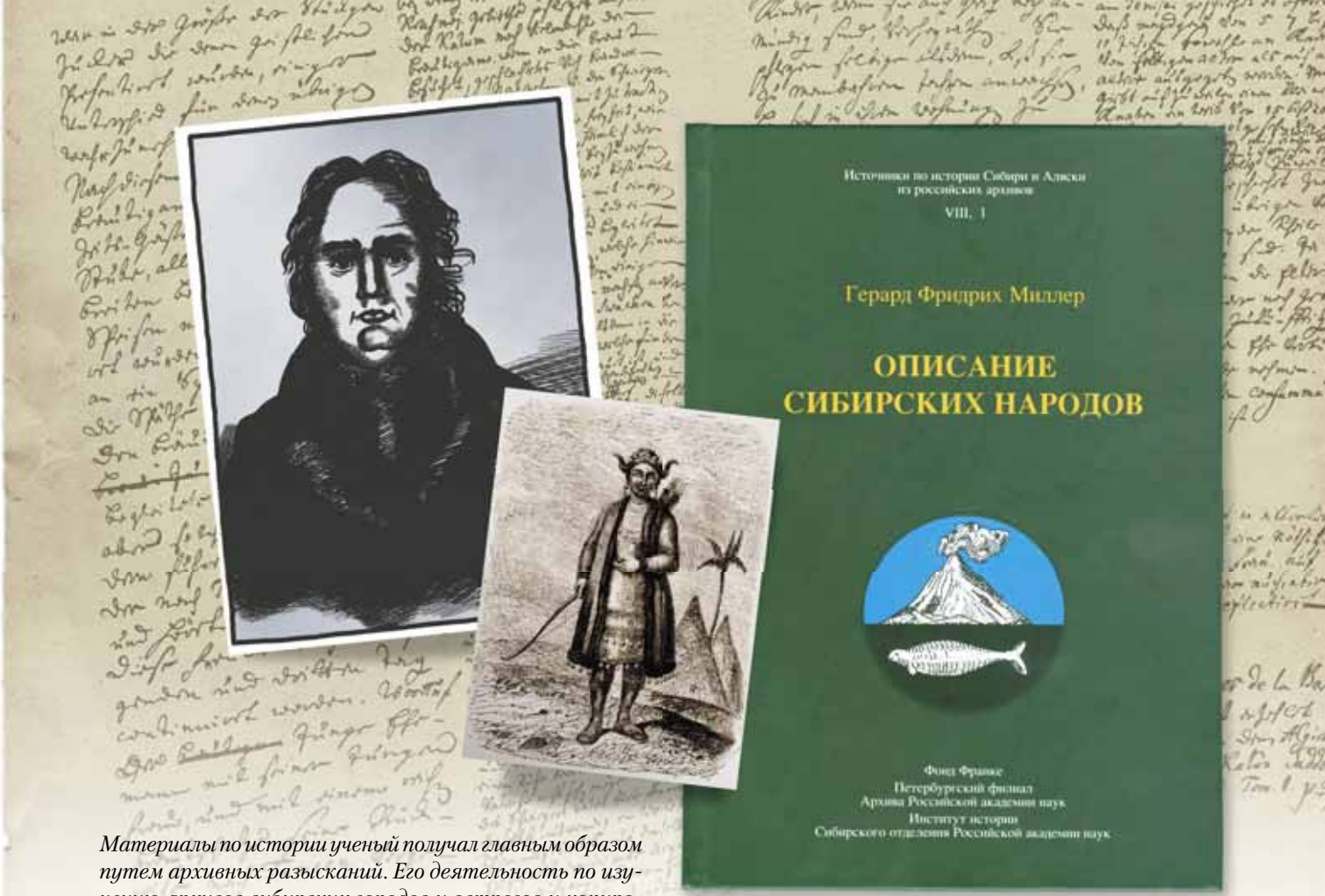
Личность выдающегося российского историка, знаменитого исследователя Сибири Герарда Фридриха Миллера (1705–1783) трудно назвать обделенной вниманием как со стороны его современников, так и последующих поколений ученых. До сих пор он – один из наиболее часто цитируемых авторов: без ссылок на труды «отца сибирской историографии» не обходится почти ни одно серьезное исследование по истории Сибири XVI–XVIII вв., этнографии и языкам ее коренных народов; истории археологических, географических и картографических работ.

Важнейшей вехой в научной судьбе Миллера стало его путешествие по Сибири в составе Второй Камчатской экспедиции, куда он отправился в возрасте 27 лет. По общему признанию, именно во время этой экспедиции он сформировался как выдающийся ученый с европейской славой. Сибирское путешествие Миллера длилось почти 10 лет, причем он был единственным членом экспедиции, кто посетил все уральские и сибирские уезды, побывав во всех более или менее значительных населенных пунктах Урала и Сибири, исключая лишь Охотский порт.

