

Познавательный журнал для хороших людей

НАУКА

из первых рук

www.scfh.ru

1 (81)
● 2019

НАУКА из ПЕРВЫХ РУК

№ 1 (81) 2019

БАЙКАЛ
В МОЕЙ ЖИЗНИ

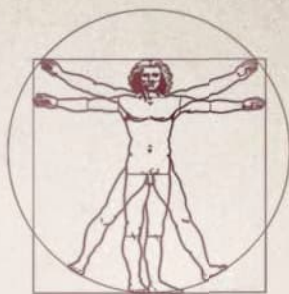
СМОТРЯЩИЕ
В ОГОНЬ

БАЙКАЛ -
ПРИРОДНАЯ
ЛАБОРАТОРИЯ

АВОСЬКА
И АВОСЬ

«Думай о НАУКЕ!»

Познавательный журнал
для хороших людей



Редакционная коллегия

главный редактор
акад. Н.Л. Добрецов
заместитель главного редактора
акад. В.В. Власов
заместитель главного редактора
акад. Г.Н. Кулипанов
заместитель главного редактора
Л.М. Панфилова
заместитель главного редактора
И.А. Травина
акад. И.В. Бычков
акад. М.А. Грачев
акад. А.П. Деревянко
акад. А.В. Латышев
д. ф.-м. н. Г.В. Майер
акад. В.Н. Пармон
акад. Н.П. Похиленко
чл.-кор. М.П. Федорук
д. ф.-м. н. В.Д. Шильцев
чл.-кор. А.Н. Шиплюк
акад. М.И. Эпов

Редакционный совет

акад. Н.А. Колчанов
акад. А.Э. Конторович
чл.-кор. А.Л. Кривошапкин
акад. М.И. Кузьмин
чл.-кор. И.Ю. Кулаков
акад. В.И. Молодин
д.б.н. М.П. Мошкин
чл.-кор. С.В. Нетесов
д. ф.-м. н. А.Р. Оганов
И.О. Орлов
чл.-кор. Н.В. Полосьмак
акад. В.К. Шумный
д.и.н. А.Х. Элерт

Над номером работали

к. б. н. Л. Овчинникова
Л. Панфилова
к. б. н. М. Перепечаева
А. Харкевич
к. ф. н. Е. Игнатова
А. Мистрюков

«Естественное желание хороших
людей – добывать знание»

Леонардо да Винчи

Периодический научно-популярный журнал

Издается с января 2004 года

Периодичность: 6 номеров в год

Учредители:

Сибирское отделение Российской
академии наук (СО РАН)

Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН

Институт археологии и этнографии
СО РАН

Лимнологический институт СО РАН

Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН

Институт химической биологии
и фундаментальной медицины СО РАН

Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН

ООО «ИНФОЛИО»

Издатель: ООО «ИНФОЛИО»

Адрес редакции и издателя:

630090, Новосибирск,

ул. Золотодолинская, 11

Тел.: +7 (383) 238-37-20

e-mail: lidia@info-press.ru

e-mail: zakaz@info-press.ru

www.scfh.ru

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство ПИ № ФС77-37577
от 25 сентября 2009 г.

ISSN 1810-3960

Тираж 500 экз.

Отпечатано в «Алекспресс»
(Новосибирск)

Дата выхода в свет 01.04.2019

Свободная цена

Перепечатка материалов только
с письменного разрешения редакции

© Сибирское отделение РАН, 2019

© ООО «ИНФОЛИО», 2019

© Институт физики полупроводников
им. А.В. Ржанова СО РАН, 2019

© Институт археологии и этнографии
СО РАН, 2019

© Лимнологический институт СО РАН,
2019

© Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, 2019

© Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН, 2019

© Институт нефтегазовой геологии
и геофизики им. А.А. Трофимука
СО РАН, 2019

1. 2019
научно-популярный журнал



НАУКА

из первых рук

«ДУМАЙ о науке!»



Поздравляем

с днем рождения!



Михаил Александрович ГРАЧЕВ – доктор химических наук, академик РАН, главный научный сотрудник Лимнологического института СО РАН (Иркутск), специалист в области биоорганической химии, физико-химической и молекулярной биологии.

Родился в Москве, закончил химический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова (1961 г.). В 1965 г. начал работать в отделе биохимии Новосибирского института органической химии СО АН СССР, а затем в выросшем из этого отдела Новосибирском институте биоорганической химии, пройдя путь от старшего лаборанта до заведующего лабораторией. В 1987 г. переехал в г. Иркутск, где в течение 28 лет возглавлял Лимнологический институт СО РАН. Лауреат Государственной премии СССР за создание метода микроколоночной жидкостной хроматографии и первого в мире прибора, работающего на этом принципе (1985 г.); международной Премии имени А. П. Карпинского (1998 г.). Награжден Орденом Дружбы (1999 г.), Орденом Почета (2008 г.), юбилейной медалью «В. А. Коптюг – великий ученый и патриот» (2011 г.), почетным знаком им. Ю. А. Ножикова «Признание» (2012 г.), Почетным знаком СО РАН «Золотая сигма» (2016 г.). Автор и соавтор более 230 научных работ и 6 патентов. Среди его учеников – 4 доктора и 15 кандидатов наук

Мне посчастливилось работать с Михаилом Александровичем в период, когда он был сотрудником отдела биохимии НИОХ СО АН СССР и НИБХ СО АН СССР, выросшем из этого отдела. Михаил Александрович был моим первым научным учителем, под его руководством я осваивал технику хроматографии и методы работы с биополимерами. Это было волшебное время, когда наши понедельники начинались в субботу, а сам Михаил Александрович зачастую ночевал в институте, чтобы поскорее провести исследования, требовавшие множества хроматографических анализов.

Михаил Александрович был, пожалуй, самым активным сотрудником нашего молодого и боевого коллектива. Спектр его интересов был настолько широк, что он включался практически во все интересные проекты отдела и института. Выполненные им фундаментальные исследования химической модификации нуклеиновых кислот позволили создать эффективные подходы к исследованию структуры РНК и их комплексов и разработать методы аффинной модификации биополимеров, важные для изучения взаимодействия биологических молекул.

Но главным вкладом Михаила Александровича в отечественную и мировую науку являются ориентированные фундаментальные исследования и технологические разработки. Совместно с Л. С. Сандахчиевым и С. В. Кузьминым он разработал уникальные установки для микроанализа биополимеров. Наиболее известным прибором из этой серии инструментов является любимый биологами и химиками микроколоночный хроматограф «Милхром». Будущий академик Е. Д. Свердлов, находясь в командировке в лаборатории своего друга Михаила Грачева, при его участии



разработал принцип химического определения положения нуклеотидов во фрагментах ДНК. На основе этого принципа впоследствии был разработан первый эффективный метод секвенирования ДНК – «метод Гилберта», открывший невостребованные ранее горизонты для молекулярных биологов и отмеченный Нобелевской премией.

Михаил Александрович смело брался за решение задач, выглядевших нерешаемыми, если это было нужно для развития науки или для решения проблем государственной важности. Благодаря его усилиям в нашей стране было в сжатые сроки организовано производство радиоизотопной продукции, остро требовавшейся для развития молекулярно-биологических исследований и производства диагностических систем. Подготовив необходимые технологии, Михаил Александрович организовал работы по секвенированию геномов инфекционных агентов, и под его руководством был в рекордные сроки расшифрован геном вируса клещевого энцефалита, что позволило разработать практически важные методы детекции вируса в клещах и в крови пациентов. Это только часть многочисленных работ Михаила Александровича, выполненных в нашем коллективе.

В какой-то момент Михаилу Александровичу стало тесно

в стенах небольшого тогда института. Его привлекали глобальные задачи, и одна из них была очевидной: необходимо было организовать изучение величайшего природного объекта – озера Байкал, судьба которого в начале 1980-х гг. стала серьезно тревожить ученых. У тогдашнего председателя СО АН СССР академика В. А. Коптюга не было сомнений, кого нужно пригласить для изучения проблем Байкала. Михаил Александрович, возглавив малоизвестный тогда институт-музей, за удивительно короткое время превратил его в институт международного класса, ведущий исследования по широкому спектру направлений.

Благодаря деятельности Лимнологического института были оценены риски загрязнения Байкала промышленными предприятиями, идентифицирован неизвестный вариант вируса чумы плотоядных, вызвавший в 1987 г. массовый падеж байкальской нерпы. Мировую известность институту принесли результаты изучения глубин Байкала и фундаментальные исследования диатомовых водорослей. И, конечно же, Михаил Александрович, как всегда, не упустил главное богатство Байкала – воду. Под его руководством были разработаны технологии отбора воды из наиболее чистых горизонтов Байкальских глубин, оформлены остроумные патенты, надежно защищающие эти технологии.

В последние годы возникла новая угроза чистоте байкальских вод: быстрое распространение водоросли спиригир, провоцируемое нерациональным ведением хозяйства в прибрежной зоне Байкала. И Михаил Александрович, как всегда, одним из первых осознал проблему, указал возможные пути ее решения и до сих пор продолжает вести работу по организации системы защитных мер для спасения озера.

Дорогой Михаил Александрович, с днем рождения!

Заместитель главного редактора
академик РАН В. В. Власов,
Институт химической биологии
и фундаментальной медицины
СО РАН, Новосибирск



Дорогие друзья!

С Михаилом Александровичем Грачевым, ученым, хорошо известным у нас в стране и за рубежом, журнал «НАУКА из первых рук» связывают особые отношения. Академик М. А. Грачев одним из первых в СО РАН поддержал создание собственного научно-популярного издания. Благодаря его участию и поддержке только что организованная редакция журнала «НАУКА из первых рук» смогла в 2004 г. отправиться в Иркутск, чтобы «на месте» познакомиться с результатами исследований ученых из Лимнологического института. В результате этой поездки на свет появился первый (после «пилотного») выпуск журнала, благодаря которому наши читатели увидели Байкал не только как природный феномен, но и как уникальную исследовательскую лабораторию.

В последующие годы во многом благодаря Михаилу Александровичу журнал поддерживал тесные связи с Лимнологическим институтом СО РАН, вылившиеся в многочисленные публикации и тематические выпуски, посвященные результатам изучения самого глубокого и древнего озера планеты. Публикации о работах иркутских ученых и работающих с ними зарубежных коллег открыли нашим читателям удивительный мир диатомовых водорослей, ископаемые панцири которых позволили реконструировать палеогеографическую обстановку ушедших эпох – именно М. А. Грачев предложил использовать их комплексы для датировки байкальских отложений. На страницах нашего журнала не раз появлялись и представители уникального животного и растительного мира Байкала, подавляющее большинство видов которых являются эндемиками, т. е. нигде в мире больше не встречаются. Настоящей мировой сенсацией стало открытие газовых гидратов при проведении комплексных геофизических исследований осадочной толщи Байкала, в том числе с помощью глубоководных аппаратов «Пайсис» и «МИР».

Этот специальный выпуск, посвященный выдающемуся российскому ученому, автору и другу нашего журнала академику М. А. Грачеву, мы включили некоторые его статьи, опубликованные в разные годы в журнале «НАУКА из первых рук», и избранные статьи сотрудников ЛИИ СО РАН, наиболее близкие научным интересам юбиляра.

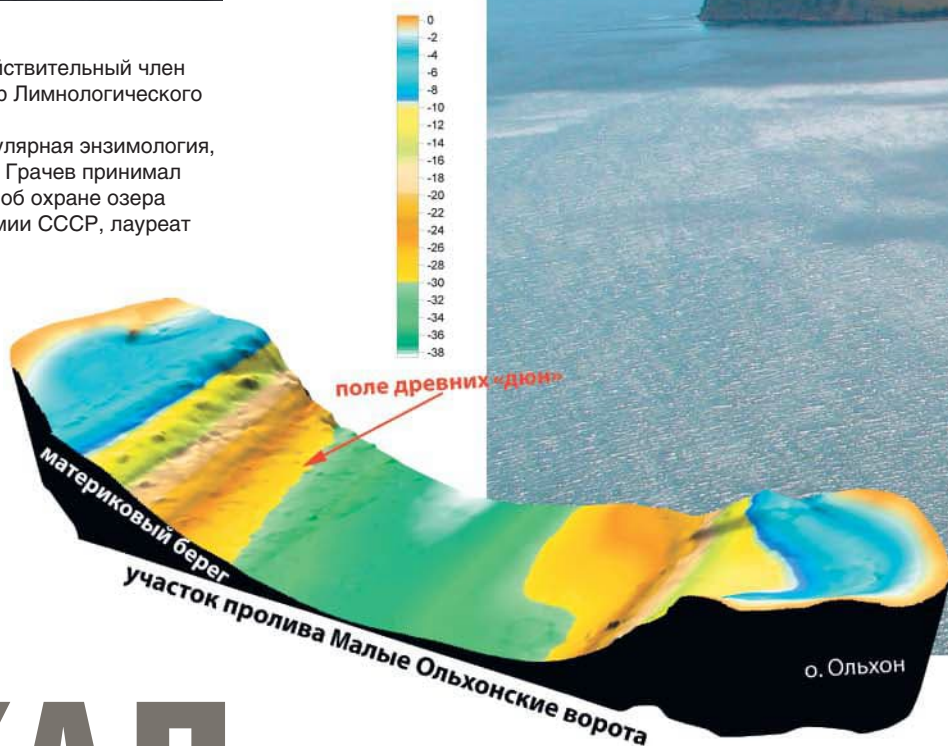
Главный редактор академик РАН Н. Л. Добрецов
и редакция журнала «НАУКА из первых рук»



ГРАЧЕВ Михаил Александрович — действительный член РАН, доктор химических наук, директор Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск). Основные научные интересы — молекулярная энзимология, палеоклимат, аналитическая химия. М. Грачев принимал активное участие в подготовке Закона об охране озера Байкал. Лауреат Государственной премии СССР, лауреат премии им. А. П. Карпинского

Михаил ГРАЧЕВ

БАЙКАЛ В МОЕЙ ЖИЗНИ





Пролив Ольхонские ворота, мыс Крест. Фото В. Короткоручко

ПЕРВЫЕ ВСТРЕЧИ

Врезалась в память картинка: мне пять лет, я еду с мамой на поезде во Владивосток. Едем долго — 1944 год, война, время трудное. Народ говорит: сейчас будет Байкал, не озеро — море! Наконец, Слюдянка, торгуют омулем. Мое самое сладкое лакомство — морковка вареная. А тут — омуль, неиспытанный запах копченой рыбы. Таким был мой первый Байкал — кормилец!

Следующая встреча с Байкалом — букварь. Несколько строк об озере, самом глубоком в мире.

Потом была серия «научно-популярная литература», такие тоненькие брошюрки на серой бумаге с отличными рисунками-чертежами — как устроено радио, как делают электрическую лампочку... Мама покупала их для меня

в невероятных количествах. Знаменитый популяризатор Перельман привел людоедский пример: если все человечество утопить в Байкале, его уровень поднимется всего на 5 миллиметров. Запомнилось!

Потом — шестидесятые годы — знаменитый фильм Герасимова «У озера». Помню картинку: зима, солнце, великолепные сосульки-наплески на берегу Байкала и возле них — юная героиня. Весь СССР жалел озеро, не убеждали кадры с уникальными очистными сооружениями целлюлозного комбината.

И вдруг — 1987 год. Академик В. А. Коптюг спрашивает: не согласитесь ли поехать в Иркутск и руководить головным институтом по проблеме Байкала? Огромная честь и огромный вызов: справлюсь ли? Судьба... Сомнений не было: еду.

ПЕРЕКРЕСТОК ДОРОГ И СУДЕБ

Какой он, священный Байкал? Обычное ледниковое озеро живет 10 тысяч лет. Постепенно заносится илом, становится болотом, болото зарастает лесом. И... нет озера. Байкалу же несколько десятков миллионов лет, т. е. в 2500 раз больше! Представьте себе человека, который живет не 100 лет, а 250 тысяч лет — это был бы не человек, а что-то другое. И все 25 миллионов лет Байкальский рифт рос, Байкал расширялся и углублялся. И будет дальше расти. Не просто озеро — будущий океан.

У самых истоков российской науки — гости Петра I и Екатерины II, первые байкаловеды — немецкие естествоиспытатели, российские академики XVIII века Мессершмидт, Гмелин, Георги. Байкальского омуля называют *Coregonus migratoris autumnalis* Georgi. Следующий, XIX век — мятежные ссыльные поляки Дыбовский, Годлевский — таинственная рыба-голомянка *Comephorus dybowskii*, прозрачный рачок макрогектопус, которого, как утверждал Дыбовский, открыл не он сам, а его бежавшая по льду лошадь Анцыпа... Великие российские биологи и байкаловеды XX века Мейер, Берг, Верещагин, Кожов, Талиев, Скабичевский — несмотря на все революции и войны.

Вспоминается работа одного американского ученого, посвященная эволюции байкальских «букетов видов», опубликованная в 1953-м. В том году умер Сталин. Холодная война, железный занавес, русские — враги, маккартизм, наша борьба с «низкопоклонством перед Западом», новых статей наших ученых о Байкале ни на английском, ни на немецком нет, а тут — огромная обзорная статья по «красному» Байкалу!

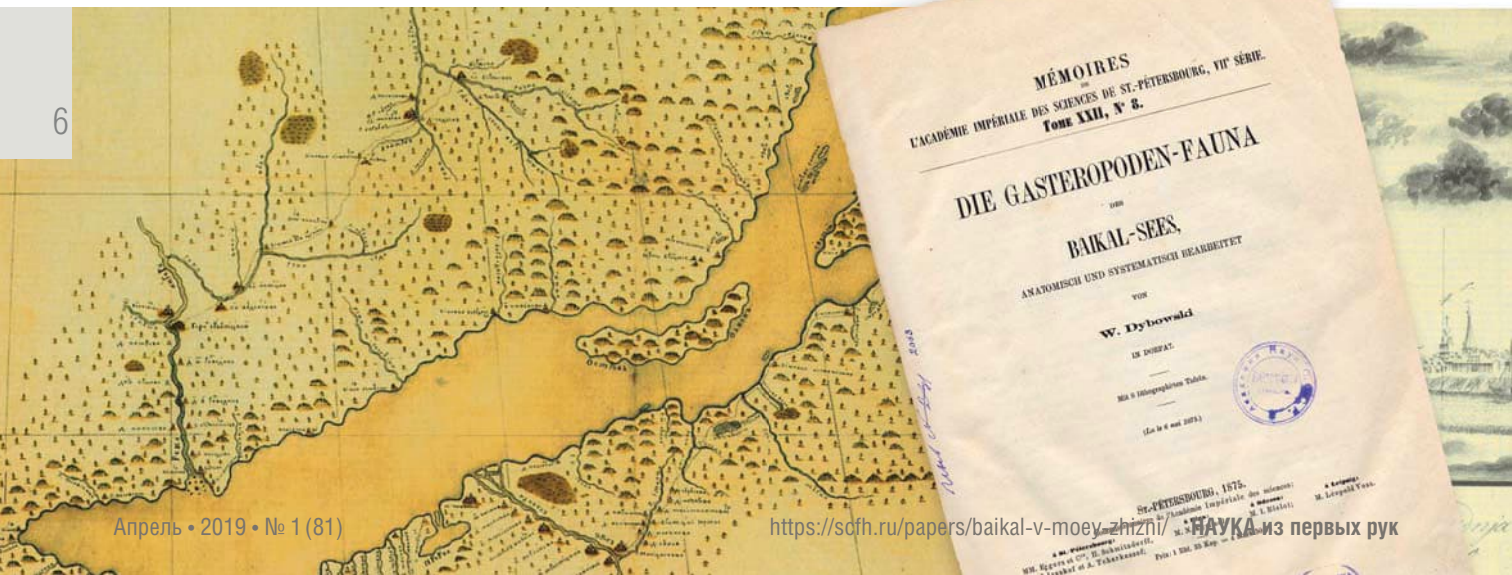
Чем же неустанно манит Байкал ученых разных стран мира? Наше озеро — огромный природный «синхротрон», модель еще более сложных природных систем —

мирового океана, биосферы, место, где на наших глазах протекают геологические процессы и образуются новые виды. Эндемиков в Байкале больше, чем во всей остальной Сибири.

Возьмем байкальского тюленя — нерпу. По данным нашего института, она попала в Байкал 800 тысяч лет назад. За это время бесчисленные популяции предков человека расселились по всему земному шару. Каждая развивалась своим путем, возникло разнообразие средств защиты от инфекций, и считается аксиомой, что именно благодаря этому человечество смогло выжить. Нерп в Байкале всего 100 тысяч, и они поневоле вступают только в родственные браки. Разнообразия нет. Как же они выжили?

Восемь километров байкальских осадков — непрерывная летопись палеоклиматов величайшего континента. Надо только подобрать к ней правильный ключ, и, может быть, мы наконец узнаем, что с нами будет в ближайшем будущем — вымерзнем или зажаримся?

Зачем сюда прилетела дама-геолог из Австралии? Не ближний свет. Оказывается, она вообще-то изучает рифт, по которому много десятков миллионов лет назад прошел раскол между Антарктидой и Австралией. А у нас рифт растет сегодня.





Международную команду физиков и химиков из Калифорнии, с Гавайских островов, из Канады, Швейцарии и Новой Зеландии интересует обмен глубинных байкальских вод. В Байкале нет характерных для океана градиентов солености, и фундаментальные проблемы гидродинамики здесь изучать проще.

А проблема газовых гидратов? В океанах огромное количество метана захоронено в виде этого твердого вещества, которое устойчиво только при низкой температуре и на большой глубине, при высоком давлении. Недоступное пока топливо будущего. Почему непривычные к холоду индийские ученые приехали к нам в разгар зимы? Оказывается, в тепло и глубоко в Индийском океане гидраты почти невозможно поднять со дна — они успевают растаять. А наши ребята могут добыть их всегда, и зимой, и летом, но работать со льда удобнее. Совершенно неожиданно для себя индусы попали в компанию «гидратчиков» из Бельгии и Японии...

Благодаря огромному объему, медленному обмену (400 лет) и хорошему вертикальному перемешиванию воды Байкала имеют удивительно постоянный состав главных ионов и могут служить естественным стандартом для обеспечения единства гидрохимических измерений — как знаменитый метр в Париже, а вернее как лазерный эталон длины. В одну и ту же реку, как говорили древние, нельзя войти дважды. В нашу одну и ту же воду можно будет войти еще много раз — она не изменится и в ближайшие сто лет.

Байкал отлично подходит для обучения молодых океанологов. Морские научные рейсы проходят долго и очень дороги, студенты в них в основном они едят, спят и ждут допуска к эксперименту. У нас учиться океанологии можно и быстрее, и дешевле. Несколько международных школ уже состоялось. Все как в океане — отбор проб глубинной воды и осадков, измерения температуры и электропроводности, геофизика, отлов организмов. Ждать не надо — сразу после «станции» можно вернуться домой по берегу.

Мне повезло. Я попал на Байкал в 1987 году, когда падение железного занавеса широко открыло Байкал для мировой науки. При этом попутном ветре нам удалось уцелеть в шторме перестройке, сохранить свое лицо и даже стать сильнее.



ЛИМНОЛОГИЯ

Вот уже 16 лет я — директор Лимнологического института. Академические институты бывают разные. Большая часть из них — конгломераты, конфедерации лабораторий. Возьмем типичный химический институт. Каждая лаборатория в нем развивает химию какого-то класса соединений под руководством крупного ученого, специалиста в своей отрасли. Интеграция на уровне института идет в основном за счет технической базы: приборов, методов анализа, библиотеки, баз данных. Если лабораторию из такого института перенести в другое место — особой беды не будет, она почти самодостаточна.

Иное дело — междисциплинарные институты. Здесь лаборатории должны вместе решать общую задачу силами разных отраслей фундаментальной науки — математики, физики, химии, биологии. Например, создать катализатор, либо сделать атомную бомбу, либо узнать что-то новое о мировом океане.

Не все знают, что такое лимнология. А это — просто наука об озерах (*limnos* по-латыни — озеро). Задача лимнологических институтов — изучать те или иные озера, обычно — малые и юные, таких — подавляющее большинство, чтобы решить практические задачи — уберечь



от загрязнения, повысить улов рыбы, обеспечить водоснабжение. Наше озеро — самое большое в мире, и Лимнологический институт тоже самый большой в мире, 340 человек. Но фактически мы представляем собой миниатюрный институт океанологии.

Природа границ между дисциплинами не признает. Химию вод Байкала нельзя понять, не зная физики — механизмов перемешивания вод и обмена веществ с атмосферой. Не обойтись и без биологии — многие вещества в огромных масштабах преобразуются биотой. А как понять пути возникновения знаменитых эндемиков, не зная всех деталей — происходивших в прошлом изменений климата, химии вод, морфологии Байкальской котловины? Почему в Байкале не одна, а две очень похожие по облику и образу жизни

«Семейное» фото сотрудников Лимнологического института СО РАН. Фото В. Короткоручко





голомянки — большая и малая? Может быть, в озере когда-то было две разделенные котловины? Это не физика, не химия, не биология, а естествознание.

В идеале лаборатории у нас должны делиться по отраслям знания — гидрофизика, гидробиология, гидрохимия. Каждая должна понимать язык своей отрасли, владеть современными методами, а главное — отвечать за качество данных. Ведь биолог не может судить, правильно ли провел измерение физик, а физик не может решать, прав ли биолог, идентифицировавший виды. Каждую конкретную задачу приходится решать вместе. Как же контролировать качество?

К счастью, методология всех естественных наук единая. В решении любой проблемы можно выделить стандартные этапы, которые ставят заслон непрофессионализму. Например, оценка новизны. Нужно ли начинать исследование, может быть, задача давно решена?

Мой однокурсник Сергей Кара-Мурза научил меня очень простому приему. Стоит ли читать научную публикацию? Посмотри сперва заглавие, а потом список цитируемой литературы. Если в русскоязычной публикации ссылки только на русские работы и на переводные монографии иностранных авторов тридцатилетней давности — можно сэкономить время и саму статью не читать. Конечно, есть шанс упустить открытие самородка, но этот шанс ничтожно мал. Зато почти наверняка автор статьи не имеет понятия о современном состоянии своей науки. Такого ученого не надо брать в междисциплинарную команду.

Второй простой критерий — рейтинг. В России эту тему всегда понимали плохо, и не только в науке.

Мы — коллективисты. По нашему внутреннему убеждению, незаменимых людей нет. Каждый не хуже Билла Гейтса. Если добился успеха — берегись, высовываться опасно. В науке успех измеряется не деньгами, а рейтингом ученого. Можно ли доверить ученому грант — деньги налогоплательщика? По-моему, руководство можно доверять только тому, кто раньше добился успеха. Другие пусть пока побудут исполнителями.

Сколько раз тебя цитировали за твою жизнь, сейчас узнать очень просто — есть доступная через Интернет Web of Science. Хочешь понять, кто просится работать на Байкале — ученый, шарлатан, а может быть даже шпион — посиди 15 минут за компьютером. Недавно у нас был нобелевский лауреат Цинкернагель. Рейтинг — 11 тысяч ссылок! Типичный рейтинг естествознателя — члена РАН — несколько сотен ссылок. Легко вычислять и «экологов». Например, некий ученый гневно выступает против того, что в Байкал сбрасывают фосфор. В Web of Science на него за всю его долгую жизнь только одна ссылка. На статью о поведении белок. О фосфоре — ничего.

Директору сегодня не нужно много ума, чтобы объективно оценить уровень потенциальных партнеров. Но этого мало. Нужно все-таки знать «понемногу о многом». Путь к этому долгий, начинать надо в детстве.

НЕМНОГОЕ О МНОГОМ

Я с глубочайшим уважением отношусь к ученым, которые знают «многое о немногом». Такие люди работают на самых передовых рубежах, создают принципиально новые знания. Задачи себе они ставят сами. Ничего труднее этой работы нет. Чтобы добиться успеха, нужно быть буквально подвижником, не отвлекаться ни на минуту. Но и этого мало — нужен особый талант, нужна и удача. Таким ученым иногда дают нобелевские премии, и это правильно. А чаще — вспоминают об их открытиях спустя много лет после смерти.

Еще в XVIII веке естествоиспытатели не стеснялись переступать границы между отраслями знаний. Да и в современной науке крупнейшие прорывы принадлежат не узким специалистам — возьмем теорию происхождения видов Дарвина, учение о биосфере Вернадского или двойную спираль Уотсона и Крика. Однако, рецепт не так прост — переступай границы, и станешь великим. От великого до смешного всего один шаг — нет ничего смешнее недоучки, уверенного в том, что он знает «многое о немногом».

Как же быть? Ведь Байкал нужно изучать сегодня, да и зарплата идет, а великого энциклопедиста нет. Выход один — интеграция профессионалов. Знаменитая «сигма» Сибирского отделения.

Директор междисциплинарного института, как минимум, должен знать немногое о многом. Лично мне руководить Лимнологическим институтом интересно. Институт — не скрипка, не пианино и не ударник, а оркестр. Дирижер не должен подменять скрипача или пианиста, его задача — работа с людьми. Не всем такая работа по душе, но мне нравится. Признаюсь, для меня нет большего удовольствия, чем объединить в комплексную научную экспедицию людей из разных стран, разных наук, с разными методами и даже с разными задачами. Зачастую буквально накануне рейса. Нужны «домашние заготовки» — надо твердо знать, какие «гиперпроблемы» следует решить, и какие можно решить имеющимися средствами.

Я не знаю точно, как стать дирижером. Работа вроде простая — маши руками. Некоторые политики пробовали. Наверное, все-таки, мало махать руками — еще нужно, чтобы музыканты тебя слушались. Не только на выступлении, а еще и на репетициях. Значит, надо знать нотную грамоту и играть хотя бы на одном инструменте. Чтобы приняты на работу, наверное, нужны дипломы и справки. А чтобы публика ходила — еще и репутация, рейтинг.

Когда В. А. Коптюг приглашал меня на Байкал, справки и рейтинг у меня были. Окончил химфак МГУ, работал в Москве, а потом в Новосибирске, защитил кандидатскую, а потом и докторскую, получил Госпремию, руководил лабораторией ультрамикробиохимии в Новосибирском институте биоорганической химии.

Знал я и немногое о многом. Заслуги моей в этом, быть может, и нет — такие выпали гены и так сложилась биография.



М. А. Грачев, февраль 1989 г.
Фото В. Короткоручко

Мой отец был инженером-судоремонтником. В 1944 году мы с мамой ехали во Владивосток, а затем через Тихий океан к папе, который работал в Америке специалистом на все руки — ремонтировал наши суда, доставлявшие военные грузы по ленд-лизу, покупал нефть, был «красным купцом» — впервые продал американцам консервы из камчатских крабов, палехские шкатулки, федоскинские подносы. Он так и не сказал мне, за что ему дали орден Красного знамени в 1949 году, после Штатов — наверное, не за крабов. На наших судах — территории СССР — он организовывал приемы от имени видных советских гостей Америки. Трудно поверить, так давно это было, но мне жал руку Чарли Чаплин, гость Константина Симонова на нашем пароходе. Главный урок отца — делать дело без оглядки, свое и не свое, не чиниться и главное — не бояться брать на себя ответственность. А ценой ошибки тогда была свобода или даже жизнь — много больше, чем сегодня.

И в Америку в 1944, и в Одессу в 1949 г. мы ехали по морю. Других детей среди пассажиров не было. И капитаны, и механики, и боцманы меня баловали — оба судна я облазил от мостика до машинного отделения. До сих пор обожаю судовые машины и запах солянки. Так я узнал немного о флоте — кто мог думать, что на Байкале придется отвечать за целую флотилию...

Через три месяца после приезда в Штаты я свободно говорил по-английски. В первом классе американской школы — аналоге старшей группы нашего детсада, куда меня отдали — мальчики сами делали грузовики, выпиливали чурочки, сбивали их гвоздями, красили. А девочки сами варили кукольный по размеру, но настоящий обед. В то время Америка была интересным местом, страной изобретателей и инженеров, в которой с детства воспитывалось уважение к ручному труду.

Уже в Москве, в 7 классе, я увлекся химией и самостоятельно освоил стеклодувное дело — мог спаять почти любую небольшую стеклянную вещь — ампулу, тройник, реторту, холодильник Либиха, сосуд Дьюара. Это очень пригодилось для карьеры. В 2003 году, когда меня выбирали в академики, мой однокашник, академик Евгений Свердлов, напомнил членам отделения с трибуны: «Вы должны Майкла выбрать — вспомните, кому из вас он не спаял пульверизатор?»...

Жизнь моя, несомненно, сложилась бы иначе, если бы не приобретенный в детстве английский, не учеба в 1-й специальной английской школе Мосгороно, где преподавали английский, английскую литературу, а также географию, анатомию и электротехнику на английском. Даже белорусские партизаны в драмкружке говорили по-английски. После университета приходилось подрабатывать в Бюро переводов. Система была жесткая, на большую статью давали дней десять. Пришлось узнать немного об очень многом — о пластиках, о разделении изотопов урана, о гистохимии ферментов, об очистке стоков.

Моя первая научная публикация «О синтезе β-хлорвинилкетона», третий курс МГУ, тоже была результатом знакомства с немногим о многом. Считалось, что этот кетон, нужный коллегам в лаборатории, никак нельзя «варить» в масштабе больше 200 граммов. Я успешно «сварил» его в масштабе 5 кг — для этого пришлось сделать силами химфаковских мастерских металлический реактор. Главной частью реактора стала американская, взятая без ведома мамы и, увы, любимая ею эмалированная кастрюля. Узнал немного о работе конструктора, токаря, фрезеровщика и даже кузнеца.

Мой путь из Москвы на Байкал лежал через новосибирский Академгородок. Что же привлекло меня тогда, в 1965, настолько, что я решил сменить знаменитый Институт химии природных соединений и столичную жизнь на неизвестность? Коллеги меня просто не понимали: как можно бросить Москву и поехать куда-то в глушь, «к медведям»?

На решение повлияло три фактора. Первый — человеческий, Сандахчиев Лев Степанович, в то время молодой блестящий ученый (сейчас — академик, директор новосибирского «Вектора»). Он «заманил» меня интересной работой. Второй фактор — субъективный: обещание не эксплуатировать на переводах научных статей на английский — эта общественная нагрузка буквально «достала» меня на прежней работе в Москве... И третий — сама инфраструктура Новосибирского института органической химии. Технологический корпус модельных установок, где можно было делать опыты уже не с литровыми реакторами, а с установками емкостью до 10 тонн. Конструкторское бюро. Прекрасные механические мастерские. Группа радиоэлектроники. Стеклодувная и кварцеводная мастерская. Такие опытные производства вообще были нормой для новосибирского Академгородка. Отцы-основатели — Лаврентьев, Будкер, Ворожцов, Николаев, Боресков — справедливо считали, что, не имея опытного производства, нельзя ничего внедрить в практику. В Москве же в Академии наук ничего подобного по масштабу не было. Здесь я узнал, что такое технологический регламент, конструкторская документация, нормоконтроль.

В новосибирских мастерских я увлекся выпуском опытных партий малых научных приборов для физико-химической биологии — микронасосов, микропипеток, а позднее — приборов для электрофореза. В Москве «средства малой механизации» покупали по импорту за большую валюту, а в Новосибирске об этом нечего было и мечтать. Самопальной техники хватило на всех, даже в родную Москву потом отправляли.

МИЛИХРОМ

Выбор В. А. Коптюга пал на меня, думаю, по двум причинам. Еще за пару лет до того я ему говорил, что готов, если надо, куда-нибудь поехать, чтобы попробовать себя в самостоятельном деле. Во-вторых, наступило время применить к охране Байкала современные приборы и методы. В. А. Коптюг хорошо знал и всегда горячо поддерживал «милихромостроение».

В 1969 году Л. С. Сандахчиев после защиты кандидатской начал новую тему. По образованию он был химик-полимерщик, по опыту работы — биоорганик. А решил он заниматься в Азии биохимией индивидуального развития одноклеточной средиземноморской водоросли *Acetabularia mediterranea*. Новое дело поставил со своим обычным размахом — трудно поверить, но даже морскую воду возил цистернами из Владивостока. Вряд ли можно себе представить, чтобы современные научные бюрократы — не только наши, но и иностранные — позволили делать такую работу. Ведь им нужны «инновации», «рыночный спрос», «бюджетирование, ориентированное на результат», а ацетабулярией на рынке не торгуют — маленькая слишком.

Кстати, это интереснейший организм. Он состоит из одной клетки длиной до 5 сантиметров. Ядро — на одном конце, в «корешке». На другом конце вырастает изумительной красоты зонтик. Ядро — естественно, вместе со всей геномной ДНК — можно отрезать и перевязать стебель, чтобы цитоплазма не вытекла. У клетки, лишенной ядра, спустя несколько месяцев вырастает прекрасный зонтик. И что же делать с основной догмой

новой биологии — вся информация о строении организма хранится в ядре, в ДНК? Ядра-то нет?

Чтобы разобраться с этой проблемой, Льву Степановичу нужно было научиться делать манипуляции с веществами, выделенными из одной клетки. Особенно — с нуклеиновыми кислотами. Выделять их, чистить, устанавливать строение. За 30 лет до знаменитой овечки Долли. Под его руководством наши славные мастерские в кратчайшее время сделали десятки приспособлений: микроманипуляторы, микрокузницы, микрошприцы и, наконец, первый микроспектрофотометр — дедушку «Милихрома».

Сандахчиев увлекался многими вещами — например, таким экстримом, как спелеология. Еще одним из увлечений был преферанс. Судьба свела его за карточным столом с Сергеем Владимировичем Кузьминым — гениальным, без преувеличения, оптиком и конструктором, лауреатом Государственной премии СССР и диссидентом, а в то время — старшим лаборантом из соседнего Института теплофизики без высшего образования с окладом 70 рублей, мечтавшим стать чемпионом мира по велоспорту. Буквально на спор Сергей пообещал сделать ультрафиолетовый микроспектрофотометр, способный «увидеть» ДНК из одной клетки ацетабулярии. Сказано — сделано. Через четыре месяца прибор был готов. Хроматографию ДНК в то время проводили на колонках объемом 10–20 миллилитров. Кювета обыч-

Госплан СССР, Москва.
Президент Академии наук СССР академик А. А. Александров, директор Института органической химии СО АН СССР, чл.-корр. В. П. Мамаев, управляющий делами СО АН СССР, доктор техн. наук И. И. Гейци, доктор хим. наук М. А. Грачев.
Фото Р. Ахмерова



ного спектрофотометра — 3 миллилитра. На приборе Кузьмина Сандахчиеву сразу удалось провести хроматографию на колонке объемом 1 микролитр — масштаб и расход ДНК удалось снизить по сравнению с мировым уровнем в 10 тысяч раз!

Я в этом не участвовал. Только с восхищением наблюдал. И, конечно, сразу захотел применить новый метод в обычной — не клеточной — биохимии, которой тогда занимался. Мастерские быстро изготовили второй экземпляр. Через год мы с коллегой, Сашей Гиршовичем, отправили первую публикацию по полученным на приборе данным в международный журнал ВВА. Ее не приняли. Рецензент смотрел в корень — он просто написал, что «в таком масштабе работать нельзя».

И он был прав. Один раз мы с Сашей потратили на это дня два. Ничего не получалось. Причина оказалась простой: хроматографическую микроколонку нужно помещать в дебри прибора, внутрь, а растворитель вводить вслепую. Колонка была такой маленькой, что просто потерялась, а мы, не зная об этом, гнали растворитель мимо.

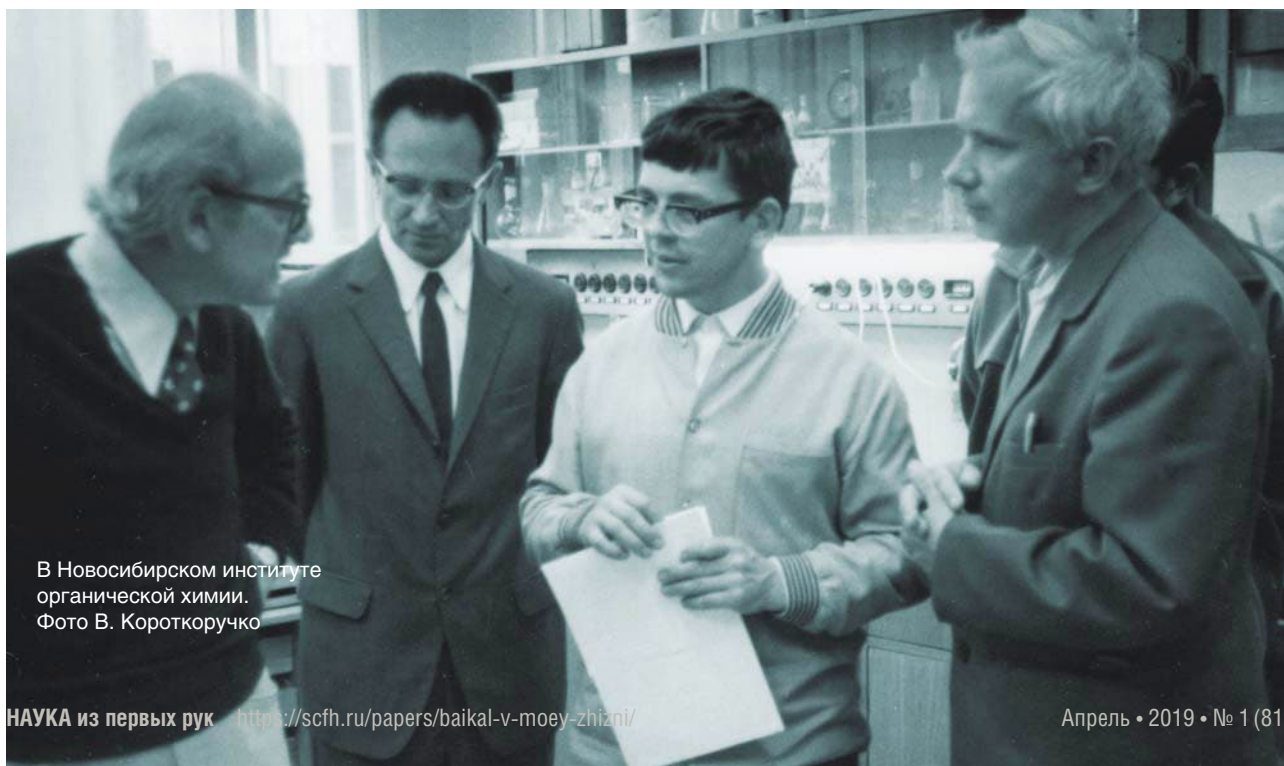
Для обычной биохимии, чтобы не нужен был микро-манипулятор, мы увеличили масштаб в 10 раз, и получили установку с чувствительностью в 1000 раз лучше мирового уровня, а потом дали биохимикам. Путь был долгий, и в этой статье не о нем речь. К началу 1990-х годов в России удалось выпустить 6000 «Милихромов», правнуков первого микроспектрофотометра, для множества отраслей — науки, криминалистики, фарминдустрии, охраны природы. В годы перестройки уже частной фирме удалось выпустить и продать в «нищей России» около 100 «Милихромов А-02», приборов на

мировой элементной базе, в основе которого — все тот же микроспектрофотометр С. В. Кузьмина. За 30 тыс. долларов штуку. Почему? Ответ прост — в коммерческой лаборатории прибор окупается за год.