Сибирское наследие Миллера – это десятки монографий и статей по истории и географии региона, карты, историко-географические описание уездов, путевые заметки, полевой дневник, насчитывающий 2,5 тыс. страниц, а также этнографические труды. Однако приходится констатировать, что в целом архивное наследие Миллера остается одним из наименее изученных по сравнению с работами других крупных историков прошлых веков. И хуже всего обстоит дело с этнографическими трудами и материалами ученого: до недавнего времени почти все оценки Миллера как этнографа были основаны на тех данных, которые вошли в опубликованные главы «Истории Сибири».

Программа этнографического изучения Сибири, составленная Миллером в 1740 г., – уникальный документ, равно которому по широте охвата проблем в отечественной науке не появилось и два с половиной века спустя. Миллер значительно опередил время и в своих взглядах на этнографию в предисловиях к незавершенному фундаментальному труду «Описание сибирских народов», рукопись которого была после долгих поисков обнаружена лишь в 1939 г. в РГАДА. Этот наиболее важный труд Миллера по сибирской этнографии представляет собой смелую попытку составить всеобъемлющее сравнительное описание всех народов Сибири и первый шаг к созданию универсального описания всех народов мира, идею которого развивал ученый.

Этнографические очерки, составляющие «Описание...», насыщены уникальными данными по истории коренных сибирских народов, их этническому составу, материальной и духовной культуре, языкам, аборигенной топонимике.



Материалы по истории ученый получал главным образом путем архивных разысканий. Его деятельность по изучению архивов сибирских городов и острогов и копированию хранившихся в них документов оценивается как огромный подвиг ученого, сохранившего для потомков огромное количество ценнейших источников.

Но основные и наиболее ценные материалы по этнографии были получены непосредственно от коренных жителей. При всей загруженности работой в городах, Миллер выкраивал время и для поездок в ясачные волости. Чаще всего такого рода поездки совершались по предварительной договоренности с представителями аборигенной знати или с шаманами. Добившись доверия у этих лиц, Миллер получал приглашения на свадьбы, религиозные обряды и праздники, рыбную ловлю и т.п. «Ласковым обхождением», подарками, демонстрацией уважения к обычаям и религии своих собеседников он добивался расположения и откровенности самых разных людей – от «улусных мужиков» до представителей знатнейших аборигенных кланов, от шаманов до ученых мусульманских и буддийских священников.

Знаменитый труд Миллера впервые опубликован в переводе на русский язык только в 2009 г. совместными усилиями Института истории СО РАН (Новосибирск) и Фонда Франке (Галле, Германия). Подготовлено и немецкоязычное издание этого труда, которое будет опубликовано в 2011 г. в Германии.

Д. и. н. А. Х. Элерт (Институт истории СО РАН, Новосибирск)

Г. Ф. Миллер
ОПИСАНИЕ СИБИРСКИХ НАРОДОВ
Издание подготовили А. Х. Элерт, В. Хинтцше.
Перевод с нем.: А. Х. Элерт.
Памятники исторической мысли, М., 2009.
ISBN 978-5-88451-258-0

В вообще можно сказать обо всех языческих народах в Сибири, что их умственная культура выше или ниже в зависимости от того, насколько они цивилизованы вследствие общения с другими народами.

Так мы видим, например, по живущим на крайнем северо-востоке [Азии] чукчам, что поскольку они никогда не хотели вступать в контакты с русскими подданными, то у них есть некоторые манеры, которые являются более чем ясным свидетельством крайне темного состояния их разума.

Люди, которым приходилось бывать среди этих чукчей и входить с ними в общение, нарисовали мне такой их портрет. Чукчи находятся в своих юртах, как мужчины, так и женщины, молодые и старые, совершенно голыми, без всякой стыдливости, как между собой, так и перед чужими. Если к ним приходит <...> кто-либо чужой, будь то знакомый или незнакомый,



Якутская женщина. Георги И. Г. Описание всех обитающих в Российском государстве народов. СПб., 1799

даже если это русский, то муж предлагает ему свою жену и принуждает его к сожителству с ней. Если мужа нет дома, то сами женщины настолько бесстыдны, что приглашают чужого мужчину к сожителству. Если русский не желает следовать этому обычаю, то они считают это за оскорбление или за признак того, что против них замышляется какое-нибудь зло. Они могут также подбадривать прибывших русских словами, что те пришли в чужую страну и поэтому должны разгонять свою скуку с женщинами.

<...> Едва только девушка становится способной перенести сожителство, ее в этом деле уже больше не щадят. Женщины никогда не сдерживают своей похоти даже во время месячных, а после родов воздерживаются лишь до тех пор, пока не прекратятся очищения. Двое мужчин иногда заключают соглашение иметь общими своих жен – этим, по их мнению, они вступают в теснейшую кровную дружбу. В особенности они радуются, если в плотскую связь с их женами вступают русские, считая, что через это они будут на них похожи. Меня также уверяли, что по этой же причине контайшины калмыки якобы часто подряжали русских пленных на сожителство с их женщинами.

<...> Если прежде, во времена, когда из Анадырского острога часто посылали партии против чукчей, русский брал себе в рабыни чукотскую девушку или женщину, то, говорят, эти рабыни не делали ничего хорошего, если господин не вступал в обыкновенное сожителство с ними. Когда в 1730 году капитан Павлуцкий был в походе против чукчей и точно так же взял много пленнх обоого пола, однако при этом строго запретил своей команде совокупляться с языческими рабынями, то последние будто бы через переводчиков язвительно спросили русских, не отсутствует ли у них, может быть, та часть тела, которая делает мужчину мужчиной. Говорят, что корякские и камчадалские рабыни, которых в прежние времена было большое количество у русских в тех местностях, будто бы имеют точно такую же натуру. Кто на Камчатке отказывает женщине в исполнении этой, по их мнению, надлежашей ей обязанности, тот не должен получать от нее никакой работы. Рабыни прежде убегали от своих господ, как только они замечали у них нежелание или неспособность к сожителству.

На Камчатке имеются также лица мужского пола, которые, вопреки природе, разрешают использовать себя для разврата с задней позиции. <...> Но их ненавидит вся мужская часть населения и все с ними неохотно

Чукотские женщины. Kracheninnikow S. Voyage en Sibirie: La description du Kamtchatka T. II. Paris, 1768

общаются. Они живут среди женщин, выполняют с ними все женские работы и одеваются по-женски. То же отмечено и у некоторых американских народов. Но в отношении других сибирских народов о таких грубых содомских развратных грехах не приходится слышать.

Один поляк по имени Арсин Крупецкой, взятый во время польской войны в плен царем Алексеем Михайловичем, который не так давно умер в престарелом возрасте в Якутске в должности сына боярского, будто бы предавался растлению мальчиков и для этой цели всегда, когда его посылали в якутские улусы для сбора ясака, возил с собой мальчика. Но когда однажды якуты подстерегли его ночью и заметили неладное, они, говорят, в ущерб русским тайно распространили повсюду сведения об этом, как о чем-то в высшей степени гнусном; шум о случившемся будто бы дошел и до самых северных юкагиров и коряков. Тем не менее, однако, иногда как у якутов, так и у брацких и монголов будто бы имеет место плотское совокупление со скотом, а также женщины, говорят, предаются позорной недозволенной похоти между собою <...>, несмотря на то, что это считается у них большим грехом.

Вообще же распутство между неженатыми лицами у сибирских народов не особенно распространено. Причиной этого служат следующие обстоятельства: во-первых, потому что они рано женят своих детей и еще раньше обручают их; во-вторых, поскольку большая часть народов позволяет помолвленным легальное сожителство; в-третьих, так как в случае распутства, как мужчина, так и женщина подвергаются опасности, о чем будет сказано ниже в своем месте. Гораздо более обыденными являются одностороннее и двустороннее прелюбодеяния. Редко когда мачеха не грешит со своими пасынками, а жена старшего брата – с его младшими братьями. Как на то, так и на другое не обращается особого внимания, ибо все равно после смерти отца и старшего брата мачеха и вдова старшего брата достаются пасынкам и младшим братьям.

Во время нашего пребывания в Илимске, к правителю города явился старый тунгус лет 70–80 с верховьев реки Илима с жалобой, что он застиг своего сына у своей молодой жены, и что они оба его отколотили; вследствие этого он попросил велеть их привести и наказать. Их привели. Сыну было от 30 до 40 лет, а женщине не было и 30. Они без колебаний признали свое преступление, причем сын, смеясь, а женщина с некоторым смущением. Мы их спросили, давно ли они занимаются этим делом, на что сын ответил утвердительно и добавил, что и отец давно знал об этом, но только теперь застал их в момент преступления и хотел поколотить, так что они защищали свою жизнь. <...> Наказание заключалось в том, что сына по требованию отца отстегали батогами, женщина же не получила никакого нака-

зания, так как старик возражал против этого и сказал, что он ее слишком любит, чтобы позволить ее отстегать. Молодая пара обещала старику исправиться, и после этого все трое отправились своей дорогой.

Иногда, если отцы слишком ревнивы, бывает, что сыновья похищают свою мачеху. Подобный пример был в Якутске с одним князем Батурусского улуса, который перешел со своей мачехой на реку Зею, впадающую в Амур, и, прожив там 2 года среди тамошних тунгусов, вернулся обратно. Во время этого бегства его тело стало пегим, почему его обычно называют Пегой князец.

<...> Ни один народ не бывает так чувствителен и ревнив в этом отношении, как тунгусы. Сыновей они обычно еще щадят, но если застанут со своими женами кого-либо чужого, то преследуют его до тех пор, пока не убьют; и если даже имеется только подозрение, то обвиненный мужчина должен либо оправдаться клятвой, либо он подвергается смертельной опасности. У якутов есть нечто своеобразное в этом вопросе, а именно, они считают за гораздо большее бесчестие, если женщина предается блуду с русским, чем если это происходит с якутом. В этом случае муж обычно вовсе прогоняет жену.