Лицензию на право использования изобретения С. В. Кузьмина купил тогдашний лидер научного приборостроения — шведская фирма LKB. К этой акции и я приложил руку — пригодилось знание английского и гены «красного купца». Под руководством Лицензинторга прошел полезную школу международной торговли интеллектуальной собственностью — позднее на Байкале это очень пригодилось. Мы получили около 60 тыс. долларов и прекрасный швейцарский фрезерный станок, за которым я потом провел много месяцев, изготавливая новые «железки».

Сейчас много мечтают об «инновациях». Начальники плохо понимают три вещи. Во-первых, для инновации желательны безумные идеи — например, выращивать средиземноморскую водоросль посреди Сибири. Во-вторых, нужен талант, а лучше — гений, который не обещает, а делает работоспособный предмет. Таланты и гении, как правило, люди очень неудобные и мало управляемые. Как ни трудно, а приходится их терпеть. В-третьих, риск неудачи очень велик, а времени на внедрение нужно очень много — лет десять. Зато один «Милихром» окупает затраты не на один десяток академических лабораторий. От того же, что на доме появляется вывеска «Технопарк», гении в нем не заводятся.

В. А. Коптюг рассчитывал, что «Милихром» можно будет внедрить на Байкале. И это случилось. К сожалению, С. В. Кузьмин на Байкал не приехал — в 1986 г. он умер.



В Новосибирском институте органической химии.
Фото В. Короткоручко



ДЕСАНТ

Переезд из Москвы в Новосибирск в 1965 году был очень полезен, и, думаю, не только мне. Известно, что человеку, особенно молодому, нужно обязательно раз в несколько лет менять место работы. Это как у кукурузы: гибрид первого поколения дает большой урожай, были бы удобрения. Эффект гетерозиса. В Новосибирске я нашел то, что искал — свободу научного поиска, гармоничное сочетание фундаментальной науки и опытного производства. Думаю, что пользу получила и лаборатория, которую возглавлял Д. Г. Кнорре — ныне академик, основатель крупнейшей российской школы биооргаников: пригодился опыт и традиции, воспринятые мною в Москве у моего учителя, основателя российской биоорганической химии академика Н. К. Кочеткова.

То же произошло спустя 22 года на Байкале. Различие в том, что сюда я приехал не один, а с «научным десантом» из 20 зрелых и молодых специалистов, в основном «новых биологов». Интересно, что все они по решению Иркутского обкома КПСС вскоре получили жилье. Могут ли такое сделать нынешние власти? Цель десанта — внедрить новые методы.



Коллектив, в который нам предстояло влиться, был очень предан науке: малооплачиваемый, но просто героический! Возглавлял его академик Г. И. Галазий, бескомпромиссный защитник Байкала. При нем было сделано очень много хорошего. Самое главное — он создал настоящий научный флот, построил наши здания в Ливинке и в Иркутске. Проблема была в том, что правительство требовало точные, количественные сведения о состоянии Байкала, а институт не мог их дать, не располагая ни нужными специалистами, ни приборами. Да и что греха таить — ради защиты Байкала иногда распространялись «страшилки» — не вполне достоверные сведения. Однако, подавляющая часть коллектива в «политической химии» не участвовала.

Здесь, наверное, пора сказать о моей позиции. Я не политик, и не люблю политиков. Чтобы реализовать свои идеи, политик просто обязан обманывать народ. Если идеи народу ясны — зачем тогда новый политик с его харизмой? И каковы шансы на избрание у политика, если он сразу заявит, что поведет народ по трудному пути без гарантии успеха? Не говоря уже о военных хитростях — обмане политических противников и внешних врагов. Политикам можно и посочувствовать. Их профессия — принятие решений в условиях недостатка информации. Времени нет. Если бы время было, политики были бы не нужны — ученые бы все изучили и сказали,



На предварительных консультациях по вопросам организации Международного центра экологических исследований на Байкале, октябрь, 1989 г. Фото В. Короткочурко

что делать. Вот только беда еще, что ученые в ногу не ходят. Как ни неприятны мне политики, я понимаю, что человечество без них не обойдется.

Огромная заслуга старых байкаловедов состоит в том, что они не допустили «хозяйственного освоения» озера, а ведь тут хотели построить не один, а 30 комбинатов. Как и Г. И. Галазий, я искренне считаю, что Байкальскому целлюлозному комбинату на Байкале не место. Вот только почему все говорят исключительно о стоках? А воздух? Запах меркаптана чувствуется в радиусе 10 км. А индустриальный ландшафт? Разве в Сибири мало места? Какой моральный ущерб принесло России решение Н. С. Хрущева построить БЦБК — не подсчитать.

Г. И. Галазий был совершенно прав, выступая против самого советского (и российского) принципа охраны водоемов — пресловутых ПДК, предельно допустимых

концентраций. При их установлении нужно ответить на вопрос: сколько точно грязи можно вылить в Байкал, чтобы ничего ему не было? Госплан требовал — скажите точно, а уж промышленность мы разместим сами, не ваше это дело, товарищи ученые.

Но объем Байкала огромен. ПДК — прямой путь к его безнаказанному загрязнению. Как быть, если сегодня мы не видим загрязнений — нам не позволяют методы, а через 50 лет мы увидим не только их, но и результаты их необратимых воздействий? Ведь Байкал — не пруд, воду из него не сольешь и не нальешь новую. В промышленно развитых странах — США, Германии, Скандинавии «экологические» ПДК никогда не применяли и не применяют. У них действует прагматический принцип: планомерно и постоянно снижать сбросы, экономическими методами заставляя промышленность внедрять новые природоохранные технологии. Россия же, как всегда, идет своим путем.

Первая срочная работа, которую нам пришлось делать на Байкале, — создание и утверждение «Норм допустимого воздействия на экологическую систему озера Байкал». При поддержке В. А. Коптюга нам удалось уйти от принципа ПДК, внедрить идею перехода к новым технологиям, идею сохранения ландшафтов. Многие остались на бумаге, но кое-что было реализовано. Например, в 1990 году Селенгинский ЦКК впервые в мире внедрил бессточную технологию, и с тех пор промышленных сбросов у него нет. Если бы так пошло дальше — в Байкальске давно было бы бессточное, не загрязняющее воздух производство. Тогда бы осталась только проблема ландшафтов, но с ее решением можно было и подождать — на Байкале хватает и других антропогенно изуродованных ландшафтов.

Сразу стало ясно: нужен отечественный закон об охране Байкала. Нужно включить Байкал в Список мирового природного наследия. Сегодня обе задачи формально решены, хотя реально эти правовые акты не действуют — нет политической воли.



ТАМОЖНЯ ДАЕТ ДОБРО

Было необходимо как можно скорее получить всестороннюю информацию о состоянии Байкала. Помогли и наши новые методы, и мировая наука. При поддержке В. А. Коптюга в 1988 г. на Первой Верещагинской научной конференции было объявлено о намерении Сибирского отделения создать Байкальский международный центр экологических исследований — организацию, в которой ученые всех стран совместно с российскими учеными могли бы свободно изучать все стороны Байкала. Центр был создан позднее, кажется, в 1990 году, но начал работать еще до создания. Начался настоящий бум. За прошедшие годы на Байкале побывало около 2000 иностранных ученых, инженеров и студентов, и не на симпозиумах, а в тяжелых экспедициях. Они привозили уникальное, часто — тяжелое оборудование. В первое время «работала» романтика — оказывается, многие всю свою жизнь мечтали побывать на Байкале. Потом включилась экономика — за шесть долларов можно было сделать банкет на шестерых со свечами в московском ресторане; экспедиции были баснословно дешевы.

В Иркутске тогда было три таможенника — сейчас 3000. Помню, пришли часов в восемь вечера два контейнера из Америки с тяжеленным геофизическим оборудованием. Таможенник с печатью уже был дома. Другой таможенник дал телефон и адрес первого, тот вошел в положение, поехал с нами на станцию и поставил печать — выпустил груз. Ночью его перегрузили на корабль, а утром пошли в рейс. Много было и курьезного, и серьезного.

Мой скудный опыт внешней торговли и знание немногого о многом весьма пригодились... На ходу приходилось писать меморандумы с планами экспедиций и взаимными обязательствами, объединять физиков с биологами, японцев с бельгийцами, американцев с немцами, и всех иностранцев — с русскими из многих наших научных центров. «Новые биологи» из десанта расшифровали хронологию становления комплекса байкальских эндемиков. Сложилась Иркутская школа специалистов по палеоклиматам... В 1988 г. в Web of Science было зарегистрировано 15 ссылок с ключевым словом «Baikal», а с конца 1990-х ежегодно регистрируется 120–150 ссылок.

Нельзя сказать, что российская наука на Байкале до этого была «плохая», вовсе нет. Но она была мало известна в мире, да и в самой России. Сейчас ситуация радикально переменялась — в мире нас знают, и наши ученые из первых рук узнают о том, что творится в мире. Мы многому научились, но и сами научили многих. Самое же главное — произошел буквально взрыв в приобретении точных знаний об озере.

Мировая наука признала, что его чистота близка к первозданной — не считая небольших загрязненных участков. Относительно отечественной науки всегда можно высказать сомнения: не отражает ли она мнения тех или иных групп политического влияния? Думать же о сговоре сотен ученых двух десятков стран мира, наверное, может только сумасшедший. Опираясь на мнение мировой науки, ЮНЕСКО по заявке России включило Байкал в Список участков мирового природного наследия. Разумеется, в этот список не включают объекты, претерпевшие необратимые антропогенные изменения.

Помимо чисто научных, было и много «околонаучных» проектов — экспедиция National Geographic, команды Жака Кусто, Японского телевидения и другие.

Сейчас процесс паломничества стабилизировался, вошел в русло нормального научного сотрудничества. Стало меньше сенсаций и банального любопытства, и больше — серьезной работы, направленной на решение фундаментальных научных вопросов, например, проблемы эволюции, проблемы палеоклиматов, упомянутой выше проблемы газовых гидратов, проблемы «барьерных зон», проблемы биогеохимического цикла кремния. У нас есть дорогостоящие современные прибо-

Участники международной Верещагинской конференции в пос. Листвянка, октябрь 1989 г.
Фото В. Короткоручко



Первые встречи с представителями ЮНЕСКО на Байкале, июнь 1990 г.
Фото В. Короткоручко

ры. Наши ученые по праву вносят в совместные работы с иностранцами если не ведущий, то всегда равный вклад. Многие наши люди с байкальского «трамплина» уехали за рубеж, но (нет худа без добра!) освободились их ставки, и у нас как нигде много молодежи — больше 50 %. Самое важное — к нам едет учиться молодежь из-за рубежа. Бытовые условия для них пока создать не удалось, есть только самые спартанские, и иностранной



молодежи немного. Будем живы — будет больше. Мы никогда окончательно не станем частью мировой науки, если иностранная молодежь не будет учиться в России.

Сейчас на Озере, получившем мировой сертификат чистоты, бурно развивается туризм, проводятся зимниады, какие-то голландцы на коньках едут, на велосипедах (!) из конца в конец озера по льду. Приятно предполагать, что и мы внесли в этот процесс свой вклад.

Международное сотрудничество на Байкале было очень интересно не только в научном, но и в человеческом плане. Расскажу самую удивительную историю — как и зачем английские солдаты мыли сапоги в Байкале.



Фото М. Файерабэнда

**КАК АНГЛИЙСКАЯ АРМИЯ САПОГИ МЫЛА
В БАЙКАЛЕ**

Уинстон Черчилль считал, что многое в истории определяется случайностью, но его целью всегда было оседлать случайность. Нам же седлать случайность приходилось часто. Самый курьезный случай произошел с английскими солдатами.

В один прекрасный день в институт приходит письмо от некоего капитана английской армии, офицера полка Green Howards, который просит помощи в организации поездки на Байкал с его солдатами. Оказывается, у них есть традиция — каждый год ездить в какое-нибудь труднодоступное место, чтобы помочь людям, а заодно и потренироваться. Об этой идее знают и английская королева, и российские власти. Помощь от нас нужна в одном: выбрать объект на Байкале, но лучше всего в горах. Что же можно предложить англичанам? В горах институт не работает, да и шут его знает, что там в этих горах. Предложил работу в самом деле нужную и героическую: под руководством наших биологов учесть байкальскую нерпу. Содержание работы было таким: весной, по распадающемуся льду проехать поперек Байкала на мотоциклах 25–30 раз, на каждом разрезе разбить 5–10 квадратов, посчитать на них все нерпичьи лунки, в которых есть белая шерсть вылинявшего новорожденного нерпенка. Зная число щенков, пересчитать его на всю площадь Байкала, и найти общую численность из возрастно-половой структуры. Последний учет мы делали несколько лет назад, мотоциклов нет, энтузиастов-биологов мало — помощь англичан явно пригодится. К тому же на льду Байкала точно нет никаких военных объектов. Написал англичанам, жду. Идея понравилась. Приехал капитан и еще один офицер — все уточнили.

Экспедиция на носу — а наше начальство ни о чем не просит. И вдруг англичане просят поддержать их визы. Странно, вроде королеве легче договориться с нашим посольством. Звоню в наше посольство в Лондон, в английское посольство в Москве. Никто ничего не знает. Советуют узнать в нашем Генштабе. Звоню. Просят написать письмо. Пишу — если можно, разрешите, если нельзя — запретите. Ответа нет. Еще раз звоню и пишу — если письменно или устно не запретите, англичан приглашаю. Ответа нет. Даю поддержку виз. Визы даны, англичане прилетают почему-то из Германии на нашем огромном самолете с подержанным «Мерседесом» для руководителя нашей Облкомприроды, с пластиковыми мешками для мусора для наших «зеленых», с санями, мотоциклами, палатками, спальниками, сухими пайками и армейскими рациями. Таможня ни о каких разговорах королевы с Ельциным не знает — рации и геопозиционные системы без специального

разрешения ввозить нельзя. А англичане без них на лед не идут — безопасность.

Вот тут мне досталось за превышение полномочий. В. А. Коптюг, чувствовалось, хотел побить, но попросил мягко: «Миша, пожалуйста, больше так не делайте». А мог бы и уволить... В конце концов, все обошлось — экспедиция состоялась. Нерпы оказалось много — 100 тысяч голов. Кто-то сказал, что регулярная английская армия побывала в России впервые после Севастопольской обороны 1853–1856 годов — забыл, наверное, про интервенцию во время гражданской войны у нас на севере.

Англичане, пока жили в Листвянке, вели себя как нормальные солдаты — пили, дрались с местными жителями, а один раз — между собой. Четыре солдата были женщинами, запомнилось, что они никому не позволяли помогать им таскать тяжелые грузы. А незадолго до того г-н Жириновский объявил, что русская армия будет скоро мыть сапоги в Индийском океане. Иркутская пресса подхватила: пока мы собираемся в Индию, английская армия уже моет сапоги в нашем Байкале... Сейчас — смешно, но тогда много пришлось пережить.

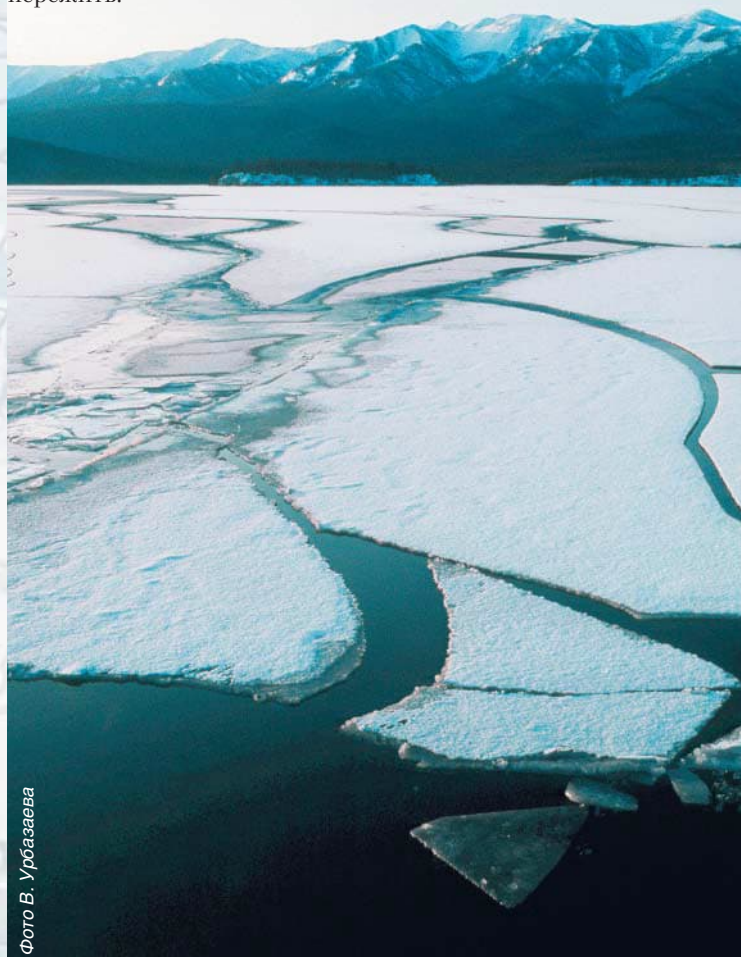
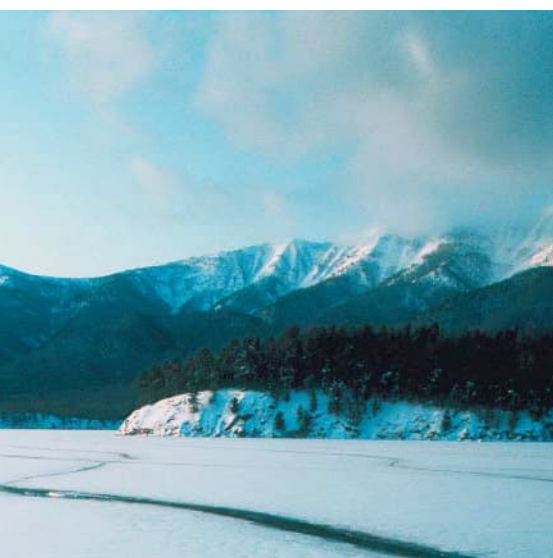


Фото В. Урбанова

**ЗАЧЕМ СТАНОВИТЬСЯ
АКАДЕМИКОМ**

Когда я поехал в Иркутск, В. А. Коптюг решил, что я должен стать членом-корреспондентом РАН, чтобы со мной считались чиновники. В первое время «погоны» помогали — не ответить по телефону, а тем более по «вертушке» (из московского кабинета шефа) было дурным тоном. Потом появилась масса новых «академий», и члены-корреспонденты перестали котироваться.

Спустя много лет — в прошлом году — меня выбрали в академики. За что — смотрите выше. За пульверизаторы.





Корабль «Верещагин» — флагман научно-исследовательского флота Лимнологического института СО РАН.
Фото Р. Ахмерова

Буровой комплекс в районе подводного Академического хребта (февраль 1996 г.)

Меня часто спрашивают: что же дает новое звание? Многие, особенно молодые ученые, искренне считают, что «погоны» не нужны и даже смешны. Я так не думаю. Ведь эта традиция возникла еще в каменном веке. Убив тигра, вождь вешал на шею его зуб, и все его слушались — не надо было перед каждым походом убивать нового. Так же и с генеральскими лампасами — удобно. Действительно, с академиком новые чиновники по телефону иногда разговаривают, можно решать вопросы. Для чего же использовать новые «погоны»?

Чувствую ли я себя академиком? Честно говоря, я чувствую себя не академиком, а призванным на Байкал солдатом. У меня в институте сейчас нет своей лаборатории. Без сомнения, ученый должен заниматься живой наукой, но при этом неизбежен конфликт интересов. Как можно отказать в поддержке себе, любимому?

Но жизнь сложнее схем. Поневоле несколько лет пришлось руководить лабораторией палеолимнологии. Сейчас по программе Президиума РАН занялся молекулярной биологией кремния — но это все-таки не лаборатория, а проект. Стараюсь делать это не в ущерб целому.

А время идет. Самое печальное в жизни старого академика — по-настоящему старый человек, сам того не замечая, теряет способность критически оценивать свои собственные мысли. А его по инерции слушают, а иногда и просто используют проходимцы.

Как же доказать себе, что пока работоспособен? Очень просто. В бизнесе стариков не выгоняют — пока зарабатывает деньги, полезен. Деньги никто зря не платит.

Не знаю, получится или нет, но своей главной задачей на ближайшее будущее считаю — доказать практическую полезность института в условиях рынка. Make money.

Весь лейтмотив охраны Байкала многие годы был негативным — нельзя одно, нельзя другое. По-моему, нужно сменить тональность — найти пути развития производительных сил Байкальского региона при строгом соблюдении Закона об охране озера Байкал и принципов мирового наследия. Беру пример с академика Ферсмана — еще в первую мировую войну он вместе с коллегами создал академическую комиссию по развитию производительных сил России, которая успешно работала и в советское время.

Что нужно развивать у нас, чтобы удвоить ВВП? А в Бурятии, может быть, и утроить — ведь это депрессивный регион.

Возможности науки огромны. Есть уже частично реализованный проект — производство бутилированной глубинной байкальской питьевой воды. То, что Байкал — колодец планеты, бесценный запас пресной воды глобальной значимости — давно стало общим местом.

В начале 1990-х на Байкал приехал президент одного из японских банков и попросил пробу воды Байкала. Зачем? Оказалось, он задумал производить бутилированную байкальскую воду. Я задумался: где можно взять пробу? В истоке Ангары, с поверхности? Как бы не опозориться — ведь там поселок, запросто можно нарваться на кишечную палочку. Дали ему глубинную воду, она оказалась отличной. Так и возникла мысль — производить именно глубинную воду.



Идею запатентовали, выпустили опытную партию — трубу на глубину 400 м опустили со льда. Разработали технологию финишной очистки, стерилизации, весь комплекс методов анализа и контроля качества. Организатором был А. Н. Сутурин — геохимик, один из наших ведущих научных сотрудников.

Наши лимнологи давно установили, что вода «ядра» Байкала — с глубин от 300 м от поверхности до 50–100 м от дна — самая чистая. Это подтвердили и иностранные ученые, которые измерили «возраст» глубинных вод и ответили на вопрос, когда та или иная масса воды была на поверхности. Оказалось, что возраст придонной воды 8–10 лет, а возраст ядра достигает 16 лет. Это объясняется уникальным механизмом водообмена: часть поверхностной воды в Байкале поступает сразу на дно, минуя ядро. В результате живущие в Байкале организмы — главным образом, микробы — имеют возможность дольше всего очищать именно воду ядра. Потому она и самая чистая.

Потом возник вопрос: кто же будет покупать и пить нашу бутилированную воду? Было ясно, что только не россияне, — зачем, если вода течет из крана? Но жизнь опровергла все «научные» прогнозы. В 2003 г. россияне выпили 2 миллиарда литров бутилированной воды. Выпили они и 50 миллионов бутылей воды Байкала. Это, конечно, очень мало. Но все же — это оборот порядка 20 миллионов долларов. Только налогов было уплачено 8 миллионов у. е. Восемь годовых бюджетов Института. Ничто не мешает поставить на Байкале производство 2 миллиардов бутылей в год — оборот не менее 800 миллионов долларов в год. По 400 долларов в год на каждого жителя Байкальского региона — неплохо, как

вклад в ВВП. И это будет — рано или поздно. Конечно, лучше бы поскорее. Если бы все люди пили по полтора литра в сутки только той воды, которая хранится в чаше Байкала, всем бы хватило на 6000 лет. Ресурс неисчерпаем. Вреда озеру нет.

Есть время разбрасывать камни, а есть время их собирать. Наш первый долг сегодня — убрать необоснованные ограничения деятельности людей на Байкале. Приведу совсем свежий пример: с подачи ихтиологов из Улан-Удэ и московских экс-юннатов правительство приняло постановление о недопустимости изменения уровня Байкала в интересах работы Ангарского каскада ГЭС вне пределов 456–457 м над уровнем моря. Цель разработчиков запрета была вполне меркантильная — заставить иркутских энергетиков платить за «экологический ущерб», если они нарушат запрет. То, что запрет невозможно соблюсти технически — никого не волнует. Энергетикам нужен допуск не в 1, а в 1,5 метра, чтобы накапливать воду при маловодье и медленно спускать ее при избытке, не смывая расположенные ниже по течению от Иркутской ГЭС объекты. Цена вопроса — полтора миллиарда рублей только от снижения выработки энергии, полметра уровня — это 15 кубокилометров, т. е. четверть годового стока Ангары. Говорят, водников просили в прошлом году разрешить сбросить полтора сантиметра — те не разрешили — и чуть не сорвался северный завоз. Хорошо, что дожди пошли.

Наша экспертиза однозначно показала, что регулирование уровня Байкала энергетиками с 1959 года не принесло никакого вреда экосистеме озера. Популяция омуля не убывала, как предсказывали ихтиологи — авторы запрета. Наш прямой эхолокационный учет показал, что

между 1995 и 2003 г. она выросла от 20 до 50–70 тыс. тонн. Разница в 30 тыс. тонн омуля при рыночной цене 60 руб./кг стоит 1,8 миллиарда рублей. Оммуля надо бы вылавливать — иначе он сам зря погибнет. Весь годовой бюджет Лимнологического института — около 40 миллионов рублей. Бюджет Бурятии — около 2 миллиардов. Прибыль считайте сами.

Может ли наука стать непосредственной производительной силой, как говорили раньше? Иногда может. В прошлом году было решено электрифицировать остров Ольхон. Задача важная — какая жизнь без электричества? Какой международный туризм? К тому же женщины жалуются — нельзя погладить платье, электрический утюг включить некуда, а старинных, на древесном угле, не выпускают. Силовой кабель на Ольхон решено прокладывать под водой. Это правильно, воздушная ЛЭП через пролив не украсила бы ландшафт. К тому же в проливе дует легендарная Сарма, а строительство ЛЭП, устойчивой к урагану, весьма дорого. За многие годы исследований мы накопили массу информации о Малом Море. У нас есть флот, есть геологи и биологи-подводники, есть связи с российскими геофизиками. По контракту с энергетиками мы исследуем маршрут прокладки силового кабеля и дадим рекомендации, как это сделать дешевле и надежнее.

Вот небольшой пример: на дне пролива обнаружили таинственные песчаные валы высотой около метра с расстоянием между гребнями 20 метров. Для безопасности кабеля крайне важно знать, как они образовались. По одному сценарию эти валы — волны ряби от течения в проливе. Если виноваты течения — их скорость очень большая — это для кабеля опасно. Второй вариант: валы — это бывшие дюны, затопленные барханы (см. рисунок на с. 141). Во время последнего ледниковья, 18 тысяч лет назад, когда климат был сухой, Селенга пересыхала, уровень Байкала понижался метров на 30, обнажалось песчаное дно, дул сильный ветер — и формировались барханы. 15 тысяч лет назад влажность климата выросла, уровень потихоньку поднялся, и барханы залило. В этом случае опасности для кабеля нет — в следующий раз уровень понизится на 30 метров не скоро. Но окончательного ответа пока нет, можно придумать еще десяток сценариев. Ясно одно — даже палеолимнология может стать непосредственной производительной силой! Не исключено, что институт примет участие и в самой прокладке кабеля — ведь флот у нас есть.

Идей много. Обо всех не расскажешь. Разве что еще одна. К северо-западу от Байкала осваивается знаменитое Ковыктинское газовое месторождение. Сейчас реализуется программа газификации Иркутской области. Но рано или поздно газ нужно будет подавать на экспорт. Запуганные экологами проектировщики рассматривают только такие маршруты, которые обходят



Газогидрат. Фото В. Короткоручко

Байкал на многие километры. А почему? Ведь газ — не нефть, байкальскую воду при прорыве наземного трубопровода он загрязнить не может. Более того, в осадках Байкала содержатся огромные количества газовых гидратов, которые постоянно отдают метан в воду. Есть и другие выходы метана, не связанные с гидратами, особенно возле дельты Селенги. Почему бы не проложить трубу по короткому пути — по дну Байкала, как это делают на Балтике, в Черном море? Если труба лопнет, газовый пузырь уйдет в атмосферу, а вреда Байкалу не будет — в его воде и так растворено много метана, и все эндемики к этому приспособились. Зато дальше можно проложить экспортную трубу через Улан-Удэ, через другие промышленные центры Бурятии, дать ей экологически чистое топливо. О ВВП говорить не надо — ясно и так. Идея — спорная, но заслуживающая рассмотрения.

Если бы не был я академиком, никто бы и слушать не стал.

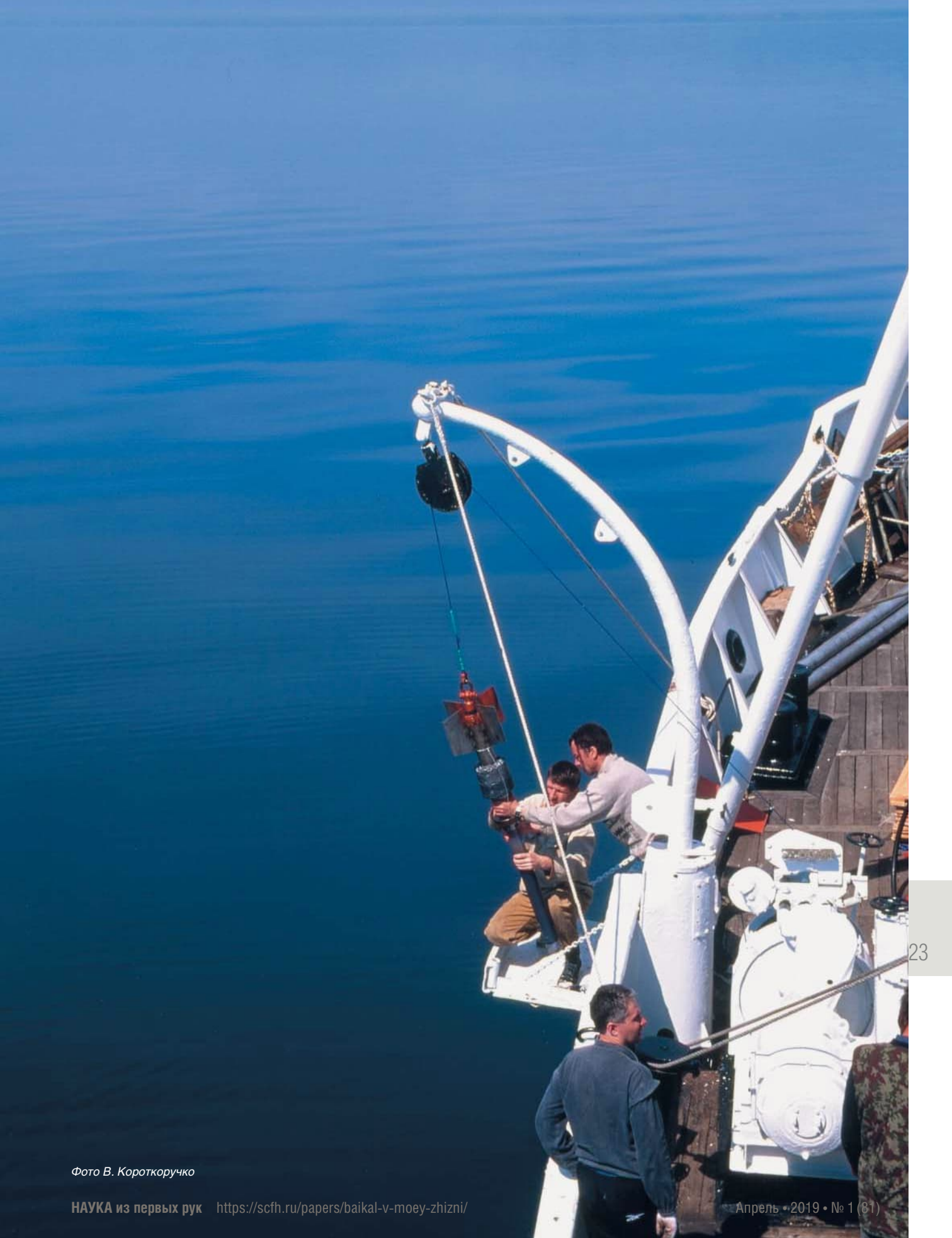


Фото В. Короткоручко



Путь
на ВОСТОК

К юбилею академика М. А. Грачева



Вначале был Директор Лимнологического института СО РАН. Директор, давший возможность работать на уникальном аналитическом оборудовании и быть соучастником исследования тайн великого озера. Затем, как Колумб, желающий открыть Америку, в то время как команда хочет домой, был Руководитель, убеждающий и увлекающий открывать новые горизонты, использующий для достижения цели всю харизму своей гигантской личности и весь административный ресурс, как всегда правый по завершении научного поиска. Наконец, есть и будет Ученый – кладезь новых идей и ниспровергатель научных авторитетов, учащий все подвергать сомнению, отстаивая свою точку зрения, свой собственный путь в науке, не жалеющий времени на дискуссию с теми, кто стремится познать научную истину, понимающий, что одно полезное слово, услышав которое человек становится чуточку мудрее, лучше тысячи речей, составленных из бесполезных слов. Ученый, который всегда следовал истине мудрейшего из мудрых:

*«Давай наставления только тому,
кто ищет знания, обнаружив свое невежество.
Оказывай помощь только тому,
кто не умеет внятно высказать свои заветные думы.
Обучай только того, кто способен, узнав про один угол квадрата,
представить себе остальные три».*
Сюнь-Цзы, III в. до н.э.

*К. х. н. Александр Горшков,
зав. лабораторией хроматографии ЛИН СО РАН*

Теперь мы можем смело назвать Михаила Александровича Грачева настоящим лимнологом, хотя в первые годы работы в институте он не раз слышал от сотрудников, что лимнология – особая наука, и он в ней не специалист.

Его назначение было решением «сверху», но впоследствии научный коллектив Лимнологического института пять раз поддерживал кандидатуру Михаила Александровича на должность директора, хотя работать под его руководством (впрочем, как с любым сильным лидером) очень непросто. Да и доставшееся нам время трудно оценить как благоприятное для развития науки в стране. Но, оглядываясь назад, надо отметить, что перестройка оказала и положительное воздействие. За эти годы мы сделали большой рывок вперед благодаря той политике и стратегии, которая проводилась нашим директором и в целом Сибирским отделением РАН.

В конце 1990-х гг. открылись двери в нашу страну для зарубежных ученых. Идея привлечь их для исследования Байкала была исключительно плодотворной. Мы смогли сотрудничать бок о бок с ведущими учеными мира и сопоставить их результаты с нашими, зачастую полученными на старых приборах и устаревшими методами. Можно с гордостью констатировать, что в большинстве случаев удавалось подтвердить наши прежние данные и выводы и тем самым – высокую квалификацию наших сотрудников.

Последующие поездки в зарубежные лаборатории и знакомство с новыми приборами и методами также сослужили хорошую службу. Мы приобрели не только новых друзей, долгосрочные контакты, совместные научные проекты, но и внедрились в мировую науку, доказывая высокое качество российских исследований.

Массовое появление иностранных ученых на Байкале создавало своеобразную конкуренцию в науке. На заседаниях ученого совета бурно обсуждалось, какова же наша роль в исследовании Байкала, сможем ли мы быть лидерами или все сведется к сфере обслуживания – «тасканию чемоданов» наших иностранных коллег. Эти обсуждения заставили искать новые идеи, решать новые задачи. О том, удалось ли это нам, можно судить по результатам, опубликованным сотрудниками

института в рецензируемых журналах, начиная с 1987 г. по настоящее время.

Нельзя не отметить, что в самые сложные 1990-е гг. именно при финансовой поддержке Байкальского международного центра экологических исследований (БМЦЭИ) институт развивался и выполнял самые сложные экспедиции и проекты. Что стоило, например, проект ИНТАС на поддержку наших кораблей... Мы не только сохранили флот, но и активно его использовали, выполняя самые сложные исследования по сейсмике, тралениям, глубоководному бурению на оз. Байкал. За эти годы было выполнено около 300 совместных проектов, ежегодно институт принимал около 100 иностранных ученых. Надо обладать особым характером, чтобы все состоялось.

А еще надо было продолжать решать проблему Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, которая давно стала разменной монетой в руках политиков разного уровня. Поэтому идея отдать Байкал под защиту и контроль всего мирового сообщества была блестящей.

С момента приезда экспертов ЮНЕСКО в 1990 г. и до включения Байкала в список объектов мирового природного наследия прошло более пяти лет. Сейчас некоторые пытаются приписать себе заслуги по включению Байкала в список объектов мирового природного наследия, но без знания экосистемы озера Байкал, поддержки Президиума Сибирского отделения РАН и мирового научного сообщества вряд ли кому-то другому удалось бы довести это дело до конца.

Оглядываясь назад, можно отметить, что практически все задуманные в разные периоды крупные проекты и задачи реализованы или продолжают реализовываться в настоящее время. У нас по-прежнему много проблем, а также много задумок и планов на ближайшее будущее. Мы надеемся решать их вместе и дальше. Наш институт очень живой, и не только потому, что у нас много молодых, а, наверно, и потому, что наш директор М. А. Грачев по-прежнему молод душой и заставляет думать и двигаться вперед.

Здоровья Вам, Михаил Александрович!

*От имени коллектива института
д. б. н. Т. И. Земская, ученый секретарь*

Михаил Александрович Грачев — не просто директор одного из самых успешных институтов СО РАН, но большой друг нашего журнала с первых дней его существования.

За прошедшие годы многие сотрудники ЛИНа стали нашими авторами, познакомив читателей с открытиями, сделанными при изучении оз. Байкал — величайшего природного феномена не только Сибири, но и мира.

Сегодня мы попросили академика Грачева рассказать о прошлом, настоящем и будущем маленькой «байкальской академии», бессменным лидером которой он является уже более двадцати лет

– В 1965-м, приняв решение переехать из Москвы в Новосибирск, вы удивили своих коллег. Что побудило сделать такой неординарный шаг?

– Не «что», а «кто». Побудил меня Лев Степанович Сандахчиев. В 1964 г. он буквально покорил всех московских биохимиков, занимавшихся транспортными РНК, предложив совершенно оригинальный способ их очистки. Чтобы освоить этот способ, я несколько раз ездил в Новосибирск в длительные командировки, и мне очень понравился и Новосибирский институт органической химии, и весь уклад жизни в Академгородке.

Новый лабораторный корпус с чистыми просторными лабораториями, конструкторское бюро и огромные мастерские, корпус модельных установок, в котором можно в большом масштабе нарабатывать исходные и промежуточные продукты. От дома до работы – 20 минут пешком. Отсутствие враждующих групп в коллективе института. О своем переезде я никогда не жалел.



– Что удалось сделать в Новосибирске?

– В Новосибирске я прожил 21 год. В науке – это огромный срок. В 1966 г. группа американских ученых получила Нобелевскую премию за установление последовательности нуклеотидов в одной из транспортных РНК длиной 78 нуклеотидов. В 2004 г. расшифрована

последовательность нуклеотидов в геноме человека, длина которого составляет 3,8 миллиарда оснований.

За этим стремительным продвижением мировой науки приходилось все время поспевать, формулировать новые задачи, разрабатывать новые методы, изобретать и строить различные приспособления и даже сложные приборы. Самым



«В начале августа 1991 г. наша группа исследователей из Японии посетила Иркутск и озеро Байкал. Мельком взглянув в Листвянке на огромное голубое озеро, мы отправились на встречу с доктором М. Грачевым в Лимнологический институт для беседы о проекте БМЦЭИ и обсуждения некоторых планов международного сотрудничества. Однако, по крайней мере для меня, перспективы совместных научных проектов между Японией и СССР в то время выглядели неубедительно.

Потом у нас состоялась вечеринка с сотрудниками Лимнологического института в ресторане, недалеко от статуи Ленина в центре города. В разгар вечеринки секретарь сообщила нам, что один из студентов японской группы был ограблен на улице. Милиция просила привести кого-либо для перевода при допросе.

Доктор Грачев и я отправились в отделение милиции. Допрос студента шел весьма медленно, так как мы должны были переводить сначала с русского на английский, затем с английского на японский, а потом в обратном порядке. Было далеко за полночь, когда мы втроем покинули отделение милиции.

Когда подъезжали к железнодорожному вокзалу, доктор Грачев неожиданно остановил машину. Он забежал в ларек, купил шашлык и дал его студенту, так как думал, что тот сильно проголодался. Именно в тот момент я осознал, что готов начать совместные исследования в институте доктора Грачева».

Ясунори Ватанабе, Университет Рисхо, Япония



же главным было – постепенное создание школы молодых ученых, способных работать на мировом уровне. Успехами этой школы я очень горжусь.

– В чем причина вашего дальнейшего продвижения на восток?

– В 1965-м я получил хороший урок. Навыки и знания, которые были получены в 1960–1965 гг. в Москве в Институте химии природных соединений, удалось быстро привить в Новосибирске. Я уверен, что, если бы остался в Москве, мое развитие как научного сотрудника и руководителя проходило бы гораздо медленнее, а многие достижения просто не могли состояться.

К середине 1980-х гг. у меня сложилась большая сфера влияния, множество тесных неформальных

Первое выступление нового директора Лимнологического института чл.-кор. М. А. Грачева на заседании президиума Иркутского научного центра. 1988 г. Фото В. Короткоручко



Дэвид Джусон,
Королевское
общество,
Великобритания



«Одним из самых важных визитов представителей Великобритании стал приезд Гринховардского полка Британской армии. Они приехали помочь провести учет популяции нерпы и привезли с собой много оборудования, включая четыре квадроцикла, которые они впоследствии подарили Лимнологическому институту.

Кроме того, они привезли аппаратуру связи, что породило много проблем при прохождении таможни в Новосибирске. Последующие «переговоры» даже послужили предметом для новостей по всероссийскому телевидению, и я думаю, Михаил Грачев надолго запомнил все телефонные звонки и переговоры, которые продолжались до тех пор, пока не было получено оборудование!

Но есть английская пословица: «Все хорошо, что хорошо кончается». В этом случае все кончилось хорошо, и учет численности популяции нерпы прошел успешно».