Стыдливость у всех народов распространяется только на детородные органы. Женщины не стыдятся ходить с обнаженными грудями при чужих мужчинах. Однако незамужние девушки никогда не обнажают груди. Это относится к большинству народов. Женщины у татар-магометан и у тех, кто часто общается с русскими, также стыдятся своих грудей. А то, что весь народ чукчей, наоборот, составляет исключение, это следует из сказанного выше.

Из названия самоедов, которое означает людей, пожирающих друг друга, можно было бы сделать вывод о том, что они отличаются особой дикостью. Однако этого у них не замечается. Мне пришла в голову мысль, не объясняется ли происхождение этого названия тем обстоятельством, что когда эти люди забираются в чащу на охоту и при плохой добыче терпят голод, то, может быть, они в случае крайности убивают своих товарищей и поедают их. Но как русские, так и самоеды единодушно заверяли меня, что о таких случаях никогда не было слышно. А когда я рассказывал разным самоедам, что такие случаи бывают и у самых цивилизованных народов, и что нужда снимает вину за грех, то они ответили мне на это: может быть у других народов это и так, но они лучше все умрут с голоду, чем преступят все законы человечества в такой мере, чтобы убивать и поедать людей. Даже и умерших людей они никогда не едят в случае нужды.

<...> Юракские самоеды очень дики и занимаются грабежами: они нападают не только на русских и грабят их, но воюют и с остальными самоедами, как с тавгами, так и с хантайскими. Да и между собою они часто ведут

войны. Хорошо еще то у них, что они избегают убивать русского, а только связывают ему руки и ноги и отнимают у него имущество, а затем оставляют его лежать. <...> Между собой самоеды очень сострадательны. Если один у них терпит нужду, то ему помогает весь его род, даже в уплате калыма, если он хочет жениться и не имеет достаточно имущества, какое требуется в уплату за невесту.

Внутренние принципы порядочности не развиты так сильно ни у одного народа, как у тунгусов. Среди них ничего не слышно о воровстве, мошенничестве или иных преднамеренных обидах. Они гостеприимны и щедры. Я не раз замечал у нерчинских тунгусов, что когда я дарил самому знатному из них китайский табак или корольки, или иные излюбленные ими вещи, то он делил все подаренное ему количество между всеми присутствовавшими людьми своего народа, и это делалось не из страха или по принуждению, а единственно из стремления к общности.

О кыргызских же казаках, или так называемой Казачьей орде, известно, что когда с русской стороны (как это часто делалось из Тобольска) посылали хану подарок, который состоял, к примеру, из портища немецкого или английского красного полотна, то его всегда нужно было передавать хану тайком, в противном же случае он был вынужден разделить ее между всеми присутствующими. Только причина этого заключалась в том, что этот народ проявляет мало почтения к хану и нередко его обкрадывает и обирает. Так что когда однажды русский посланник по незнанию пришел со своим подарком прямо к хану, предполагая передать его ему с соответствующими церемониями, все толпившиеся вокруг подскочили и будто бы разрезали штучку полотна на столько мелких лоскутков, сколько их здесь присутствовало, причем и хану оставили не больше, чем была доля каждого обыкновенного человека.

Некоторые хотя и осливать сибирские народы как ленивые из-за того, что они не делают запасов больше, чем нужно для поддержания жизни, и если они летом обеспечили себя пропитанием на зиму, то потом поглощают его без какой-либо затраты труда. Я же полагаю, что в этом надо, скорее, усматривать умеренность, заслуживающую похвалы.

По упомянутым хорошим качествам тунгусов к ним ближе всего подходят монголы и татары. Брацкие уже довольно вороваты, а некоторых из них в то время, когда мы там были, даже застигали за разбоем на дороге между Селенгинском и Кяхтой, когда они грабили русских купцов.

Среди всех народов самыми вороватыми и склонными к обману являются якуты. Они нисколько не совестятся всячески, где только могут, совершать несправедливости в отношениях друг к другу. Князцы в высшей степени немилосердно грабят своих подчиненных. Прежде у них

часто происходили и убийства. Хотя и сейчас время от времени такое случается, но следует все же сказать, что под русским надзором они в некоторой степени исправились, как это признают и они сами. Насколько благодетелен высокий императорский указ для других народов, когда они сами осуществляют правосудие между собою, настолько бесполезен он, по указанным выше причинам, якутскому народу, потому что опираясь на него, князцы получают еще больше возможностей совершать несправедливости по отношению к своим. <...> Простые люди также очень приучены к краже скота друг у друга, который они забивают и зарывают в землю. Для этого у них под жилищами и рядом с ними будто бы имеются в земле потайные погреба, которых посторонние обнаружить не могут.

<...> Если разным якутам делают какой-либо общий подарок, например табак, или им нужно заплатить деньги, то нельзя отдать все количество табака или всю сумму денег одному для того, чтобы он поделил это между всеми, а нужно распределить это самому, а иначе возникнут крупные ссоры и обман. Кроме того, якуты высокомерны и хвастливы. У кого лучше подвешен язык, того считают за самого способного человека. Поэтому между собой они очень громко кричат, и русские, которых посылают к ним для сбора ясака, точно так же стараются завоевать у них уважение громкими криками и быстрым говором. У всех сибирских народов существует восточный обычай принимать и делать подарки. А так как это имеет место и у якутов, то в последние годы, когда часто проводились расследования против русских сборщиков ясака, чтобы выяснить, не отягощали ли они народ, оказывая на него давление, то их несправедливость проявлялась и в том, что при малейших расспросах они причисляли к вышеуказанным отягощениям и все подарки, сделанные ими добровольно.