контактов как внутри Новосибирского института биоорганической химии, так и в соседних институтах – Институте цитологии и генетики, Институте кинетики и горения, во ВНИИ молекулярной биологии Главмикробиопроба, в медицинских институтах. Публиковались совместные статьи, успешно защищались диссертации по предложенным мной темам. В рамках лаборатории мне становилось тесновато, захотелось попробовать себя в роли руководителя самостоятельной ячейки, которой в Академии наук является институт. Хотелось себя испытать – выдержу ли я такой груз ответственности.

Поэтому, когда в 1987 г. председатель Сибирского отделения АН СССР В. А. Коптюг предложил мне переехать в Иркутск и возглавить Лимнологический институт, я немедленно согласился. В. А. Коптюг поддержал мою просьбу о том, чтобы в Иркутск я ехал не один, а в составе «десанта» из 20 ученых, работавших в Новосибирске, в основном – молекулярных биологов. Руководство области выделило для десанта 20 новых квартир.

ЛИН: двадцать лет назад...

– Каковы первые впечатления об Иркутске и Лимнологическом институте?

– Впечатлений от Иркутска у меня и сегодня немного. Скажу коротко: это не новосибирский Академгородок. А работы сразу свалилась огромная гора. Коллектив института мне очень понравился. Было совершенно

ясно, что большинство в нем составляют люди, глубоко преданные науке, готовые в любую погоду, при любом, даже очень низком, финансировании изучать озеро Байкал. Каждый из них – эксперт в своей области, их подавляющее число продолжает работать в институте и сейчас.

Институту не хватало современных приборов и методов, тесных связей с мировой и общероссийской наукой, надежных количественных подходов к оценке состояния экосистемы Байкала.

Впечатлений было много. Во-первых, сразу же пришлось выполнять поручение правительства – разработать нормы допустимых воздействий на экосистему Байкала. Согласование этого документа с московскими руководящими органами потребовало множества встреч с чиновниками, изучения механизма принятия политических решений. В то время в России было много умных и принципиальных чиновников, очень интересных людей.

Нормы удалось разработать и согласовать в рекордный срок – всего за три месяца. Внешне это выглядело так. Сидю под лестницей в здании Президиума РАН в Москве рядом с кабинетом В. А. Коптюга, печатаю на машинке очередную редакцию норм, иду в кабинет к «вертушке», звоню руководителю ведомства (на звонок по «вертушке» было принято в то время отвечать), беру такси, еду к этому начальнику за согласованием, как правило, в этот же день получаю замечания, еду назад, под лестницу, вношу правки, договариваюсь со следующим начальником и т. д.

«Моя первая встреча с Михаилом Грачевым состоялась на страницах журнала *Nature*, задолго до того, как я познакомился с ним лично. Дж.Мэддокс, занимавший в то время пост редактора этого журнала, написал краткую заметку о М. Грачеве. Или это была заметка об озере Байкал? Казалось, оба тесно связаны. Мэддокс начинал свою заметку такими словами: «Кажется, одно из желаний Михаила Грачева вполне может исполниться... Он мечтал о привлечении людей из-за рубежа для того, чтобы развеять потенциал Байкала» (*Nature*, 1989, 337).

Спустя несколько месяцев в разделе новостей журнала были изложены обоснования необходимости исследования уникальной экосистемы озера Байкал. Из четырех приведенных причин наиболее значимой для меня были «Исследования видообразования уникального комплекса эндемиков Байкала, насчитывающего примерно 1500 организмов (видов), а также изучение эволюции их нуклеиновых кислот и белков».

...Мэддокс заметил о М. Грачеве: в нем «бурлит энтузиазм». Во многих отношениях этот энтузиазм был чересчур избыточным; идеи появлялись с такой скоростью, что было невозможно их уловить и понять их потенциал, не говоря уже о том, чтобы внедрить в жизнь... Его убеждение в том, что возможность изучения «эволюции их (эндемичных видов Байкала) нуклеиновых кислот и белков» стоит вне времени, сегодня нашло подтверждение в интересе к штрихкодовой и молекулярной систематике. Это как раз то, что выделяет М. Грачева: его способность предвидеть и выходить за пределы установленных задач».



Дэвид Вильямс,
Отдел ботаники
Музея естественного
Великобритания



– Все один? И другого помещения не было, только под лестницей?

– Да, один. И другого помещения не было, а там уютно, можно было печатать, никому не мешая, чай пить и курить.

Согласующих ведомств было четыре: РАН, Госкомгидромет, Министерство рыбной промышленности и Минздрав. Выполнить такую работу сегодня за три месяца невозможно.

А Байкал в это время не дремал и преподнес совершенно неотложную проблему. Поздней осенью 1987 г. на Байкале началась массовая гибель тюленей. На берега выбросило 6 тыс. трупов животных, из общего числа особей популяции около 100 тыс. 25 декабря 1987 г. небольшая экспедиция в составе сотрудников института (в том числе меня) и известного иркутского ветеринара и патоморфолога В.С. Колесника на теплоходе «Верещагин» отправилась на остров Ушканий, расположенный посреди Байкала на границе его средней и северной котловин.

Работники метеостанции показали нам мертвых тюленей, описали симптомы болезни и сообщили, что у них погибли с аналогичными симптомами все собаки. В.С. Колесник тут же предположил, что бай-

Кто может рассказать о «Милихроме» лучше, чем его создатель? 1988 г. *Фото В. Короткоручко*

«Хотя в структуре БМЦЭИ был Совет, который рассматривал программы и определял действия, был все же один человек, который координировал, направлял всю деятельность центра, предлагал идеи и способствовал их осуществлению, объединял людей – это Михаил Грачев.

В течение ряда лет такая структура функционировала очень хорошо: имея довольно ограниченное финансирование, важные научные проекты выполнялись успешно, объединяя иностранный опыт с компетенцией ученых Лимнологического института. А когда не хватало рук, Михаил Грачев вливал свежие силы в лице молодых ученых из своего института, таким образом способствуя выполнению проектов. Он окружил себя мотивированными и компетентными сотрудниками. В начале 1990-х гг. финансирование науки в России было недостаточным, но Грачев находил необходимые

деньги для проведения экспедиций на озере. Как он делал это, для меня до сих пор остается загадкой, но он делал это.

...Я не всегда соглашался с его подходами и часто говорил ему, что невозможно выполнить то, что он предлагает. Но вскоре я понял, что в его словаре не существует слова “невозможно”... »



Жан Клеркс, Королевский музей Центральной Африки, Тервурен, Бельгия

кальская нерпа заболела собачьей чумкой. Чумка, или чума плотоядных, вызывается морбилливирусом, родственником вируса кори. Анализ литературы показал, что случаев заболеваний тюленей чумкой ранее не отмечалось. Тем не менее мы решили проверить гипотезу методами молекулярной биологии. Это сделал новосибирский десант, и гипотеза уже в феврале 1988 г. полностью подтвердилась. Итогом работы стал доклад правительству и две публикации в журнале *Nature*.

Еще одно сильное впечатление первого года работы в Иркутске – тесное знакомство с главным противником экологов, Байкальским целлюлозно-бумажным комбинатом. За несколько дней я облазил все участки этого большого предприятия, все места, где образуются выбросы и сбросы вредных веществ. Это было очень сильное впечатление. Грамотно управляя своими огромными установками, сотрудники комбината делали все возможное, чтобы свести ущерб Байкалу к минимуму. Вот, пожалуй, и все главные первые впечатления.

Рыцари Байкала: чл.-кор. М. А. Грачев, акад. В. А. Коптюг, Н. А. Логачев, чл.-кор. Г. И. Галазий





Марк де Батист,
Центр морской геологии Ренарда,
Геологический институт, Гентский
университет

«2008-й... Известные на весь мир глубоководные обитаемые аппараты «Мир» находятся на Байкале. Они задействованы, возможно, в одной из самых больших экспедиций. Благодаря невероятно любезному приглашению у меня будет возможность поучаствовать в одном из многих погружений и фактически увидеть своими собственными глазами, как в действительности выглядят грязевые вулканы. Погружение проходит хорошо, гладко и без проблем... 5 часов пролетели, как одно мгновение. Как нам кажется, мы видим грязевые вулканы... Мы абсолютно точно видим пузырьки. Может быть, и грязевые брекчи. И пористую глину. А во время предыдущего погружения ученые видели даже выход нефти...»

Эта экспедиция на «Мире», организованная на высоком уровне, и сами наблюдения за различными районами залегания гидратов на дне озера состоялись после 10 лет напряженных исследований гидратов на Байкале. И вот теперь Байкал всемирно известен как наиболее интересный и наиболее полно исследованный район газовых гидратов и газовых выходов».

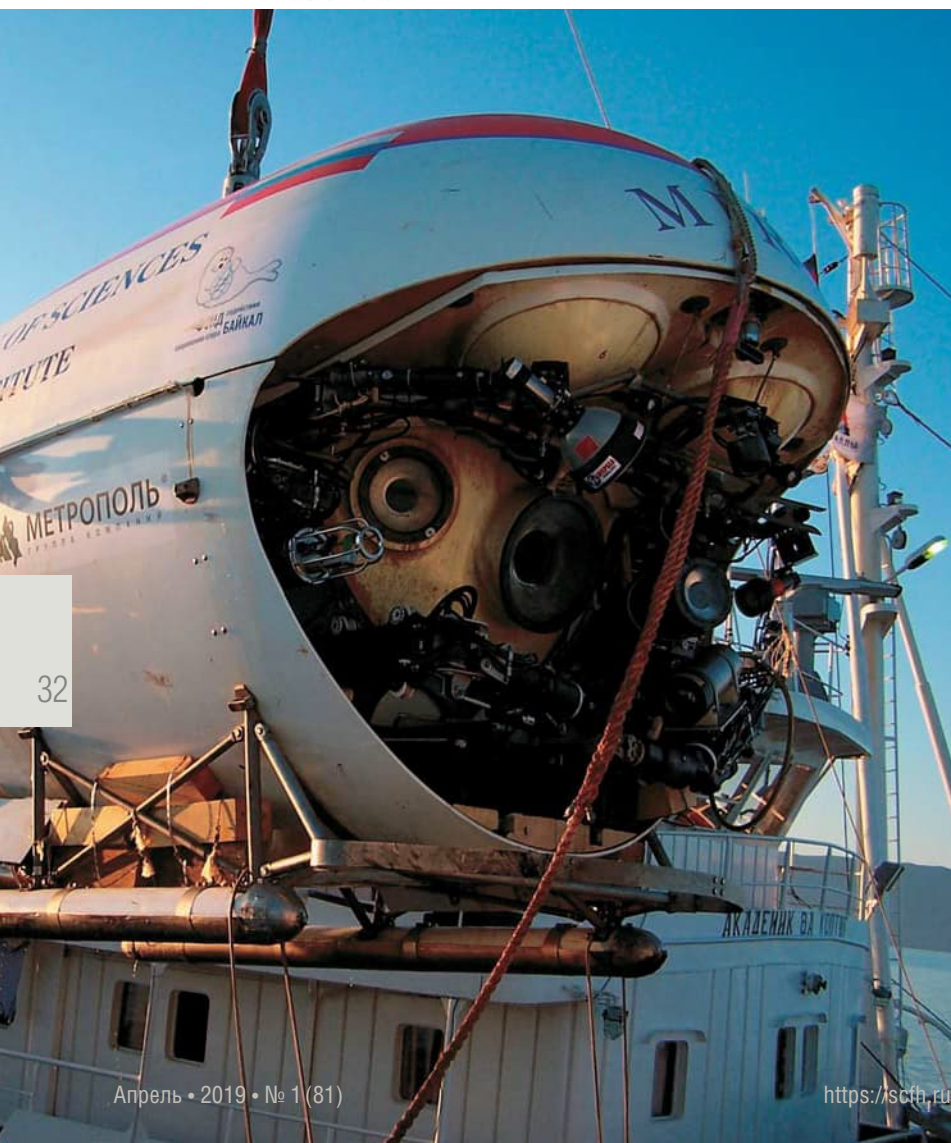


– В 1990 г. при Лимнологическом институте был создан Байкальский международный центр экологических исследований. Как это удалось?

– Удалось легко. Упал «железный занавес», была отменена секретность экологических исследований. Началось буквально паломничество иностранных ученых на Байкал. Мы старались поставить дело так, чтобы все экспедиции и исследования были не иностранными, а совместными, чтобы в них участвовали российские ученые из Лимнологического института и любых других институтов СССР.

К моменту официального открытия БМЦЭИ на Байкале уже состоялось множество международных экспедиций, давших очень ценные результаты. С современным оборудованием к нам приезжали ведущие специалисты из большинства развитых стран мира. К их удивлению, оказалось, что Байкал за советское время стал одним из самых изученных озер мира, но об этом было мало известно мировой науке, потому что результаты публиковались не в научных журналах, а в малотиражных монографиях, зачастую с грифом «для служебного пользования».

Глубоководный аппарат «Мир» во всей красе



«Байкал как природная лаборатория – эта идея фикс Михаила Грачева существовала много лет.

Одно из последних мероприятий, которое мы организовали вместе, было исследование гидратов метана в осадках в Среднем Байкале. Сейсмические исследования высокого разрешения подтвердили наличие гидратов под дном озера. Мы запланировали зимнюю экспедицию на льду озера с ограниченным финансированием и довольно примитивным оборудованием. Не было никаких гарантий на успех, когда началась работа, но Михаил Грачев полностью поддержал начало этого мероприятия.

Экспедиционный отряд работал усердно в течение нескольких дней, но безрезультатно, однако никто даже и не думал прекращать работу, так как именно сам начальник поддерживал это мероприятие. В конце концов, нам повезло. Сейчас Байкал стал настоящей природной лабораторией для проведения исследований по распространению газовых гидратов».

Жан Клеркс



Наши эксперты лимнологи помогли иностранным коллегам избежать «изобретения велосипедов». Очень пригодилось то, что я с детства знал английский язык. Приходилось не только вести обширную переписку с иностранцами, но иногда буквально на ходу, накануне экспедиции сколачивать команды, состоящие из ученых двух-трех стран и россиян.

БМЦЭИ получил мощную поддержку и от СО РАН, и от международных научных организаций, например, об идее организации Центра дважды написал в журнале *Nature* его главный редактор Дж. Мэддокс. Итогом деятельности БМЦЭИ к концу 1990-х гг. стало опровержение мифа о тотальном загрязнении Байкала.

ЛИН: двадцать лет спустя

– Что сейчас представляет собой ЛИН?

– Сейчас ЛИН представляет собой неплохо оснащенный, даже по мировым меркам, институт. Наряду с ветеранами у нас много – больше половины – молодых научных работников. В институте нет склок и враждующих группировок. Полностью открыто финансирование из всех источников. В течение последнего десятилетия отработана простая и открытая система поощрения результативности. Поскольку Байкал должен изучаться представителями многих научных дисциплин, в институте имеются лаборатории физического, химического, биологического, географического и геологического профиля – маленькая Академия наук.

Байкал — единственный в мире пресноводный водоем, где обнаружены газогидраты, твердые соединения из метана и воды





– Как удается поддерживать в одном институте с небольшим штатом исследования по разным наукам, да еще на мировом уровне?

– Ваш вопрос звучит как комплимент. О нашем месте в мировой науке можно судить по публикациям в рецензируемых научных журналах и по цитируемости этих публикаций. Действительно, за прошедшие годы удалось включить многие наши направления в русло мировой науки и несколько раз даже обогнать ее быстро продвигающийся фронт.

Наши успехи объясняются несколькими причинами. Во-первых, это установленные связи с множеством более узко специализированных научных коллективов, как отечественных, так и зарубежных. Во-вторых, мне кажется, что в институте сложилось уважительное отношение к каждому сотруднику, который хочет реализовать свою идею. Это способствует свободе научного поиска. В-третьих, это наша молодежная политика. В течение многих лет мы принимаем на работу и даже платим зарплату студентам Иркутского государственного университета, Политехнического университета и других вузов, начиная иногда даже с первого курса.

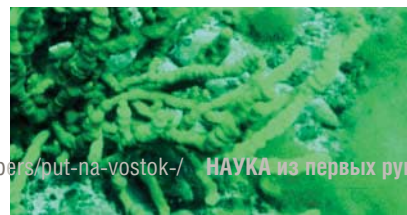
В последние годы самым интересным для меня событием в институте является отчет аспирантов. Уровень многих работ и их качество вызывает большое уважение, а ведь именно аспиранты и молодые ученые работают на передовом рубеже науки, прокладывают новые пути, и от их успехов зависит наше соответствие мировому уровню.

В течение многих лет всем коллективом в условиях полной гласности мы стараемся внедрить объективную систему оценки результативности сотрудников, не зависящую от произвола начальства. В основе этой системы выплата надбавок за журнальные публикации и за цитируемость работ. Наконец, наши научные результаты интересны тем, что почти всегда они получаются на стыках дисциплин – физики и биологии, химии и геологии, географии и экологии. Как известно, именно на стыках наук зачастую рождаются крупные научные прорывы.

«Когда я решил провести год в Сибири, я и не думал, что это будет одним из самых запоминающихся событий в моей жизни, когда я набрался много опыта: в личном плане это касается крепких дружеских отношений, красоты природы и людей; в профессиональном – я восхищаюсь чудесной работой, которую выполняют люди, несмотря на все невзгоды, их страстью к науке и даром соединять работу и семейную жизнь в одно целое.

Каждый раз, когда мой взгляд падает на карту мира, я нахожу Байкал, «жемчужину Сибири» в сердце азиатского материка, вытянутую голубую полосу на фоне земли, потому что это место стало для меня домом. Сразу всплывают образы, воспоминания и ощущения, сопровождаемые желанием вернуться. **Благословенны те, кто живет среди такой красоты!»**

**Кристоф К. Томас,
Государственный университет
Оригона, США**





Планы на будущее... М. А. Грачев и председатель СО РАН академик А. Л. Асеев. 2009 г. Фото В. Короткоручко

Планы

– *Что еще хотелось бы сделать?*

– Во-первых, конечно, не оплошать. Идей много, самое главное, чтобы они не оказались тривиальными и дали видимые и значимые результаты. Сейчас, как и раньше, нашей ключевой задачей остается поиск новых крупных перспективных направлений. Как говорится в сказке «Алиса в стране чудес», нужно очень быстро бежать, чтобы стоять на месте.

– *Как обеспечить «приток мозгов» с Запада?*

– Обычно этот вопрос ставят иначе: как предотвратить «утечку мозгов» на Запад? Ответ: не надо ее прекращать. Надо создать встречный поток с запада на восток. В Америке науку делают ученые всех стран мира. Если мы хотим стать мировой научной державой, можно принять два альтернативных решения: либо вернуть «железный занавес», либо создать условия для того, чтобы иностранные ученые приезжали работать к нам.

Пока что в России не создано научной политики, направленной на мобильность ученых. Не говоря уже об ученых западных стран, даже переезд ученого из Москвы в Сибирь воспринимается как нечто экстраординарное, хотя в Сибири и природа чище, и пробок на дорогах меньше, и возможностей для быстрого научного роста гораздо больше, да к тому же и зарплата выше благодаря районному коэффициенту. У нас есть научные школы мирового уровня, интереснейшие при-

родные объекты, такие как озеро Байкал и сибирская тайга, в последние годы появилось отличное импортное оборудование.

Очень много в этом направлении Сибирское отделение и его институты могут сделать уже сейчас, не дожидаясь судьбоносных решений правительства. Если будем живы, в ближайшие годы будем планомерно приглашать и принимать на работу талантливых молодых ученых из западных регионов России.

– *Какой совет вы можете дать молодому ученому? Как стать хорошим ученым?*

– Если этот вопрос действительно задает молодой ученый, то ответ на него запоздал – тяга к науке закладывается в человеке еще в школьном возрасте, в 14–16 лет. Поэтому совет простой – если хотите успешно заниматься наукой, начинайте это дело как можно раньше либо много и упорно работайте, чтобы наверстать упущенное время.

И помните, что фундаментальная наука – это только мировая наука. Если открытие сделано, второй раз его делать не надо. Отсюда вытекает, что хорошему ученому нужно очень много читать и знать мировую научную литературу, знать мировой язык научного общения – английский, нужно добиваться успеха, чтобы научный труд каждый день приносил радость.

В публикации использованы материалы из кн. «ЛИН СО РАН: двадцать лет спустя...» (Иркутск: ООО «Аспринт», 2009. — 288 с.) и фотографии из архива ЛИИ СО РАН

Редакция благодарит за помощь в подготовке публикации сотрудников ЛИИ СО РАН Е.В. Лихошвай, Т.И. Земскую, М. Усольцеву, а также Н.А. Мазутову (из-во «Аспринт»)

50 ЛЕТ В СТРОЮ, ИЛИ запрограммированная смерть

«Ну, и что? – сказал бы гениальный изобретатель знаменитого прибора Милихром Сергей Владимирович Кузьмин, если бы не умер в 1986 г. – Нормальные приборы, например часы, даже просто механические, скажем, часы “кукушка”, работают и по 300 лет, если не падает на них бомба. Приборы сделаны из железа, никеля, алюминия, тантала, золота, тефлона. Они смогли бы работать по 100 лет, если бы электроника не развивалась».

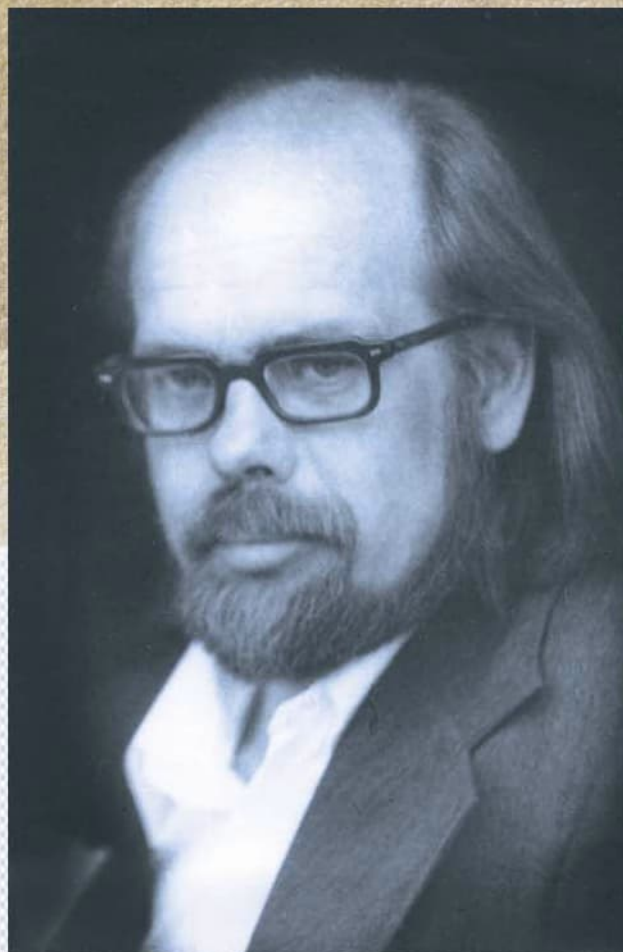
Дорогой Сережа, все так – да не совсем так. Когда конструкторы получили в руки новую электронику, они стали шалить и решили сделать приборы умнее человека. Помнишь, на старом телевизоре было две ручки: выключатель, он же регулятор громкости, и переключатель на пять программ. А шалуны сделали такой телевизор, у которого огромный экран, и это хорошо, но, к сожалению, еще и огромный пульт, и, чтобы его освоить, нужно окончить консерваторию. Ну, да мы не об этом.

Сережа, все твои приборы, которые не испортили шалуны, до сих пор так и служат человечеству. Твой Милихром по-прежнему в строю, а шалунам не дали большой воли. Вакуумная и твердотельная электроника, действительно, стали потрясающими. Проверено в Иркутске – ни один Милихром нового поколения не потребовал серьезной починки вот уже 25 лет с тех пор, как его создали твои последователи: Гриша Шойхет, Витя Каргальцев, Эдик Купер, Толя Леденев, Юра Болванов, Гриша Барам и Миша Перельройзен, которого к нам в ссылку, как ты помнишь, командировал Герш Ицкович Будкер.

Теперь обратимся к конкурентам. Тут все очень сложно.

Понимаешь, у нас ведь общество потребления, а приборов нужно не так много. Выпустил 50 тысяч жидкостных хроматографов двух десятков моделей – и рынка больше нет. Вот и иди, изобретай новые модели и опять впендюривай потребителю, а потребитель умный, новый прибор ему не нужен, ведь старый работает как часы.

Что же делать, как говорили Чернышевский и Ленин? «Гениально!» – сказали менеджеры, – вставим в каждый прибор по одному чипу и научим чип делать где-нибудь короткое замыкание, сразу по окончании гарантийного срока. Или другой вариант. Обложим потребителей оброком – будем брать ежегодно по 20% стартовой стоимости прибора «за обслуживание». Понимаешь?



Ведущий конструктор Новосибирского института органической химии С. В. Кузьмин был награжден золотой и бронзовой медалями и дипломом 1-й степени ВДНХ СССР за разработку жидкостного микроспектрофотометра МСФП-1. 1978 г.
Фото Г. Барама

Ключевые слова: Милихром, ацетабулярия, спектрофотометр, хроматограф.

Key words: Milichrom, *Acetabularia mediterranea*, spectrophotometer, chromatograph

© М. А. Грачев, 2017



М. А. Грачев. 1978 г.
Фото Г. Барама

Идея создания комплекса биохимических ультрамикрометодов пришла в голову Льву Степановичу Сандахчиеву еще в 1966 г., когда он расстался с транспортной РНК и вдруг решил изучать биохимию отдельных живых клеток средиземноморской водоросли ацетабулярии (*Acetabularia mediterranea*).

Первый новосибирский микроспектрофотометр МСФП-1 позволял работать с колонками объемом в одну миллионную часть кубического сантиметра, и поэтому все сопутствующие биохимические операции было возможно проводить только под бинокулярной лупой с помощью микроманипуляторов.

Однако еще в XIX в. появилась гистология, а в середине XX в. работа с отдельными клетками стала рутинной. В живой клетке такие соединения, как нуклеиновые кислоты, белки, полисахариды, липиды, присутствуют в очень высоких концентрациях, а потому их распределение в клетке можно легко изучить с помощью специфических красителей и микроскопов – оптических и электронных. Покрасить и увидеть вещества можно, но в 1960-е гг. никто не мог мечтать о том, что легко наблюдаемые в микроскопе вещества можно выделить в химически чистом состоянии и расшифровать структуру этих молекул. Смеею предположить, что Лев Степанович был, если не первым, то точно одним из первых биохимиков, поставивших перед собой такую задачу.

В сказочном новосибирском Академгородке царил свобода, и все казалось осуществимым. За это надо

ГРАЧЕВ Михаил Александрович – академик РАН, доктор химических наук, директор ЛИИ СО РАН с 1987 по 2015 г. Лауреат Государственной премии СССР (1985), Премии им. А. П. Карпинского (1998). Автор и соавтор около 200 научных работ

сказать большое спасибо не только Льву Степановичу, но и создателю Сибирского отделения АН академику Михаилу Алексеевичу Лаврентьеву и нашему шефу Дмитрию Георгиевичу Кнорре, который сделал всего лишь одно – не мешал.

Сказано – сделано. Вечерами юные ученые не теряли времени даром и играли в карты, в особенности в преферанс. Так и встретились Лев Степанович и лаборант-оптик Сергей Владимирович Кузьмин, в то время знаменитый и тем, что разбил одним ударом кухонный картонный стол за нарушение канонического правила «нет хода – не вистуй». Ну, и тут Лев Степанович буквально на спор поставил задачу перед Сергеем Владимировичем: «Сергея, поспорим, не сделаешь ты такой микроспектрофотометр, который чувствительнее самых продвинутых импортных моделей в 10 тысяч раз». Ну и, конечно, Сандахчиев проспорил. Серега успешно выполнил эту работу за 3 месяца и выиграл 210 рублей (70 рублей была месячная зарплата лаборанта-оптика). Остальные подробности описаны в научной литературе (Кузьмин и др., 1969).



1969 Первая публикация по Милихрому, новому жидкостному микроспектрофотометру

С. Кузьмин. 1978 г. Лицензию на право использования изобретения С. В. Кузьмина (слева) купил лидер научного приборостроения тех лет – шведская фирма LKB. Фото Г. Барама

Сандахчиев увлекался многими вещами, например, таким экстримом, как спелеология. Еще одним из увлечений был преферанс. Судьба свела его за карточным столом с Сергеем Владимировичем Кузьминым, гениальным, без преувеличения, оптиком и конструктором, лауреатом Государственной премии СССР и диссидентом, а в то время — старшим лаборантом из соседнего Института теплофизики, без высшего образования и с окладом 70 рублей, мечтавшим стать чемпионом мира по велоспорту (Грачев, 2004)

Отличия – принципиальные

Дальше совсем просто. В чем принципиальное отличие? В 10 тысяч раз лучше мирового уровня – совсем неплохо. Ну, во-первых, простому биохимику работать неудобно – приходится использовать микроманипулятор. И во-вторых, и это гораздо важнее, очень трудно измерять ультрафиолетовые спектры. Фотометрическая «кювета» МСФП-1 представляла собой просто нижнюю часть микролитровой хроматографической колонки, и свет падал на нее сбоку, перпендикулярно к оси колонки.

Тут я могу с гордостью сказать, что это была моя идея – сделать микрокювету с плоскопараллельными окошками из плавленного кварца. Одно окошко представляло собой простой цилиндр размером с пуговицу от рубашки, а второе – аналогичное изделие с четырьмя отверстиями. В дырочки вставлены внатяг





Будущие академики
Лев Сандахчиев и Михаил Грачев.
1985 г. Фото А. Полякова. Фотоархив СО РАН

М. А. Грачев. Короткий отдых. 1978 г. Фото Г. Барама

полиэтиленовые капилляры и обрезаны под корень с внутренней стороны лезвием бритвы. Дальше – совсем просто. Собираем кювету: берем первое окошко, кладем на него тефлоновую прокладку толщиной в половину миллиметра, в которой вырезано две щели. Дальше кладем сверху второе окошко и зажимаем получившуюся микрокювету в струбине. Микрокювета готова (Varam *et al.*, 1983).

Видите – ларчик просто открывался. Теперь между двумя щелями можно гонять луч света и построить на базе плоскопараллельной микрокюветы двухлучевой спектрофотометр (Кузьмин, 1974) и все другие узлы микроколоночного жидкостного хроматографа. Так была приобретена возможность очень точного измерения ультрафиолетовых спектров и очень точного измерения, так называемой оптической плотности, т. е. поставленная задача была решена. Правда, за это пришлось заплатить уменьшением чувствительности нового прибора Обь-4, прадедушки Милихрома, в 10 раз. Вот и все.

Работает моя кювета 50 лет. Это проверено, а хроматограф Милихром – лучший на мировом рынке. Можете мне поверить.

В чем состояло принципиальное отличие Милихрома от существовавших в то время спектрофотометров? Возьмем эталонный и существующий и в настоящее время прибор американской фирмы «Кэри». Это двухлучевой спектрофотометр. Световой луч в нем поочередно направляется в кювету образца и кювету сравнения. Дальше из сигнала образца вычитается сигнал сравнения, получается точное значение оптической плотности при заданной длине волны. Прибор имеет блестящие метрологические характеристики. Но, во-первых, мало подходит для микроспектрофотометрии, а во-вторых, имеет слишком сложную оптическую схему.

Обратимся к изобретению С. В. Кузьмина «Двухлучевой спектрофотометр» (1974): в нем вместо 8 зеркал, как в спектрофотометре «Кэри», имеется всего два – маленькое выпуклое и большое вогнутое. Это устройство называется объективом Кассегрена. Изобретение Кузьмина состоит в том, что спектрофотометр построен на базе объектива Кассегрена, но деление лучей между кюветой образца и кюветой сравнения осуществляется путем поворота на определенный угол маленького выпуклого зеркала. Вот и все.



Презентация Милихрома в Госплане СССР, Москва. Слева направо: Президент Академии наук СССР академик А. П. Александров, директор Института органической химии СО АН СССР чл.-корр. В. П. Мамаев, управляющий делами СО АН СССР д. т. н. И. И. Гейци, д. х. н. М. А. Грачев.
Фото Р. Ахмеров

«...Сразу захотел применить новый метод в обычной – не клеточной – биохимии, которой тогда занимался. Мастерские быстро изготовили второй экземпляр. Через год мы с коллегой, Сашей Гиршовичем, отправили первую публикацию по полученным на приборе данным в международный журнал ВВА. Ее не приняли. Рецензент смотрел в корень — он просто написал, что “в таком масштабе работать нельзя”».

И он был прав. Один раз мы с Сашей потратили на это дня два. Ничего не получалось. Причина оказалась простой: хроматографическую микроколонку нужно было помещать в дебри прибора, внутрь, а растворитель вводить вслепую. Колонка была такой маленькой, что просто потерялась, а мы, не зная об этом, гнали растворитель мимо.

Для обычной биохимии, чтобы не нужен был микроманипулятор, мы увеличили масштаб в 10 раз и получили установку с чувствительностью в 1000 раз лучше мирового уровня!».

(Грачев, 2004)

Залог особой надежности прибора прежде всего в том, что в нем не 8 зеркал, а всего 2. Поэтому меньше вероятность поломок.

Каково состояние «милихромостроения» сегодня? Отличное, если забыть, что денег нет. Милихром 50 лет в строю. У него нет запрограммированной смерти. И не будет.

Литература

Baram G. et al. Micro-column liquid-chromatography with multi-wave-length photometric detection I. The ob-4 micro-column liquid chromatograph // J. of Chromatography. 1983. N. 264. P. 69–90.

Кузьмин С. В. и др. Простая процедура количественного хроматографического анализа в ультрамикромасштабе // Биохимия. 1969. № 34(4). С. 706–711.

Кузьмин С. В. «Двухлучевой спектрофотометр», описание изобретения к авторскому свидетельству № 361720, опубликовано 15.04.74, бюллетень № 14.

Редакция благодарит Г. Филиппову за помощь в подготовке публикации и Г. Бараму за предоставленные фото

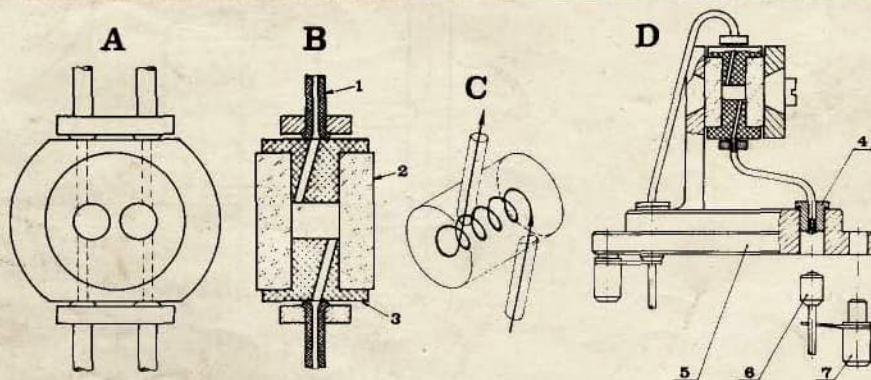


Fig. 3. Cell unit. A, Front view; B, side view; C, scheme of cell hydrodynamics; D, cell unit in holder, side view. 1 = Inlet tube; 2 = silica window; 3 = polyfluoroethylene gasket; 4 = immobile part of the liquid connector; 5 = body of the holder; 6 = mobile part of the liquid connector; 7 = spring of the liquid connector with handle.

СНАЧАЛА НУЖЕН ГЕНИЙ

«К началу 1990-х гг. в России удалось выпустить 6000 Милихромов, правнуков первого микроспектрофотометра, для множества отраслей – науки, криминалистики, фарминдустрии, охраны природы. В годы перестройки уже частной фирме удалось выпустить и продать в “нищей России” около 400 Милихромов А-02, приборов на мировой элементной базе, в основе которых – все тот же микроспектрофотометр С. В. Кузьмина. За 40 тысяч долларов штуку. Почему? Ответ прост: в коммерческой лаборатории прибор окупается за год.

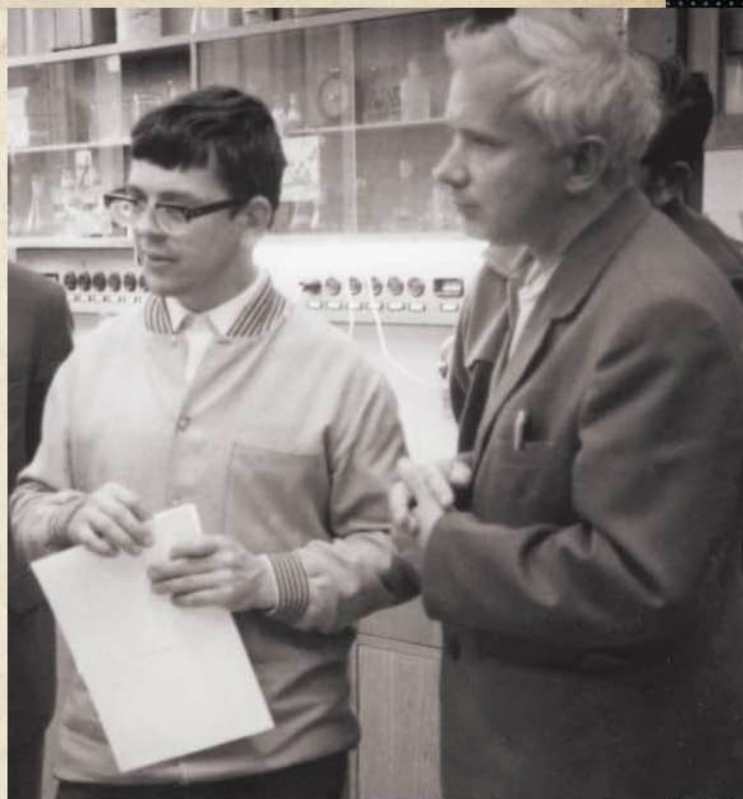
Лицензию на право использования изобретения С. В. Кузьмина купил тогдашний лидер научного приборостроения шведская фирма LKB. К этой акции и я приложил руку – пригодилось знание английского и гены “красного купца”. Под руководством Лицензинторга прошел полезную школу международной торговли интеллектуальной собственностью – позднее на Байкале это очень мне пригодилось. Мы получили около 60 тысяч долларов и прекрасный швейцарский фрезерный станок, за которым я потом провел много месяцев, изготавливая новые “железки”.

Сейчас много мечтают об “инновациях”. Начальники плохо понимают три вещи. Во-первых, для инновации желательны безумные идеи: например, выращивать средиземноморскую водоросль посреди Сибири. Во-вторых, нужен талант, а лучше – гений, который не обещает, а делает работоспособный предмет. Таланты и гении, как правило, люди очень неудобные и малоуправляемые. Как ни трудно, а приходится их терпеть. В-третьих, риск неудачи очень велик, а времени на внедрение нужно очень много – лет десять. Зато один Милихром окупает затраты не на один десяток академических лабораторий. От того же, что на доме появляется вывеска “Технопарк”, гении в нем не заводятся».

Грачев, 2004

Принципиальное устройство кюветы жидкостного микроспектрофотометра. По: (Baram et al., 1983)

С академиком Д. Г. Кнорре в Новосибирском институте биоорганической химии.
Фото В. Короткоручко



Байкал — природная лаборатория

Байкал — глубочайшее и древнейшее озеро на планете, возраст которого 25–30 млн лет. Озеро содержит самый большой в мире объем поверхностной пресной воды — до 1/5 общемировых запасов: больше, чем во всех

пяти Великих американских озерах вместе взятых.

Эта величайшая впадина планеты является частью Байкальской рифтовой зоны: только несколько тысяч лет назад здесь погасли последние вулканы. Согласно данным палеолимнологических исследований, озеро приобрело современные очертания «всего лишь» несколько миллионов лет назад. Длительная история формирования Байкала и интенсивная тектоническая деятельность обусловили уникальность его животного и растительного мира.

Байкал — это не только то, что наверху, это и удивительный подводный мир, поразительно меняющийся в зависимости от глубины. По современным оценкам, видовое разнообразие фауны Байкала сопоставимо с видовым разнообразием сотен и тысяч озер Евразии. А если учесть, что около 60% видов животных является эндемиками, т. е. больше нигде не встречается, то озеро можно назвать настоящим центром биоразнообразия Евразийского континента.

Ученые давно и плодотворно исследуют Байкал. В 1977 г. на озере впервые появились знаменитые глубоководные аппараты «Пайсис» и его дно стало доступным на любой глубине. В начале 90-х «Пайсис» впервые достиг наиглубочайшей точки Байкала, открыв таинственные венты — расположенные на большой глубине выходы подземных вод и метана.

Не меньше загадок таит и дно древнего озера. Многокилометровый слой осадочных отложений содержит запись геологических и палеоклиматических изменений более чем за 30 млн лет — уникальный архив изменения климата и природной среды Центральной Азии на протяжении практически всего кайнозоя.

К началу 1990-х гг. заработал организованный при поддержке академика В. А. Коптюга Байкальский международный центр экологических исследований (BICER) — организация, в которой ученые всех стран совместно с российскими учеными могли изучать

Фото М. Файерабенда

Директор Лимнологического института СО РАН академик М. А. Грачев и председатель СО РАН академик В. А. Коптюг на предварительных консультациях по вопросам организации Международного центра экологических исследований (1989 г.).
Фото В. Короткоручко



Байкал с разных сторон. За прошедшие годы на озере побывало около 2 000 иностранных ученых, инженеров и студентов.

Примером плодотворного научного сотрудничества может служить проект «Байкал-бурение», благодаря реализации которого с 1993 г. по сегодняшний день было пробурено семь скважин глубиной от 40 до 630 м и получен «слоеный пирог» донных отложений озера длиной более 1,5 тыс. м и возрастом более 8 млн лет. А в 1997 г. со дна Байкала в результате глубоководного бурения были подняты — впервые в пресноводном водоеме! — образцы газогидратов.

В 1997 г. ЮНЕСКО включило Байкал в список участков мирового наследия. Это решение, наряду с выводами экспертов, было принято на основании результатов многолетних систематических исследований Байкала и его региона учеными Иркутского и Бурятского научных центров СО РАН, а также представителей мирового научного сообщества.