Строптивость и упрямство в начале занятия страны наблюдались у некоторых народов в большей степени, чем у других. Магометанских татар, живших на Иртыше и в других областях, как народ, уже в то время не совсем нецивилизованный, нельзя было укротить иначе, чем оружием. Языческие же татары, наоборот, покорились большей частью добровольно. Брацкие также всегда проявляли себя очень строптивым народом и уже в наше время брацких вокруг Иркутска и Верхоленска уличили в большом заговоре против русских. Равно как и якутов первоначально можно было подчинить только большой строгостью, потому что они нередко убивали русских, которых посылали к ним для сбора ясака, или которые находились на охоте. Но из всех народов самыми упрямыми являются коряки. Часто бывали случаи, когда они вместе с женами и детьми убивали или поджигали себя в своих жилищах, чтобы не попасть в руки к русским.

<...> С курилами на Камчатке первое время было также очень много хлопот. Камчадалы же, напротив, покорились гораздо охотнее, несмотря на то что и ими несколько лет назад был учинен большой бунт, в котором, однако, были виноваты не столько природные наклонности их характера, сколько немилосердные притеснения со стороны тамошних начальников.

<...> Хотя у чукчей и брали аманатов, однако известно мало примеров тому, чтобы остальные были этим озабочены или делали шаги к тому, чтобы платить за этих аманатов ясак. Они считают такого аманата уже потерянным, и хотя якутские казаки в Анадырске иногда пробовали вешать таких аманатов, за которых не поступал ясак, на глазах у некоторых чукчей, но все же и это не давало никакого результата.

<...> Остяки, являющиеся различными народами, и особые языческие народы в Красноярском уезде, и большой народ тунгусов были подчинены легче всего. Но из последних те, что относятся к Охотку, и тунгусы, живущие по Верхней Ангаре, также неоднократно бунтовали и часто убивали русских. Но причиной этого опять-таки были отчасти жестокое обращение со стороны русских начальников, отчасти то, что их часто грабили также служивые и промышленные люди, отчасти то, что они не хотели позволять русским охотиться на своей родной земле.

Между остяками, говорят, часто бывают столкновения, например, между енисейскими и сургутскими, когда они оспаривают друг у друга права на охоту, а также между сургутскими остяками и юраками. Преимущественно это бывает из-за ловли бобров, поскольку бобры имеют постоянные логовища. Приблизительно 10 лет назад енисейские остяки постоянно отправлялись для ловли бобров на реки сургутских остяков, но те ловили енисейских. Сначала дело доходило до драк, однако вскоре они стали более терпимы, а так как енисейские остяки были не столь многочисленны, как сургутские, то они вынуждены были для примирения отдавать им кроме половины добытых бобров еще многое из своей собственности.

<...> Из того, что какой-либо народ покорился добровольно, нельзя делать вывод о его робости. Тунгусы, напротив, в целом так храбры и мужественны, как только может быть народ. Причина скорее в следующем. Те, кто кочует по лесам, чаще всего держатся отдельными семействами, следовательно у них было легко схватить одного или несколько человек, которые были аманатами или заложниками, и которых прежде держали во всех городах и острогах. И тогда естественная доброта и искренность народа, если они не хотели бросить своих аманатов на произвол судьбы, и была истинной причиной их покорности. Наоборот, у других народов, которые занимаются скотоводством и живут близко друг к другу в степях или поселениями,



Гольды (нанайцы). Литография XIX века

было не так легко получить аманатов: чтобы защитить своих, они оказывали сопротивление, и тогда зачастую не обходилось без кровопролития.

Таким образом, строптивость нерчинских тунгусов и податливость тунгусов лесных имеют один и тот же корень. Народ же чукчей, напротив, так безжалостен по отношению к своим, что если время от времени кого-нибудь из них ловили и делали аманатом, то это все же никогда не побуждало их к покорности, но они всегда оставляли своих, даже если это были их родители или дети, или братья, на произвол судьбы на усмотрение русских. Им нередко угрожали, что хотят убить аманатов, если они не дадут согласия на уплату ясака, но все напрасно. <...> Случалось также иногда, что аманаты в острогах и зимовьях убивали русских казаков. Такой пример был лет 30–40 назад со стороны тунгусских аманатов в Майском зимовье. Только из этого еще вовсе не следует делать вывод против мнения о хороших природных свойствах тунгусов. Ибо известно, как сурово содержится большинство аманатов в зимовьях, так что они легко могут впасть в отчаяние.

<...> Несправедливость, с которой относятся в Сибири к языческим народам, является причиной того, что они очень робки. <...> К боязливости народов следует отнести и то, что они неохотно селятся близ трактов или на берегах больших судоходных рек, чтобы не подвергаться обычным обидам со стороны проезжающих.

ДНИ

Великих Испытаний.

Записки Война с Германией
в дни войны

Ленинград - Москва - Кавказ -
Свердловск - Петропавловск -
Боровое (Желез. обл.)



Г. А. Князев в своем кабинете в Архиве АН СССР

Вырезка из газеты «Правда»
(6 ноября 1941 г.)

Книга представляет собой публикацию дневников военных лет Георгия Алексеевича Князева (1887–1969) – историка, архивиста и археографа, который возглавлял Архив АН СССР в Ленинграде с 1929 по 1963 г. Начиная с гимназических лет, с 1895 г., он до конца жизни вел подневные записи, представляющие собой уникальный историко-ведческий документ. Часть дневников за период с 1914 по 1922 г. была опубликована А. В. Смолиным в альманахе «Русское прошлое». Отдельные фрагменты дневниковых записей военных лет были использованы Д. Граниным и А. Адамовичем при написании «Блокадной книги».

«Мне хочется передать все, что мы переживаем в дни чудовищно-жестокой и грандиозной войны, передать просто и искренне, без ходуль, без маски, без “мантии и пера на шляпе”. Просто рассказать, как мы жили и умирали», – записывал в своем дневнике Георгий Алексеевич в самые тяжелые блокадные январские дни 1942 г. Каждый день, при свете «лампадки», в свободные от работы в академическом архиве часы, он писал о том, что видел, переживал, наблюдал, о чем читал, писал для своего «дальнего друга», т. е. для нас с вами. «Дорогой мой дальний друг, читатель этих листков, ты выберешь, что не теряет своего значения



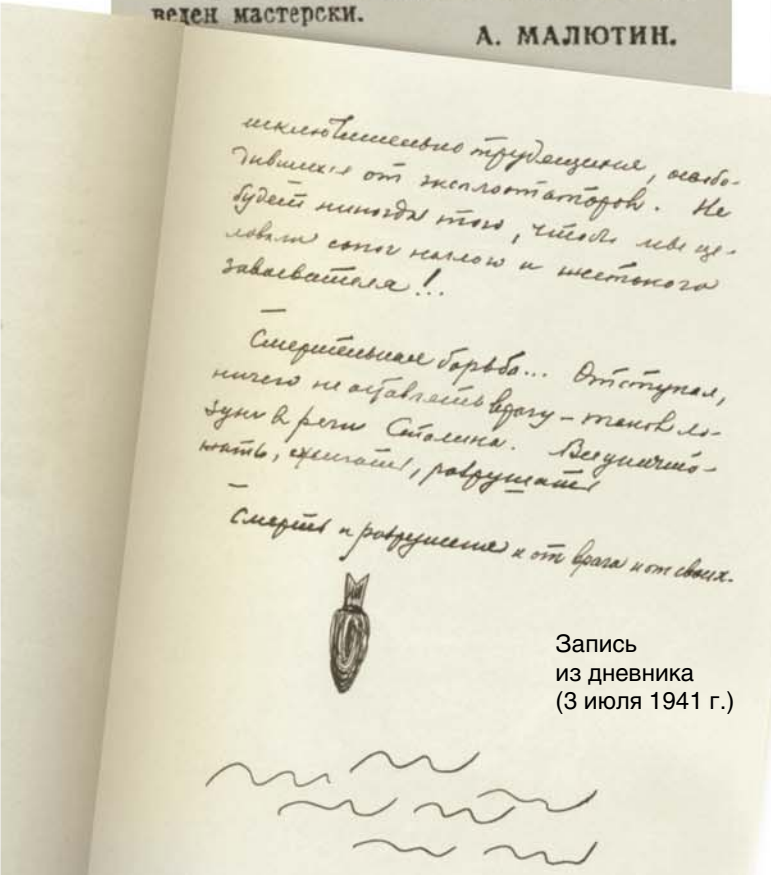
Финляндский вокзал. Эвакуация

НОЧНОЙ ТАРАН
ЛЕНИНГРАД, 5 ноября. (Спец. воен. корр. «Правды»). Лучи прожектора поймали немецкий бомбардировщик, появившийся над городом. В это время ночной истребитель, пилотируемый младшим лейтенантом Севастьяновым, находился в воздухе. Севастьянов принял смелое решение и таранил «Юнкерс-88» в правую плоскость. Вражеский бомбардировщик рассыпался в воздухе и, объятый пламенем, упал в парк.
Таран ночью применен впервые и проведен мастерски.
А. МАЛЮТИН.



Князев Г. А. Дни великих испытаний. Дневники 1941–1945. СПб. Наука, 2009. 1220 с. ил. ISBN 978-5-02-025213-4

Ответственный редактор: Н. П. Копанева
Подготовка текста: О. В. Иодко, Н. П. Копанева, Н. С. Прохоренко, А. В. Шурухина, И. М. Щедрова.
Рукопись дневников Г. А. Князева хранится в Санкт-Петербургском филиале Архива РАН (СПФ АРАН)



Запись из дневника
(3 июля 1941 г.)