1990 Создан Байкальский центр международных исследований

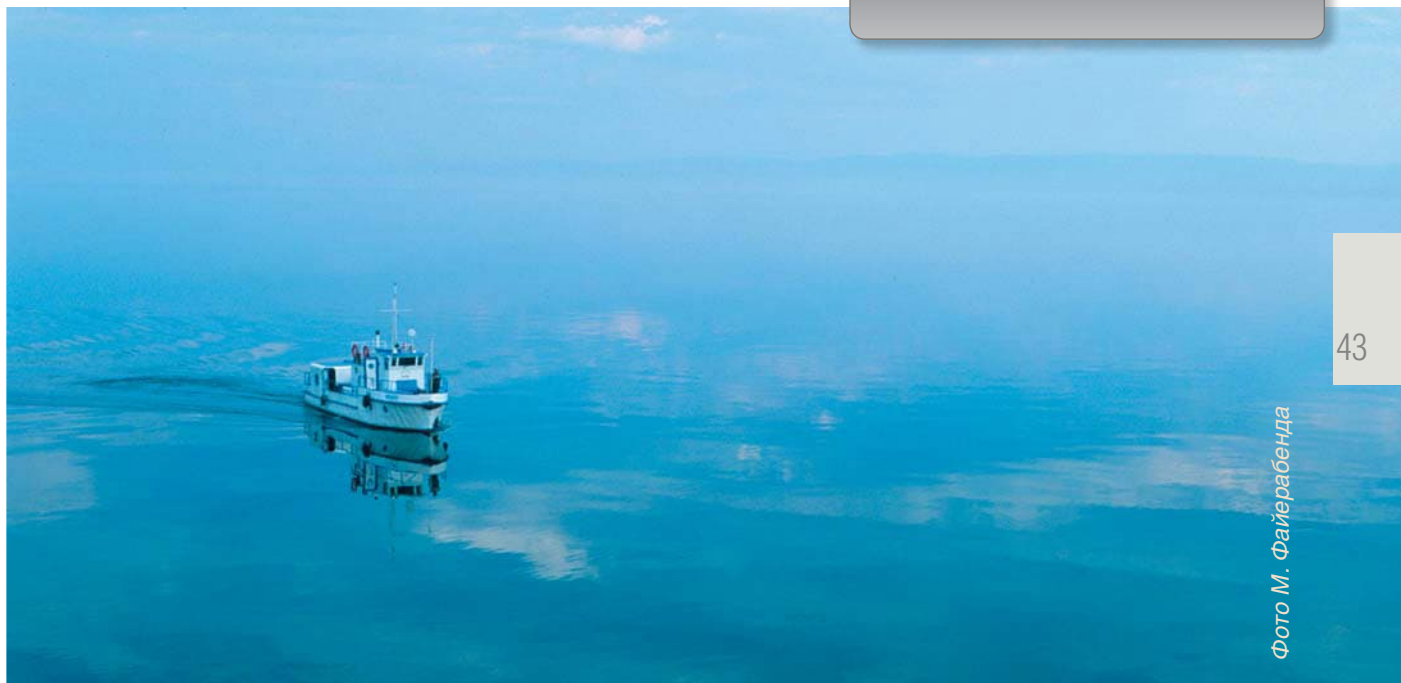
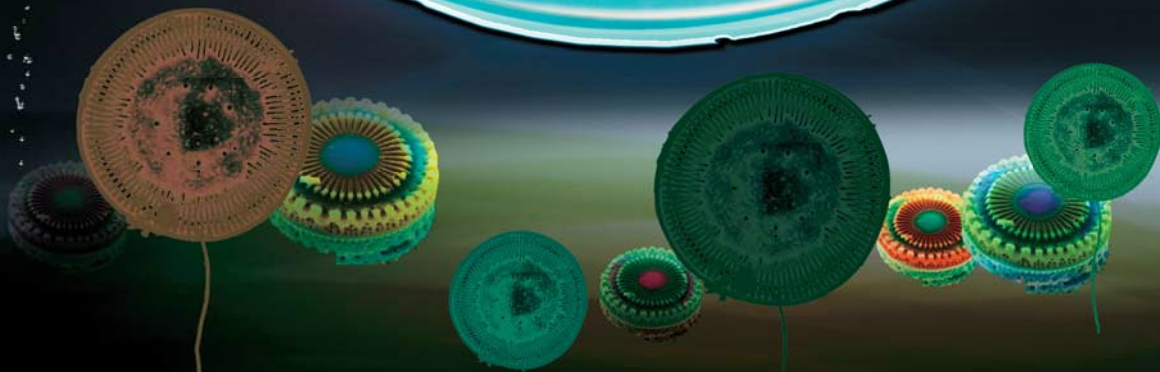



Фото М. Файербенда



ЖИВОЙ кремний БАЙКАЛА





Кремний – один из самых широко распространенных химических элементов в земной коре, однако при этом он не является структурообразующим элементом живых организмов, а в высоких концентрациях токсичен для живых клеток. Тем не менее многие организмы, такие как губки, радиолярии, а также высшие растения, особенно злаки, довольно активно используют кремний для создания каркасных структур своего тела. Но наибольшую роль кремний играет в жизни хризофитовых и диатомовых водорослей, в биомассе которых содержание кремнезема может превышать 50%.

Диатомеи известны как искусные создатели разнообразных кремнеземных 3D структур нанометрового размера. Для описания способа, которым они строят свои кремниевые экзоскелеты, даже был введен термин «диатомовые нанотехнологии». Диатомовой водоросли приходится решать сразу несколько очень непростых задач: сначала добыть кремниевую кислоту из окружающей среды – морской или пресной воды, где ее концентрации довольно низки; затем хранить кислоту в клетке, пока не придет время доставить ее в строго определенные точки формирующейся створки, где она и будет полимеризоваться. Чтобы в результате получились створки сложной заданной структуры, весь процесс отложения кремнезема внутри клеток диатомей должен точно регулироваться.

Кремниевые технологии составляют основу микроэлектроники и востребованы во многих областях современного промышленного производства, от энергетики до металлургической промышленности. Поскольку в диатомовых «нанотехнологиях» не используются экстремально высокие температуры и «тяжелая химия», они вызывают огромный интерес специалистов из самых разных областей.

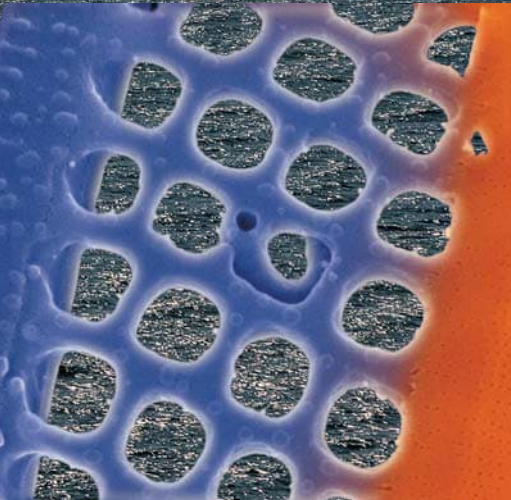
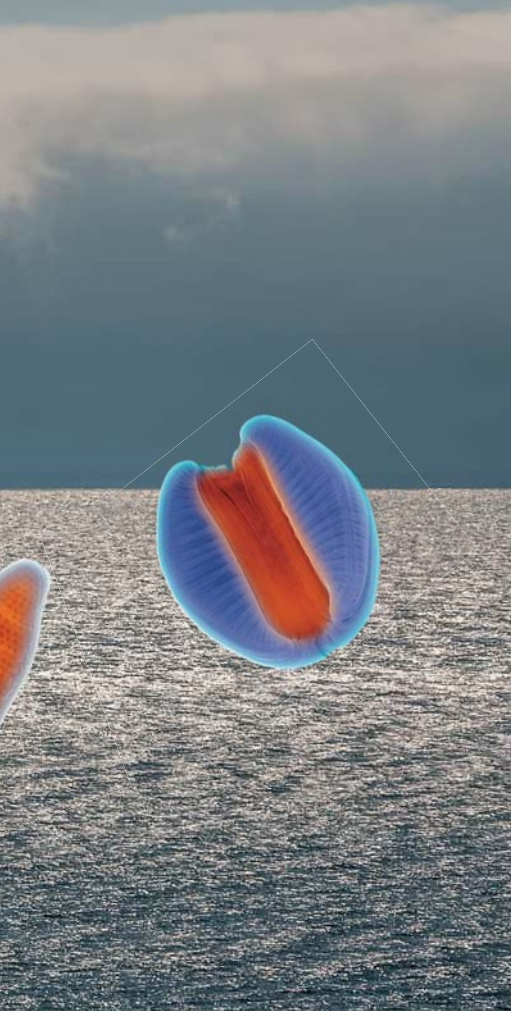
Диатомеи – самая многочисленная группа водорослей на Байкале, включающая как широко распространенные, так и редкие и эндемичные виды. Сегодня мы представляем результаты молекулярно-генетических исследований молодых сотрудников иркутского Лимнологического института, направленных на «реконструкцию» механизмов «импорта» кремния и формирования кремнеземных створок у байкальских диатомей.

КРЕМНИЕВЫЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ «В ПРОБИРКЕ»

Умение диатомовых водорослей искусно манипулировать кремнием, которое эволюционировало и «оптимизировалось» десятки миллионов лет, в эпоху высоких технологий вызывает живейший интерес ученых. Термин «диатомовые нанотехнологии» (*diatom nanotechnologies*) ввел еще в 1988 г. американский исследователь Р. Гордон (Gordon, Aguda, 1988). Сейчас применительно ко всей группе пигментированных гетероконтов, к которым относятся не только диатомеи, но и хризофитовые, можно говорить о крем-

ниевых нанотехнологиях (*silicon nanotechnologies*) в широком смысле (Grachev *et al.*, 2008). Поэтому неудивительно, что макро- и микропроцессы морфогенеза и сама структура кремнеземных створок водорослей привлекают сегодня внимание специалистов из самых разных областей.

Благодаря своим оптическим свойствам и большой площади поверхности, на которой могут быть иммобилизованы антитела и ферменты, панцири диатомей могут использоваться в качестве биосенсоров (Gale



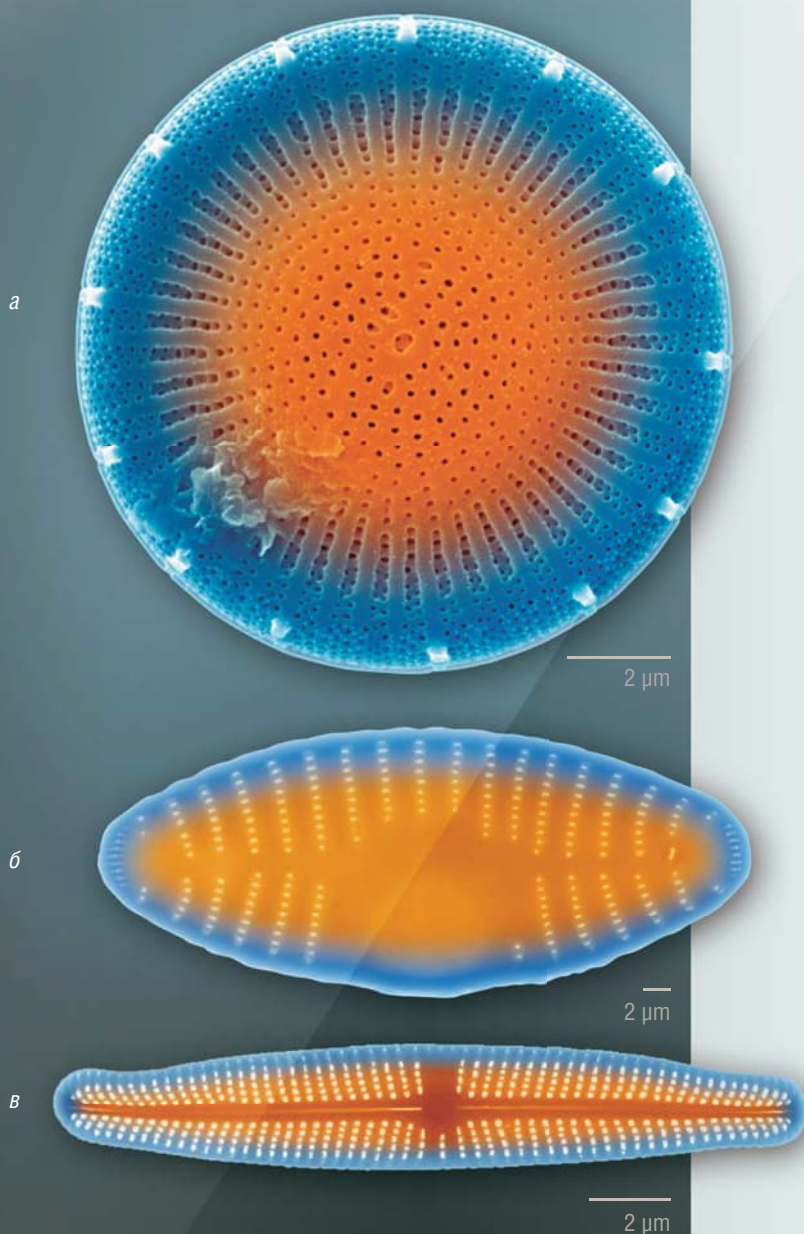
БЕДОШВИЛИ Екатерина Джамбулатовна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 13 научных работ



ГНЕУШЕВА Ксения Васильевна – аспирант отдела ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Соавтор 1 научной работы

Ключевые слова: диатомовые водоросли, морфогенез, колхицин, паклитаксел, биологический кремнезем, микроструктуры, наноструктуры.

Key words: diatoms, morphogenesis, colchicine, paclitaxel, biosilica, microstructures, nanostructures



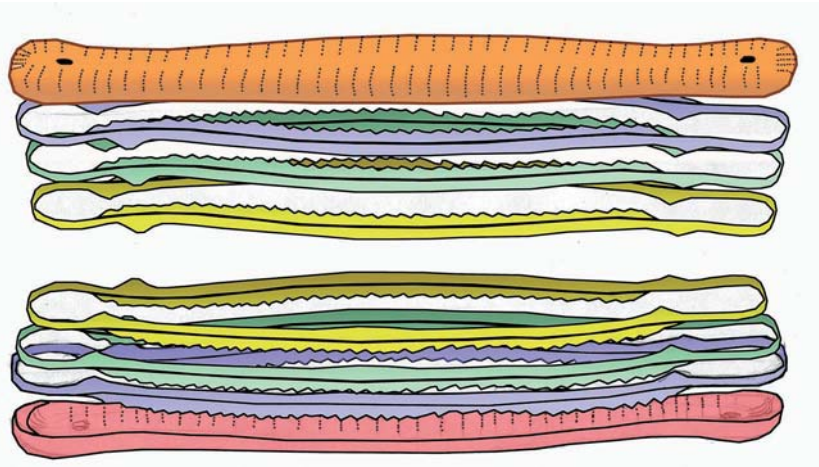
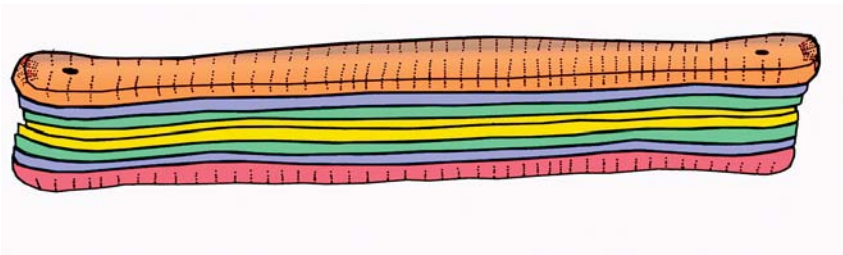
Среди всех одноклеточных организмов, создающих неорганические структуры микро- и наноразмера, диатомовые водоросли отличаются особым многообразием форм. По типу симметрии панцирей диатомеи делятся на три основные группы: центрические с радиальной и биполярной симметрией (самая древняя группа) и пеннатные с билатеральной симметрией. Пеннатные, в свою очередь, подразделяются на шовные и бесшовные по наличию или отсутствию щели на створке

et al., 2009; Sheppard *et al.*, 2012). Недавно была показана возможность их применения для целевой доставки плохо растворимых в воде лекарственных препаратов, например, антираковых (Delalat *et al.*, 2015).

Панцири диатомей являются и объектом трибологии – науки, исследующей контактные взаимодействия твердых деформируемых тел при их относительном перемещении. При этом особое внимание привлекают способы объединения клеток водорослей в колонии с помощью соединительных кремнеземных конструкций и адгезивных веществ, которые они выделяют (Кроуфорд, Гибшубер, 2006, Gebeshuber, 2007). Диатомеи могли бы стать и экономичной заменой таких нанотехнологий, как планарная литография, которая используется для создания «плоских» полупроводниковых приборов, интегральных микросхем, а также некоторых сверхпроводниковых наноструктур. Один из этапов этой технологии – формирование в чувствительном слое на поверхности подложки рельефного рисунка, повторяющего топологию микросхемы. Вот если бы диатомею можно было «заказать» конкретный рисунок!

Диатомеи с разными типами симметрии панцирей:

- а – центрическая диатомея *Stephanodiscus* sp. с радиальной симметрией;
- б – пеннатная бесшовная диатомея *Fragilaria vausheriae* var. *capucina* с билатеральной симметрией;
- в – пеннатная шовная диатомея *Achnanidium sibiricum* с билатеральной симметрией



вались вещества, ингибирующие работу микротрубочек (колхицин, люмиколхицин, оризалин и др.), водоросли формировали створки с разнообразными аномалиями.

В отделе ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН была впервые в мире исследована роль цитоскелета в морфогенезе створки на синхронизированной культуре диатомовых

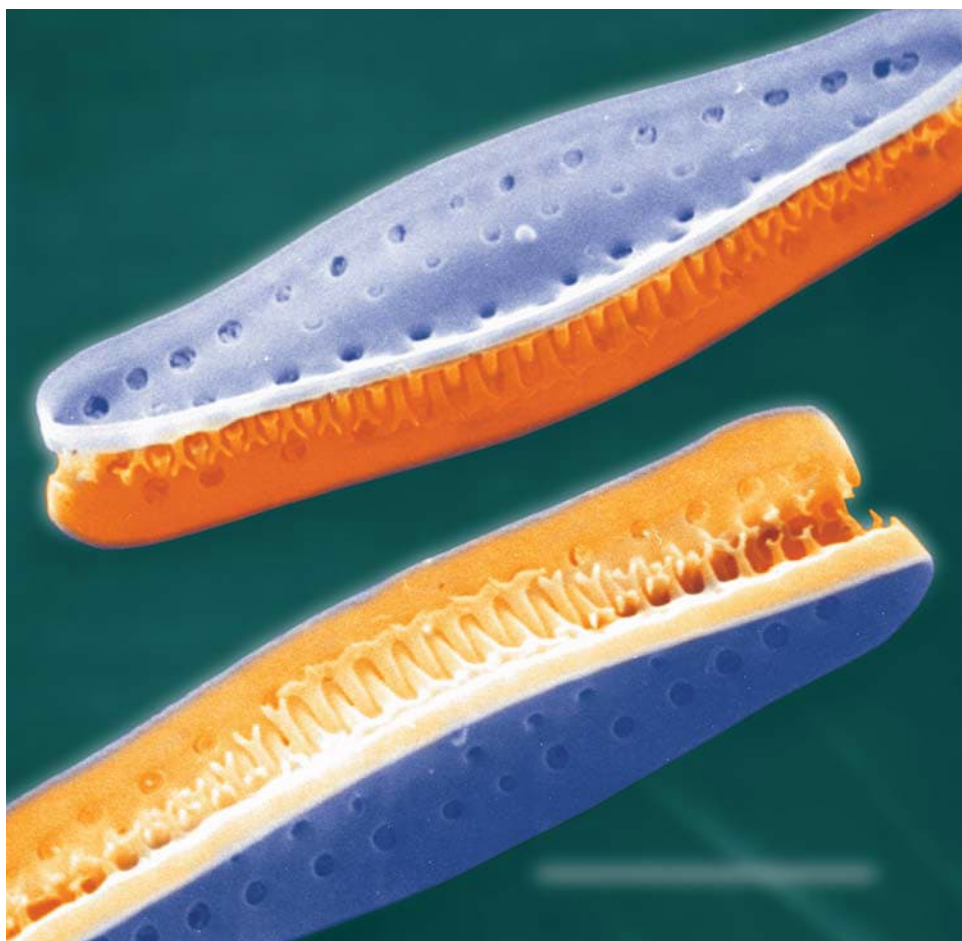
Панцирь диатомеи состоит из двух перекрывающихся створок, соединенных друг с другом подобно мыльнице с помощью системы поясковых ободков

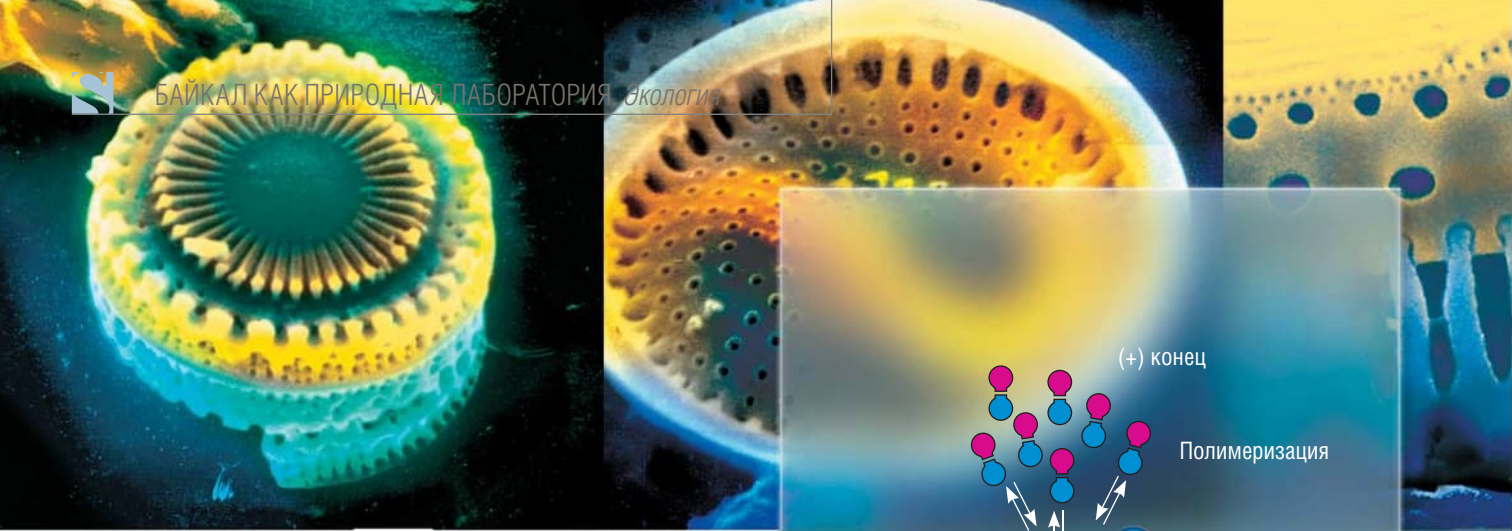
Пары соединенных створок сестринских клеток *Cymatoseira*. Фото Р. М. Кроуфорд, И. Гибшубер

Эта мечта волнует многих – ее реализация могла бы стать основой принципиально новых биотехнологических производств. Однако несмотря на всю возможную пользу и экономическую выгоду, мы еще далеки от полного понимания генетических и клеточных процессов, лежащих в основе морфогенеза кремнеземного панциря диатомей, хотя эти исследования ведутся с середины прошлого века.

Ключевое звено – микротрубочки

Кремнистая створка диатомовых водорослей формируется в специализированной внутриклеточной органелле – везикуле отложения кремнезема, окруженной специфической мембраной – силикалеммой. На сегодня известно, что важную роль в формировании створки играет цитоскелет, в частности, микротрубочки, которые у некоторых видов диатомей удалось визуализировать с помощью флуоресцентной и конфокальной микроскопии. В экспериментах, где использо-





водорослей, где все клетки находятся на одной и той же стадии клеточного цикла. Добиться синхронизации клеточных культур диатомей сравнительно несложно: для этого достаточно содержать их некоторое время в бескремниевой среде. Клетки сначала будут усиленно тратить свой запасенный кремний на построение панциря, а как только он весь израсходуется, они перестанут делиться и остановятся на определенной стадии жизненного цикла. При добавлении кремния в среду клетки вновь начинают процесс формирования новых створок и деления.

«Подопытной» стала диатомея *Synedra acus* subsp. *radians* – эта водоросль в течение нескольких лет служит в ЛИН СО РАН модельным объектом при изучении всех аспектов морфогенеза створки и хорошо размножается в лабораторной культуре. В экспериментах использовались два ингибитора работы микротрубочек с разным механизмом действия – колхицин и, впервые, паклитаксел. Колхицин блокирует сборку новых микротрубочек, связываясь с их растущими концами. Микротрубочки, которые подверглись деполимеризации, уже не могут восстановиться и вскоре разрушаются; при удалении колхицина из среды они восстанавливаются. Паклитаксел, напротив, блокирует деполимеризацию микротрубочек, связываясь с белком β -тубулином, что вызывает образование пучков микротрубочек.

Эксперименты на синхронизированной культуре синедры показали, что добавление колхицина в определенный момент морфогенеза позволяет получить новые кремнеземные формы с определенной структурой (Kharitonenko *et al.*, 2015). Так, самое большое количество створок с неравномерными и непараллельными

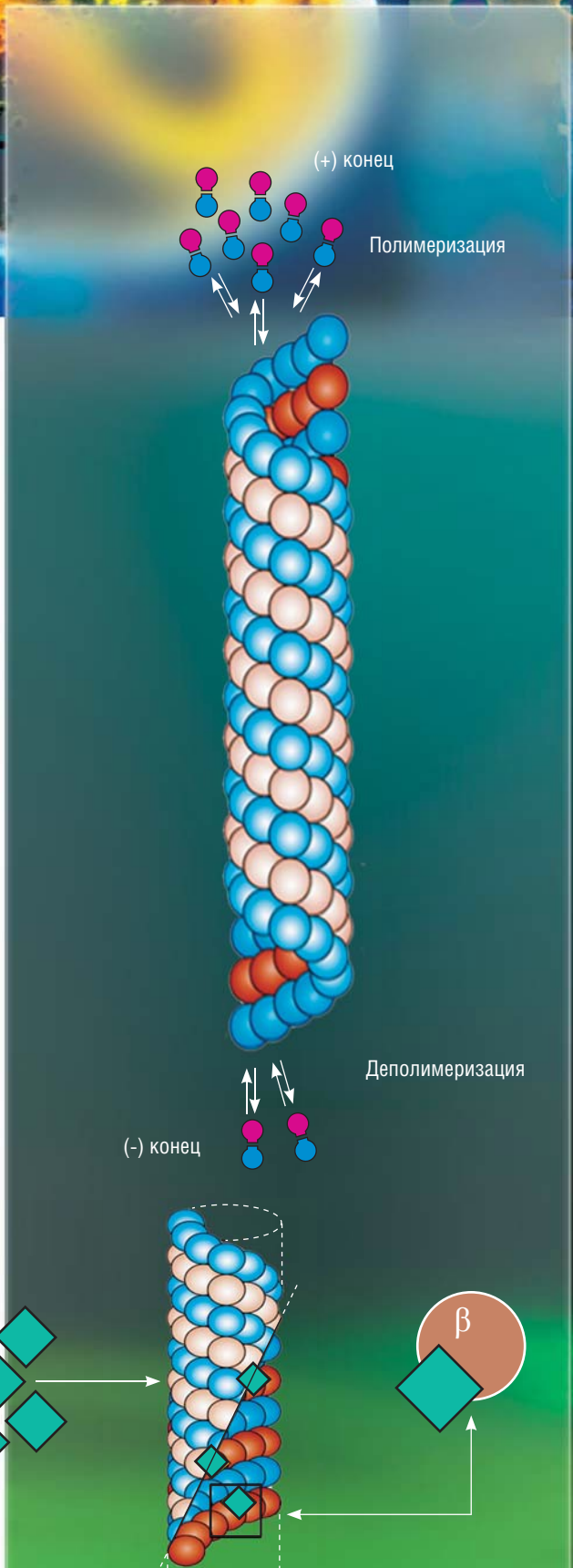
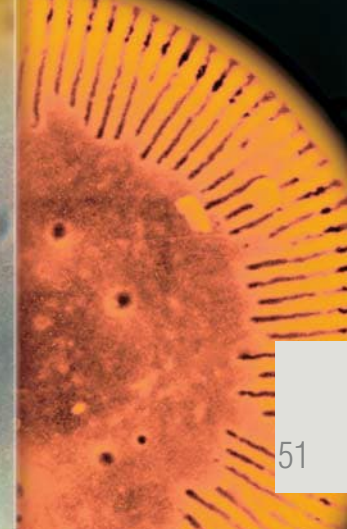
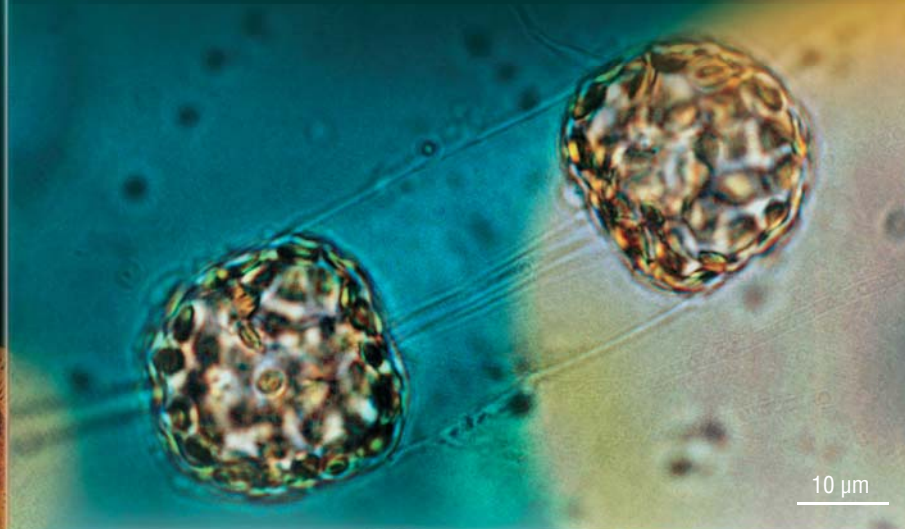
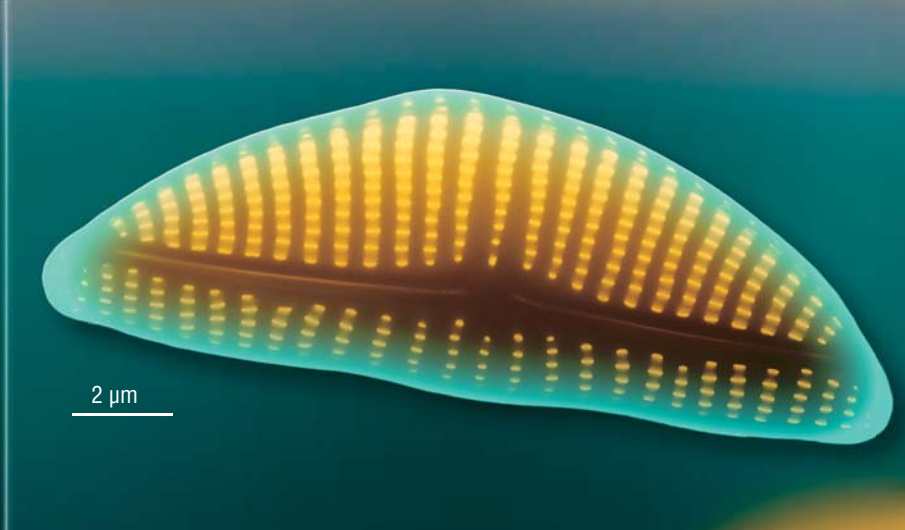
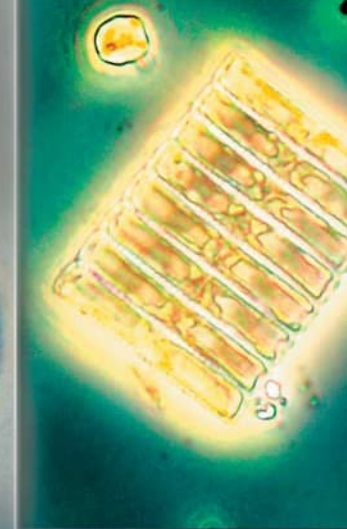
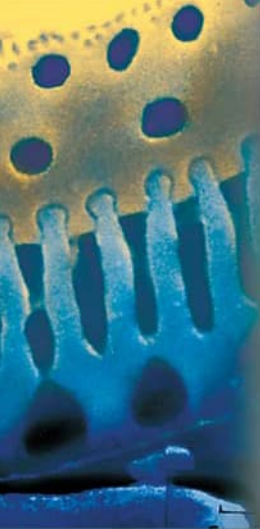
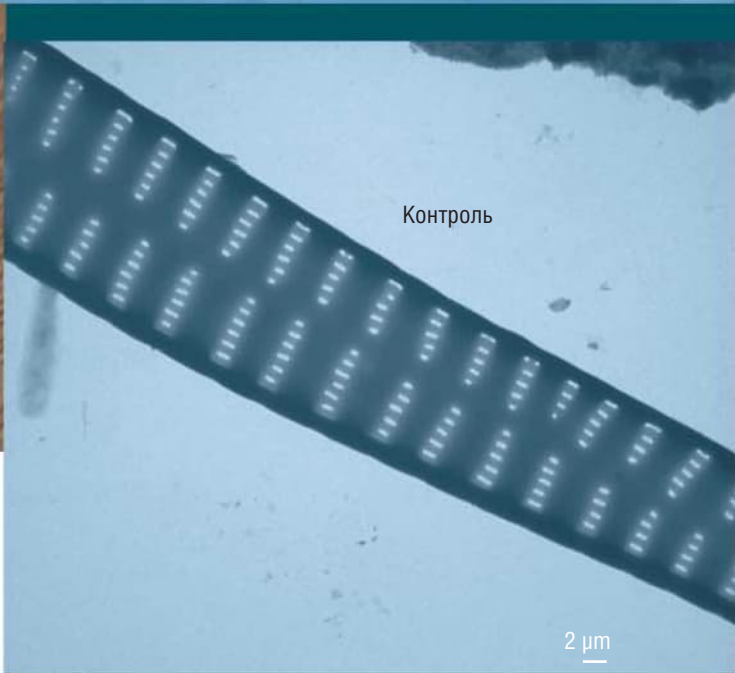
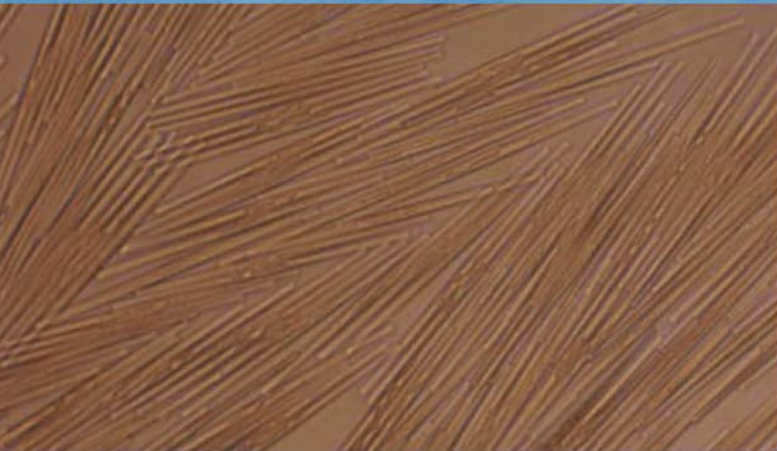
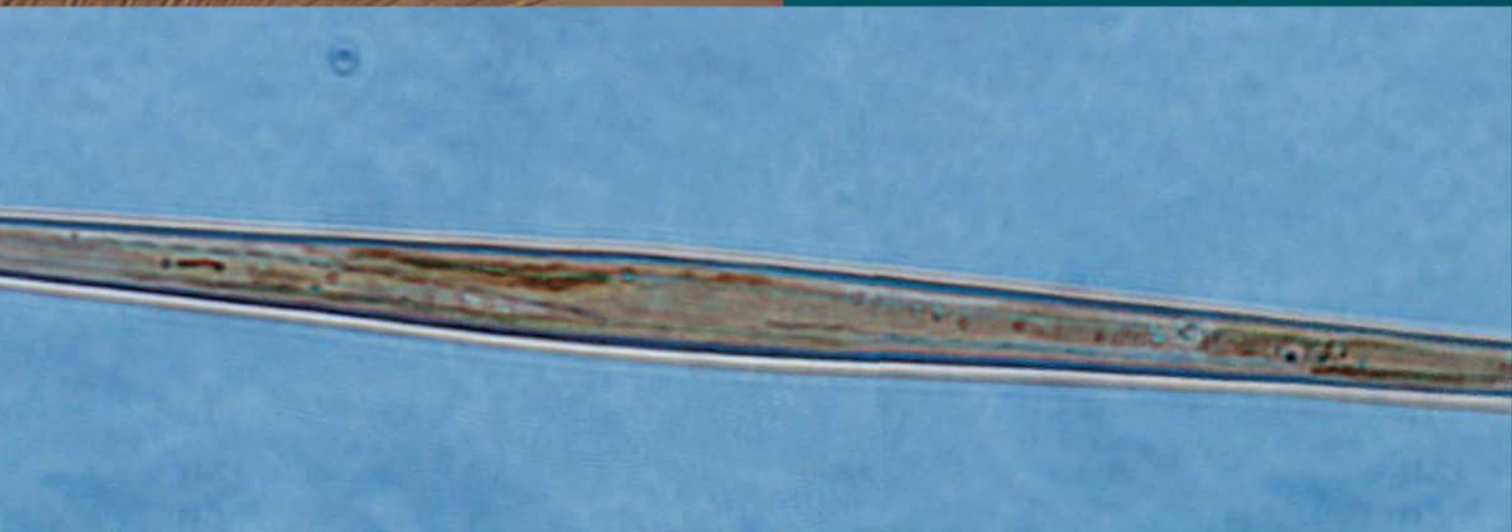


Схема работы микротрубочек и паклитаксела.
По: (Dumontet, Jordan, 2010)





Диатомовая водоросль *Synedra acus*.
Световая микроскопия

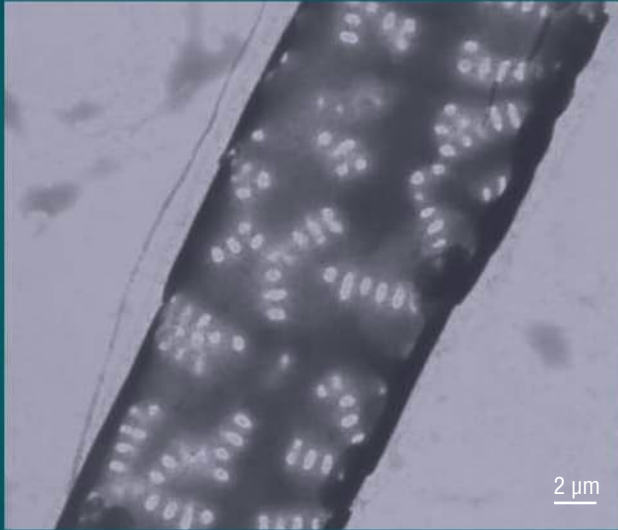
В синхронизированной культуре клеток пеннатной бесшовной диатомовой водоросли *Synedra acus* при добавлении колхицина и паклитаксела увеличивается доля клеток с различными аномалиями строения кремнеземного панциря. В случае паклитаксела наблюдаются и такие редкие аномалии, как крупные отверстия в створке. Просвечивающая и сканирующая электронная микроскопия

рядами ареол (отверстий) встречается при добавлении колхицина через 1,5 часа после начала морфогенеза створки, а самое большое количество искривленных створок – через 0,5 часа. Самое интересное – створки без ареол появляются, только если добавить колхицин через 2,5 часа после начала морфогенеза! Это справедливо и в отношении паклитаксела, причем при использовании обоих этих ингибиторов доля створок с аномалиями и характер изменений их морфологии

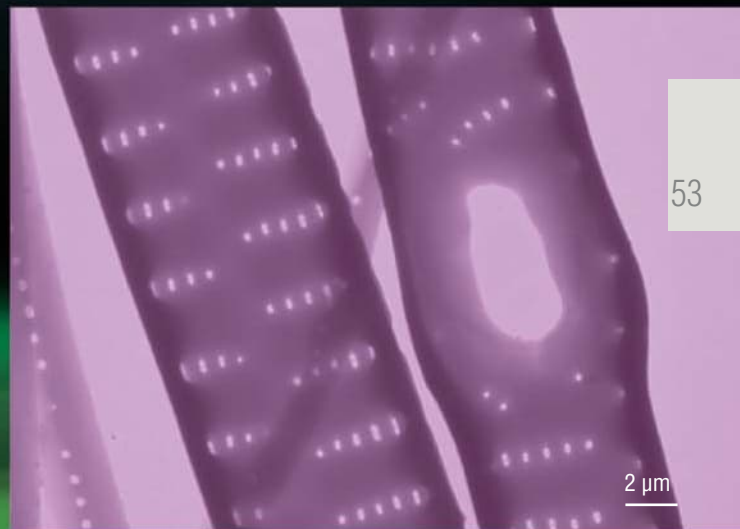
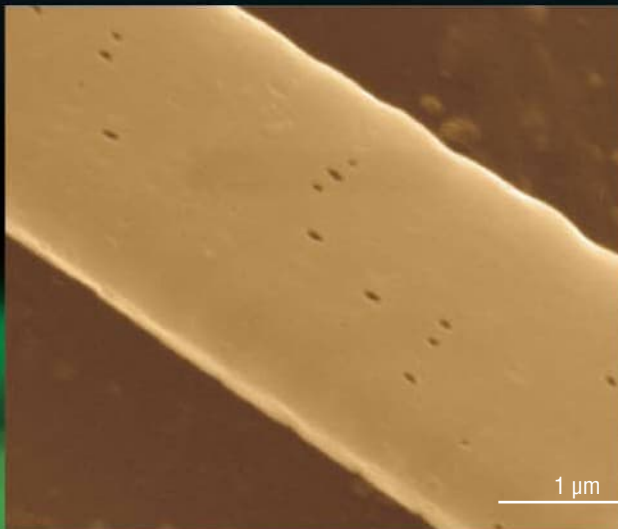
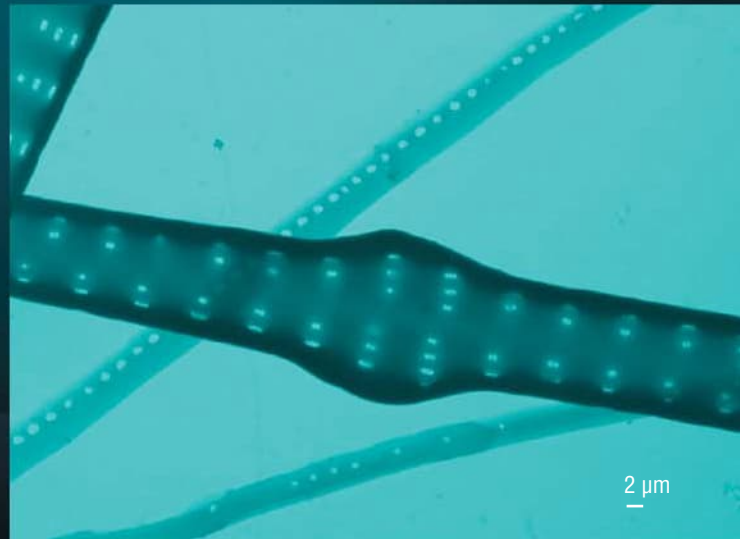
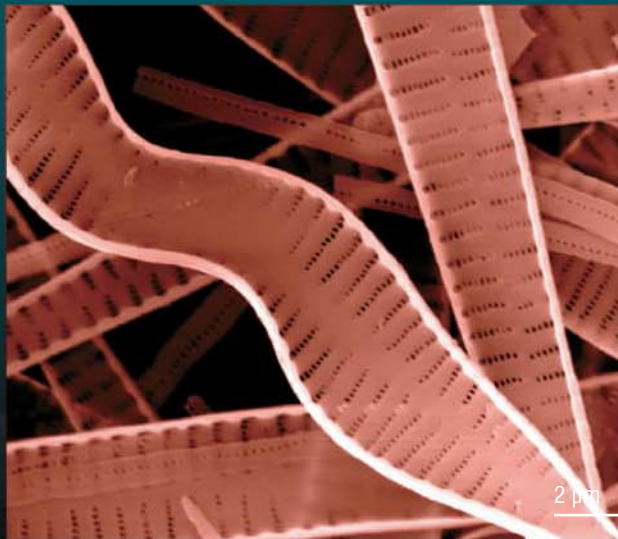
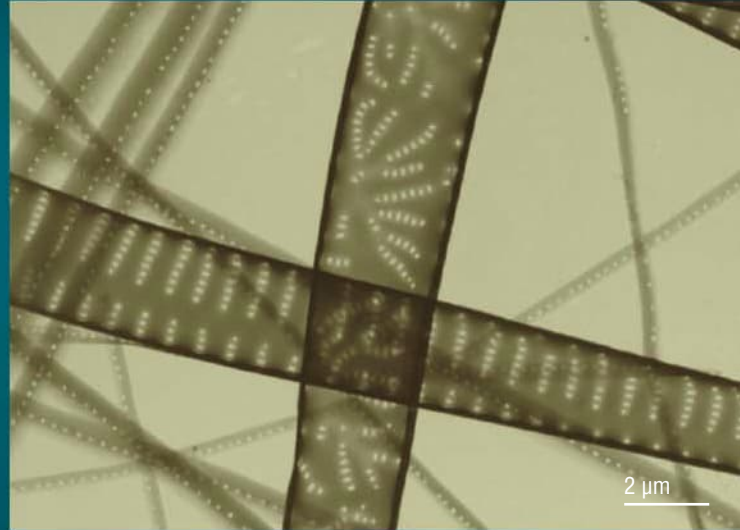
зависит от стадии морфогенеза, на которой ингибиторы добавляют в среду с культурой водоросли.

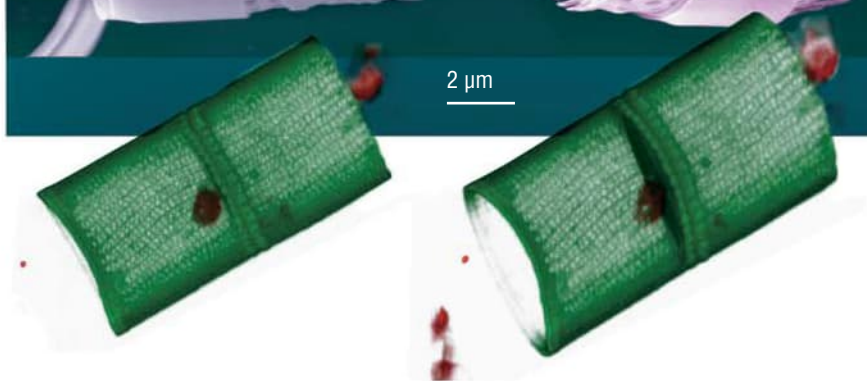
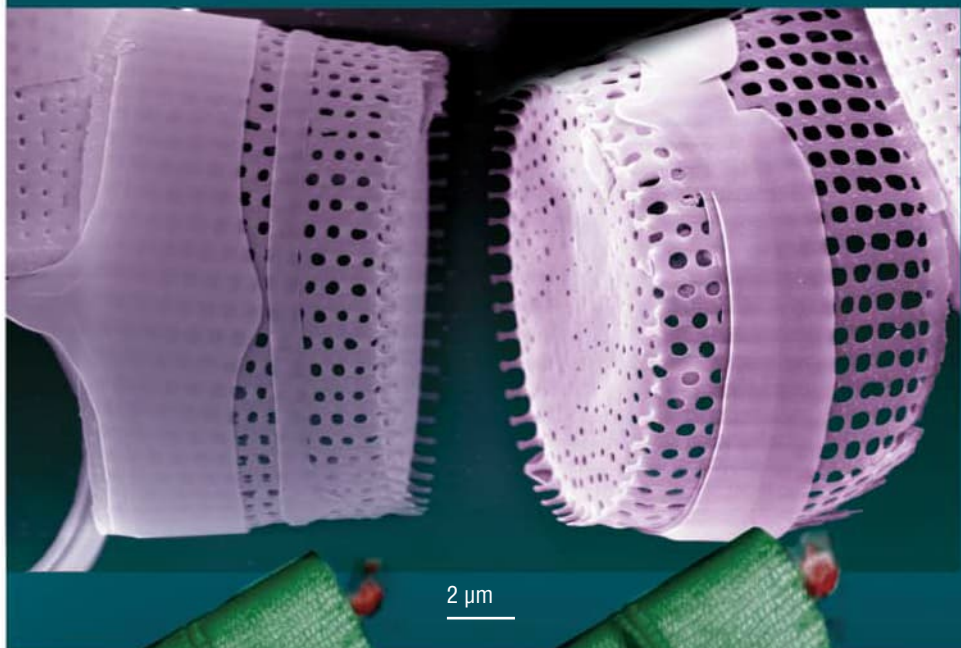
Однако воздействие паклитаксела приводит к появлению и таких аномалий в строении створки, которые не наблюдаются в случае применения колхицина. Среди них – крупные отверстия в створке (единичные случаи), а также расширение створки, довольно часто встречающееся при использовании паклитаксела на начальных стадиях морфогенеза.

Synedra acus при добавлении колхицина



Synedra acus при добавлении паклитаксела





Как из «стаканчика» сделать «трубочку»

Сотруднице ЛИН СО РАН Надежде Волокитиной удалось выделить в лабораторную культуру еще один вид диатомовых водорослей – *Aulacoseira islandica*, доминирующий в байкальском фитопланктоне в определенные сезоны. Морфогенез этой диатомеи, в отличие от синедры, сравнительно мало изучен. У представителей рода *Aulacoseira* створка благодаря своему необычайно высокому загибу напоминает «микростаканчик», а клетки в колониях прочно скреплены особыми соединительными шипами.

Поскольку этот вид имеет тонкий панцирь, который сминается и разрывается при манипуляциях, при оценке воздействия ингибиторов на его морфогенез было решено использовать специальный флуоресцентный краситель, который встраивается в формирующиеся створки и позволяет наблюдать за результатом экспериментального воздействия в конфокальный микроскоп.

С помощью этой технологии удалось показать, что в присутствии колхицина в культуре появляются сросшиеся дочерние створки без перегородки, т.е. «микростаканчики» превращаются в «микротрубочки». Таким образом, если клетке на определенной стадии морфогенеза помешать соорудить «доннышко» (лицевую часть створки), то она впоследствии продолжит строить загиб створки по запрограммированному сценарию, как если бы строители по какой-то причине не построили фундамент здания, а следующая бригада продолжила возведение стен или крыши.

Слева: нормальные «стаканчики» – очищенные кремнеземные створки *A. islandica*. Сканирующая электронная микроскопия

Справа: живая колония *A. islandica* из лабораторной культуры. Световая микроскопия



В культуре клеток центрической диатомовой водоросли *Aulacoseira islandica* при добавлении колхицина появляются сросшиеся дочерние створки, их кремнеземный панцирь приобретает вид «микротрубочки» вместо типичного для этого вида «микростаканчика». На фото: 3D-изображение нормальной створки *Aulacoseira islandica* (вверху) и створки без лицевой части (слева). Конфокальная микроскопия

Сегодняшние исследования механизмов формирования створок у диатомовых водорослей позволят в будущем использовать эти кремниевые бионанотехнологии на благо человечества, хотя сейчас мы находимся лишь в самом начале этого длинного пути. Не исключено, что дальнейшее изучение регуляции работы микротрубочек цитоскелета диатомей на клеточном и генетическом уровнях даст возможность получать культуры мутантных водорослей и «по заказу» создавать кремнеземные структуры с нужными характеристиками.

В публикации использованы фото авторов

Литература

- Кроуфорд Р.М. Губшубер И. Мини-наноинженеры // НАУКА из первых рук. 2006. № 4 (10). С. 48–54
- Delalat B., Sheppard V. C., Ghaemi S. R. et al. Targeted drug delivery using genetically engineered diatom biosilica // *Nature Communications*. 2015. N. 6.
- Dumontet C., Jordan M.A. Microtubule-binding agents: a dynamic field of cancer therapeutics // *Nat. Rev. Drug Discov*. 2010. V. 9 P. 790–803.
- Gale D.K., Gutu T., Jiao J., Chang C.-H., Rorrer G.L. Photoluminescence detection of biomolecules by antibody-functionalized diatom biosilica. *Advanced Functional Materials*. 2009. V. 19. P. 926–933.
- Gebeshuber I. Biotribology inspires new technologies // *Nano today*. 2007. V. 2 N. 5. P. 30–37.
- Gordon, R. & B.D. Aguda. Diatom morphogenesis: natural fractal fabrication of a complex microstructure // Harris, G. & C. Walker, *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Part 1/4: Cardiology and Imaging*, 4–7 Nov. 1988, New Orleans, LA, USA, New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers. 1988. V. 10. P. 273–274.
- Grachev M.A., Annenkov V. V., Likhoshvay Ye. V. (2008) Silicon nanotechnologies of pigmented heterokonts // *BioEssays*. 2008. V. 30. P. 328–337.
- Sheppard V. C., Scheffel A., Poulsen N., Kröger N. Live diatom silica immobilization of multimeric and redox-active enzymes // *Appl Environ Microbiol*. 2012. V. 78 N. 1. P. 211–218.



ЗАЧЕМ «ЧИТАТЬ» ГЕНОМ *Synedra acus*

Диатомовая водоросль *Synedra acus*, обитающая в Байкале, – один из основных исследовательских объектов молекулярных биологов ЛИН СО РАН.
Фото Н. Волокитиной



В 2015 г. наша исследовательская группа из Лимнологического института СО РАН опубликовала расшифрованный геном диатомовой водоросли *Synedra acus*, обитающей в Байкале. И хотя сейчас «прочитать» геном живого организма гораздо проще и дешевле, чем лет десять назад, эта работа по-прежнему требует сложного оборудования и дорогостоящих реактивов. Почему же ученые из ЛИНа взялись за этот масштабный проект, и почему именно диатомовая водоросль была выбрана в качестве объекта исследования?

Диатомовые водоросли представляют большой интерес для ученых из самых разных областей науки. Благодаря своей многочисленности, разнообразию и широкому распространению – от океанов и озер до торфяных болот и антарктических льдов – диатомеи обеспечивают до 20 % первичной продукции биосферы Земли, к тому же клетки этих водорослей заключены в кремнеземные створки сложной наноразмерной структуры, хорошо сохраняющиеся в геологических отложениях. Тем не менее на данный момент опубликованы геномы всего шести видов диатомей, включая нашу синедру, а это очень мало для такой огромной группы (Armbrust *et al.*, 2004; Bowler *et al.*, 2008; Tanaka *et al.*, 2015; Галачьянц и др. 2015).

МОРОЗОВ Алексей Анатольевич – аспирант и ведущий инженер группы биоинформатики отдела ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 4 научных работ

Диатомеи обеспечивают до 20% первичной продукции биосферы Земли. Это значит, что один из каждых пяти атомов углерода, вовлеченных в биологический круговорот, был ассимилирован из атмосферной углекислоты именно клеткой диатомовой водоросли

Ключевые слова: диатомеи, геномика, филогеномика, эволюция, Синедра.

Keywords: diatoms, genomics, phylogenomics, evolution, Synedra

© А. А. Морозов, 2016

К примеру, в близкой к диатомеям группе оомицетов – сходных с грибами организмов с многоядерным мицелием, у одного только рода фитофтора было отсекунено четыре вида из сотни. Дело в том, что фитофторы – это печально известные патогены культурных растений, и если анализ их генома позволит разработать более эффективные методы борьбы с ними, то потраченные на это средства тут же окупятся стократно. Диатомеи же до последнего времени интересовали преимущественно фундаментальную науку. С другой стороны, если ученым удастся «реконструировать» механизмы формирования кремнеземных створок, это станет настоящим прорывом в нанотехнологиях, но не раньше, чем исследования будут завершены. Сейчас же геномикой диатомей во всем мире занимается меньше десятка лабораторий.

Геном как ключ к эволюции диатомей

Секвенирование генома позволяет решать ряд важных задач, которые нельзя или затруднительно решить с помощью других методов исследования, таких как микроскопия или биохимический анализ.

Во-первых, благодаря знанию генетической информации становится гораздо проще искать белки, отвечающие за те или иные функции (Галачянц и др., 2015). После завершения геномного проекта у исследователя имеется несколько десятков тысяч «прочтенных» генов и, соответственно, предсказанных белков. Часть этих генов может быть опознана сразу, потому что аналогичные им уже были изучены и описаны у других организмов. Для остальных можно, по крайней мере, оценить массу белков, которые они кодируют, а также провести поиск «родственников» в других геномах. Также несложно выяснить, является ли искомый белок трансмембранным или нет, и в какую клеточную органеллу он направится после синтеза. А при наличии транскриптомов (совокупности всех «считанных» с генов нуклеотидных последовательностей, включая мРНК и некодирующие РНК, которые клетка синтезирует в тот или иной период времени) можно узнать, при каких обстоятельствах экспрессируется, т. е. начинает работать тот или иной ген.

Нашу группу в первую очередь интересуют гены, вовлеченные в метаболизм кремния, в то время как основная цель, например, группы японского исследователя Т. Танаки, «прочитавшей» геном *Fistulifera solaris*, состояла в использовании этой морской диатомовой водоросли в качестве продуцента биотоплива (Тапака *et al.*, 2015).

Во-вторых, лишь при наличии полных геномов (именно во множественном числе!) можно изучать

«После гибели диатомей их пустые прочные кремнистые створки прекрасно сохраняются в осадках. Причем зачастую неповрежденными остаются даже мельчайшие элементы структуры ископаемых стенок диатомей, что позволяет идентифицировать их до вида спустя миллионы лет.

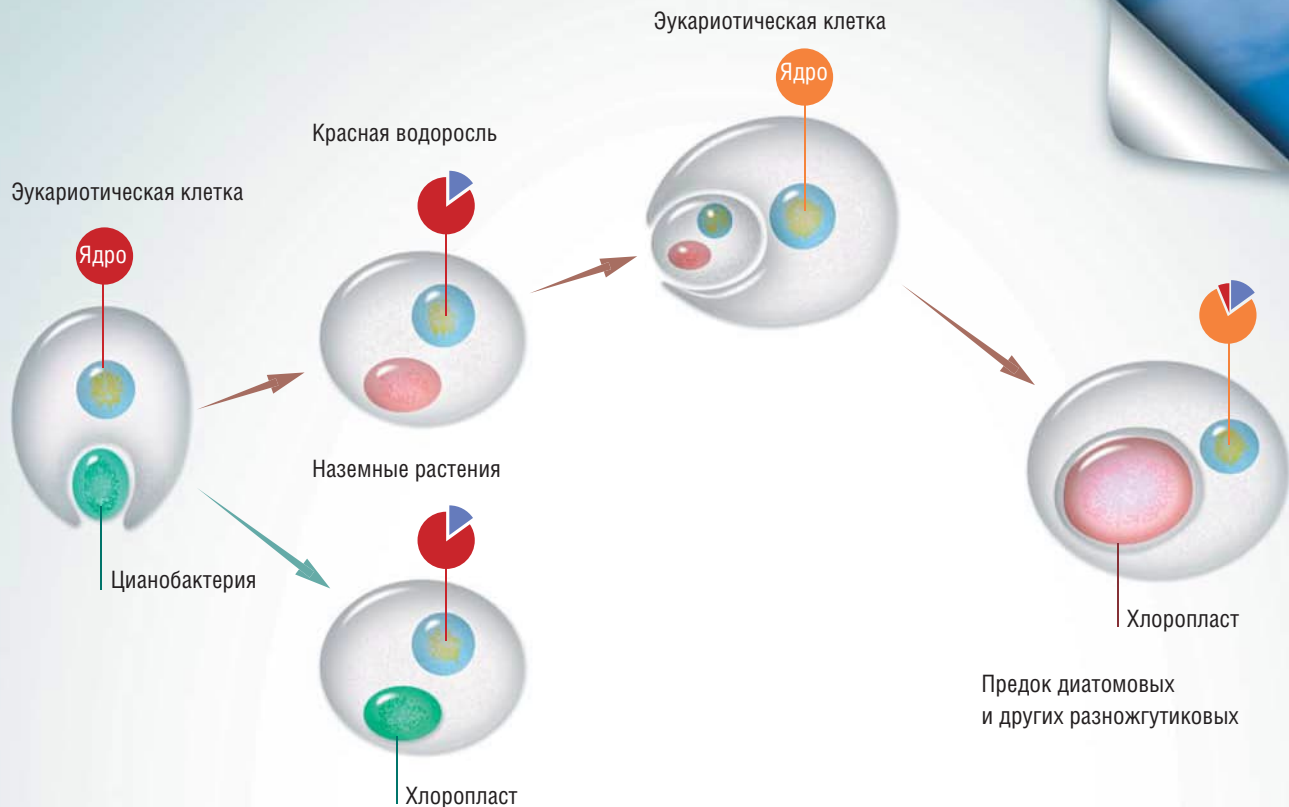
С помощью метода молекулярных часов удалось установить, что диатомовые водоросли появились около 230 млн лет назад. Вероятно, первые диатомеи были обнаженными жгутиковыми клетками (в настоящее время их относят к Heterokonta – разножгутиковым, так как на некоторых стадиях жизненного цикла они имеют один жгутик с тончайшими волосками).

Самые ранние отложения диатомей были найдены в Корее, в осадках, сформировавшихся на суше. Была высказана гипотеза, что океан, отступивший около 230 млн лет назад, оставил за собой лужи, где и обитали жгутиковые диатомеи. Они стали использовать кремнезем, тормозящий процесс старения, чтобы пережить в стадии покоя неблагоприятные условия.

Древние диатомеи потребляли так много кремнезема, что он начал осажаться в клетках, по-видимому, сначала в виде маленьких чешуек, которые выдавливались из клеток и создавали вокруг них защитную оболочку, препятствующую обезвоживанию при высыхании мелководных водоемов» (Медлин, Симс, 2006, с. 28)

некоторые аспекты эволюции, которая у группы водорослей-гетероконтов, к которым относятся диатомеи, очень интригующая.

На сегодня считается доказанным, что хлоропласты растений, в которых происходит фотосинтез, обязаны своим происхождением эндосимбиозу: некогда клетка цианобактерии была поглощена эукариотической клеткой, но не переварилась, а стала функционировать внутри хозяина, постепенно упростившись до вида современной внутриклеточной органеллы. При этом большая часть генов эндосимбионта была перенесена в геном хозяина. Что же касается гетероконтов и, в частности, диатомовых водорослей, то предполагается, что их предки проглотили, в свою очередь, уже эукариотическую красную водоросль вместе с ее хлоропластом. Подтверждением этой теории служит наличие четырех (вместо обычных двух) мембран, окружающих хлоропласты диатомовых, а также открытие в их геноме свыше 170 генов красных водорослей (Bowler *et al.*, 2008). Именно поэтому в геномах диатомей присутствуют гены, восходящие к участникам обоих эндосимбиозов. Кроме того, в них были обнаружены гены различных прокариот (протеобактерий, архей и др.), попавшие путем так называемого горизонтального переноса, а также большое количество уникальных генов, аналогов которым нет у других живых организмов.



Последние генетические данные свидетельствуют в пользу гипотезы, что диатомеи, наряду с другими водорослями из группы *Heteroconta*, появились около 1 млрд лет назад в результате симбиоза нефотосинтезирующего одноклеточного эукариотического организма с одноклеточной красной водорослью, чей фотосинтезирующий орган (хлоропласт) напрямую произошел от симбиотических цианобактерий

Чтобы установить историю отдельного гена, достаточно отсекут один лишь этот ген для определенной выборки организмов, что гораздо быстрее и дешевле секвенирования полного генома и позволяет включить в анализ гораздо больше видов. Но реконструкция сложных эволюционных событий требует изучения истории всех генов у всех представителей группы, и эту информацию могут дать только полные геномные исследования.

В нашем случае выбор объекта исследования был связан в первую очередь с тем, что *Synedra acus* является пресноводным видом. И тот факт, что она извлекает необходимое ей количество кремния даже из байкальской воды, известной своей низкой минерализацией, делает синедру идеальным кандидатом для исследования механизмов импорта этого элемента, а также других адаптаций к пресноводному образу жизни. Во-вторых, эта водоросль стала первым секвенированным представителем крупной группы бесшовных пенинатных диатомей, что открывает возможность проследить историю формирования тех или иных молекулярных механизмов и особенностей генома среди разных таксонов диатомовых.

Наша работа с геномом синедры не заканчивается публикацией результатов секвенирования. Уже получены многообещающие данные о структуре отдельных генов, участвующих в метаболизме кремния, и ведутся исследования соответствующих белков. В планах – получение транскриптома, что позволит оценить экспрессию интересующих нас генов и расширить знания об их регуляции.

Литература

Галачянц Ю.П. и др. Определение нуклеотидной последовательности полного генома бесшовной пенинатной диатомеи *Synedra acus* subsp. *Radians* из озера Байкал // Докл. РАН. 2015. Т. 461 № (3). С. 348–352.

Armbrust E. V. et al. *The Genome of the Diatom Thalassiosira pseudonana: Ecology, Evolution and Metabolism* // *Science*. 2004. Vol. 306 (5693). P. 79–86.

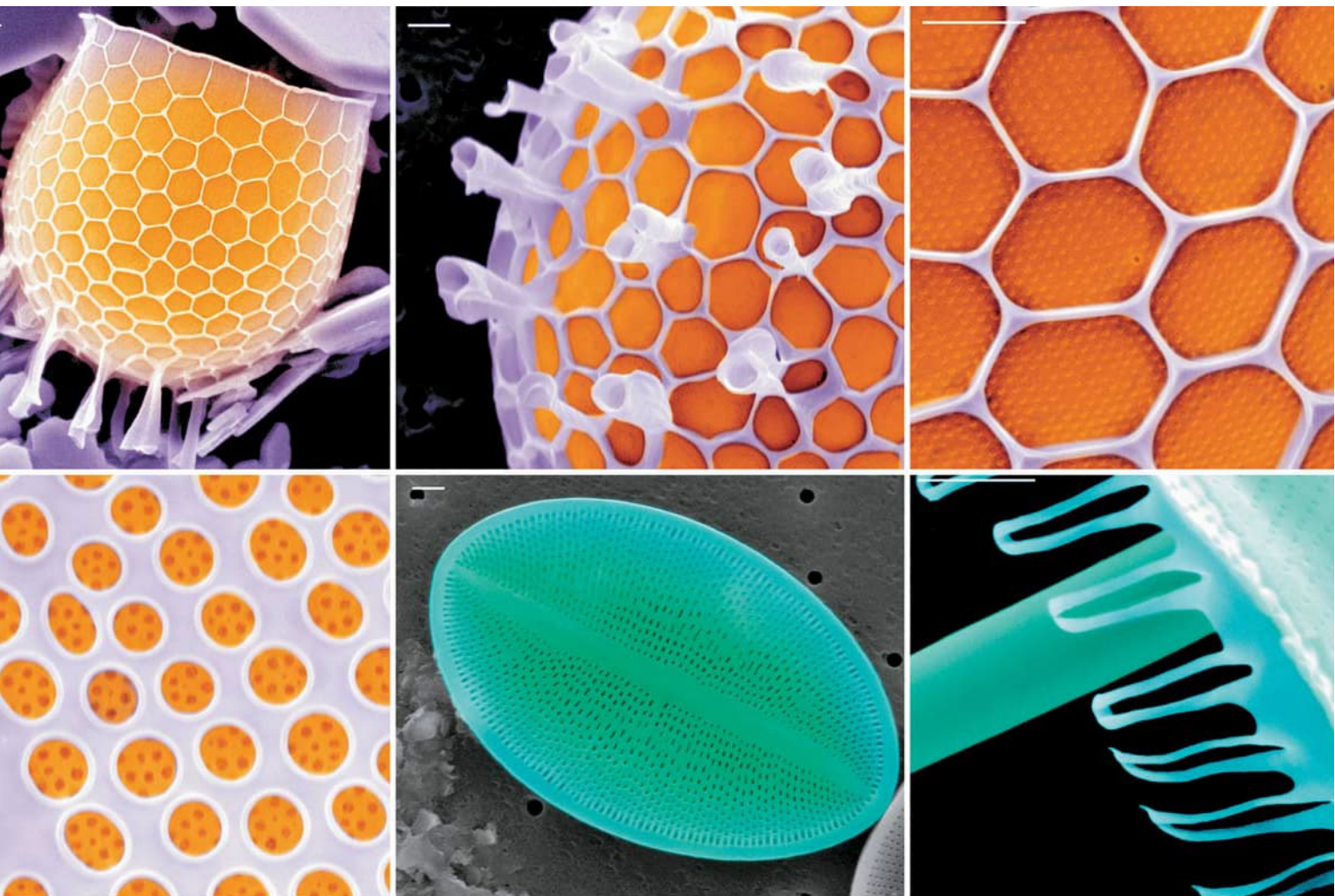
Bhattacharya D., Qui H., Price D. C. *Why we need more algal genomes.* // *J. Phycol.* 2015. Vol. 51 N.(5). P. 1–5.

Bowler C. et al. *The Phaeodactylum genome reveals the evolutionary history of diatom genomes* // *Nature*. 2008. 456: 239–244.

Tanaka T. et al. *Oil accumulation by the Oleaginous Diatom *Fistulifera Solaris* as Revealed by the Genome and Transcriptome* // *The Plant Cell*. 2015. Vol. 27 N.(1). P. 162–176

БЕЛКИ-ТРАНСПОРТЕРЫ КРЕМНИЯ: ДОЛГИЙ ПУТЬ К ОТКРЫТИЮ

«Единственный способ определить границы
возможного – выйти за эти границы».
Артур Кларк



Ключевые слова: Байкал, диатомовые водоросли, белки транспорта кремния, биосилификация, кластер генов.

Key words: Baikal, diatoms, silicon transporters, biosilicification, cluster of genes

Кремнеземные панцири диатомей. Сканирующий электронный микроскоп.

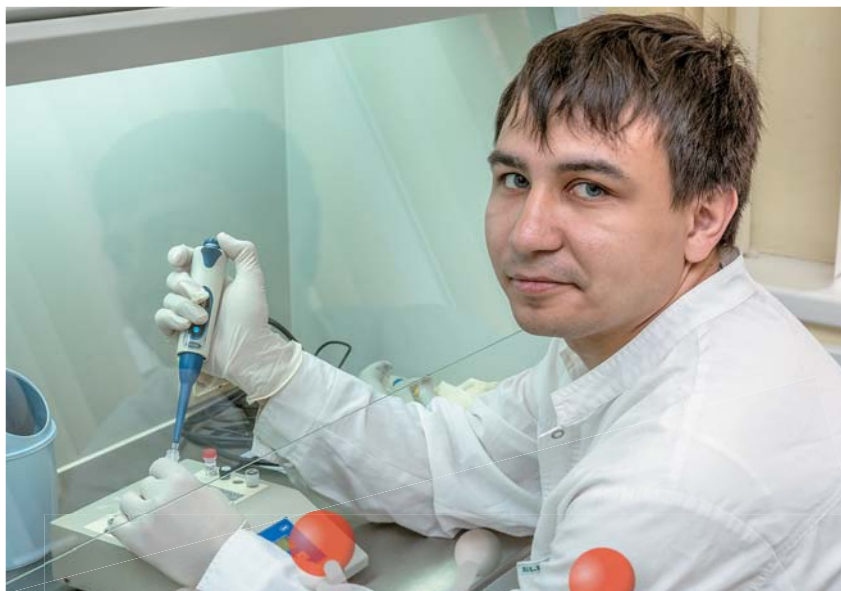
Масштаб: 2 мкм.

Фото К. Таматраколын,
М. Хильдебранд

ПЕТРОВА Дарья Петровна – кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 18 научных работ



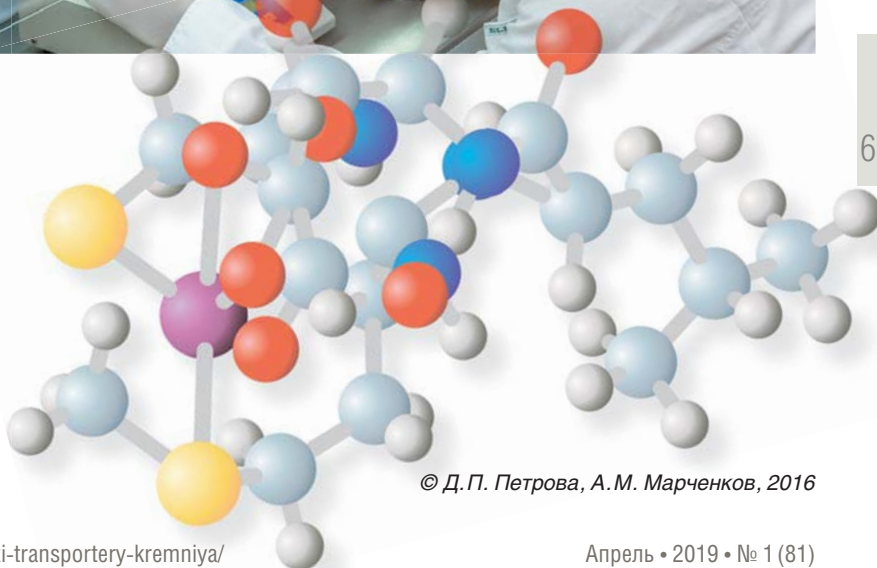
МАРЧЕНКОВ Артем Михайлович – аспирант и ведущий инженер отдела ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск). Автор и соавтор 2 научных работ



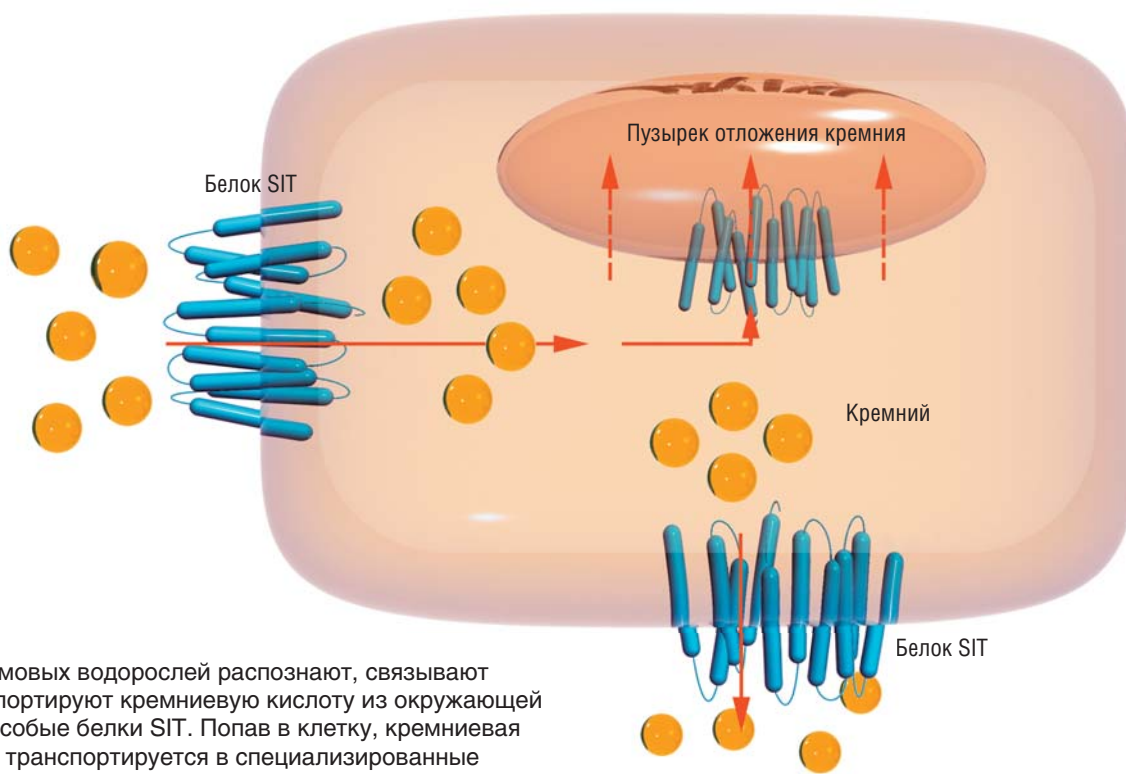
Поразительной красоты и прочности панцири диатомовых водорослей – впечатляющий пример микро- и наноструктурированного природного материала. Несмотря на то что эти удивительные микроводоросли известны еще с XVIII в., современные молекулярные биологи пока не обладают полными данными о том, как диатомеи преобразуют информацию, закодированную в геномах, в эти сложные кремнистые конструкции.

В том числе недостаточно изучены и такие базовые этапы процесса формирования элементов панциря водорослей, как захват кремниевой кислоты из окружающей среды и перенос ее в специальные органеллы, где происходит полимеризация кремния. Говоря о кремнии, мы подразумеваем, что в действительности створка диатомей построена не из кремния, а из кремнезема ($\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), а в клетку поступает не чистый кремний, а свободная кремниевая кислота ($\text{Si}(\text{OH})_4$).

И здесь диатомовые водоросли сталкиваются с двумя проблемами: во-первых, они должны забирать кремниевую кислоту из среды про-



© Д. П. Петрова, А. М. Марченков, 2016



У диатомовых водорослей распознают, связывают и транспортируют кремниевую кислоту из окружающей среды особые белки SIT. Попав в клетку, кремниевая кислота транспортируется в специализированные везикулы, где она полимеризуется, превращаясь в створку новой клетки, которая затем выводится из клетки наружу. По: (Thamatrakoln *et al.*, 2006)

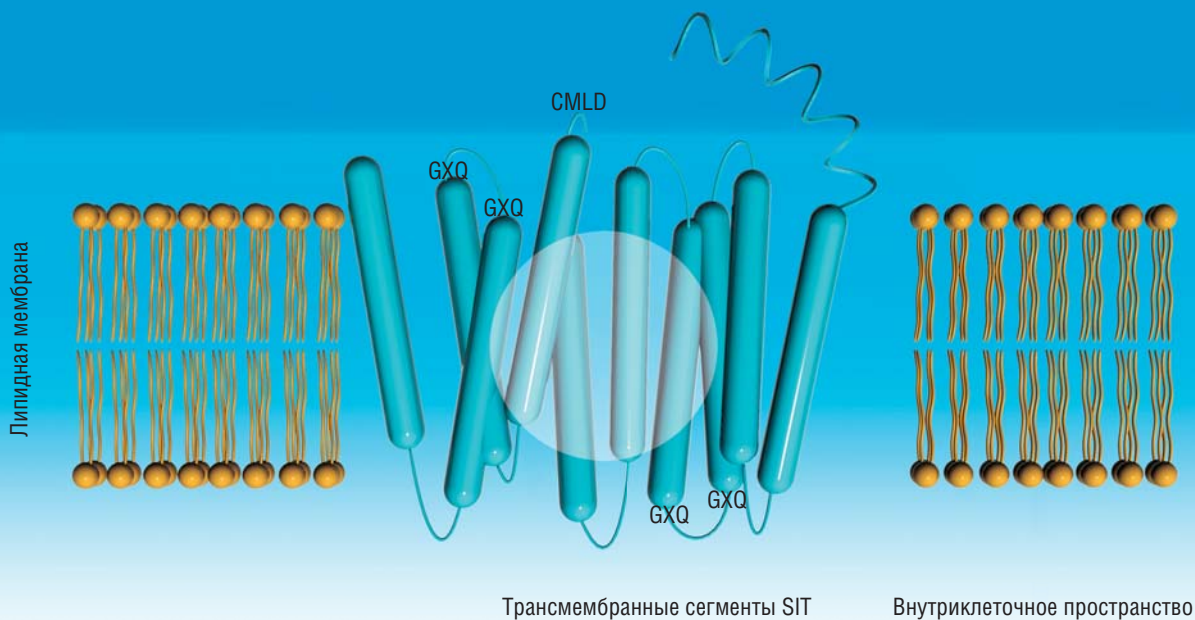
тив очень «крутого» градиента концентраций, а во-вторых, при концентрациях, превышающих 2 мМ, она начинает самопроизвольно полимеризоваться (Таматраколын, Хильдебранд, 2006). Чтобы успешно транспортировать из воды кремний, диатомеи должны связывать ее с такими органическими молекулами, как белки.

Неуловимые SIT

Первые данные о потенциальных белках-транспортерах кремния (*silicon transporters* – SITs) были опубликованы для морской диатомеи *Cylindrotheca fusiformis* в конце прошлого века (Hildebrand *et al.*, 1997). Сотрудникам Института океанографии Скриппса Калифорнийского университета (Сан-Диего, США) удалось установить нуклеотидную последовательность пяти генов, образующих близкородственное семейство. Дальнейший анализ предсказанных аминокислотных последовательностей дал основания утверждать, что эти белки являются хорошими кандидатами на роль переносчиков кремниевой кислоты (Hildebrand *et al.*, 1998).

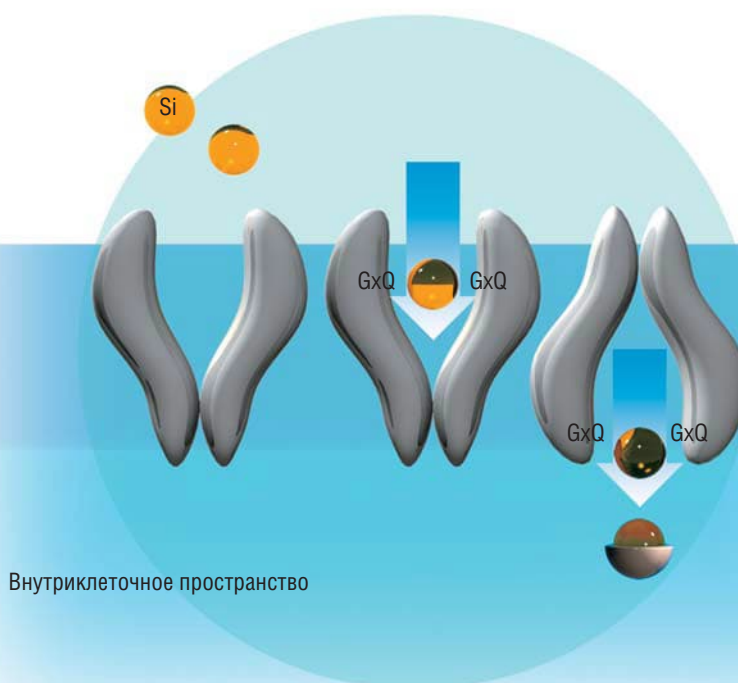
После выхода этих работ у группы ученых Лимнологического института СО РАН под руководством академика М. А. Грачева возникла идея изучить белки SIT у байкальских диатомей. В качестве основного объекта исследований был выбран обитающий в Байкале вид диатомовой водоросли рода *Synedra*, широко распространенного в пресноводных водоемах.

«Основной формой кремния в океане является кремниевая кислота (97%); остальное приходится на долю силикатов. Поскольку диатомовым водорослям, чья численность в океане очень велика, кремний жизненно необходим, именно они влияют на его концентрацию в морской воде. Согласно литературным данным, до появления диатомей и других кремнистых организмов вода в Мировом океане была просто насыщена кремнием (1,7—2,5 мМ), сегодня же его концентрация упала до 70 мкМ и ниже, а в поверхностных водах – до 1 мкМ. Концентрация же кремниевой кислоты внутри диатомовой клетки лежит в диапазоне 19—350 мМ. Таким образом, внутриклеточная концентрация кремниевой кислоты оказывается в тысячи раз выше внеклеточной!» (Таматраколын, Хильдебранд, 2006, с. 64)



Белки-транспортеры кремния SIT у диатомовых состоят из десяти пронизывающих плазматическую мембрану сегментов, соединенных гидрофильными петлями, и содержат несколько консервативных мотивов CMLD и GXQ. Белки формируют каналы для проведения кремниевой кислоты через непроницаемый для нее липидный слой мембраны.
 По: (Thamatrakoln et al., 2006)

Схема транспорта кремниевой кислоты через мембрану клетки диатомовой водоросли с помощью мотива GXQ: кислотный остаток связывается с глутамином (Q) мотивов GXQ, расположенных во фрагменте белковой молекулы, направленном во внешнюю среду, вызывая изменение формы белка SIT. В результате кремниевая кислота связывается с глутамином из внутриклеточной гидрофильной петли, и таким образом попадает внутрь клетки.
 По: (Thamatrakoln et al., 2006)



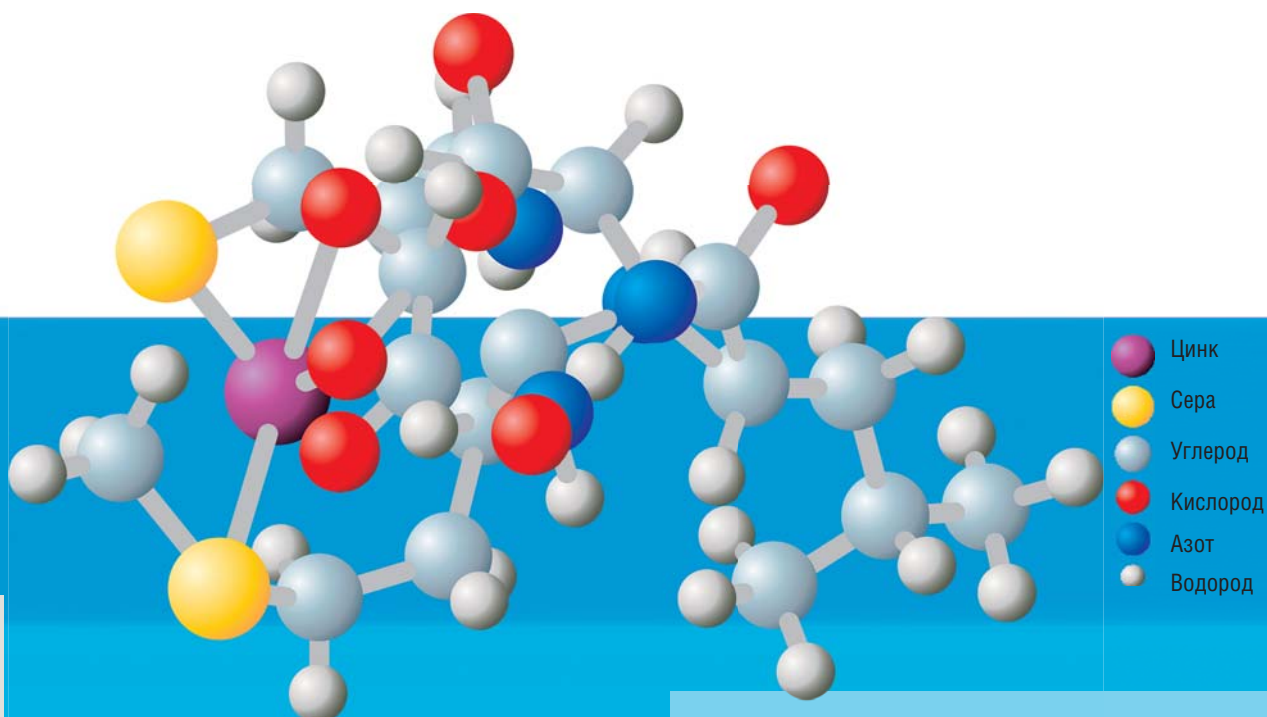
На основе сравнительного анализа аминокислотных последовательностей белков у двух видов – байкальской *S. acus* subsp. *radians* и морской *C. fusiformis*, разделенных между собой эволюционной дистанцией в несколько десятков миллионов лет, предполагалось выявить элементы, которые могли бы входить в состав активного центра этих белков. В результате внимание исследователей привлекла последовательность CMLD, представляющая собой так называемый консервативный мотив, т.е. короткую последовательность аминокислотных остатков, которая не претерпела изменений в процессе эволюции. Прилегающие к этому мотиву участки также оказались сходными у двух видов водорослей (Грачев и др., 2002). Была высказана гипотеза, что этот мотив в белках SIT связывает ион цинка, который, в свою очередь, служит акцептором кремниевой кислоты.

Позже как в ЛИН СО РАН, так и за рубежом на основе изучения генных последовательностей были получены новые данные об аминокислотных последо-

вательностях белков SIT. Их сравнительный анализ показал значительную варибельность SIT-белков, однако их гомология при этом была столь очевидна, что могла свидетельствовать о большом давлении естественного отбора в процессе адаптации водорослей к условиям среды обитания.

Следуя гипотезе происхождения диатомовых водорослей от хризофитовых, были предприняты попытки поиска генов *sit* у водорослей из этой группы, которые увенчались успехом (Лихошвай и др., 2006). Таким образом, стало ясно, что белки-транспортеры кремния имеют очень древнюю эволюционную историю, так как диатомовые водоросли появились лишь около 240 млн лет назад, а хризофитовые – 600 млн лет назад. Наличие в белках хризофитовых мотива CMLD явилось еще одним аргументом в пользу гипотезы о его важной роли в функционировании этих загадочных белков.

В 2006 г. наши американские коллеги, продолжив работу на других видах диатомей, выдвинули гипотезу о роли в транспорте кремния других консервативных



64

Так выглядит вероятная структура комплекса мотива CMLD белка транспорта кремния SIT с ионом цинка у диатомовых водорослей.

По: (Grachev *et al.*, 2005).

Рис. В. Аненкова
(ЛИН СО РАН, Иркутск)

Ученые предложили два альтернативных механизма взаимодействия кремниевой кислоты с SIT. Согласно первому из них, кислота связывается с ионом цинка в активном центре консервативного мотива CMLD, который найден не только у большинства диатомей, но и у более древних хризофитовых (Лихошвай и др., 2006). Вторая модель взаимодействия основана на изменении конформации самого белка-транспортера, за которую отвечают консервативные мотивы GXQ, расположенные в четырех разных районах белковой молекулы (Thamatrakoln *et al.*, 2006)

аминокислотных мотивов – GxQ, расположенных в трансмембранных (т. е. встроенных в клеточную мембрану) доменах белков SIT. Согласно их предположению, остаток кремниевой кислоты первоначально связывается с двумя из этих последовательностей, расположенных с внешней стороны клетки. Вслед за этим белок SIT претерпевает радикальную перестройку своей третичной структуры – этот конформационный переход напоминает выворачивание зонтика, в результате чего кремниевая кислота «отрывается» от «внешних» мотивов GXQ и связывается с мотивами, расположенными уже с внутренней стороны клеточной мембраны. В итоге кремниевая кислота попадает в цитоплазму клетки.

2008 г. ознаменовался своеобразным подведением итогов исследований в области белков-транспортёров кремния: авторы двух разных гипотез независимо друг от друга обобщили весь свой полученный материал, приведя весомые аргументы в пользу той или другой гипотезы (Hildebrand, 2008; Grachev *et al.*, 2008).

Еще раз отметим, что все эти гипотезы были выдвинуты исключительно на основе информации, полученной в результате расшифровки фрагментов генов и небольшого числа полных генов, так как выделить сам белок SIT в чистом виде и провести его рентгеноструктурный анализ до сих пор не удалось. Лишь в 2007 г., спустя почти десятилетие после обнаружения генов *sit*, иркутские, а затем американские исследователи подтвердили высокочувствительным методом иммуноблоттинга реальное наличие белков SIT в протеомах нескольких видов диатомовых.

Правила умножения генов

Благодаря усилиям ученых из разных стран стало появляться все больше данных относительно структуры генов *sit* у разных видов диатомей, однако чаще всего речь шла об их отдельных фрагментах. Что касается полноразмерных генов, то информация о них была значительно расширена благодаря секвенированию геномов двух морских диатомей – *Thalassiosira pseudonana* и *Phaeodactylum tricorutum* (Armbrust *et al.*, 2004; Bowler *et al.*, 2008).

Поставив задачу секвенировать полную последовательность гена *sit* у байкальской синедры, исследователи из ЛИН СО РАН сразу столкнулись с большими трудностями. В 2007 г. с помощью полимеразной цепной реакции (ПЦР) со специфическими *праймерами* («затравками» для синтеза комплементарной цепи ДНК) и секвенирования по методу Сэнгера в генетическом материале водоросли удалось идентифицировать протяженную последовательность этого гена, однако его стартовый *кодон* – тройка нуклеотидов,

с которой начинается процесс синтеза белка в рибосоме, так и не был обнаружен. Вопрос о «прочтении» полного гена *sit* у байкальской диатомеи несколько лет оставался открытым.

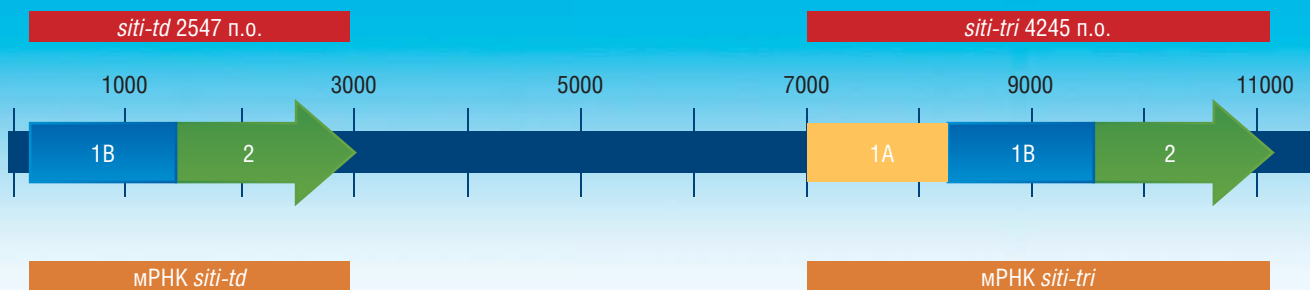
Большое значение в дальнейшем поиске сыграли новый метод культивирования водорослей, «чистых» от бактерий и других одноклеточных (Shishlyannikov *et al.*, 2011) и проект расшифровки полного генома *S. acus* subsp. *radians* с использованием методов массового параллельного секвенирования, стартовавший в ЛИН СО РАН в 2008 г. Так как благодаря результатам секвенирования других видов диатомовых уже было известно о наличии у них сразу нескольких генов *sit*, этот проект открыл возможность «разобраться» как с числом и структурой искомым генов, так и их местоположением в геноме (кстати сказать, больше половины из известных на сегодня полных последовательностей генов *sit* были получены благодаря «прочтению» именно полных геномов).

В рамках этого проекта совместно с сотрудниками московского Центра «Биоинженерия» РАН достаточно быстро удалось «собрать» полные геномы митохондрий и хлоропластов синедры (Ravin *et al.*, 2010; Galachyants *et al.*, 2012), однако ген *sit* все еще оставался неуловимым. Наконец, в 2012 г. при анализе данных предварительной сборки полного генома *S. acus* subsp. *radians* был найден участок, где располагалась нуклеотидная последовательность, имевшая лишь точечные отличия от ранее обнаруженной генной структуры. Эта последовательность ДНК кодировала полипептид, содержащий все характерные для белка SIT консервативные элементы, а также имеющий стартовый остаток метионина в начале последовательности.

Таким образом, появились все основания говорить об открытии первого полноразмерного гена *sit* у представителя байкальских диатомовых, что было подтверждено в совместной работе с к. х. н. А. А. Бондарем из ЦКП «Геномика» СО РАН (Новосибирск).

В конечном счете удалось выяснить, что кластер генов *sit* у синедры состоит из двух неожиданно «длинных» генов, расположенных в одном участке хромосомы, – «удвоенного» *sit-td* и «утроенного» *sit-tri*, длина которых почти в 2 и 3 раза, соответственно, превышает длину всех известных полноразмерных генов семейства *sit*. В хромосоме эти гены разделены расстоянием в несколько тысяч пар нуклеотидов. Каждый из них кодирует, соответственно, 2 и 3 функциональные белковые единицы SIT, содержащие все их специфические консервативные элементы.

Открытие генов *sit* у байкальской синедры породило и новые загадки: судя по результатам вышеупомянутых иммунохимических исследований, белки SIT у этой водоросли имеют массу около 66 кДа, но исходя



из расшифрованных генных последовательностей, их масса должна была превышать 92 и 110 кДа. Чтобы проверить, не являются ли найденные гены «псевдогенами» (не транскрируемыми), а также определить длину считываемой с генов матричной РНК, была получена суммарная РНК клеток водоросли, а на ее основе – «библиотека» комплементарной ДНК.

Оказалось, что в клетках байкальской синедры действительно присутствуют «длинные» мРНК, последовательности которых точно соответствуют обнаруженным генам. Эта находка означает, что там теоретически могли бы находиться и белки с очень большой молекулярной массой, чего в реальности не наблюдается. Однако ответа на вопрос, как и на каком этапе трансляции генетической информации происходит «укорочение» мРНК и формирование белков «обычной» длины, пока нет.

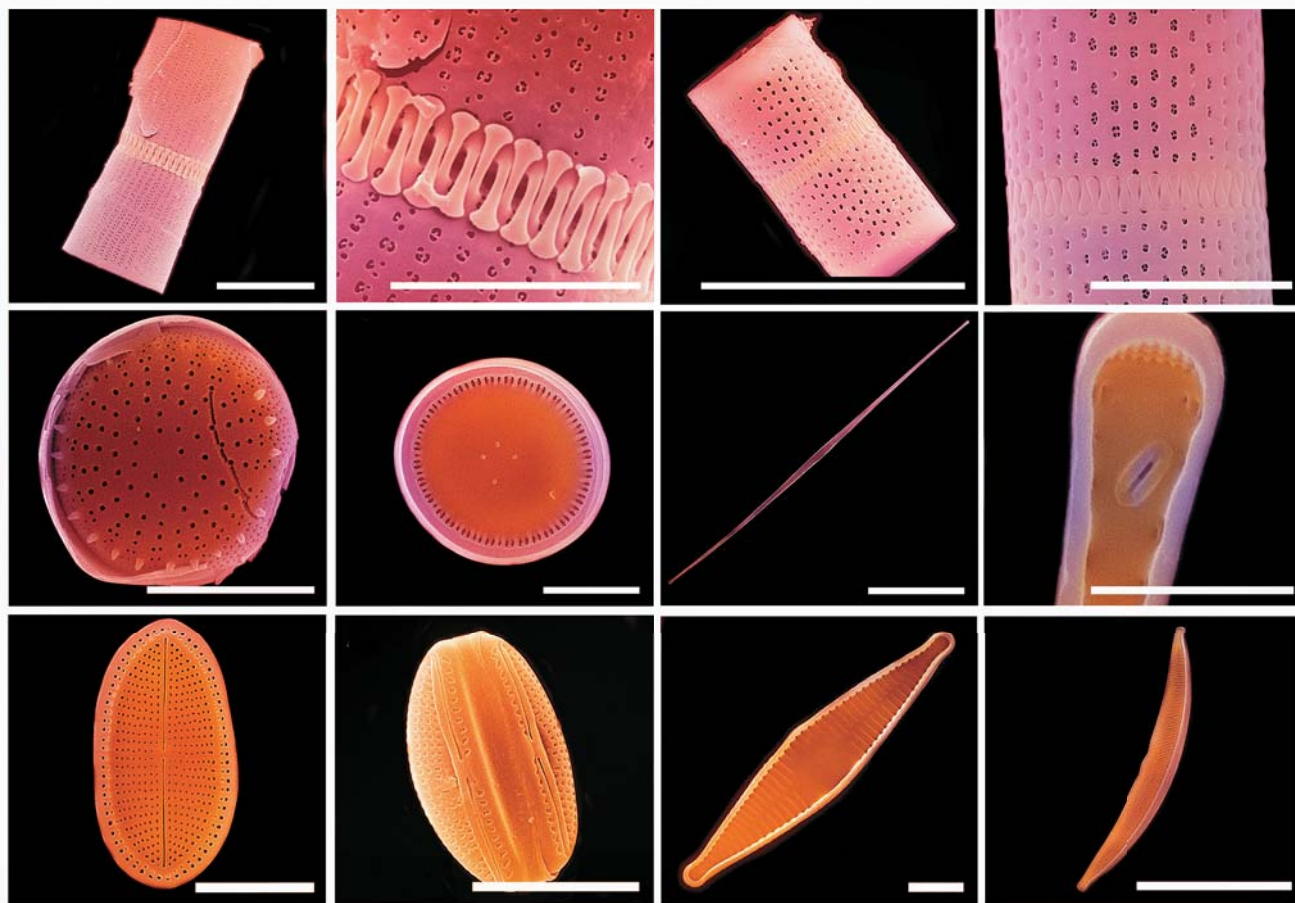
К 2015 г. в мире было идентифицировано лишь 15 полных последовательностей генов, кодирующих белки транспорта кремния, для шести видов морских диатомовых водорослей. Спустя 13 лет после начала в нашей стране подобных работ удалось открыть и характеризовать первые полноразмерные гены *siti*, принадлежащие пресноводному представителю диатомей.

Обнаруженный у байкальской *S. acus* subsp. *radians* кластер генов *siti* в виде «тандем+триплет» не встречался ни у одной из уже исследованных диатомей, для которых характерно наличие 3–5 отдельных генов *siti* «обычной» длины. Особый интерес вызывает тот факт, что «нестандартные» гены были обнаружены у вида, обитающего в пресноводном озере, что может быть связано с приспособлением к новым условиям обитания.

Как показали исследования иркутских лимнологов, кластер генов *siti* у байкальской диатомовой водоросли *S. acus* subsp. *radians* состоит из двух генов разной длины, разделенных промежутком. Оба гена имеют один одинаковый фрагмент («1В+2»), при этом более длинный ген представляет собой, по сути, копию первого гена+дополнительный участок: «1А+1В+2». Фрагменты «1А» и «1В» очень сходны между собой, но отличаются от фрагмента «2». Такая сложность структуры была одним из камней преткновения для секвенирования, особенно на этапе поиска соответствующей матричной РНК, так в этом случае невозможно было определить, с одним или двумя генами имеет дело исследователь. Поэтому для работы с пулом комплементарной ДНК, полученной с библиотеки мРНК потребовалось определить точки начала транскрипции («считывания») как для более длинного гена *siti-tri*, так и для одинакового фрагмента «1В+2»

Анализ структурной организации генов, кодирующих белки транспорта кремния у диатомей и других кремний-зависимых организмов, позволит понять, каким образом шла эволюция этих уникальных белков. Без них одноклеточные водные организмы не смогли бы использовать «вредный» кремний окружающей среды для «полезного» строительства защитных панцирей и опорных прочных элементов экзоскелета. Новые организмы, которые появились благодаря белкам-транспортёрам и активно эволюционировали, изменили биосферу нашей планеты.

Работа поддержана программой Президиума РАН «Молекулярная и клеточная биология»



Строение панцирей диатомовых водорослей.
Сканирующая электронная микроскопия.
Фото М. Башенхаевой

Литература

Грачев М.А., Деникина Н.Н., Беликов С.И и др. Элементы активно центра белков транспорта кремниевой кислоты в диатомовых водорослях // Молекуляр. биология. 2002. Т. 36, № 4. С. 379–681.

Лихошвай Е.В., Масюкова Ю.А., Шербакова Т.А., и др. Обнаружение гена транспорта кремниевой кислоты у хризофитовых водорослей // Докл. РАН. 2006. Т. 408. С. 845–849.

Armbrust E. V., Berges J. A., Bowler C. et al. The genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism // *Science*. 2004. V. 306. P. 79–86.

Bowler C., Allen A. E., Badger J. H. et al. The *Phaeodactylum* genome reveals the evolutionary history of diatom genomes // *Nature*. 2008. V. 456. P. 239–244.

Galachyants Y. P., Morozov A. A., Mardanov A. V. et al. Complete Chloroplast Genome Sequence of Freshwater Araphid Pennate Diatom Alga *Synedra acus* from Lake Baikal // *Intern. J. of Biol.* 2012. V. 4(1). P. 27–35.

Grachev M. A., Annenkov V. V., Likhoshway Ye. V. Silicon nanotechnologies of pigmented heterokonts // *BioEssays*. 2008.

V. 30. P. 328–337.

Grachev M., Sherbakova T., Masyukova Yu. et al. A potential Zinc-binding motif in silicic acid transport proteins of diatoms // *Diatom Res.* 2005. V. 20, N 2. P. 409–411.

Hildebrand M., Volcani B. E., Gassmann W. et al. A gene family of silicon transporters // *Nature*. 1997. V. 385. P. 688–689.

Hildebrand M., Dahlin K., Volcani B. E. Characterization of a silicon transporter gene family in *Cylindrotheca fusiformis*: sequences, expression analysis, and identification of homologs in other diatoms // *Mol. Gen. Genet.* 1998. V. 260. P. 480–486.

Hildebrand M. Diatoms, Biomineralization Processes, and Genomics // *Chem. Revi.* 2008. V. 108, N. 11. P. 4855–4874.

Ravin N. V., Galachyants Y. P., Mardanov A. V. et al. Complete sequence of the mitochondrial genome of a diatom alga *Synedra acus* and comparative analysis of diatom mitochondrial genomes // *Curr. Genet.* 2010. V. 56(3). P. 215–223.

Shishlyannikov S. M., Zakharova Y. R., Volokitina N. A. et al. A procedure for establishing an axenic culture of the diatom *Synedra acus* subsp. *radians* (Kütz.) Skabibitsch. from Lake Baikal // *Limnol. Oceanogr.: Methods.* 2011. V. 9. P. 478–484.

Смотрящие в ОГОНЬ



*Товарищ, верь: взойдет она,
Звезда пленительного счастья...
А. С. Пушкин*

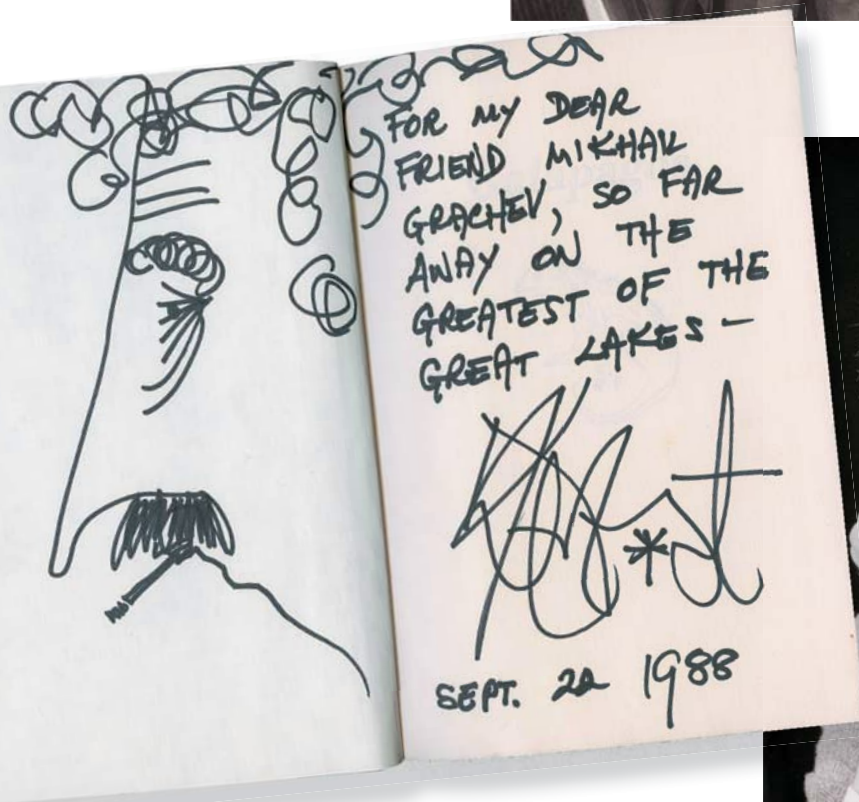
В 2014 году начата реформа российской науки. Многие коллеги этого очень испугались. Я же верю, что все будет хорошо (см. эпиграф). Надо просто найти общий язык с властью. В романах американского писателя Курта Воннегута приводятся короткие вставки – сюжеты научной фантастики. В одном из сюжетов на Землю из далекой галактики прилетает пришелец, чтобы сообщить землянам важнейшую информацию. Ростом пришелец был примерно полметра и походил на палку с конусом внизу. Приземлился он в огороде какого-то фермера. Он отбивал чечетку и попукивал, и фермер сразу его убил. А жаль – пришелец хотел сообщить человечеству, как избежать мировых войн, лечить рак, а также сказать

фермеру, что у него горит дом. Контакт не состоялся. Причина же была проста: чечетка и попукивание – это был язык пришельца, и фермер его не понял. Надо искать общий язык. Такие дела.

В Общероссийском классификаторе видов экономической деятельности наука и научное исследование отнесены к сфере услуг. Обидно. Это не только обидно, но и несправедливо. Такая классификация приводит к ложному, непродуктивному позиционированию власти и науки. Вместе с наукой туда попали кинематография, живопись, фотография и многое другое.

Услугой, по определению, является помощь, которая предоставляется по чей-то просьбе или заказу. Кто заказал Ван Гогу «Подсолнухи»? Никто. Он даже

Академик М. А. Грачев, автор статьи «Смотрящие в огонь», в далеком 1979 году на выставке в Госплане СССР с президентом АН СССР академиком А. П. Александровым и чл.-кор. АН СССР В. П. Мамаевым, Москва. Фото Р. И. Ахмерова



Автограф Курта Воннегута на форзаце его книги «Galaragos» (Галапагосы) (1985), подаренной автором М. А. Грачеву



Курт Воннегут. Фото Rosemary Carroll.
Rosemary Carroll Photo@yahoo.com

© М. А. Грачев, 2014

продать не смог эту свою прекрасную картину, которая сегодня стоит многие миллионы долларов. Конечно, и художник, и ученый могут работать по заказу богатых заказчиков, но их товаром будет не фундаментальное достижение, а некий немедленно пригодный для употребления продукт.

Известно, что наука может быть прикладной и фундаментальной. У прикладного исследования может быть заказчик, который четко формулирует нужный ему конечный результат. Если результата нет – возникает неудовольствие заказчика, и наступает наказание исполнителя.

У фундаментальной науки заказчика нет, ученый, который «стоит у станка», сам формулирует идею и сам ее реализует. Позднее идея может попасть в какой-нибудь государственный план, и этот план утвердит управленец. Сам же по себе управленец не может сформулировать научную идею и даже готовую идею обычно не понимает. Более того, авторов идеи, особенно, если она прорывная и нетривиальная, зачастую не могут понять даже ближайшие по цеху коллеги и тем более ученые, далекие от той конкретной области знаний, к которой относится новая идея. Так или иначе, происходящее при реализации фундаментальной научной идеи никак нельзя описать столь любимыми экономистами терминами «заказ» и «услуга».

Что делать?

Фундаментальная наука не является услугой. Она мотивируется не возможностью получения прибыли, а совсем другим. Для того чтобы объяснить это, придется рассмотреть несколько известных исторических примеров.

В 1929 г., изучая микробов, английский ученый Александр Флеминг заметил, что они гибнут при воздействии неизвестного вещества, выделяемого простой хлебной плесенью. Это вещество впоследствии было названо пенициллином. Флеминг установил, что вещество из плесени убивает очень широкий круг микробов, в том числе весьма опасных для человека, например, синегнойную палочку, которая вызывает гангрену. Окончив исследования, он, однако, указал, что результат этого открытия никогда не станет важным для практики, поскольку пенициллин чрезвычайно неустойчив.

Через 10 лет англичане Флори и Чейн нашли способ очистки пенициллина и его получения в твердом состоянии, в результате антибиотик стал устойчивым и пригодным к практическому применению. Было налажено промышленное производство пенициллина. Интересно, что Флеминг отказался от подачи заявки на патент и не разрешил патентовать пенициллин своим партнерам. Сделал он это для того, чтобы избежать любых препятствий для постановки производства пенициллина в любых странах и в любых компаниях,

то есть его целью было не получение вознаграждения. Он хотел другого. Он хотел, чтобы пенициллин как можно скорее стал доступным людям всей планеты. В результате пенициллин начали производить сразу в нескольких странах. Уже в 1944 году благодаря пенициллину удалось спасти сотни тысяч жизней раненых английских и американских солдат, участвовавших в открытии второго фронта, в грандиозном сражении после высадки десанта союзников из Англии на континент для того, чтобы покончить с Гитлером. В том же 1944 году пенициллин стали производить и в СССР, где он тоже спас много солдатских жизней.

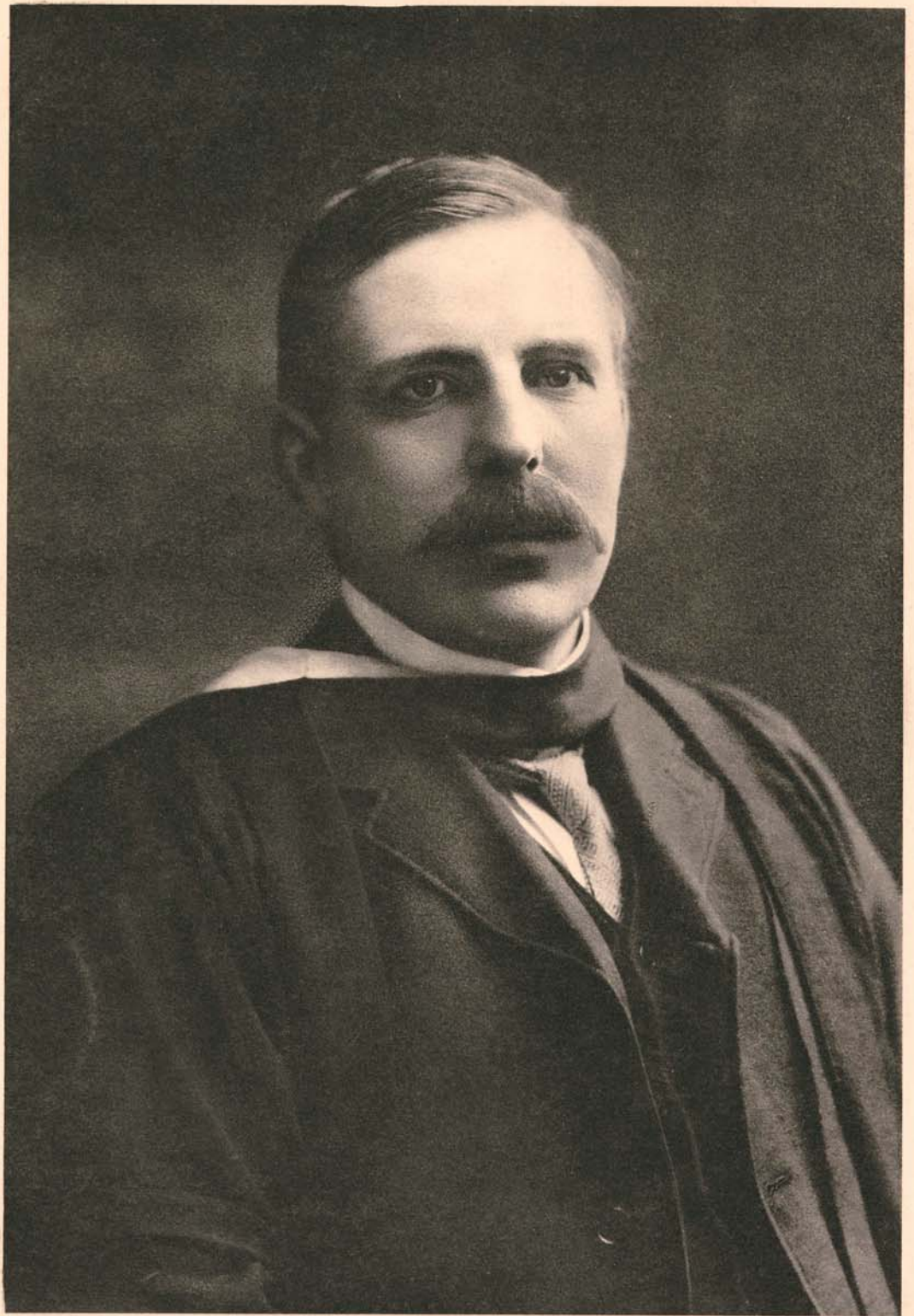
Мы хорошо знаем, что производство широчайшего спектра антибиотиков сейчас стало одной из главных отраслей медицинской промышленности и огромным источником прибыли. Затраты же на опыты Флеминга были ничтожны, затраты тех, кто наладил его очистку и первое промышленное производство, тоже были небольшими, зато позже инвестиции пошли неостановимым потоком.

В России Министерство образования и науки запустило так называемые федеральные целевые программы, из средств которых оплачивались ориентированные научные исследования. На первом этапе средства выделялись группам исследователей, проводящих «нацеленные на практику фундаментальные исследования», и все необходимое финансирование было исключительно государственное. Можно было подать заявку на конкурс для получения денег на окончание фундаментальной работы и проведение первоначальных прикладных исследований и разработок, результаты которых были, однако, совершенно не пригодны для немедленного внедрения в практику, поскольку выделяемые средства были мизерными, а в дальнейшем развитии проекта требовалось софинансирование от бизнеса, который не торопился выдавать деньги из-за отдаленности перспективы получения прибыли.

Например, если бы такой инновацией в наши дни был пенициллин, потребовались бы сотни миллионов долларов и пять-семь лет работы для проведения клинических испытаний. До их проведения предлагаемый бизнесу пенициллин вследствие большого риска неудачи, был бы ему совершенно неинтересен.

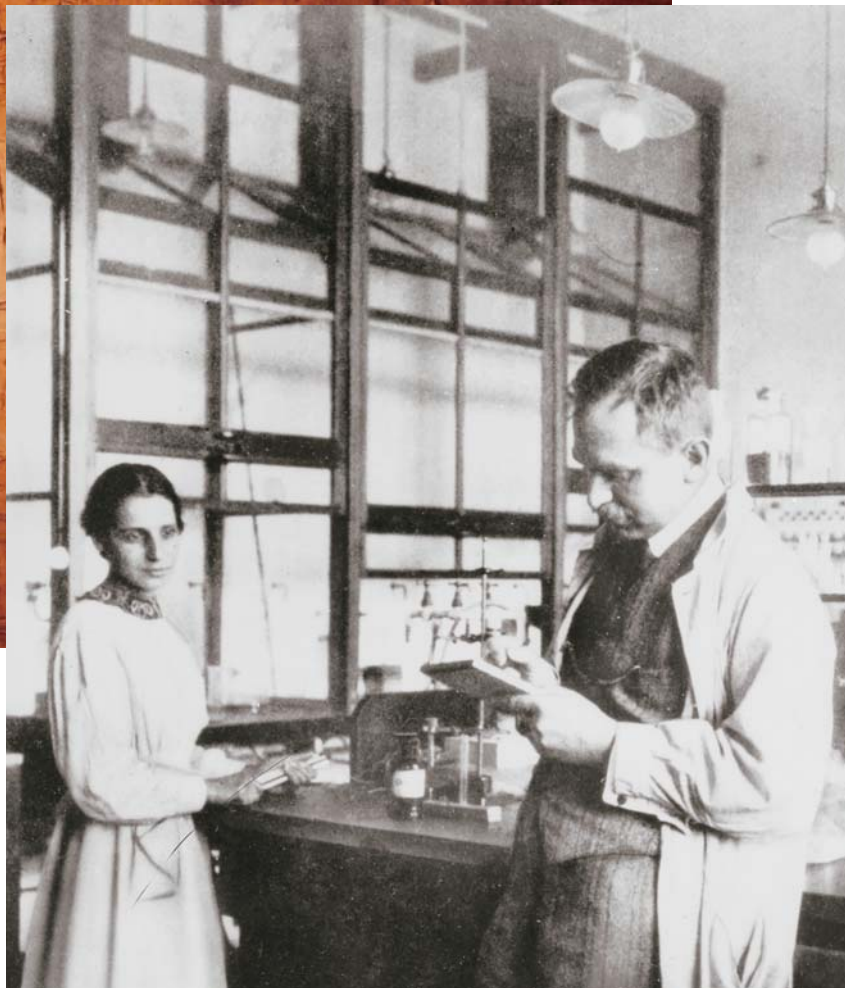
Эрнест Резерфорд. Фотограф Н.С. Кэй, Манчестер.
Credit: Edgar Fahs Smith Collection
Kislak Center for Special Collections, Rare Books & Manuscripts
University of Pennsylvania Libraries, USA





Fot. N.S. Kay, Manchester.

E. Rutherford



Отто Ган и Лиза Мейтнер
в лаборатории. 1913 г.
Public domain

Еще важнее был вывод Гана, Штрассмана и Мейтнер о том, что распад одного ядра урана рождает множество медленных нейтронов, которые попадают в другие ядра урана и вызывают их распад. Если масса урана-235 больше критической, возникает цепная реакция и происходит ядерный взрыв. Все коллеги Гана, Штрассмана и Мейтнер – умные ядерные физики в Германии, США, Англии, России и в других странах – сразу же поняли, что расщепление урана открывает прямой путь к созданию инновационного сверхоружия.

Из постоянно льющейся в уши информации об атаках террористов мы слышим, что тротильный эквивалент их устройств составляет иногда 200 граммов, иногда, крайне редко, 200 килограммов тротила, и знаем, какие последствия имеют организованные террористами взрывы. Масса тротила – тринитротолуола – в авиабомбе времен Второй мировой войны могла достигать 5000 килограммов. С помощью таких простых тротильных бомб англичанами, к примеру, был стерт с лица земли тихий германский город Дрезден, где жили только мирные жители и не было никакой промышленности. Расчеты физиков показали, что одна атомная бомба весом в одну тонну может мгновенно полностью разрушить город среднего размера. И это осознание послужило, говоря современным языком, «окончанием фундаментального исследования».

Никто не давал Гану, Штрассману и Мейтнер заказ на расщепление

Если бы государство было дальновиднее, оно полностью взяло бы на себя проведение клинических испытаний, и в этом случае за знания и методики, созданные учеными, получило бы отдачу сторицей, на уровне многих миллиардов долларов. Государство – большое, и рисковать ему легче, чем бизнесу, конечно, если ученые-разработчики, во-первых, совершенно честны, и, во-вторых, если их оконченная работа будет подвергнута всесторонней экспертизе при участии других умных и честных ученых и других специалистов.

Продолжим исторические примеры. В 1938 году германские ученые Ган, Штрассман и Мейтнер открыли деление ядра изотопа урана 235. Они установили, что при попадании, так называемого, медленного нейтрона ядро урана 235 расщепляется на две приблизительно равные части с выделением огромной энергии.

Ядерная физика в то время была в отношении всей физики маргинальной, по всему миру ею занималось всего несколько человек. Ведь еще в 1920-е годы великий физик Резерфорд, осознавший невообразимо огромную энергию, выделяющуюся при распаде атома природных радиоактивных элементов, заявил, что эту энергию никогда не удастся использовать на практике, поскольку ее потоком нельзя управлять: нельзя включить или выключить ее источник радиоактивности по мере необходимости, а уже выделившуюся энергию нельзя сохранить. Но великий Резерфорд оказался неправ.

ядра урана, да и кто мог его дать? Гитлер? Они все сделали сами. И за очень маленькие деньги. Было бы нелепо предполагать, что они хотели оказать кому-то услугу – ведь они сами не знали, что получится из их опытов, они просто исследовали устройство природы.

Прикладная стадия в этот раз не замедлила наступить. Многие физики, английские, американские, германские, изгнанные Гитлером и осевшие в Англии, Америке, Канаде, сразу же поняли, что Гитлер имеет шанс получить сверхоружие, и все обычные вооружения будут против этого сверхоружия бессильны. Они не хотели такого поворота мировой истории. В 1939 году после нападения Германии на Польшу официально началась Вторая мировая война. Международная команда физиков объяснила ситуацию Эйнштейну, жившему тогда в Америке, и он подписал составленное физиками письмо Президенту США Рузвельту. Рузвельт поверил Эйнштейну – ведь Эйнштейн был ученым номер один того времени, и Рузвельт приказал своим ведомствам немедленно начать работы по созданию атомной бомбы. В Англии к разработке такого же проекта в режиме глубочайшей секретности приступили немного раньше, но потом ядерщики из США, Англии и Канады и физики-эмигранты из многих стран мира объединились в США, где стартовал ядерный, так называемый, «Манхэттенский» проект. Все мы помним, что в августе 1945 года атомные бомбы стерли с лица земли японские города Хиросиму и Нагасаки, погибли многие сотни тысяч людей, по порядку величины – столько же, сколько в Дрездене.

Лиза Мейтнер. 1900 г.
Public domain

В наше смутное время неоднократно озвучивалась (ненавижу это слово) идея о том, что российская наука совсем не нужна – ведь все исследования высокого уровня все равно проводятся в развитых странах мира, а их прикладные результаты гораздо проще купить, чем тратиться на поддержание отечественной фундаментальной и прикладной науки. Однако Российская фундаментальная наука все-таки нужна.

В свое время, занимавшиеся фундаментальной ядерной физикой российские ученые в Ленинграде, Москве и Харькове мгновенно поняли результаты Гана, Штрассмана и Мейтнер и осознали возможность создания атомной бомбы. А ведь уже и в то время нашу науку могли оптимизировать –



закрыли бы ядерную физику как экономически бесполезную, и Гана, Штрассмана и Мейтнер не то чтобы воспроизвести, даже понять было бы некому.

22 июня 1941 года началась Великая Отечественная война, и многие ядерные физики, бывшие искренними патриотами, сменили свой профиль и занялись военными работами, например, размагничиванием наших кораблей. И все-таки незадолго до войны в Ленинграде было начато и уже во время войны, во время блокады Ленинграда, закончено строительство первого советского циклотрона – важнейшего инструмента ядерной физики. Об интереснейшей истории создания советского атомного оружия написано много, и я не буду повторяться. Для справедливости только отмечу, что вошедшее в обиход мнение, согласно которому решающий вклад в создание нашей атомной бомбы внесла Академия наук СССР, не совсем верно. Академия наук и Высшая школа сыграли решающую роль лишь в одном отношении – они поняли проблему, наметили пути ее решения и добились внимания правительства. Прикладная фаза проекта была настолько засекречена, что об участии АН СССР в целом в работах не могло быть и речи. Другое дело, что в создании нашей атомной бомбы принимали участие виднейшие и самые умные члены АН СССР, но работали они не в Академии, а в закрытых атомных городах.

Так или иначе в 1949 году первая наша атомная бомба была взорвана, а ведь в США уже были намечены 100 советских городов – первоочередных объектов атомной бомбардировки, и изготовление первых 100 атомных бомб шло полным ходом. К счастью, атомная демократизация СССР не состоялась, и мир прожил уже многие десятилетия без новой мировой войны только благодаря созданию советского атомного оружия. Такая вот услуга.

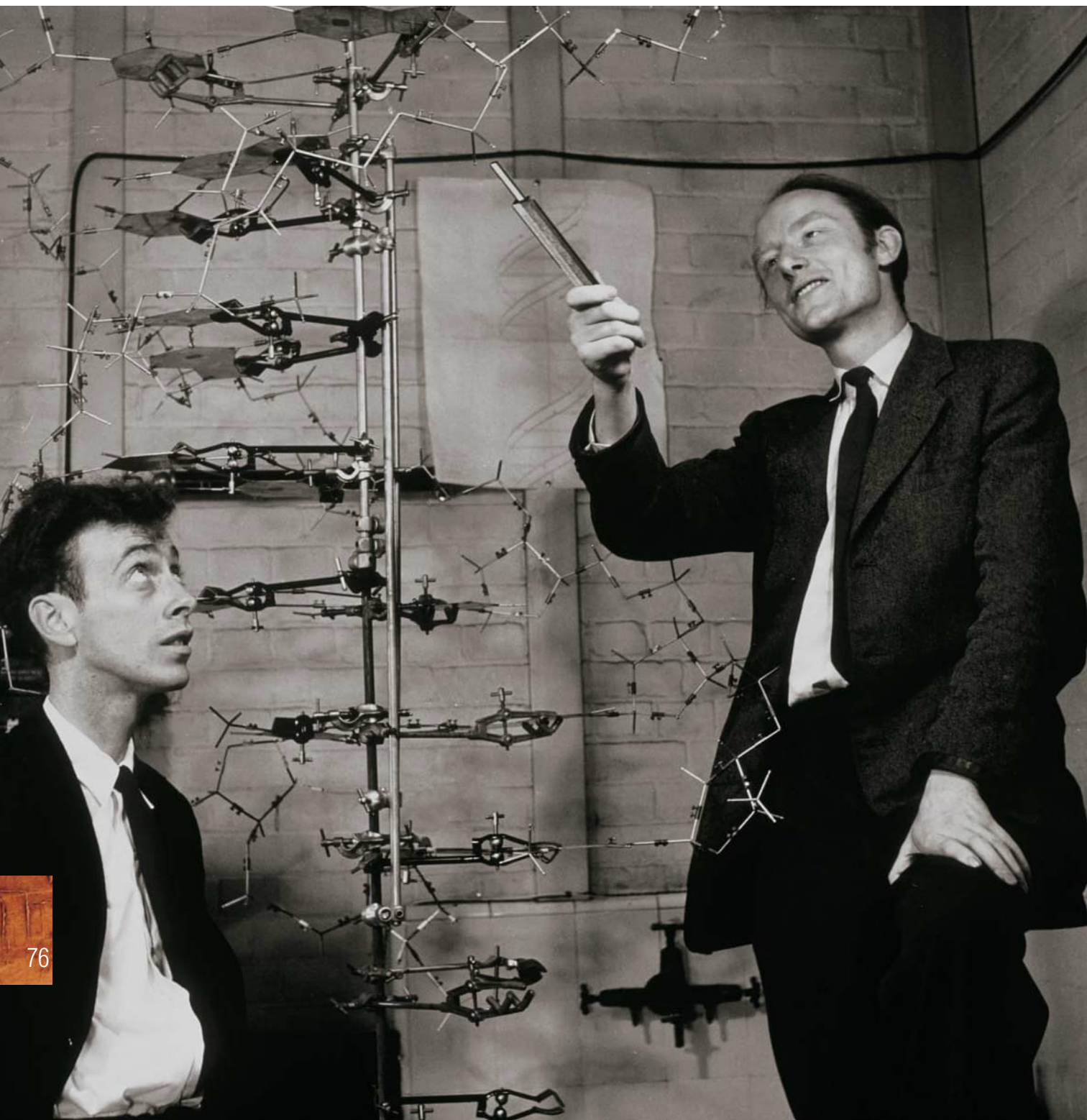
Третий пример – двойная спираль. Все теперь знают, что такое ДНК. Это вещество наследственности, которое передается от родителей к детям во всей живой природе и обеспечивает сохранность признаков предков у их потомков. Это должны знать все, кто в последние тридцать лет окончил среднюю школу. В 1870 году швейцарский ученый Мишер выделил вещество, позднее названное ДНК, из гнойных бинтов, которыми перевязывали раненых во время франко-прусской войны. На то чтобы понять устройство ДНК, ушли многие годы работ химиков в разных странах. Оказалось, что ДНК представляет собой полимер с огромной молекулярной массой, ее звенья – беспорядочно разбросанные вдоль полимерной цепи ныне знаменитые нуклеотиды А, G, C, T. В результате развития Манхэттенского ядерного проекта появился новый мощный метод разделения веществ – анионообменная хроматография, благодаря которой американский ученый Чаргафф установил, что в ДНК число остатков А всегда равно числу остатков

T, а число остатков G всегда равно числу остатков C. Это «правило Чаргаффа» впоследствии стало одним из краеугольных камней модели двойной спирали ДНК. Параллельно шло развитие генетики, и многие ученые пришли к выводу, что веществом наследственности является длинный полимер, молекула которого при делении клетки копируется в материнской клетке, и одна из копий передается дочерней клетке. Более того, в конце 1940-ых годов американский ученый Эмори доказал, что ДНК, взятая из микроба, производящего некий белок, если ввести ее в другой микроорганизм, к синтезу этого белка от природы не способного, начинает производить его не хуже, чем та клетка, из которой ДНК была выделена. Все это, однако, не убедило подавляющее большинство ученых в том, что именно ДНК является веществом наследственности.

В то время происходил вал открытий в химии белка, и большинство верило в то, что наследственность обусловлена одной из чудесных и невероятно разнообразных белковых молекул. В гипотезу о роли ДНК в наследственности горячо поверил очень молодой американский аспирант Уотсон, который каким-то образом проник в знаменитую рентгеноструктурную лабораторию профессора Брегга в Англии, где изучали растянутые нити многих полимеров, в том числе и ДНК. Рассматривая рентгенограммы английских коллег, он стал фантазировать и предлагать модели ее конструкции. В свои размышления и поиски он вовлек бывшего военного инженера и блестящего ученого Крика. Вскоре благодаря использованию правила Чаргаффа им удалось построить удивительно элегантную модель ДНК, подобную винтовой лестнице, состоящей из двух спиралей, в качестве ступеней которой выступали стоящие друг против друга остатки А и Т либо G и C. Модель Уотсона и Крика полностью соответствовала рентгеноструктурным данным англичан. Более того, можно было легко себе представить, что после разборки лестницы на одиночные спирали происходит копирование – на материнской цепочке ДНК может выстраиваться ее копия, причем в этой копии остатки А опять будут стоять напротив остатков Т, а остатки G – напротив остатков C. Соавтором научной публикации, вышедшей в 1953 году (год смерти Сталина), по праву стал английский ученый Морис Уилкинс, который руководил экспериментальными работами по рентгеноструктурному анализу ДНК. Через девять лет, в 1962 году все трое по праву

Эрвин Чаргафф. 1930. *Courtesy of the American Philosophical Society*





76



получили Нобелевскую премию. И опять никто не давал заказ на эту услугу. Такие дела.

Далее события развивались стремительно. В 1964 году американский ученый Холли впервые расшифровал первую химическую формулу крошечной нуклеиновой кислоты, состоящей из 78 нуклеотидов, и в 1968 году получил за это Нобелевскую премию. В 2002 году была расшифрована полная химическая формула генома человека длиной 3 100 000 000 пар нуклеотидов (длина этой цепочки – 2 м), и опять двум группам ученых дали Нобелевскую премию.

Говорят, что сегодня китайские ученые расширяют по 100 геномов разных людей в сутки, но нобелевских премий им почему-то уже не дают: фундаментальная наука полностью трансформировалась в прикладную. Из двойной спирали родилась генная инженерия, возникли страшилки об опасности генномодифицированных продуктов, знаменитая трансгенная овечка Долли и даже такие явления культуры, как фильмы ужасов о синтетических мутантах, родилась новая отрасль медицины, появилась возможность устанавливать отцовство и возникли целые отрасли фармацевтической промышленности. Очень скоро ни одна мама не выдаст замуж свою дочку, пока не получит полную формулу генома жениха.

В случае с двойной спиралью трудно провести четкую границу между фундаментальной и прикладной наукой, но я считаю, что, по гамбургскому счету, этой границей является открытие двойной спирали. Все последующие работы, хотя далеко не все их результаты были оказанными по заказу услугами, все-таки были более прикладными, поскольку их цели были совершенно ясны, задача была уже поставлена.

Кстати, самое трудное в фундаментальном исследовании – именно постановка задачи, выдвижение плодотворной идеи. Такие дела.

Несколько слов о советской науке. Наше юное в то время поколение имело ясный лозунг – догнать и перегнать Америку. В 1930-е годы один из наших токарных станков так и назывался – «ДИП» – догнать и перегнать. В 1961 году и позднее я тоже участвовал в гонке за Холли, но наша команда в составе представителей трех институтов АН СССР не вполне преуспела. Отечественный рекорд был установлен группой академика А. А. Баева, которая в 1967 году расшифровала химическую формулу валиновой тРНК (78 нуклеотидов)

Джеймс Уотсон, Фрэнсис Крик и их модель ДНК.
1953 г. Credit: SPL/East News

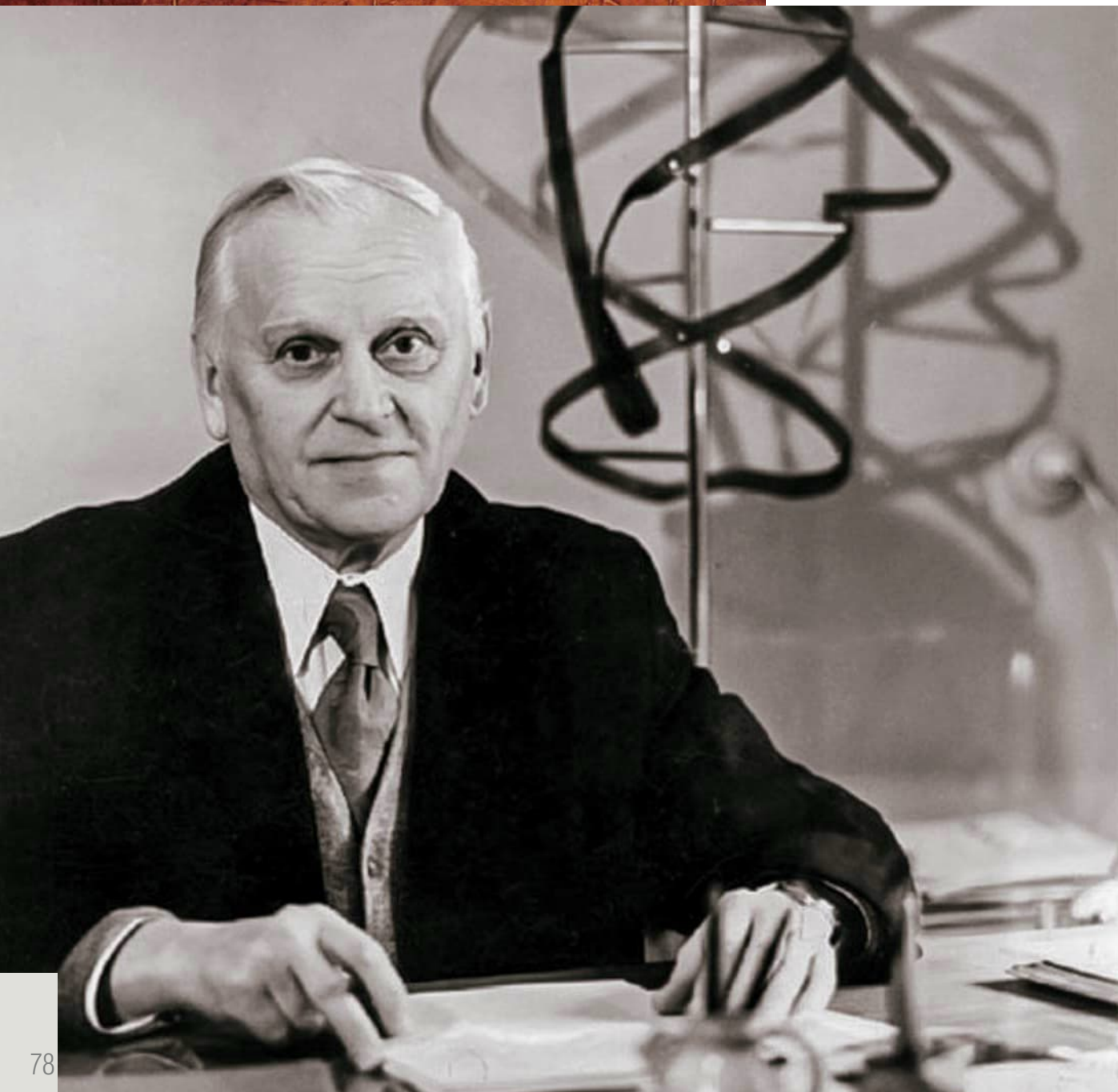
и в 1969 году по праву получила за это Государственную премию СССР (я ничего не получил, по делу). Без всякой иронии, эта работа, хотя и была сделана под лозунгом ДИП, и в самом деле была выдающейся. Не будем забывать, что в то время еще был жив и активен знаменитый генетик в штатском Лысенко. Где-то около 1965 года он приходил в тот институт, где работал А. А. Баев и ему показывали белый порошок ДНК. Он все равно не поверил, либо не подал вида, что поверил в существование молекулы наследственности, и сказал, что все это – ерунда, если ДНК – это кислота, то она должна быть не твердая, а жидкая. Шутки шутками, а ведь со времени надругательства Лысенко над советской генетикой прошло всего-то меньше 20 лет (сессия ВАСХНИЛ 1948). А Баев провел в сталинских лагерях целых 17 лет. Из автобиографии А. А. Баева:

«1953 г. оказался критическим в моей жизни – умер И. Сталин, истинный автор всех бед, постигших страну и меня, а Д. Уотсон и Ф. Крик открыли двойную спираль ДНК, положив тем самым начало молекулярной биологии, которая и стала полем научной деятельности во второй половине моей жизни. Возврат в науку для меня был нелегким. Мне исполнилось уже 50 лет, и природа оставила мне мало времени для творческой научной деятельности».

Советская «новая биология» рождалась в тяжелые для страны времена и в режиме гонки за мировой наукой. Не будь этих работ, не возникли бы ни отечественная генная инженерия, биомедицина, ни оборонная организация «Биопрепарат», о которой будет сказано немного ниже. И мне совсем не стыдно, что мы и сейчас зачастую работаем под тем же лозунгом ДИП. Такие дела.

Если читателю было интересно, он давно уже понял: фундаментальная наука – не услуга. Надеюсь, что эту истину со временем возьмут на вооружение наши уважаемые оппоненты, юные управленцы-экономисты. Единственным ведомством СССР, которому была дана привилегия самому себе утверждать технические задания на исследования и разработки, была АН СССР.

Как возникла фундаментальная наука и чем мотивированы люди, положившие свою жизнь на алтарь этой сферы деятельности человека? По моим наблюдениям, которые я сделал в течение 50 лет, занятие наукой не



Академик А. А. Баев. 1973 г.
 Фото О. Кузьмина.
 Источник: «60 фотографий
 А. А. Баева на сайте ИМБ РАН,
[http://www.eimb.ru/RUSSIAN/
 GALLERY/BAYEV/bayev-ph.htm](http://www.eimb.ru/RUSSIAN/GALLERY/BAYEV/bayev-ph.htm)»

зависит ни от политического строя, ни от благополучия страны, ни от разнообразных реформ. Число молодых талантливых людей, приходящих в науку, остается постоянным. Для этого контингента занятие наукой самодостаточно, оно является целью жизни, а не средством для получения потребительских благ. Далеко не все из штатных научных работников являются убежденными и талантливыми исследователями, в некоторые периоды приливов финансирования в науку попадает балласт, для которого наука есть не цель, а средство.

В основе стремления к науке лежит появившийся еще у животных инстинкт – любопытство (инстинкт ориентирования), а может быть, даже и другое врожденное стремление, это стремление к игре. Великий американский физик Ричард Фейнман, в молодости участник Манхэттенского проекта, а в зрелости – создатель квантовой электродинамики, за которую он в 1965 году получил Нобелевскую премию, по совместительству – блестящий популярный лектор и музыкант-барabanщик, представлял себе появление науки приблизительно так.

Первобытные люди. Ночь. Все племя спит, но несколько человек не спят, смотрят в огонь костра. Вокруг где-то ходят хищные звери, в любой момент могут налететь враги. Эти природные «совы» нужны племени для того, чтобы предупреждать о ночных опасностях. Они не только смотрят в огонь, еще они рассматривают звездное небо и думают о разных делах, изобретают. Именно так возникли зародыши современной астрономии и инженерии, были открыты планеты, было изобретено колесо, а несколько раньше – лодка-долбленка – пирога, которая очень помогла человечеству преодолеть водные преграды и расселиться по всему земному шару. К другой деятельности эти мечтатели были не пригодны, но племя кормило их и защищало за их сторожевую функцию и уважало за ум и изобретательность. Все племя не имело никакой возможности заниматься такой протонаукой, нужно было рожать и воспитывать детей, собирать в лесу пропитание, охотиться, нападать на соседей. Небольшое же количество чужаков жить племени не мешало. В защиту фантазий Фейнмана я могу привести тот факт, что многие мои коллеги, а в последнее время компьютерщики, могут работать только ночью, днем они сладко спят. Никакой КЗоТ не заставит их перейти к дневному образу жизни.

Мы сами совсем недавно пережили лихие девяностые годы, когда казалось, что в науку перестанут приходить молодые ученые, и она, бедная, вот-вот погибнет. Этого не случилось. Видимо, наука для прослойки настоящих исследователей является настолько же естественной и унаследованной потребностью, как потребность в пище и размножении. Мотивация у этих людей заложена в их генах – они просто не могут жить иначе, несмотря

ни на какие трудности, опасности и унижения. Вспомним Джордано Бруно, Галилео Галилея, Кибальчича, который накануне смертной казни изобретал межпланетные ракеты, Туполева, который в тюрьме изобретал бомбардировщик и воздушный лайнер Ту-104, Королева, который работал в обычной шарашке и изобретал ракету «Протон» и наш знаменитый sputnik. Несть им числа. Заставить этих людей сделать что-то по заказу, вопреки их интересам, невозможно, да и не нужно, общество может лишь использовать их светлую энергию, подобно даровой энергии ветра и солнца.

Обществу важно помнить о том, что этим истинным исследователям, хотя они, как и все мы, любят свою родину, в общем-то, все равно, где заниматься наукой. Если прижать их к ногтю, они уедут в другую страну и будут там заниматься своей работой. Потеря тончайшего слоя истинных исследователей для страны смертельно опасна.

Последний масштабный эксперимент по выдворению неарийских яйцеголовых провел, как известно, «товарищ» Гитлер. До этого эксперимента Германия наряду с Англией была ведущей научной державой. Сейчас Германия эту позицию утеряла и до сих пор не оправилась от шока. Теперь весь мир должен догонять США. Такие дела.

Интересно, что далеко не у всех народов проявляется склонность к фундаментальной науке, а у некоторых эта потребность в фундаментальной науке в наступившую эпоху глобализации только нарождается.

К нашему счастью, россияне и, отмечу, украинцы, от природы и склонны заниматься, и способны заниматься фундаментальной наукой. Прав был Ломоносов, когда заметил, что «может собственных Платонов и быстрых разумом Невтонов Российская земля рождать».

Ученая прослойка, по мнению Фейнмана, выжила в эволюции еще по одной причине. Он обращает внимание на то, что большая часть действий, которые мы совершаем в нашей жизни, являются ритуалами. В проверенных жизнью ритуалах мы не задумываемся каждый раз о том, как будем печь хлеб, готовить пищу, делать вино, шить одежду и обувь, водить автомобиль... Если бы каждый раз нам нужно было не бездумно проводить ритуалы, а все время включать головной мозг, человечество давно бы вымерло. Подавляющая часть ритуалов для человечества полезна. В эволюции постоянно появляются и закрепляются новые ритуалы. Беда, однако, в том, что некоторые ритуалы на поверку оказываются либо бесполезными, либо даже вредными и затрудняют прогресс. Важнейшая функция природенных исследователей – смотрящих в огонь – во всем сомневаться, подвергать сомнению все, даже самые священные ритуалы, и препятствовать распространению и сохранению бесполезных и вредных ритуалов. Это довольно тонкая материя. Общество может позволить



себе содержание лишь очень небольшого слоя сомневающихся. Если бы все во всем сомневались, то человечество опять-таки остановилось бы и деградировало.

Тут мы переходим к важнейшей функции современной фундаментальной науки – к экспертизе. Фундаментальная наука оттачивает ум, она гораздо труднее, чем прикладная. Когда исследователь приходит к открытию, сперва он безумно радуется, а потом начинает изо всех сил подвергать его сомнению. Ведь если в его логику вкралась ошибка, ее обязательно позднее кто-то заметит, и открытие опровергнут. Фундаментальный исследователь должен быть честен – ведь ни природу, ни себя не обманешь.

Фейнман считал важнейшим требованием к истинной фундаментальной науке необходимость *“integrity”*. Это очень трудно переводимый термин. Переводы из словаря: *integrity* – целостность, сохранность, достоверность и правильность данных, соблюдение этических принципов, честность, высокие моральные качества. Поиск *integrity* иногда может занять многие годы. Гениальное озарение Дарвина о естественном отборе как причине образования биологических видов пришло к нему еще в молодости, во время кругосветного путешествия на корабле Ее Величества *Beagle* (1831–1836 гг.). А свою первую, оказавшуюся фундаментальной, работу «Происхождение видов путем естественного отбора, или Сохранение благоприятных рас в борьбе за жизнь» он опубликовал лишь спустя 23 года, в 1859 году.

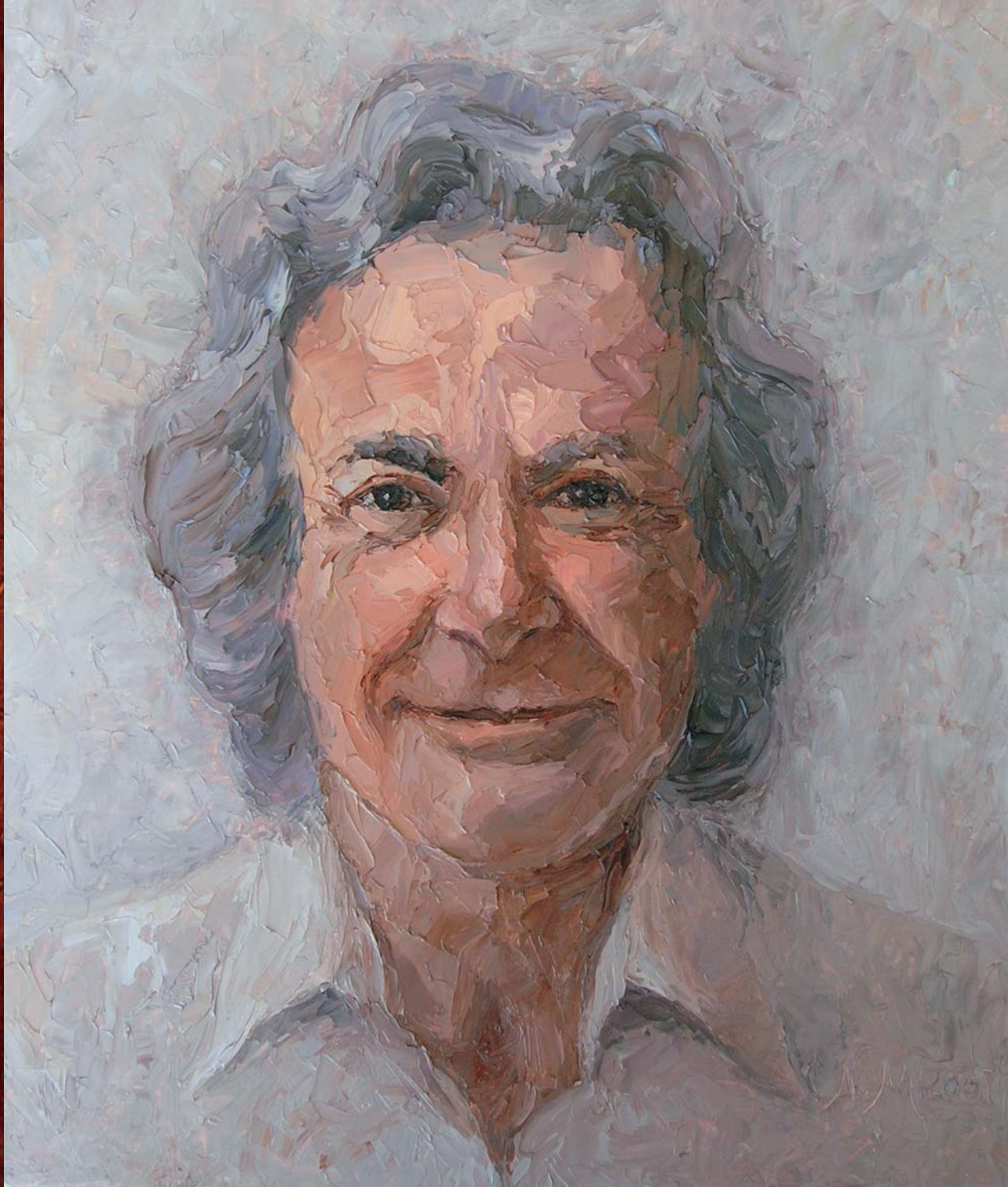
Натренировавшись в своей фундаментальной области, зрелый исследователь может быстро выяснить причины, приведшие к катастрофам и другим неприятностям, произошедшим из-за ошибок ученых-прикладников, инженеров или технических исполнителей. Его раскрепощенный ум быстро срывает figовые листки с ложных умозаключений и непригодных ритуалов и быстро обнажает правду. К тому же, маститому истинному исследователю сегодня не отрубаяют голову за известие о том, что король-то голый.

Почувствительны итоги проведенной Фейнманом блестящей экспертизы причин катастрофы американского космического челнока *Challenger*, в результате которой погибло семь человек, среди них одна простая школьная учительница. Катастрофа произошла в 1986 году, и проводил экспертизу Фейнман, будучи уже тяжело больным раком, от которого умер в 1988 году. Безопасность полета космического челнока гарантировала огромная когорта ученых и инженеров Американского космического агентства NASA. По подсчетам этой команды выходило, что вероятность тяжелой катастрофы челнока была равна 1 к 100 000, то есть эти люди утверждали, что одна катастрофа произойдет лишь в одном из 100 000 полетов. Такая надежность означала бы, что при ежедневном запуске одного шаттла, аварии случались бы в среднем лишь один раз за 274 года,



вопреки простому здравому смыслу и жизненным наблюдениям.

Правительство не зря привлекло к экспертизе Фейнмана. Не доверяя никому, он облетел всю Америку, посетил все конструкторские бюро и заводы, где конструировался и строился челнок, поговорил с тысячами инженеров и простых рабочих, перелопатил толстые тома технической документации. Очень скоро он выяснил, что вероятность катастрофы составляла не 1 к 100 000, а 1 к 10 (что и подтвердилось в дальнейшем



при запуске других челноков). К тому же он считал, что преувеличенная оценка надежности челнока была, скорее всего, не простой ошибкой, а результатом обмана. Ведь, как и мы грешные, американцы стремились запустить челнок к какому-то важному для политиков сроку. Фейнмана особенно возмутило то, что инженеры NASA обманули не только профессиональных астронавтов, для которых риск – часть их профессии, но и несчастную учительницу. Быть может, она не полетела бы на шаттле, зная о том, что истинная вероятность катастрофы составляет целых 10%.

Портрет Ричарда Фейнмана. Художник Натали Меерсон. 2007 г. Масло, фанера, 34×40 см.
Публикуется с разрешения автора

Фейнман обратил внимание на то, что запуск челнока происходил при холодной погоде (около -3°C), нехарактерной для штата Флорида (мыс Канаверал) – обычно там тепло и зимой, и летом. Топливо в разгонных ступенях челнока – порох – было размещено в огромных тонкостенных барабанах без днищ. Несколько барабанов соединялись друг с другом встык. Стыки были герметизированы специальной эластичной резиной. Фейнман отодрал небольшой кусочек этой резины и обратил внимание на то, что на холоде она полностью теряет эластичность и даже трескается при сгибании. Во время запуска челнока, естественно, снимался фильм, и на кадрах, снятых перед самым взрывом, было отчетливо видно, что пороховые газы прожгли корпус разгонной ступени в одном из мест стыка, и пламя вырывалось из середины блока наружу. Фейнман отметил, что запуски шаттлов никогда ранее не проводились при столь низких температурах. Причина катастрофы стала ему ясна: резина потеряла эластичность и не смогла компенсировать небольшое расхождение со стыковкой пороховых барабанов в результате вибрации. Образовалась щель, и через нее проникла струя горячих пороховых газов.

Фейнман доложил о своих выводах правительственной комиссии, но многие из ее членов, в особенности сотрудники NASA, их отвергли. Однако Фейнман был блестящим лектором и даже артистом и решил использовать эти свои качества для того, чтобы доказать свою правоту сразу всему народу Америки. По итогам расследования состоялось телевизионное интервью. Там говорились разные обтекаемые речи, но Фейнман взял в компанию кусочек резиновой прокладки челнока и во время интервью попросил принести ему стакан воды со льдом. После этого он продемонстрировал в прямом эфире физический опыт: окунул резинку в ледяную воду и затем резко согнул ее. Резинка треснула, и всем сразу стало все ясно.

Если читатель еще не устал, пусть прочитает еще два рассказа об экспертизах, сделанных маститыми истинными смотрящими в огонь исследователями. Одним из таких ученых был академик Анатолий Петрович Александров, один из ключевых участников Российского атомного проекта, а через много лет после этого – Президент АН СССР. Для обуздания атома нужно было получить большое количество тяжелого изотопа водорода, дейтерия. Для этого, сперва нужно было наработать огромное количество жидкого водорода (температура кипения -253°C), а затем перегнать этот жидкий водород, собрав в высококипящем кубовом остатке малую толику дейтерия. Нужно было срочно создать крупномасштабное производство. Незадолго до этого на производстве жидкого водорода в одном из городов Центральной России произошел сильный

взрыв с человеческими жертвами. Александров предложил построить крупномасштабное производство дейтерия в Москве, где в достатке имелись необходимые высококвалифицированные кадры. Товарищ Берия спросил его: «А твой завод не взорвется? Ты знаешь про взрыв в городе N?» Александров ответил: «О взрыве я знаю. У нас взрыва не будет. Я ведь знаю его причину». Причиной же взрыва было то, что при перегонке водорода на самых холодных частях аппарата накапливался иней, состоящий из чистого твердого кислорода. Всем известно, что смесь водорода и кислорода – это гремучая смесь. Александров предложил гениальное простое решение. На определенных интервалах времени сперва перегонялся водород, а затем установка полностью осушалась и прогревалась. Кислородный иней исчезал, и процесс можно было продолжить. Завод в Москве не взорвался. Анатолий Петрович Александров был настоящим смотрящим в огонь исследователем, крупнейшим специалистом в области физики полимеров, но смело брался за такие работы, которыми никогда раньше не занимался. Это и производство дейтерия, и размагничивание советских судов, и испытание атомных реакторов, и создание атомного надводного и подводного флота.

Такая широта кругозора свойственна многим крупным фундаментальным ученым, взявшимся за решение прикладных задач.

Третий пример блестящей экспертизы – это расследование причин вспышки смертельной сибирской язвы, произошедшей в 1979 году вблизи города Свердловска, в окрестностях военного завода объединения «Биопрепарат», занимавшегося разработкой и производством бактериологического оружия и, скажем для справедливости, средств борьбы с биологическим оружием. В 1976 году СССР и США заключили договор о запрещении производства биологического оружия ввиду того, что его после первых случаев военного применения японцами в Китае, наконец, сочли варварским, и к тому же малоэффективным и чрезвычайно опасным как для обороняющегося, так и для нападающего. Несмотря на соглашение, исследования и мелкомасштабные производства компонентов бактериологического оружия продолжались как в США, так и в СССР. Причиной аварии была ошибка персонала – работник не поставил вовремя воздушный фильтр, и споры сибирской язвы разнесло ветром по большой территории. По официальным данным, погибли 64 человека. Наши санитарные службы и военные микробиологи причину вспышки объяснили очень быстро. Решающим признаком было то, что болезнь протекала в самой тяжелой, легочной форме, что могло случиться лишь при поступлении спор через дыхательные пути. Но сообщать открыто об этом прискорбном случае в ту пору было никак нельзя,



власти списали все на передачу микробов человеку через мясо случайно заболевшего крупного рогатого скота. В начале 1990-х годов во время ельцинского правления в российско-американских отношениях наступило потепление, и состоялись взаимные визиты американских и российских военных микробиологов в те места, где создавалось и испытывалось бактериологическое оружие и соответствующие вакцины-противоядия.

Российско-американская делегация посетила Свердловское предприятие «Биопрепарат» для выяснения истинной причины вспышки сибирской язвы. Эту делегацию возглавлял американский профессор Мезельсон, человек, который вместе со своим товарищем Сталем когда-то сделал самый блестящий в мире, по моему мнению, биохимический эксперимент. Эти ученые с помощью ультрацентрифуги и нерадиоактивного тяжелого изотопа N15, кстати, полученного из СССР, поскольку этот изотоп не производился в то время в Америке, в 1958 году показали, что при удвоении ДНК N15, введенный в среду, не распределяется равномерно между двумя нитями ДНК синтезируемой делящейся клеткой, а сперва включается только в одну дочернюю нить, которая является копией исходного полимера. Так был доказан полуконсервативный механизм передачи наследственного вещества от поколения к поколению.

Мезельсон провел экспертизу в России очень тщательно и очень быстро. Ему показали все документы, незадолго до того бывшие совершенно секретными, и лабораторию, в которой произошла авария. Он, однако, не удовлетворился увиденным и подробно поговорил



с местным населением, посетил местное кладбище, записал даты смерти, указанные на табличках, потребовал и получил розы ветров для тех дней, в которые произошла катастрофа. Он очень быстро пришел к тем же выводам, что и секретная советская комиссия, и счел доказанным, что вспышка легочной сибирской язвы произошла именно из-за аварии на военном предприятии. До момента этой экспертизы Мезельсон никогда не занимался военной микробиологией.

Эрго для ФАНО: Умудренные опытом, честные, приученные к соблюдению принципа *integrity* фундаментальные ученые могут и должны участвовать в крупных экспертизах проектов и причин катастроф, и эти экспертизы иногда дают огромный экономический и политический эффект. Вопрос только в одном – как найти и как привлечь таких ученых к экспертизам. Особая оплата не является для них решающим стимулом. Привлекать к экспертизе рекомендуется только тех, кто еще в молодые годы достиг серьезных результатов в фундаментальной науке и приобрел в научной среде высокий авторитет.

Открою управленцам-экономистам еще одну ахиллесову пяту фундаментальных ученых. Поскольку от первого момента открытия до окончательного доказательства *integrity* проходит много времени, ученые иногда подолгу работают лишь с недостаточной для них интеллектуальной нагрузкой. В течение значительных промежутков времени они стараются, но не могут открыть ничего нового, и у них возникает особый комплекс – насущная потребность сделать что-нибудь полезное для общества. Фейнман был активнейшим участником Манхэттенского проекта и завоевал у коллег крупнейший авторитет. Однако у него возникло отвращение к разработке оружия массового уничтожения. Он был очень впечатлительным человеком. И ему снилось, как разрушается Нью-Йорк при атомной атаке, как рушатся стены, падают небоскребы и погибают люди. Он демобилизовался из Манхэттенского проекта уже 1945 году в возрасте 27 лет.

И решил поступить в один из гражданских институтов или университетов. Его сразу же пригласили в знаменитый Принстонский институт высших исследований, где работал великий Эйнштейн. Но Фейнман отказался, он подумал: «А что будет, если я буду числиться в этом элитном институте, получать высокую зарплату и другие блага, а фундаментальные открытия я сделать так и не смогу»? Он решил пойти в один из университетов и рассуждал так: «Я буду преподавать физику студентам и получать деньги за это. В свободное же время, если придет вдохновение, я попытаюсь сделать научное открытие, но это будет сделано добровольно, а не в обязательном порядке. Мне не будет

неудобно, если открытие не состоится». Он поступил сначала в Корнельский университет, а позднее – в Калифорнийский технологический институт, где весело преподавал физику, создал «фейнмановские» лекции по физике – самое знаменитое учебное пособие для всех стран, включая и СССР, а в свободное время ходил в бар, где занимался метанием вращающихся тарелочек – в то время в моде была такая игра. Странным образом, из этой игры в его голове и возникла концепция квантовой электродинамики, за которую он получил Нобелевскую премию в 1965 году. Итак, крупные фундаментальные ученые страдают комплексом вины в то время, когда они не могут делать фундаментальные открытия, и с удовольствием начинают делать практические дела – преподавать или изобретать, или решать прикладные задачи. Это и есть те моменты, в которые фундаментального ученого можно взять за жабры и привлечь к решению практически важных, в том числе сулящих экономическую выгоду, проектов.

Наша общая задача – сохранить тончайший слой смотрящих в огонь и способных делать фундаментальные открытия молодых и не очень молодых ученых. Им надо дать возможность спокойно работать. Во имя этой важнейшей задачи наука и власть обязаны найти общий язык, и сделать это нужно как можно скорее.

Спасибо моей любимой жене Елене Валентиновне Лихошвай за то, что она придумала название – «Смотрящие в огонь» и за все-все-все.

М.Г.

В публикации использованы работы художника Игоря Лекомцева «Музыка розовой флейты», «Свет», «Смотрящие на огонь», «Рождение сверхновой», «Один или двое? Солнце или луна?». Холст, масло. <http://www.il-gallery.com/>

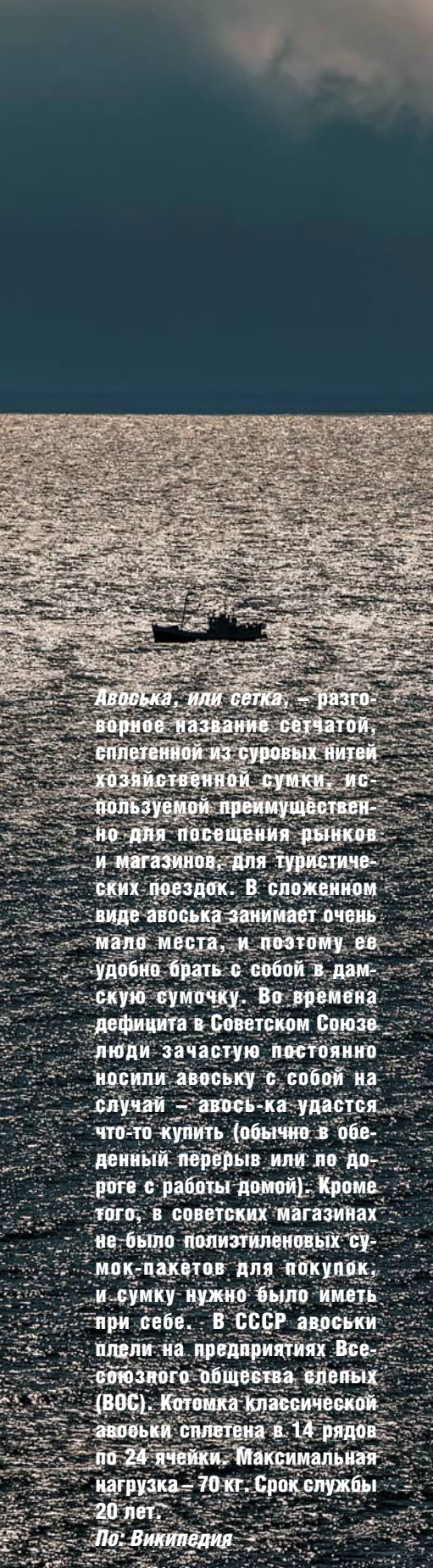




«Авоська и авось»

**Экологический
кризис
на Байкале:
Загадка века**

Фото В. Короткоручко



Авооська, или сетка, – разговорное название сетчатой, сплетенной из суровых нитей хозяйственной сумки, используемой преимущественно для посещения рынков и магазинов, для туристических поездок. В сложенном виде авооська занимает очень мало места, и поэтому ее удобно брать с собой в дамскую сумочку. Во времена дефицита в Советском Союзе люди зачастую постоянно носили авооську с собой на случай – авоось-ка удастся что-то купить (обычно в обеденный перерыв или по дороге с работы домой). Кроме того, в советских магазинах не было полистиленовых сумок-пакетов для покупок, и сумку нужно было иметь при себе. В СССР авооськи плели на предприятиях Всесоюзного общества слепых (ВОС). Котомка классической авооськи сплетена в 14 рядов по 24 ячейки. Максимальная нагрузка – 70 кг. Срок службы 20 лет.

По: *Википедия*

Пролог

По телевидению показывают жуткую картину: в океанах образовались три огромных горы пластикового мусора, в основном использованных пластиковых бутылок и пакетов. Разлагается пластик медленно и дает мельчайшие чешуйки, которые заглатывают рыбы и другие обитатели океана и гибнут в страшных мучениях.

Ни иностранцы, ни наши молодые люди уже не помнят, что такое авооська.

Очевидное решение: запретим пластиковые мешки во всем мире.

Дадим всем авооськи и пластиковые бутылки заменим на стеклянные, и, авоось, мусора в океане не будет. Так-то оно так, но тем не менее, однако... Не все так просто. Производство пластика приносит огромные прибыли, создает миллионы рабочих мест. Пока человечество не откажется от модели безудержного потребления, быть в океане мусору, гибнуть в океане рыбам и ракам ...



ГРАЧЕВ Михаил Александрович – действительный член РАН, доктор химических наук, директор Лимнологического института СО РАН (Иркутск) с 1987 по 2015 г. Основные научные интересы – биоорганическая химия, палеоклимат, аналитическая химия. М. А. Грачев принимал активное участие в подготовке Закона об охране озера Байкал. Лауреат Государственной премии СССР (1985 г.), лауреат премии им. А. П. Карпинского (1998 г.). Автор и соавтор 153 научных работ

© М. А. Грачев, 2016

Экологический кризис на Байкале

Начавшийся в 2011 году экологический кризис на Байкале многократно описан в научной литературе моими коллегами и другими учеными, а также в прессе; о нем говорят по радио и телевидению. О нем постоянно напоминают неправительственные организации, например, предводитель Северобайкальского природоохранного движения А. В. Тиссен. Причина его не ясна. Кризис крупномасштабный, охватил все мелководье Байкала по всему периметру длиной 1800 км. Коровы и лошади воду не пьют, люди не могут пить воду даже после кипячения. Купальщик поскальзывается, когда входит в воду. В журнале *National Geographic* байкальская субстанция названа слизью, которая покрывает дно. Дайверы раньше видели предметы на расстоянии 20–30 м, теперь видимость иногда падает до 2 м. Такой вот участок Мирового природного наследия ЮНЕСКО...

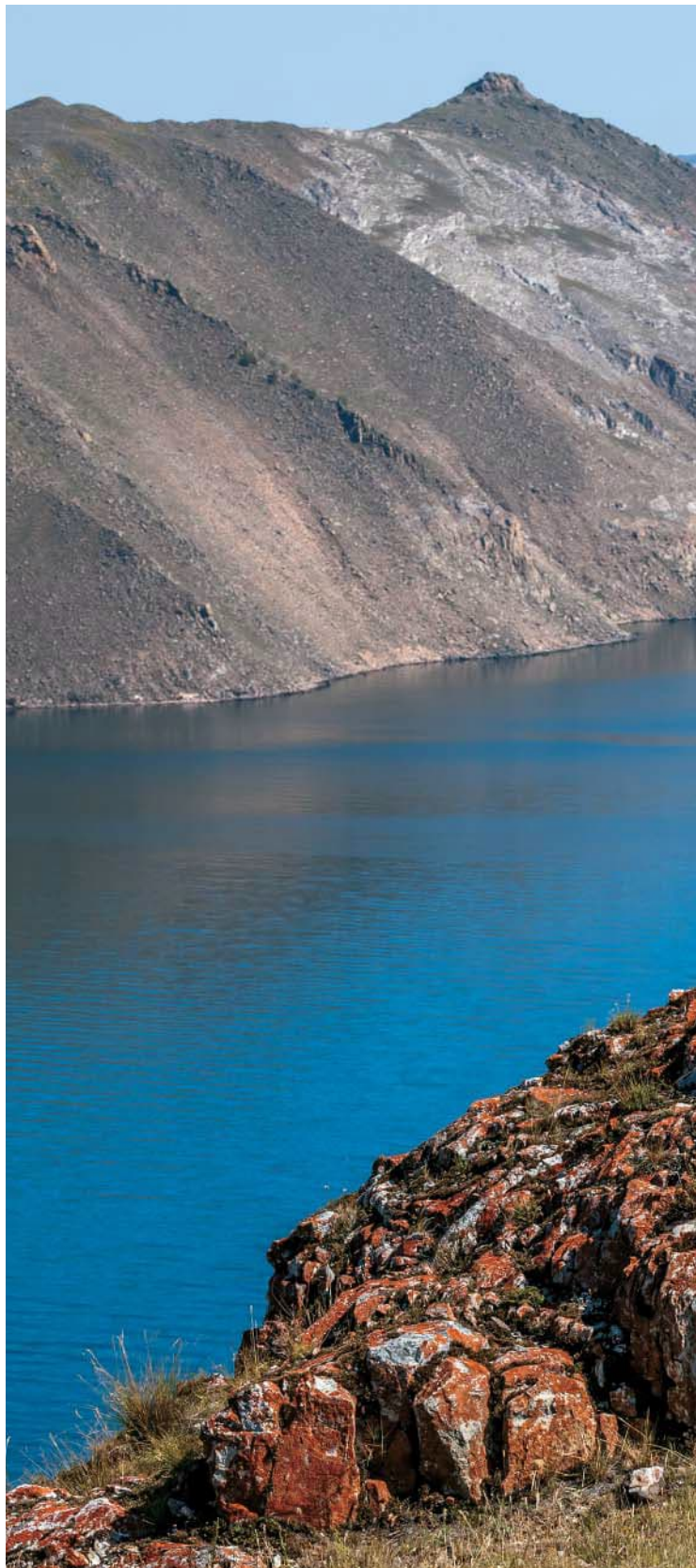
Дам только краткое перечисление фактов:

- необузданное развитие необычной для Байкала нитчатой зеленой водоросли спиригиры – тысячи и тысячи тонн;
- гибель почти всех байкальских губок, принадлежащих к нескольким эндемичным видам;
- исчезновение августовского стада байкальского бычка-желтокрылки, одной из кормовых баз омуля;
- неумеренное развитие цианобактерий на больших и мертвых губках и на грунте; образование толстых скользких водорослево-бактериальных матов;
- появление цианобактерий, выделяющих смертельно опасные нервно-паралитические яды сакситоксины.

Все это происходит в прибрежной мелководной зоне шириной порядка 100–200 м и глубиной до 25–50 м, на эту глубину еще проникает нужный для развития спиригиры солнечный свет.

Пелагиаль Байкала – его глубоководная зона – пока не пострадала; не изменилась ни химия воды, ни фитопланктон, ни изобилие омуля, ни благополучие байкальского тюленя. Это не мое мнение, а факты.

На наших четырех научно-исследовательских судах мы провели за последние четыре года 50 экспедиций, еще несколько экспедиций – по льду; сделаны лабораторные анализы, расчеты с участием не менее 50 наших и 10 иностранных ученых и отечественных узких специалистов. Наши водолазы совершили около 200 опасных погружений на глубины до 50 м. Очень помогло нам Федеральное агентство научных организаций, ФАНО, – оплатило все топливо, закупило



«Крепостные стены» Усть-Анги. Фото В. Короткоручко





Анжелика Васильевна Тиссен, лидер общественной организации «За чистый Северный Байкал» (г. Северобайкальск)

Анжелика Васильевна Тиссен, 1971 г. р., окончила Иркутский сельскохозяйственный институт по специальности «Биолог-охотовед», работала психологом в военкомате, инженером-программистом в «Бурятэнерго», предпринимателем. В настоящее время возглавляет находящуюся в Северобайкальске общественную организацию «За чистый Северный Байкал». В 2011 г. именно она обнаружила массовые выбросы погибшей спирогиры на северо-западном побережье Северного Байкала и добилась приезда федерального природоохранного инспектора Е. А. Иванова. Инспектор убедился в том, что А. В. Тиссен права и обратился в наш институт, чтобы мы помогли разобраться в ситуации.

С 2011 г. по настоящее время А. В. Тиссен беспокоит все уровни власти и просит помочь и спасти Байкал, и не без успеха. Недавно она встречалась с Главой Республики Бурятия В. В. Наговицыным. Вячеслав Владимирович, мудрый человек, сказал ей: «Что ты беспокоишься,





Байкальский прибой. Фото В. Короткоручко

пройдет время, и кризис пройдет. Возле Байкала есть озеро Котокель, и несколько лет назад там тоже был экологический кризис. Наука подняла большую тревогу, точную причину ученые тогда не установили, и мы не делали почти ничего. Сейчас Котокель снова чистый, все в порядке».

И действительно, ученые сейчас не знают, какова точная причина байкальского кризиса, и найти ее – дело чести науки

запчасти для импортных приборов, разрешило ввести дополнения в государственные задания.

Байкал – это сложная система; не «очень сложная», а сложная. Это не эпитет, а математический термин.

Английский физик Исаак Ньютон (1643–1727) писал: «Дайте мне координаты и импульсы всех частиц во вселенной, и я вам опишу все ее прошлое и предскажу все будущее». Неправ был старик, нельзя этого сделать, но не потому, что приборов, наблюдателей и компьютеров у нас недостаточно, а по принципиальным причинам. Все реальные системы в нашем мире сложные, неравновесные, и точное предсказание их поведения принципиально невозможно.

Но ученые выдвигают десятки гипотез – это их работа. Перечислю гипотезы о причине байкальского кризиса:

◀ Глава Республики Бурятия В. В. Наговицын
© Правительство Республики Бурятия

Научные и ненаучные гипотезы

Отгадки и домыслы

Эвтрофикация прибрежной зоны



Эвтрофикация – это избыточное питание. Конечно, оно есть, это очевидно. Однако, как питание туда попадает, и почему за сотни лет со времен Протопопа Аввакума, 1662* (см. стр. 16) бурного роста спиририры не было? Это и есть загадка века. Вполне вероятно, что источником питательных веществ является безудержно развившийся дикий туризм

Потепление климата

1980



2012



Связь кризиса с потеплением климата не доказана; теплые годы случались и раньше, но к спиририрным кризисам не приводили. К тому же на Байкале максимум развития спиририры наступает не летом, а в октябре



Научные и ненаучные гипотезы

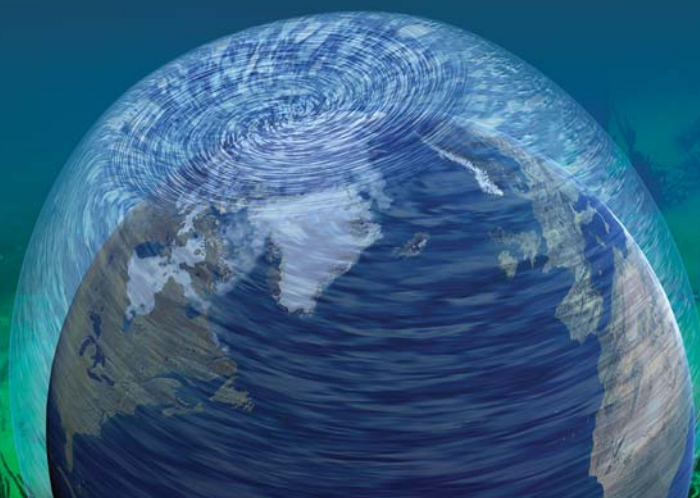
Отгадки и домыслы

Вселение нового вида спиригиры (всего их около 400 по всему миру)



Гипотеза проверяется

Истончение озонового слоя в тропосфере над Сибирью



Фантастика



Научные и ненаучные гипотезы

Отгадки и домыслы

Неконтролируемое размножение байкальского тюленя нерпы

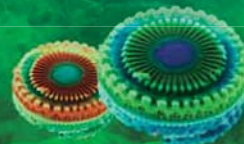
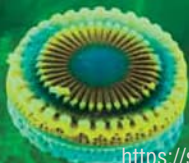


Факт увеличения численности нерпы научно не доказан. Однако нерпа каждый день ест 4 кг рыбы, и масса ее питательных фекалий попадает в мелководье

Возвращение на Байкал огромных стай околководных птиц бакланов, которые сбрасывают свои фекалии на мелководье



Связь не установлена



Научные и ненаучные гипотезы

Отгадки и домыслы

Разрушение слоя газового гидрата на дне Байкала и резкое увеличение концентрации метана в воде, погубившего губки



Губки метана не боятся,
это доказано

Снижение уровня Байкала «негодяями»-энергетиками



Энергетики – не негодяи.
Подобные понижения уровня
случались на Байкале и ранее,
но к кризисам не приводили

Спирогира рождается там, где много питания, потом отрывается от лежащих на дне камешков, и в виде плотов перемещается к берегу



Пока для меня эта гипотеза
самая правдоподобная



96 * Один из первых восхищенных отзывов о Байкале из русских людей оставил протопоп Аввакум. При возвращении из даурской ссылки неистовому протопопу пришлось летом 1662 года переправляться с восточного берега моря-озера на западный, и он пишет о Байкале:

«...Лодку починя и паруса скропав, через море пошли... Егда к берегу пристали, восстала буря ветренная, и на берегу насилу место обрели от волн. Около ево горы высокие, утесы каменные и зело высоки, – двадцать тысяч верст и больши волочился, а не видал таких нигде. Наверху их полатки и повалуши, врата и столпы, ограда каменная и дворы, – все богоделанно. Лук на них растет и чеснок, – больши романовского луковицы и слаток зело. Там же растут и конопли богорасленные, а во дворах травы красныя и цветны и благовонны гораздо. Птиц зело мно-

Панорама средней котловины озера Байкал с высоты берегового утеса. Фото В. Короткоручко

го, гусей и лебедей – по морю, яко снег, плавают. Рыба в нем – осетры и таймени, стерледи и омули и сиги и прочих родов много. Вода пресная, а нерпы и зайцы велики в нем: во океане-море большом, живучи на Мезени, таких не видал. А рыбы зело густо в нем: осетры и таймени жирни гораздо, – нельзя жарить на сковороде: жир все будет. А все то у Христа тово-света наделано для человек, чтоб, успокояся, хвалу Богу воздавал».

«Житие Протопопа Аввакума, им самим написанное» (1662)

Загадка века

Кризис я называю «загадкой века», поскольку, по крайней мере, за 100 последних лет научных наблюдений на Байкале подобной беды не случилось ни разу. И раньше, во времена протопопы Аввакума, подобной выходки спирогиры, вероятно, не было ни разу. Где же загадка? Постоянно проживающие на берегу Байкала жители сбрасывают в озеро ежегодно около 50 т неорганического фосфора. Общее количество неорганического фосфора в Байкале – 308 000 т, т. е. примерно в 6000 раз больше. Значительная часть фосфора к тому же ежегодно утекает с водами Ангары. Ничтожная ежегодная добавка – 1/6000 часть – не могла бы вызвать и не вызвала эвтрофикацию всего озера. Представьте себе, что вам принесли горшок с горохом, но повар ошибся и положил одну лишнюю горошину. Вырастет ли ваш вес?

Зато добавка «горошины» антропогенных питательных веществ в мелководье Байкала действительно могла бы легко вызвать эвтрофикацию прибрежной зоны, если бы она была отделена от открытого Байкала водонепроницаемой стеной, ведь ее объем равен всего пяти кубокилометрам, а объем всего Байкала равен 23 тысячам кубокилометров.

Но стены-то нет. Почему же вода мелководий не обменивается с водой открытого Байкала? Это очень сложная задача из области гидродинамики, для решения которой требуются талантливые физики, математики; не имитационные, а более сложные математические модели; нужны эксперименты во вращающихся опытовых бассейнах, нужны новые натурные наблюдения.

К тому же надо объяснить не только эвтрофикацию мелководной зоны, но и взаимосвязь всех происходящих одновременно кризисных событий: безудержное развитие спирогиры – гибель губок – безудержное развитие ядовитых цианобактерий.

Массовая гибель популяций морских губок наблюдается в мире повсеместно – в Мексиканском заливе, в Карибском море, в Северной Атлантике, в Средиземном море, на Большом Барьерном рифе. Правда, массовая гибель пресноводных губок описана нами впервые. Причину массовой гибели морских губок пытаются установить ведущие биологи многих стран мира, грешат на заражение неизвестными микробами, на глобальное потепление климата, на яды антропогенного происхождения, на возросшее поступление питательных веществ. Работы ведутся, начиная с середины XX века, но к успеху не привели, причины так и остаются неизвестными.

Байкал – гораздо более простая экосистема, чем Мировой океан, и во многом можно было бы разобраться года за три, если бы были деньги. Нельзя работать без реактивов и «расходников», без ремонта приборов, без оплаты аутсорсинга, никто нам в долг не поверит.

Какого-либо специального фонда для разрешения кризисных экологических ситуаций в стране нет, обычного же финансирования не хватает. Естественно, что еще в 2011 г. мы доложили научному сообществу и политическим руководителям всех уровней о кризисе, но деньги от этого не появились.

На принятую в 2012 г. Федеральную целевую программу «Об охране озера Байкал и социально-экономическом развитии Байкальской природной территории» выделено 57 млрд рублей, но ничего не выделено байкальской науке, а нам нужно всего лишь 0,4% от этой суммы, чтобы попытаться понять, что происходит. Без более глубокого понимания трудно надеяться на то, что предлагаемые меры дадут ожидаемый эффект.

На Байкале из 29 сооружений для очистки бытовых стоков поселков и объектов рекреации работает только два, и даже они не обеспечивают предписываемого Законом качества очистки стоков. Нужны не обычные сооружения с биологической очисткой, а специальные установки, в которых доочистка от соединений азота и фосфора производится благодаря специальным технологиям и применению реагентов. Обычное очистное сооружение с биологической очисткой стоков для крупного Байкальского поселка будет стоить 400 млн рублей. Сооружение с дополнительной доочисткой от питательных элементов – азота и фосфора – будет стоить раза в два дороже. А ведь на всем западном побережье Байкала нет не только очистных сооружений, но и системы канализации, без которой эти сооружения бесполезны.

Еще лет 20 назад можно было надеяться, что Байкал справится с человеческими отходами сам. По дороге, ведущий из Иркутска в пос. Листвянка – это самая близкая к Иркутску «визитная карточка» Байкала – пробегало несколько десятков машин, бродили стада коров, и машины уступали им дорогу. По данным ГАИ, в один из дней 2015 г. Листвянку посетило три тысячи автомобилей, и в каждом сидело в среднем по четыре человека. Канализации на большей части территории Листвянки нет, загрязненные стоки из жилых домов и гостиниц с подземными потоками так или иначе попадают в Байкал.

Строительство очистных сооружений и канализации на берегу Байкала потребует много времени и сил.

Однако представим себе на минуту, что наука была не права, не сумев провести достаточно детальных и убедительных исследований. Окажется, что деньги на систему удаления фосфора были потрачены неэффективно. Но очистные сооружения нужно строить, так сегодня требует Закон. Так бывает – политики часто вынуждены принимать решения в условиях недостатка информации, но лучше, чтобы информация была.

Сейчас необходимо разработать и испытать на деле различные системы удаления фосфора из стоков, а в идеале – доказать, что благодаря этому экологический кризис на Байкале может быть остановлен и повернут вспять – это предмет науки.

Известно, что скупой платит дважды. Я уверен в том, что опытно-промышленные установки будут созданы и испытаны, а деньги найдутся. Сегодня отношение к этой проблеме заметно изменилось.

Черный лебедь

Кризис на Байкале стал совершенно неожиданным, и вряд ли его можно было предсказать.



Есть такой знаменитый американский философ, математик, экономист и успешный игрок на бирже, Нассим Николас Талеб. Родился он в Ливане в 1960 г. Знаменитую Гарвардскую школу экономики он называет Советско-гарвардской школой экономики, которая своей главной задачей считает

предсказание курсов акций и благополучия государства. Как он говорит, в этой школе есть кафедра орнитологии, где в клетке содержат птиц, а профессора учат птиц летать – машут рукавами, поднимают ногу, опускают нос. Месяца через три птиц отпускают. И, о чудо! Птицы научились, они летят и улетают прочь. Слава прекрасным экономистам! Прекрасная школа!

Талеб ввел понятие «черного лебедя». Наши экономисты, кажется, о нем слышали. «Черный лебедь» – редкое событие большой амплитуды, которое совершенно невозможно предсказать в принципе, даже если есть компьютеры любой мощности. Обычными «советско-гарвардскими» методами нельзя пользоваться для игры на бирже для того, чтобы предсказывать климат или цены на нефть и курс доллара, результат настоящего научного исследования, будущее состояние Байкала – потому что все это – сложные системы, в которых бесконечно малые причины могут рождать бесконечно большие последствия. Талеб извлек выгоду из понимания черного лебедя, его секрет был в том, что встретить «черного лебедя» он всегда был готов, и в результате преуспел.

Не понадеялся он на русский авось. Надеюсь, что и мы сумеем понять и обуздать своего байкальского «черного лебедя».

Литература

- Бормотов А. Е. Что случилось с байкальскими губками? // НАУКА из первых рук, № 5(41), 2011
- Ващенко Б. Чужие на Байкале // National Geographic. 2015. № 146. С. 6.
- Ицкович В. Б., Шигарова А. М., Глызина О. Ю. и др. Изменение содержания БТШ70 у байкальской эндемичной губки *Libotirskia Baicalensis* в процессе обесцвечивания и в условиях гипертермии // Актуальные проблемы науки Прибайкалья: Сборник статей / отв. ред. И. В. Бычков, А. Л. Казаков. Вып. 1. Иркутск: Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 135–138.
- Кравцова Л. С., Ижболдина Л. А., Ханаев И. В. и др. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в открытом Лиственничном заливе озера Байкал, как следствие локального антропогенного воздействия // Докл. РАН. 2012. Т. 447 № 2. С. 227–229.
- Ханаев И. В., Дзюба Е. В., Кравцова Л. С., Грачев М. А. Влияние массового развития зеленых нитчатых водорослей на воспроизводство желтокрылки *Cottocomephorus grewingkii* (Dybowski, 1874) (Cottidae) в условиях экологического кризиса озера Байкал // Докл. РАН. 2016. Т. 467 № 1. С. 119–121.
- Howard B. C. Green Slime Invades World's Deepest Lake // National Geographic, 2015 V. 7. Kravtsova L. S., Izhboldina L. A., Khanaev I. V. et al. Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal // J. Great Lakes Res. 2014. V. 40. P. 441–448.
- Timoshkin O. A., Samsonov D. P., Yamamuro M. et al. Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest freshwater biodiversity in danger? // J. Great Lakes Res. 2016. V. 42. N 3. P. 487–497

Ключевые слова: озеро Байкал, Восточная Сибирь, прибрежная эвтрофикация, спирогира.
Key words: Lake Baikal, East Siberia, coast eutrophication, Spirogyra

В публикации использованы фото:

С. 92 – В. Короткоручко; NASA/Goddard Scientific Visualization Studio; С. 93 – С. Инкена;
С. 94 – Министерство природных ресурсов и экологии РФ, «Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2014 г.»; В. Глупова, О. Хлыстова, В. Короткоручко,
Е. Волковой; С. 98 – черный лебедь, *Cygnus atratus*. Centennial Park, Сидней, Австралия,
9 августа 2008. Фото с [tps://www.flickr.com](https://www.flickr.com)



МЫ ЕСТЬ!





«...Гуляют там животные невиданной красоты...»

БГ

В Байкале обитают различные организмы, а не только печально известная спиригира.

Да она совсем и не ужасная, ее называют еще – «морской шелк», а в микроскопе спиригира – вообще красавица! Переливается своими спирально закрученными хлоропластами, как будто спрашивает: «Попробуй, определи меня до вида!»

Другие байкальские обитатели тоже «задают» ученым много вопросов, а ученые – им.

А как это происходит у олигохет? Как тихоходки умудряются выживать в открытом космосе? Есть ли польза от байкальских рыб, кроме гастрономической?

«Хотим быть учеными!» – ответили девочки восьмиклассницы, на вопрос: «А зачем вы пришли к нам в институт?»

“Keep their eyes shining!” – сказал как-то мой коллега Ричард Кроуфорд, известный классик-диатомист.

По мнению Жореса Алферова, будущие крупные открытия будут совершены в биологии и медицине. Сможем ли мы принять в этом участие? Сможем ли мы сохранить горящими глаза молодых ребят?



Ключевые слова: озеро Байкал, экологический кризис прибрежной зоны, Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук.

Key words: Lake Baikal, coast eutrophication, Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences

ЛИХОШВАЙ Елена Валентиновна – доктор биологических наук, профессор (специальность «Гидробиология»), заведующая отделом ультраструктуры клетки Лимнологического института СО РАН (Иркутск).

Основные научные интересы – тонкое строение и систематика диатомовых водорослей, транспорт и отложение кремния живыми организмами, методы визуализации внутриклеточных процессов с помощью электронной микроскопии. Автор 170 научных работ, соавтор и редактор нескольких монографий

© Е. В. Лихошвай, 2016



Восьмиклассницы считают бляшки.
День российской науки
в Лимнологическом институте СО РАН.
Иркутск, февраль 2016 г.
Фото М. Башенхаевой

Реформа РАН была нужна, это теперь признают практически все. С тех пор много времени прошло, реформировалась и реформа. Будет ли достигнута ли ее цель?

Заключительный этап реформы совпал по времени с развитием экологического кризиса на Байкале. Хорошо ли – плохо, но эти события совпали.

Хронология кризиса

Напомню, что первым официальным изданием, осветившим проблему, стал журнал «НАУКА из первых рук», который опубликовал пронзительное и резонансное сообщение о гибели байкальских губок («Что случилось с байкальскими губками?», № 5 (41), 2011).

Подготовка и публикация первого научного сообщения (Кравцова и др., 2012) потребовали ответственности и смелости. Листвянка – центр притяжения, Байкал – источник питьевой воды, а тут такое творится! В этом комплексном исследовании биологов и химиков была названа возможная причина – эвтрофикация сточных вод. Спирогира стала основным действующим лицом. Не признать это было трудно.

Одновременно с реформой РАН и экологическим кризисом на Байкале случилась другая беда – падение уровня Байкала, и именно эту тему подхватили центральные СМИ.

Как-то ночью звонят корреспонденты из Москвы:

– Михаил Александрович *, правда, что Байкал высыхает?!

– К утру не высохнет, – последовал ответ, – у нас экологическая проблема – развитие спирогиры!

Информация об экологическом кризисе долгое время дальше локальных СМИ не проходила.

МА* делал доклады.

СТРАТЕГИЯ ОХРАНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЗАКОН

«ОБ ОХРАНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ»

Доклад на круглом столе в Государственной думе РФ, Москва, 14 января 2013 г.

«...ФЦП по охране Байкала, к сожалению, практически не нацелена на решение экологических проблем в центральной экологической зоне. Одной из ключевых проблем является сброс неочищенных фекалий в Байкал с туристических судов. Другой – проблема засорения береговой линии бытовым мусором. Если на Байкале будет развиваться туризм, срочно требуется спроектировать и построить инфраструктуру для питьевого водоснабжения и канализования бытовых стоков».

* Академик РАН Михаил Александрович Грачев, директор ЛИН СО РАН 1987–2015 г.

О ПРОБЛЕМАХ БАЙКАЛА

Заседание Президиума РАН, Москва, 18 ноября 2014 г.

«...Существует целевая Федеральная программа “Об охране озера Байкал и о социально-экономическом развитии байкальской природной территории”. 57 миллиардов рублей выделено на эту программу. Продолжительность четыре года.

Должен сказать, что из этой программы не нашлось ни одного рубля на то, чтобы сделать нормальные очистные сооружения в той зоне, которая прилегает непосредственно к Байкалу. На Байкале нужно построить порядка десяти очистных сооружений, причем не простых, а таких, которые удаляют азот и фосфор. А перед этим необходимо сделать проект и построить в выбранных точках водопроводные и канализационные трубопроводы.

Стоимость реализации проекта на Байкале может достигать одного миллиарда рублей. Это огромная сумма, но, может быть, какие-то мероприятия, упомянутые в ФЦП, можно отменить или отложить; требуется экспертиза, в которой могла бы принять участие Российская академия наук в соответствии с новым законом».

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС НА БАЙКАЛЕ

Заседание Общественной палаты, Москва, 10 июня 2015 г.

«...В число ведомств, на которые возложен мониторинг экосистемы Байкала, не входит орган государственного управления наукой – ФАНО России. Чтобы решить неожиданно вставшую перед нами задачу и предложить наиболее эффективные меры для нормализации экологической обстановки на озере Байкал, необходимо изменить это положение.

ФАНО России нужно было бы получить заказ от государства на проведение комплексной экологической экспертизы современного состояния экологической системы озера Байкал, результатом которой должна стать выработка комплекса необходимых мероприятий и получение нужного результата в условиях жесткой экономии».

Первая публикация в центральной прессе, которую читает руководитель страны, появилась только 17 марта 2015 г. – в Федеральном выпуске № 6626 (55) «Российской газеты» – официальном печатном органе Правительства Российской Федерации. Статья называлась «Воду не пить», автор – Юрий Медведев:

«...Подобного экологического бедствия Байкал не знал 100 лет».

Нет, речь не идет об усыхании самого глубокого озера в мире, о чем последние недели постоянно сообщают в СМИ разные руководители. На самом деле у Байкала есть куда более серьезные проблемы. “Но на них никто не обращает внимания”, – сказал корреспонденту “РГ” директор расположенного на Байкале Лимнологического института СО РАН академик Михаил Грачев».

В редакции газеты сообщили, что этой темой может заинтересоваться обозреватель РГ Анатолий Петрович Юрков (главный редактор газеты в 1995–2001 гг.), МА дали его номер телефона. В результате 02.07.2015 в № 6715 (144) появилась статья «Великое озеро грозит уничтожить новый враг»:

«Без двух минут в полдень на моем мобильнике обозначился незнакомый номер.

– Академик Грачев. По чрезвычайному делу звоню. На Байкале зреет экологическая катастрофа... И, похоже, мы ее проморгали.

Михаил Александрович никогда не был похож на паникера. И если осторожно говорит, что, возможно, ее, беду, проморгали, то надо понимать так, что уже проморгали.

– А Академия наук, Михаил Александрович?

– Мы уже два раза официально докладывали, что происходит. Но это не то, что происходило с Байкальским бумкомбинатом. Там мы хоть знали, как процесс остановить. А тут она прет и прет. Надвигающаяся катастрофа очевидна только науке, администрация не хочет ее признавать, мол, наука опять шум поднимает».

Следом, 21 июля 2015 г. вышла статья Анатолия Петровича «Заступников много», РГ № 6730 (159).

Статьи в центральной прессе, тем более в печатном органе Правительства РФ, сделали возможным публикацию Б. Ващенко «Чужие на Байкале» в журнале *National Geographic* (13 ноября 2015 г.)

«...У этой тины, похоже, нет совести! – грустно шутит руководитель Лаборатории геносистематики Лимнологического института, профессор Иркутского университета Дмитрий Щербаков, работающий на Байкале с 1989 года, – Размножаясь в водах озера, эта чужеродная водоросль, судя по всему, угадала такую комбинацию генов, которая позволила ей победить всех местных, подобно хулигану на танцах». Именно в лаборатории профессора Щербакова из комка тины, взятого на анализ осенью 2013 года, извлекли несколько отдельных ниточек и расшифровали небольшой участок ДНК. Эта ДНК принадлежала спиригире. Правда, пока исследовано меньше одного процента всех водорослей в комке, и еще рано утверждать, что вся тина состоит из спиригиры».

Изложенные в перечисленных докладах и публикациях аргументы, видимо, оказались достаточно убедительными, чтобы руководство Сибирского отделения РАН обратило на них внимание. Не прошло и нескольких лет с начала кризиса, и 4 декабря 2015 г. на Общем собрании Сибирского отделения РАН, проходящем в новосибирском Академгородке, были представлены ключевые достижения сибирских учёных: «...Особое внимание академик А.Л. Асеев уделит результатам, нацеленным на экологическую и продовольственную безопасность. Он обозначил основной вывод из наблюдений за состоянием Байкала специалистами Лимнологического института СО РАН (г. Иркутск): «Предел устойчивости экосистемы озера превышен» («Наука в Сибири», 4 декабря 2015 г.).





Спустя еще три месяца, 18 марта 2016 г., на очередном Общем собрании СО РАН в числе шести аналитических записок и предложений, подготовленных Президиумом СО РАН за 2015 г., две – были посвящены экологической ситуации на Байкале: «Аналитическая записка Президенту РФ об экологической катастрофе оз. Байкал», «Предложение СО РАН в Управление Президента РФ по научно-образовательной политике и о неотложных мерах по исследованию изменений экосистемы оз. Байкал».

Статьи А. П. Юркова в РГ продолжали выходить: 13 января 2016 г. «В ожидании «Черного лебедя»» (после выборов нового директора ЛИИ СО РАН), 17 мая 2016 г. «Омбудсмен для Байкала»:

«Фразу “история нас учит...” все считают аксиомой и лезут за мудростью в подвалы веков. Хотя вчерашний день – уже история. И он учит лучше, чем позавчерашний. Но никто не хочет умнеть на вчерашних ошибках. Может, они еще и не ошибки, а нечто гениальное, непонятое современниками – время покажет.»

Сейчас

Реформа продолжается. Десятипроцентное сокращение бюджета институтов по сравнению с прошлым годом привело к стагнации уже в середине мая. «Денег нет!». Нет денег на повышение в должности успешных ученых, нет денег, чтобы взять в институт успешных аспирантов. На реактивы–командировки – само собой. Сокращайтесь. А у нас

ИЗ УСТАВА ЛИМНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА СО РАН:

Институт является научным учреждением, выполняющим междисциплинарные комплексные исследования озера Байкал и других водоемов Сибири.

Основные научные направления деятельности Института:

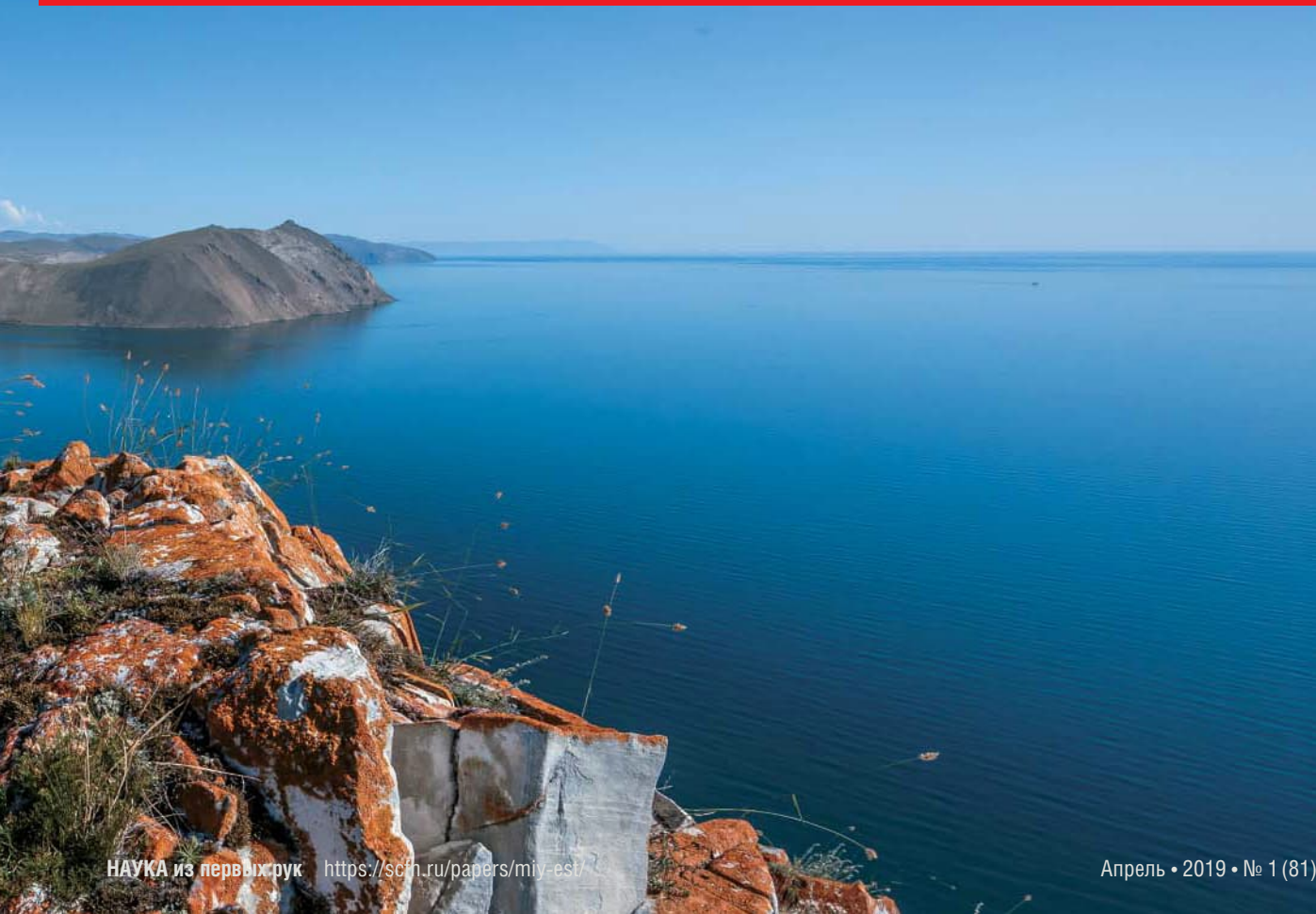
Лимнология: механизмы образования, биоразнообразие, эволюция озерных систем;

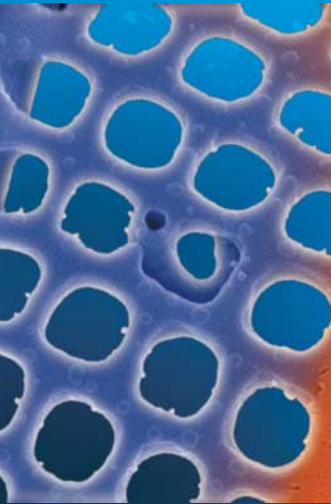
Современное состояние и прогноз развития водоемов и водотоков суши;

Живые системы: комплексное исследование гидробионтов методами классической и молекулярной биологии и смежных наук.

День российской науки
в Лимнологическом институте
СО РАН. Иркутск, февраль 2016 г.
Фото М. Башенхаевой



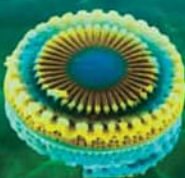


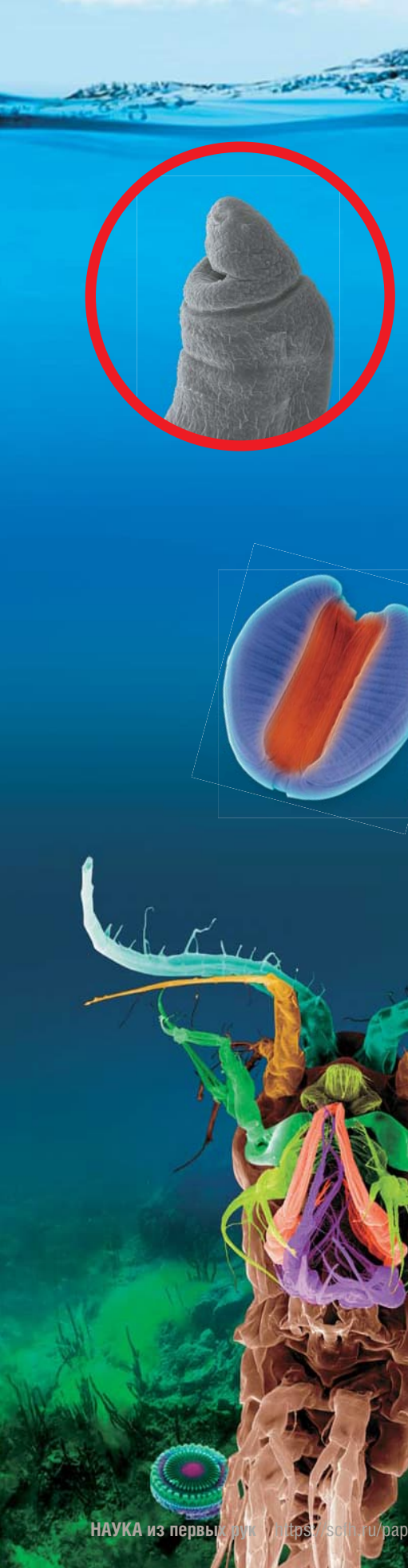


Некоторое время назад с главной страницы сайта Лимнологического института вдруг исчез фильм о Байкале; об организмах, его населяющих; и об ученых, их изучающих, созданный в 2006 г. В фильме звучит песня Бориса Гребенщикова «Под небом голубым есть город золотой ...»

Вместо фильма, статьи М. А. Грачева «Смотрящие в огонь» («НАУКА из первых рук», № 2(56), 2014), роликов и сообщений биологов об экологическом кризисе появился и висит одиноко *The Ecological Atlas of the Baykal Basin*, выпущенный на английском языке под редакцией сенатора А. К. Тулохонова. А там карты, карты

А в Байкале важна Жизнь. Каждый живой организм *есть*.





«каждой твари по паре» – химиков, физиков, генетиков, микробиологов, альгологов, зоологов – 11 разных специальностей аспирантуры! Какую сокращать?

Мы привыкли работать комплексно. И сейчас можем сделать новый шаг – от комплексных исследований к – системным. Кризис поразил *экосистему* озера, не только губок, болезнь которых – очевидна. В Байкале – несколько тысяч различных видов организмов. Они существуют вместе миллионы лет, между ними установились определенные связи, которые обеспечивают стабильность экосистемы. Изменилась экосистема прибрежной зоны – здесь «хозяйничает» спирогира. А как это повлияло на самочувствие других видов? Как изменение химического состава воды или прибрежных течений влияет на их размножение, рост, развитие? Как изменятся пищевые цепи-сети? Как *вся* экосистема функционирует и каков прогноз?

Кризис поставил эти вопросы. Поможет ли их решить реформа РАН? Без информационно-аналитических подходов здесь не обойтись. А с ними возможен прорыв к *системной лимнологии*. Об этом – в следующем номере журнала.

Мы есть! Не отводите глаз от наших проблем.

Литература

Академик Асеев назвал основные научные результаты 2015 года // *Наука в Сибири*, 4 декабря 2015 г. <http://www.sbras.info/news/akademik-aseev-nazval-osnovnye-nauchnye-rezultaty-2015-goda>.

Бормотов А.Е. Что случилось с байкальскими губками? // *НАУКА из первых рук*, 2011, №5 (41), С. 20–23.

Ващенко Б. Чужие на Байкале // *National Geographic*. 2015. № 146. С. 6. <http://www.nat-geo.ru/nature/827082-chuzhie-na-baykale/#full>

Грачев М.А. Смотрящие в огонь // *НАУКА из первых рук*, 2014, №2 (56), С. 26–43

Кравцова Л. С. и др. Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственичный озера Байкал. // *Докл. РАН*. 2012. Т. 447 (2). С. 1–3.

Медведев Ю. Воду не пить // *Российская газета*. 2015 г. № 6626 (55).

Юрков А.П. Заступников много // *Российская газета*. 2015. № 6730 (159). <http://rg.ru/2015/07/21/ekologiya.html>.

Юрков А.П. Великое озеро грозит уничтожить новый враг // *Российская газета*, 02.07.2015, № 6715 (144)

Юрков А.П. В ожидании Черного лебедя // *Российская газета*. 2016. № 6871 (3). С. 18. <http://rg.ru/2016/01/13/baykal.html>.

Юрков А.П. Байкал вызывает... в суд // *Российская газета*. 2016. № 6907 (39). <http://rg.ru/2016/02/25/ozeru-bajkal-v-nedalekom-budushchem-grozit-ekologicheskaja-katastrofa.html>

Юрков А.П. Омбудсмен для Байкала // *Российская газета*. 2016. № 6973 (105). <http://rg.ru/2016/05/17/reg-sibfo/nuzhna-li-bajkalu-sistema-bezopasnosti.html>.

В публикации использованы фото В. Короткоручко

Автор выражает благодарность Г. И. Филипповой за работу по подбору публикаций по теме статьи

«ДУМАЙ о науке!»»

ОГЛАВЛЕНИЕ

- | | | | |
|----|---|-----|--|
| 04 | М. А. Грачев
Байкал в моей жизни | 56 | А. А. Морозов
Зачем «читать» геном <i>Synedra acus</i> ? |
| 24 | М. А. Грачев
Путь на восток...
<i>К юбилею академика М. А. Грачева</i> | 60 | Д. П. Петрова, А. М. Марченков
Белки-транспортёры кремния:
долгий путь к открытию |
| 36 | М. А. Грачев
50 лет в строю,
или Запрограммированная смерть | 68 | М. А. Грачев
Смотрящие в огонь |
| 42 | Байкал – природная лаборатория | 86 | М. А. Грачев
«Авоська и авось»
<i>Экологический кризис на Байкале:
загадка века</i> |
| 44 | Живой кремний Байкала | 100 | Е. В. Лихошвай
Мы есть! |
| 46 | Е. Д. Бедошвили, К. В. Гнеушева
Кремниевые нанотехнологии
«в пробирке» | | |





*Панорама средней котловины озера Байкал
с высоты берегового утеса. Фото В. Короткоручко*



Стратегия развития Лимнологического института. Докладывает новый директор член-корреспондент М. А. Грачев. Заседание Президиума ИНЦ СО АН СССР. Январь 1988 г. Фото В. Короткоручко