Продуктовые карточки, вклеенные в дневник Г. А. Князева

Академии наук в годы войны и блокады или директора, стремящегося всеми силами помочь своим умирающим от голода и холода сотрудникам, но и как человека, заботящегося о том, чтобы и эти события, происходившие, как он писал, «на малом радиусе» ленинградской жизни, остались в исторической памяти. И этот труд достоин того, чтобы назвать его подвигом, подвигом «среднего русского интеллигента», как называл себя Георгий Алексеевич.

«Мои записи – непосредственные документы, пусть иногда и ничтожные <...> Нужно ли писать о себе? Если я пишу о других, о той дюжине людей, начальником которой я являюсь, или о той войне, с которой встречаюсь, то почему же тогда исключать самого себя. Я и сам становлюсь из субъекта объектом. Буду писать и о себе. Моему будущему читателю не будет ни откуда известно о многих подробностях нашей жизни, нашего быта. У других я не могу его проследить в личной домашней обстановке, во всей его интимности. Здесь, в записках, поэтому буду упоминать и о своих переживаниях, которые перестают в таком случае быть только моими личными и никому не интересными. Я пишу не воспоминания о днях войны, а день за днем, иногда час за часом, как мы, я и окружающие меня, переживаем эту войну. Пусть не всегда эти записи будут героические, мужественные, насквозь оптимистичны (как это полагается сейчас, и очень хорошо в общезнании), но они документируют жизнь, как она есть на небольшом радиусе. Вот и все <...> Героические, но пассивно защищающие родной город, покорно и безропотно умирающие за него – вот кто мы. И не больше».

Но именно им, «пассивно защищающим» Ленинград, столь многим обязаны и город, и страна. Столь скромно оценивая свою ежедневную работу, Георгий Алексеевич ни разу не пожаловался в дневнике на физические недомогания, а ведь он из-за болезни позвоночника с трудом мог передвигаться, добирался до Архива в своей коляске, «монумобиле». Щемящей болью проникнуты страницы дневника о страданиях и гибели сотрудников Архива: «В читальном зале Архива Лосева сколачивает два гроба, для С.А. Шахматовой и ее сына. Думал ли я, что ученый секретарь “по совместительству” сделается гробовщиком!»; «Травинкой [пропала без вести в блокадном городе – Н.К.] не было: она хлопчет о восстановлении утраченных карточки и паспорта. Орбели [умерла в марте 1942 г. – Н.К.] не было – слаба; Модзалевского не было... А те, кто были, грелись у плиты в 12-й проходной комнате или стояли в очереди в столовой: пожелтевший Стулов [умер в марте 1942 г. – Н.К.], беспокойная Крутикова, не человек, а тень Цветникова и двое дежурных: исхудавшая, как щепка, Беркович и Костыгова, которой сегодня особенно нездоровится. Таков личный состав Архива в январе 1942 года».



Запись из дневника (5 февраля 1942 г.) с планом будущего здания Архива АН



Поражает, что в столь трагических условиях «средний русский интеллигент» остается верен себе и своим понятиям о гуманизме, не озлобляется, пишет о различии понятий «фашист» и «немец», с ужасом и омерзением читает газетную публицистику, призывающую уничтожать всех немцев, особенно женщин, чтоб те не могли рожать детей.

Внимательный читатель заметит, что, будучи в блокадном Ленинграде, Князев вел записи каждый день. В августе 1942 г. он с женой Марией Федоровной был эвакуирован в Боровое (Казахстан). Казалось бы, академический санаторий, нет бомбежек, никакой опасности, приличное питание, но что-то сломалось в авторе дневника – записи становятся нерегулярными, в них появляется какая-то безысходность, а в описании окружающих его людей – даже желчность. Не помогает даже работа над рукописью по истории Академии наук, которую он вывез из заблокированного Ленинграда в рюкзаке.

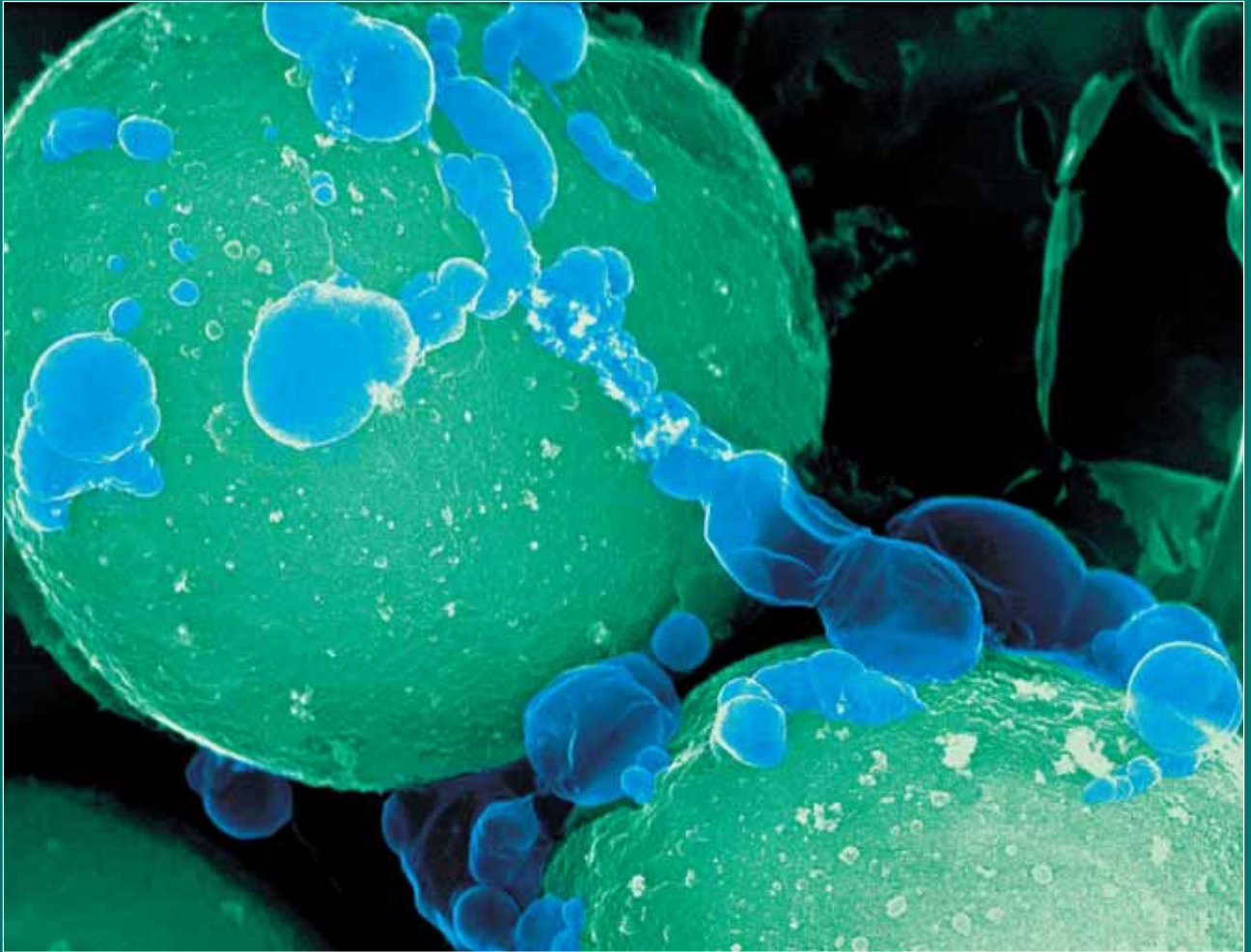
Ничего в этой мирной тишине не зависело от действий директора Архива, все осталось там, на Университетской набережной, под бомбежками, без него. Вот где была настоящая «пассивность», которая съедала душу человека, отдававшего архиву всю свою жизнь, ввергала его в болезнь и депрессию. В Ленинграде, сидя в Архиве или дома, он мог не только фиксировать происходящее, но и строить планы на будущее. Двести двадцать девятый день войны, 5 февраля 1942 года. Холодным и голодным блокадным вечером директор

академического Архива стал набрасывать план его восстановительных работ, план, который позволил бы сделать архив «истинным Архивом Науки». Эту программу строительства Архива Г.А. Князев назвал своим «архивным завещанием»: «Вот мое архивное завещание. Помещаю его здесь, в моих записках на всякий случай. В другом месте его могут и не найти».

В дневниках Георгий Алексеевич Князев предстает перед читателем и историком, и внимательным наблюдателем, и поэтом, пожалуй, мыслителем и поэтом, прежде всего. Через всю ткань повествования проходят несколько образов, которые одушевлены его поэтическим мышлением. Это сфинксы на набережной Невы; черт, изображенный на письменном приборе; образ Петербурга-Ленинграда, Медного всадника и т. д. В этом поэтическом мышлении однажды появился и образ Архива: «Я часто люблю сравнивать наш Архив с кораблем, сотрудников – с матросами, а себя – с капитаном. Правда, сравнение с кораблем не очень удачное. «Корабль» наш не плавающий, а груз в нем весьма солидный. И потому мы всемерно охраняем наш «корабль» со всеми его ценностями на месте. Как «капитан», никуда я с него не уйду. Хватило бы только сил держать руль...» (17 августа 1941 г.).

Руль своего корабля Георгий Алексеевич крепко держал в руках до самой смерти, наступившей его в 1969 г.

К. фил. н. Н. П. Копанева, Санкт-Петербургский филиал Архива РАН



Желточные гранулы в цитоплазме ооцита лягушки, контактирующие с пузырьками эндоплазматического ретикулума – замкнутой мембранной системы, пронизывающей цитоплазму и обеспечивающей синтез и транспорт белков в клетке.
Фото Е. Киселевой (Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск)