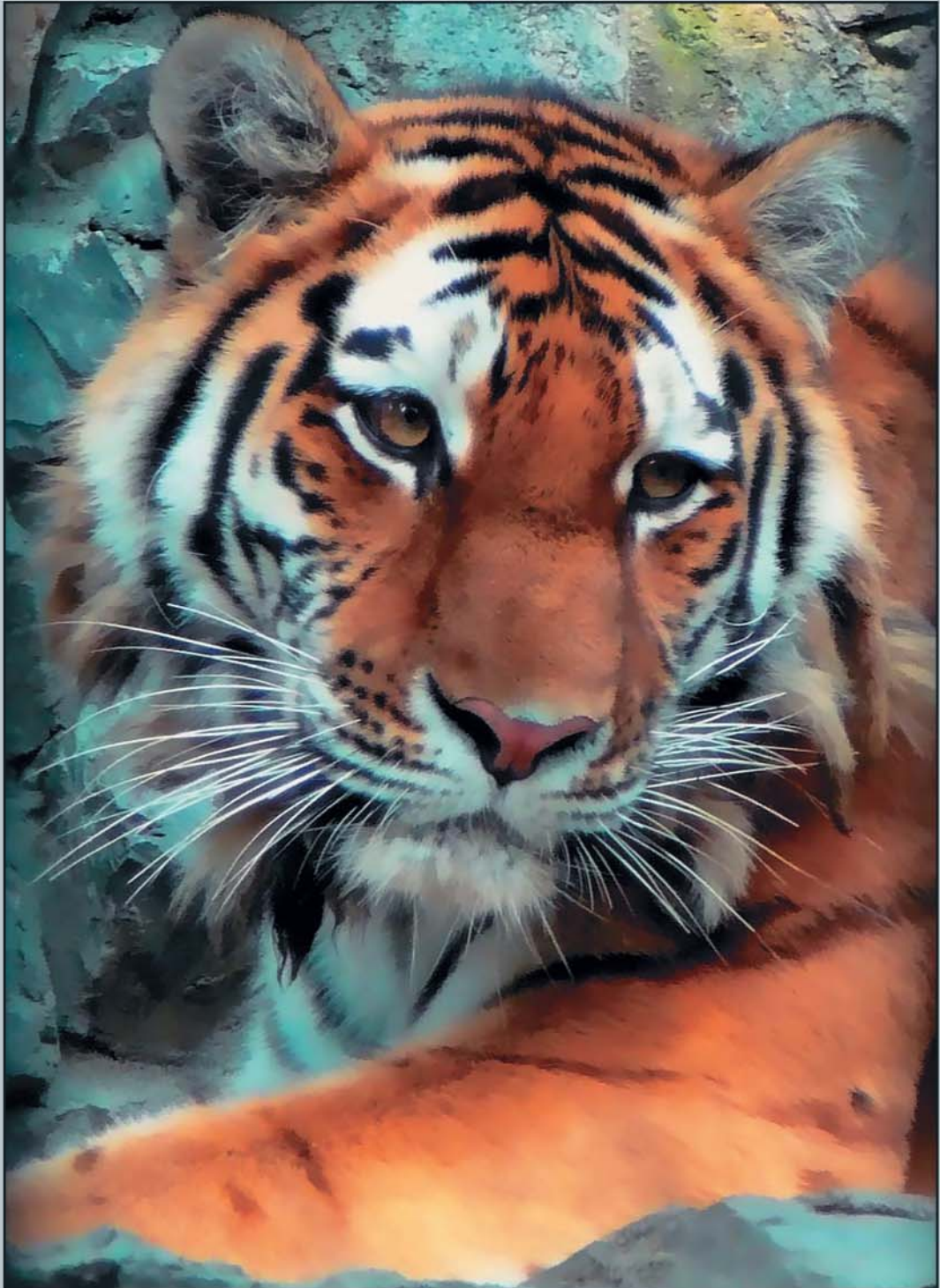


ПРИРОДА

2 12



В НОМЕРЕ:**3 Быченков В.Ю.****Экстремальный свет ускоряет ионы**

Мощные лазеры со сверхкороткими импульсами дают такую плотность потока энергии, что превращают мишени в плазму, в которой создаются огромные электрические поля. На подходе компактные ускорители нового типа — лазерно-плазменные источники высокоэнергетических частиц.

12 Хиразова Е.Э., Маслова М.В., Соколова Н.А.**Избыточный вес и ожирение: возможная коррекция**

Нейрогуморальная регуляция пищевого поведения всегда привлекала внимание физиологов, биохимиков и клиницистов. Сегодня, когда ожирение и связанные с ним заболевания становятся тяжелым экономическим бременем для общества, поиски коррекции этой дисфункции становятся особенно актуальными.

19 Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Куклев С.Б.**Хрупкое равновесие Анапской пересыпи**

Анапская пересыпь — динамичный природный объект, состояние которого зависит от большого количества природных и антропогенных факторов. Можно ли человеку вмешиваться в ход природных процессов и где допустимые границы такого вмешательства?

29 Талалай П.Г., Марков А.Н.**Горы Гамбурцева — хребет, который никто никогда не видел**

Уникальный горный хребет надежно скрыт от нашего взора ледниковым покровом Антарктиды. Как и когда он образовался? Почему его острые пики и глубокие долины не тронуты эрозией? Только бурение глубокой скважины через всю толщу льда может дать ответы на эти и многие другие вопросы.

39 Левицкий М.М., Биляченко А.Н., Дронова М.С.**Как строить ажурные каркасы**

Прошло время кропотливого, во много стадий, органического синтеза. Полвека назад была создана первая компьютерная программа, по которой строились возможные реакции. Как сейчас химики-синтетики получают новые сложные молекулы?

47 Чернов Ю.И.**Арктика глазами биолога**

Суровый мир Арктики — своего рода острый природный эксперимент, который привлекает биологов и экологов нескольких поколений, стремящихся постичь общие биологические закономерности.

Заметки и наблюдения**57 Ткаченко К.Н.****Об исчезнувших тиграх Хехцира****63 Романов М.Н., Авруцкая Т.Б., Моисеева И.Г.****Жизнь, отданная науке**

К 120-летию со дня рождения А.С.Серебровского

Рецензии**71 Сурдин В.Г.****Сага о БАКе**

(на кн.: П.Хэлперн. Коллайдер)

74**Новые книги****Встречи с забытым****75 Баскина В.А.****Путь в геологии**

CONTENTS:

3 **Bychenkov V.Yu.**

Extremal Light Accelerates Ions

Powerful lasers emitting ultra-short impulses create so high density of energy flow that they turn targets into plasma in which huge electric fields are generated. The new type of compact accelerators will soon come to being: laser-plasma sources of high energy particles.

12 **Khirazova E.E., Maslova M.V., Sokolova N.A.**

Excessive Body Mass and Obesity: A Possible Correction?

Neurohumoral regulation of eating behavior always attracted attention of physiologists, biochemists and medical professionals. Now when obesity and associated diseases are becoming a heavy economical burden on society search of means to correct this dysfunction are especially actual.

19 **Kosyan R.D., Krylenko V.V., Kuklev S.B.**

Fragile Equilibrium of Anapa Peresyp

Anapa Peresyp is a dynamical natural object whose condition depends on large number of natural and antropogenic factors. Is it allowed to humans interfere into course of natural processes and what are accepted limits of such interference?

29 **Talalay P.G., Markov A.N.**

Gamburtzev Mountains: A Ridge that Nobody Ever Seen

An unique mountain ridge is securely hidden from our sight by ice shield of Antarctic. When and how it was formed? Why its sharp peaks and deep valleys are not affected by erosion? Only drilling a deep borehole through the entire thickness of ice cover can give answers to these and many other questions.

39 **Levitzky M.M., Bilyachenko A.N., Dronova M.S.**

How to Build Open Frameworks

The time of painstaking, in many stages, organic synthesis has gone. Half a century ago the first computer program was written to guide planning of possible reactions. How synthetic chemists are now constructing new complex molecules?

47 **Chernov Yu.I.**

Arctic through Eyes of Biologist

Austere world of Arctic is a kind of acute natural experiment which attracts biologists and ecologists of several generations who strive to understand general biological patterns.

Notes and Observations

57 **Tkachenko K.N.**

On Disappeared Tigers of Khekhtzir

63 **Romanov M.N., Avrutzkaya T.B., Moiseeva I.G.**

Life Given to Science

To 120th Anniversary of A.S.Serebrovsky

Book Reviews

71 **Surdin V.G.**

LHC Saga

(on book: P.Halpern. Collider)

74

New Books

Encounters with Forgotten

75 **Baskina V.A.**

Road in Geology



Экстремальный свет ускоряет ионы

В.Ю.Быченков

Появление мощных лазеров с длительностью импульса излучения порядка 1 пс и короче (т.е. менее 10^{-12} с) ознаменовало собой конец монополии ускорителей на получение частиц высоких энергий. Дело в том, что даже сравнительно невысокая энергия, порядка 100 Дж, сконцентрированная в таком малом временном интервале в пятне размером несколько микрометров (это доступно современной технике фокусировки лазерного света), обеспечивает плотность потока энергии (интенсивность), превосходящую 10^{22} Вт/см². Даже при интенсивностях на три порядка ниже взаимодействующий с оптическим импульсом электрон способен разогнаться до релятивистской энергии на расстоянии, меньшем одного лазерного периода. О таких импульсах принято говорить как о релятивистски сильных — именно о них и пойдет речь в этой статье. Релятивистски сильный лазерный импульс, падая на мишень из любого вещества, превращает ее в плазму, причем уже на самом переднем своем фронте, где интенсивность еще на несколько порядков меньше, чем в максимуме. При этом взаимодействие лазерного излучения фактически происходит уже с плазмой. Электрические поля, которые в ней создаются, огромны. Они на многие порядки превосходят типичное поле в ускорителе и могут ускорять части-



Валерий Юрьевич Быченков, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Отделения квантовой радиофизики Физического института им.П.Н.Лебедева РАН. Занимается теорией плазмы, включая плазму термоядерного синтеза и релятивистскую плазму в экстремальных световых полях.

цы на значительно меньшем расстоянии. Открывается возможность создания компактных ускорителей нового типа — лазерно-плазменных источников высокоэнергетичных частиц.

Как возникает ускоряющее поле?

Какой же величины электрические поля могут возникать в плазменной мишени, с которой взаимодействует лазерный импульс? На сегодняшний день наибольшая интенсивность достигается при использовании титан-сапфирового лазера с активной средой из монокристалла сапфира с примесью ионов титана. Длина волны излучения такого лазера составляет 0.8 мкм. Если учесть, что спектр видимого света занимает диапазон от ≈ 0.38 мкм (фиолетовый) до 0.78 мкм (красный), то данное излучение, формально относясь к ближнему инфракрасному диапазону, вполне отвечает бытовому понятию света. В последние годы за таким интенсивным лазерным излучением закрепилось красивое название «экстремальный свет». Рекордная интенсивность $2 \cdot 10^{22}$ Вт/см² достигнута именно на титан-сапфировой лазерной установке («Геркулес», Центр ультрабыстрых оптических исследований Мичиганского университета, США) [1]. Существенно большие значения ожидаются в случае успешного создания лазерной установки «Аполлон» в рамках реализации панъевропейского проекта ELI («Extreme Light Infrastructure» — «Инфраструктура экстремального света») — 10^{23} – 10^{24} Вт/см² [2]. В режиме максимальной интенсивности лазера «Геркулес» напряженность лазерного электрического поля составляет $\sim 10^{15}$ В/м; для лазера «Аполлон» она будет выше чем 10^{16} В/м, что достаточно для того, чтобы создавать электрон-позитронные пары прямо из вакуума. Попутно заметим, что даже такая большая лазерная система, как «Аполлон», несравненно меньше, чем

© Быченков В.Ю., 2012

традиционные ускорители частиц высоких энергий (речь идет о десятках метров вместо километров). При взаимодействии излучения с твердой мишенью, в качестве которой обычно используют тонкие листочки фольги, энергия лазера трансформируется в энергию электростатического поля. Типичная схема такой трансформации энергии света представляется цепочкой:

лазер → электроны → поле,

т.е. сначала — нагрев и ускорение электронов, затем — генерация высокоэнергетичными электронами электростатических плазменных полей, причем все это — на субпикосекундных временах. В типичных условиях современных экспериментов вполне можно рассчитывать, что несколько процентов лазерной энергии перейдет в энергию плазменных полей. Для установок «Геркулес» и «Аполлон» эти проценты отвечают величине напряженности электрического плазменного поля в мишени $\sim 10^{14}$ В/м = 100 ТВ/м (ТВ — теравольт) и 10^{15} В/м = 1 ПВ/м (ПВ — петавольт) соответственно. Такие поля на несколько порядков выше внутриатомных и могут быть разве что у нейтронных звезд. Со сверхсильными полями связываются надежды на создание точечных источников частиц с энергией от сотен мегаэлектронвольт до гигаэлектронвольт, и уже сейчас проводимые эксперименты свидетельствуют о генерации электростатических полей порядка единиц теравольт на метр.

Научно-популярному изложению проблемы лазерного ускорения частиц уже уделялось внимание на страницах «Природы» [3] и других журналов [4], с преимущественным акцентом на ускорение электронов, успехи в котором устойчиво отмечаются на протяжении последних лет. Полученная в экспериментах энергия лазерно-ускоренных электронов уже преодолела знаковую отметку в 1 ГэВ. В отличие от электронов и вопреки теоретическим предсказаниям, для тяжелых частиц — ионов (причем в основном — протонов) напряженный поиск эффективных способов ускорения на протяжении последних 10 лет не привел к ожидавшемуся существенному повышению энергии генерируемых частиц. Еще в 1999 г. в США с помощью однопетаваттного лазерного импульса установки «NOVA» (Ливерморская национальная лаборатория) были получены протоны с максимальной энергией 58 МэВ [5]. В течение многих лет этот рекорд оставался непревзойденным, и только недавно, опять же в США (в Лос-Аламосской национальной лаборатории), его удалось побить с не очень впечатляющим на первый взгляд результатом — ускорением протонов до максимальной энергии 67 МэВ [6]. Впечатление улучшится, если учесть, что в последнем случае энергия лазерного импульса была в пять раз меньше (~ 80 Дж [6] вместо ~ 400 Дж [5]), т.е. вместо эффективности 0.15 МэВ/Дж получено 0.84 МэВ/Дж. Однако повышение эффективности генерации протонов примерно в пять раз блекнет

на фоне успехов в ускорении электронов, где она за тот же промежуток времени выросла на два порядка. В этом и состоит главная интрига дня лазерной физики высоких энергий — что мешает такому же прогрессу в ускорении тяжелых частиц? Что можно/нужно улучшать в существующих схемах ускорения? Или следует предложить новые — тогда какие? Стоит ли ожидать в ближайшее время бума в ускорении ионов? Вряд ли сейчас можно дать исчерпывающие ответы на перечисленные вопросы, но мы постараемся хотя бы оценить трудности и обсудить пути их преодоления для повышения эффективности лазерного ускорения ионов.

Обычно ускорения ионов добиваются, облучая коротким лазерным импульсом мишень в виде тонкой фольги, с противоположной стороны которой как раз и вылетает пучок ускоренных частиц. Все ясно и просто, но, как часто бывает, «дьявол — в деталях», и первый курьез, с которым столкнулись исследователи, действительно напомнил его происки. Казалось бы, чтобы получить ионы высокой энергии заданного элемента таблицы Менделеева, нужно всего лишь облучить лазером изготовленную из него фольгу. Тем удивительнее стало обнаружение только высокоэнергетичных ионов водорода (протонов), но не ионов вещества мишени, независимо от того, из какого материала была фольга: из металла, диэлектрика, органики. Чтобы понять этот факт, обратимся к типичной схеме лазерного ускорения, представленной на рис.1 и иллюстрирующей, в частности, уже упомянутую цепочку изменения формы энергии. Несмотря на то что эксперименты по облучению мишени лазерными импульсами проводятся в вакуумной камере, поверхность фольги оказывается покрытой тончайшей пленкой воды, карбогидратов и т.д. — контаминантом нанометровой толщины. Таким образом, на тыльной стороне облучаемой фольги, в слое толщиной 2–3 нм, естественным образом оказываются сконцентрированы атомы водорода, ионизация которого дает протоны, т.е. частицы, обладающие максимальным отношением заряда к массе и, следовательно, наиболее легко ускоряемые электрическим полем.

Откуда же берется такое электрическое поле на тыльной стороне мишени, которое, во-первых, ее ионизирует и, во-вторых, ускоряет протоны? Ответ довольно прост. Прежде всего лазерное излучение ионизирует фронтальную поверхность мишени и ускоряет образовавшиеся там электроны, которые проходят фольгу насквозь и вылетают с ее противоположной стороны. Источником этих электронов чаще служит плазменная корона (преплазма), возникающая у передней поверхности мишени из-за того, что по техническим причинам лазерному импульсу предшествует достаточно длинный, мультипикосекундной или даже наносекундной длительности, малоинтенсивный световой сигнал (предимпульс). А разгоняет электроны уже основной лазерный импульс — благодаря силе

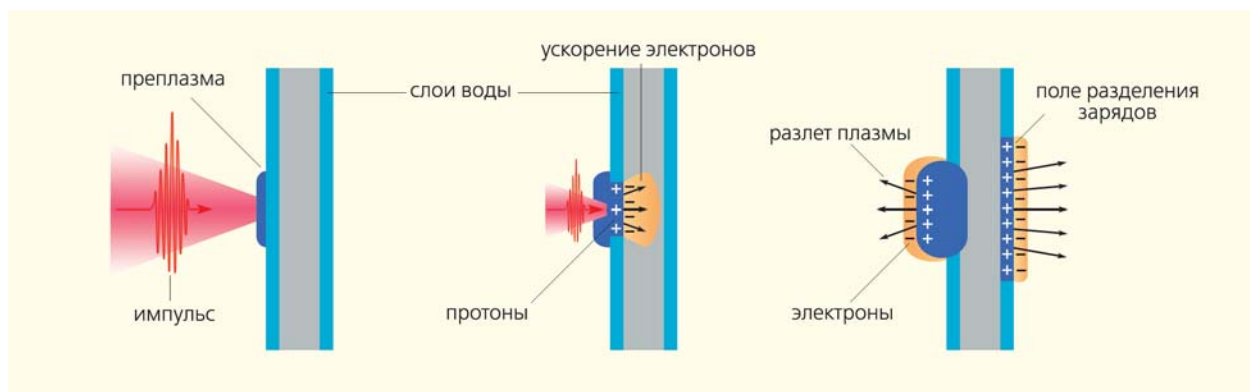


Рис.1. Типичная схема ускорения протонов из фольги, облучаемой лазерным импульсом.

Лоренца, действующей в направлении распространения импульса (сначала электрическая компонента поля импульса заставляет их двигаться вдоль поверхности мишени, затем вступает в игру магнитная компонента и увлекает их от поверхности). Поскольку электроны — релятивистские, эта сила достаточно велика, но улететь далеко за фольгу частицам, ускоренным в направлении лазерного импульса, не удастся — их тормозит электрическое поле ионов, остающихся в фольге. В результате вблизи задней поверхности фольги образуются отрицательно заряженное облако электронов (виртуальный катод) и электрическое поле разделения заряда, которое направлено перпендикулярно к поверхности мишени. Поле такого двойного слоя ионизирует атомы, находящиеся у задней поверхности мишени. И тогда под действием все того же поля ионы с задней стороны фольги начинают ускоряться. При этом, как отмечалось, сильнее всего ускорятся протоны, набирающие максимальную скорость и энергию в расчете на один нуклон, т.е. энергия электростатического поля в цепочке превращений большей частью переходит в ускоренные протоны, тогда как меньшая ее часть достается более тяжелым ионам. В итоге экспериментально в качестве высокоэнергетичной компоненты будут регистрироваться именно протоны. Чтобы добиться эффективного ускорения ионов самой фольги, требуется очистить ее поверхность. Этого добиваются нагревом мишени или предварительным ее облучением малоинтенсивным лазером. Рассмотренная схема ускорения ионов с задней поверхности фольги носит название TNSA ускорения (target normal sheath acceleration — ускорение по нормали к мишени в двойном слое) [7].

Что влияет на ускорение ионов?

Сначала поле разделения заряда благодаря вылетающим сзади из фольги лазерно-ускоренным электронам максимально у самой поверхности мишени. Затем, когда под его действием стартует

разлет (ускорение) ионов, это ускоряющее электрическое поле будет перемещаться вместе с ионным фронтом, уменьшаясь по величине по мере разлета плазмы. Если вначале движение частиц выглядит как ускорение в конденсаторе, то по мере удаления от мишени разлет становится трехмерным и ускоряющее электрическое поле начинает сильно спадать (обратно пропорционально квадрату расстояния от мишени). В результате разлет ионов переходит в инерциальный режим, их энергия достигает своего предельного значения. Это проявляется в наличии резкого обрыва спектра ускоренных частиц, так называемой отсечки по энергии, ярко выраженной в численном моделировании лазерного ускорения ионов и действительно регистрируемой экспериментально. Типичные спектры ускоренных ионов показаны на рис.2. В поисках путей повышения энергии ионов было обнаружено, что с уменьшением толщины фольги она увеличивается (что иллюстрирует рис.3) и так же ведет себя коэффициент конверсии лазерной энергии в энергию ускоренных ионов. Их ускорение обусловлено полем разделения заряда, а оно тем больше, чем больше плотность горячих электронов на границе мишень—вакуум. Именно большее число горячих электронов позади тонких мишеней обеспечивает усиление электрического поля двойного слоя и, следовательно, повышенную энергию ускоренных ионов. Однако, как следует из рис.3, возрастание энергии отсечки с уменьшением толщины мишени наблюдается, только если толщина фольги не слишком мала: очень тонкие мишени не дают эффективного ускорения ионов. Для примеров рис.3 это отвечает толщинам в несколько микрометров (левый график) или ~10 мкм (правый график). На первый взгляд кажется, что оптимальная мишень должна иметь микрометровые размеры, однако в реальности это не так. Дело в том, что, как уже отмечалось выше, в практическом плане трудно добиться отсутствия перед основным лазерным импульсом предимпульса, который разрушает фольгу, если та достаточно тонкая. На рис.3

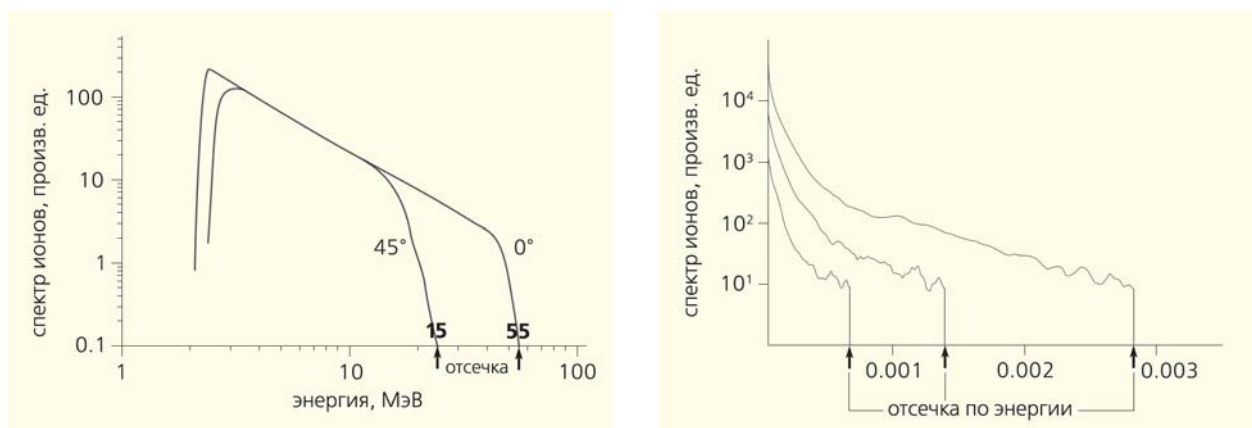


Рис.2. Экспериментальные спектры протонов [5], ускоренных с тыльной стороны мишени в направлении нормали, 0°, и под углом 45° (слева) и эволюция спектра протонов (показаны спектры в безразмерных единицах энергии для трех моментов времени) по данным численного моделирования [8] (справа).

такое разрушение мишени как раз и происходит для микрометровых толщин.

Характеристикой чистоты импульса служит величина контраста лазерного излучения, определенная как отношение пиковой интенсивности импульса к интенсивности предимпульса. Типичное его значение составляет $\sim 10^8$ для лазерной интенсивности на наносекундном интервале времени перед основным импульсом и $\sim 10^6$ — на 10-пикосекундном. Как только появились приемы, позволяющие существенно поднять этот параметр, было установлено, что в зависимости от лазерной интенсивности оптимальная для ускорения ионов толщина фольги составляет от 10 до нескольких сотен нанометров. Наиболее эффективный способ повышения контраста лазерного импульса — использование так называемого плазменного зеркала, принцип работы которого поясняется на рис.4 (сверху). Он весьма прост: на пути лазерного пуч-

ка помещается пластина из прозрачного диэлектрика, который превращается в плазму под действием излучения, но лишь при достаточно высокой интенсивности ($\sim 10^{12} - 10^{13}$ Вт/см²). Таким образом, низкоинтенсивный предимпульс через прозрачную пластину проходит, а основной импульс отражается образующейся на ее поверхности плазмой, оказываясь очищенным от предимпульса и более подходящим для эксперимента. Повторив процедуру, можно еще повысить качество лазерного света. Схема очистки с двойным плазменным зеркалом, иллюстрируемая рис.4 (снизу), и применяется в современных экспериментах. Конечно, под действием лазерного импульса на площади порядка пятна фокусировки (размером всего в десяток микрометров) происходит разрушение поверхности зеркала. Однако эту проблему можно решить маленькой сдвижкой зеркала после каждого лазерного выстрела. С помощью плазменных

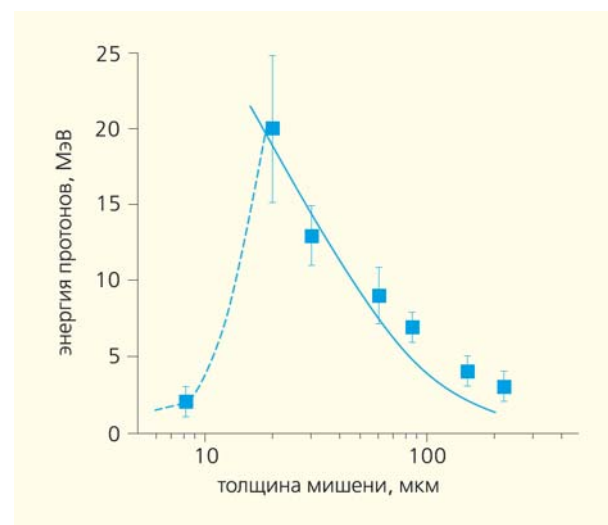
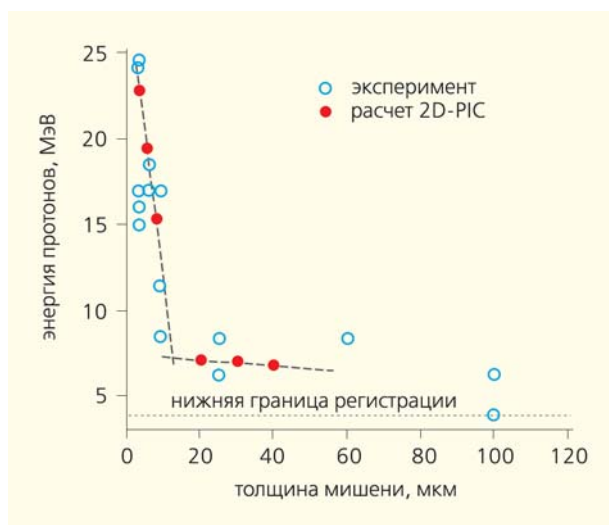


Рис.3. Зависимости максимальной энергии протонов от толщины фольги по результатам работ [9] (слева) и [10] (справа).

зеркал лазерный контраст увеличивается на два-три порядка. В результате удается использовать достаточно тонкие мишени, которые не разрушаются предимпульсом и для которых, в отличие от данных рис.3, пик ионной энергии приходится на нанометровые толщины. Недавние опыты доказали возможность работы с фольгой такой толщины.

С чем же связаны существование некой оптимальной, пусть и очень малой, толщины фольги и хорошая эффективность использования такой сверхтонкой мишени? Понятно, что, если мишень толстая, потери на генерацию ускоряющего ионы электростатического поля уменьшаются с уменьшением ее толщины (рис.3). Но так происходит только до тех пор, пока мишень не становится достаточно прозрачной для лазерного излучения. В последнем случае оно свободно распространяется, теряя на взаимодействие с мишенью, в том числе и на ускорение ионов, лишь мизерную часть своей энергии. Итак, мы установили, что энергия ионов будет расти с увеличением толщины фольги со стороны ее малых значений и с уменьшением толщины фольги со стороны больших, т.е. обосновали наличие уже отмечавшегося выше оптимального размера мишени. Поскольку прозрачность мишени определяется соотношением между ее толщиной и толщиной скин-слоя, оптимальный размер мишени как раз и соответствует релятивистской скин-глубине. Толщина скин-слоя пропорциональна корню квадратному из массы электрона, который под действием сильного лазерного поля становится релятивистским и, следовательно, «тяжелым», с эффективной массой, прямо пропорциональной лазерной интенсивности. А поскольку размер скин-слоя растет прямо пропорционально амплитуде лазерного поля (корню квадратному из интенсивности), по такому же закону увеличивается и оптимальная толщина фольги, обычно оказывающаяся существенно меньше длины волны лазера. Аналогично, для лазерного ускорения ионов представляют интерес и другие мишени нано/субмикронных размеров — кластеры, нанотрубки и т.д. Как видим, мы сталкиваемся с взаимодействием интенсивных коротких лазерных импульсов с плазменными микрообъектами, которое характеризуется специфическими эффектами. Эти явления составляют предмет быстро формирующейся новой области знаний — релятивистской нано/микроплазмоники, куда важной составляющей входит ускорение частиц из субмикронных мишеней. К этому мы и обратимся.

Релятивистская наноплазмоника и ускорение ионов

В условиях, когда лазерное излучение очищено от предимпульса и проникает на всю толщину сверхтонкой фольги, взаимодействие реляти-

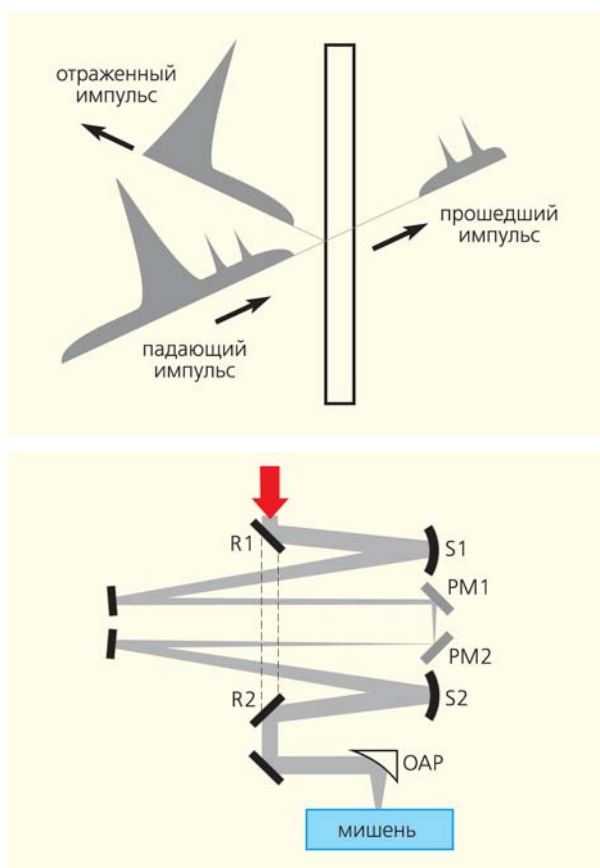


Рис.4. Принцип работы плазменного зеркала (PM) — сверху, схема очистки лазерного импульса с использованием двух плазменных зеркал (PM1, PM2) в экспериментах по лазерному ускорению ионов — снизу.

вистски сильного лазерного импульса с плазмой носит объемный характер, так что все электроны мишени эффективно им нагреваются и ускоряются. Они быстро покидают тонкую мишень, которая в результате этого практически мгновенно становится положительно заряженной, состоящей из миллиардов ионов. И тут в игру вступают кулоновские силы расталкивания одноименных зарядов — происходит так называемый кулоновский взрыв, который разгоняет ионы до высоких энергий. В идеале фольга должна «взрываться» симметрично в обе стороны, но на практике (в силу несимметричного и «немгновенного» ускорения электронов в направлении распространения лазерного импульса, а также большого светового давления) ионы летят в том же самом направлении, и поэтому такой механизм их ускорения называют направленным кулоновским взрывом. Конечно, говоря о таком взрыве, мы имели в виду разлет только той части мишени, которая находится в фокальном пятне лазера. Современные технологии позволяют изготавливать мишени хорошего качества толщиной (хотелось бы сказать: «тонщиной») вплоть до 5 нм. Эксперименты

с такими прозрачными/полупрозрачными фольгами уже проводятся, знаменуя тем самым переход релятивистской наноплазмоники в практическое русло. Типичные спектры ускоренных из ультратонких мишеней ионов подобны спектрам, отвечающим механизму ускорения TNSA из более массивных мишеней (рис.2), но эффективность ускорения оказывается существенно выше.

Важный этап работ по лазерному ускорению ионов связан с повышением качества получаемого пучка (сгустка) частиц, под которым прежде всего понимается достаточно хорошая моноэнергетичность и коллимированность ионов. Дело в том, что сильно размазанные спектры, вроде представленных на рис.2, малопригодны для большинства практических приложений. То же самое относится и к угловому распределению генерируемых высокоэнергетических ионов. Лазерный метод ускорения ионов пока не позволяет добиться такой высокой моноэнергетичности частиц, которая достигается в традиционных ускорителях. Поэтому на данном этапе речь идет о получении частиц с квазимоноэнергетическим спектром с куполообразным распределением частиц по энергии, имеющим ширину, малую по сравнению с характерной энергией ионов. Перспективный прием здесь — использование сверхтонкой фольги (оптимальной толщины) с малой (по отношению к заряду) примесью легких атомов (как правило, водорода). Подобная мишень, практически мгновенно превращаясь в плазму, взрывается таким образом, что из нее вырывается квазимоноэнергетический сгусток легких ионов — обычно протонов. При этом в случае тонкой мишени нет большой разницы, где изначально расположены легкие ионы — на ее тыльной стороне, когда речь идет о пленке контаминанта, или по всему объему мишени, в случае, например, водородосодержащей фольги (скажем, из такой пространственной мишени, как майлар $C_{10}H_8O_4$, заключающей 8% зарядовой примеси протонов).

Что же происходит при облучении тонкой фольги двухкомпонентного ионного состава? Как отмечалось выше, на самом переднем фронте лазерного импульса электроны вырываются из атомов и покидают мишень, ускоряясь в направлении распространения лазерного пучка. Основным поставщиком электронов служат тяжелые атомы, где их подавляющее большинство. Улетающие за мишень электроны создают поле разделения заряда, ускоряющее ионы, которые получают начальный импульс в направлении распространения света лазера. Нескомпенсированный положительный заряд ионов внутри фокального пятна приводит к кулоновскому взрыву мишени, который выглядит вытянутым несимметрично (преимущественно вперед) — вследствие дополнительного направленного начального импульса ионов. Такой сценарий (направленный кулоновский взрыв), из-за того что электроны удаляются не мгновенно,

несколько (хотя и не принципиально) отличается от обсуждавшейся выше идеализированной картины симметричного разлета. Естественно, что легкие ионы (протоны), имеющие максимальную величину отношения заряда к массе, начинают ускоряться раньше тяжелых. Получив начальный импульс от поля разделения заряда, которое быстро убывает со временем вследствие удаления электронного облака, они в основном ускоряются в кулоновском поле тяжелых ионов, быстро покидая мишень и двигаясь в виде сгустка перед фронтом разлетающихся тяжелых ионов. Так возникают хорошая сепарация протонов и их локализация, чему в немалой степени способствует отталкивающее кулоновское поле тяжелых ионов, действующее на протоны сзади наподобие подталкивающего поршня (эффект называется «кулоновский поршень»). Иллюстрацией служит рис.5 (сверху), на котором хорошо виден отрыв протонного сгустка от основной массы ионов. В результате ускорения все протоны получают близкую энергию и формируют квазимоноэнергетический спектр, который представлен на рис.5 (снизу).

А что же показывают эксперименты по генерации ионов из сверхтонких мишеней? Они только разворачиваются — в связи с трудностями создания «идеального» контраста лазерного излучения высокой интенсивности. Так, несмотря на достижение (с помощью двойного плазменного зеркала) наносекундного контраста в 10^{13} по интенсивности, пикосекундный профиль лазерного импульса будет иметь характерный контраст $\sim 10^8$; при используемой на передовых установках (например, «Геркулесе») очень высокой интенсивности такой импульс будет разрушать фольгу толщиной меньше 100 нм. Фольга же толщиной ~ 100 нм оказывается «размыта» на масштабах в несколько десятков нанометров, что пока делает реальную мишень отличающейся от идеальной с резкими границами. Тем не менее только что проведенные в Мичиганском университете измерения в описанных условиях показали образование протонных сгустков с максимальной энергией 21.6 МэВ при облучении фольги из поли-*n*-ксилилена (парилена $N, (CH)_n$) 40-фемтосекундными импульсами лазера «Геркулес» с энергией ~ 1.6 Дж и интенсивностью $\sim 10^{21}$ Вт/см² [12]. В расчете на один джоуль вложенной энергии это составляет ~ 14 МэВ/Дж, что значительно больше отмечавшейся выше рекордной эффективности (около 1 МэВ/Дж), достигнутой на установках большого масштаба с массивными мишенями, и свидетельствует о перспективности обсуждаемого дизайна лазер—мишень.

Залогом хорошего набора энергии легкими ионами служит сильное кулоновское поле от тяжелых ионов в фокальном пятне. Однако такое сильное поле будет подавлять само себя по принципу Ле Шателье — благодаря тому, что с периферийных областей фольги, где лазерное поле невелико и остается много неупдетевших электронов,

они начинают быстро притекать в радиальном направлении в положительно заряженное фокальное пятно, частично компенсируя его заряд и уменьшая ускоряющее ионы кулоновское поле. Поэтому наиболее эффективно конвертироваться в энергию ускоренных частиц лазерная энергия будет в том случае, если за характерное время ускорения легких ионов электроны с периферии не успеют заполнить фокальный объем мишени. Это условие накладывает определенное соотношение на размер фокального пятна, лазерную интенсивность и параметры тяжелой составляющей мишени. Существует и специальный прием, позволяющий добиться существенного уменьшения нейтрализации заряда в фокальном пятне. Он заключается в использовании так называемых ограниченных мишеней (*mass-limited targets*, *англ.*). В идеале желательно иметь микродиски из фольги с диаметром, ненамного превосходящем размер лазерного пятна фокусировки. Пока они несколько больше, но уже работоспособны (см. рис.6).

Естественные объекты, годящиеся на роль ограниченных мишеней, — кластеры и спрей из микрокапелек жидкости (например, воды). Чтобы получить кластеры — слипшиеся в количестве вплоть до нескольких десятков тысяч атомы или молекулы, обычно используют эффект адиабатического охлаждения газа высокого давления, когда тот вытекает в вакуум при низких температурах через сопло диаметром около 1 мм. Подобным же образом создается спрей с микрокапельками размером от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров. При облучении мощным лазером такие микрошарики испытывают сферически-симметричный кулоновский взрыв, вызывающий радиальное ускорение ионов. При этом эффективнее всего ускорение происходит, как объяснялось выше, если радиус капельки оказывается одного порядка со скин-глубиной проникновения света в мишень, т.е. с увеличением интенсивности лазерного импульса целесообразно увеличивать ее размер пропорционально корню квадрату из интенсивности. Если же капелька (кластер) состоит из легких и тяжелых атомов (как вода, например), ее кулоновский взрыв приводит к отрыву легких ионов в виде расширяющейся тонкой оболочки, внутри которой находится расширяющийся шар тяжелых ионов, действующий на легкую оболочку как кулоновский поршень. Запасенная в сферической мишени кулоновская энергия переходит в кинетическую энергию ускоренных ионов, которая будет пропорциональна плотности и квадрату радиуса капельки. Соответственно, если интенсивность лазера превысит 10^{23} Вт/см² и можно будет использовать мишени радиусом порядка нескольких микрометров, то энергия ускоренных при кулоновском взрыве протонов может стать релятивистской! Уже сейчас в экспериментах с водяным спреем энергия протонов от капелек размером ~100 нм достигает нескольких мегаэлектронвольт. А поскольку

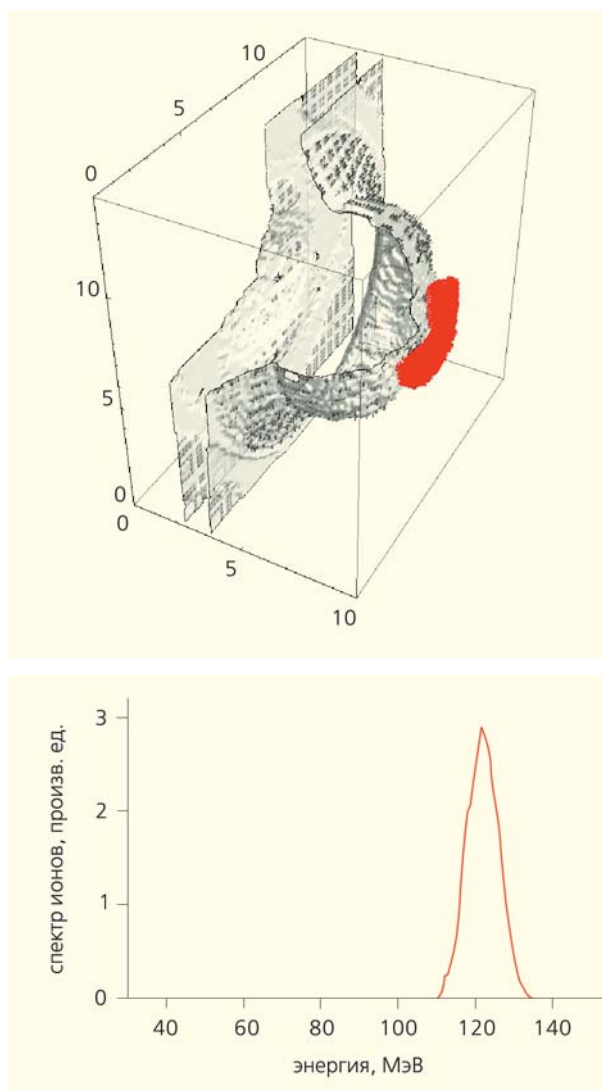


Рис.5. Результаты численного моделирования лазерного ускорения однородно распределенной примеси (1.2%) протонов из тонкой (100 нм) алмазной фольги, облучаемой импульсом длительностью 20 фс с интенсивностью 10^{22} Вт/см² [11]. Сверху — пространственное распределение ионов (протоны показаны красным, масштабы — в микрометрах). Снизу — спектр протонов, летящих в конус 10° .



Рис.6. Пример ограниченной нано-микроразмерной мишени для экспериментов по лазерному ускорению ионов (Резерфордская лаборатория, Великобритания).

в фокальном объеме содержится огромное количество взрывающихся капелек, которые дают протоны, имеющие разнонаправленные скорости, можно говорить об образовании газовой плазмы с эффективной температурой ионов в несколько МэВ. Ни одно из известных плазменных устройств не позволяет нагреть ионы до такой температуры — она превышает достижимые современные пределы на три порядка!

Для чего нужны лазерно-ускоренные ионы?

Помимо интереса к физике ускорения ионов на малых расстояниях, допускаемых лазерными методами, есть и более прагматический резон заниматься лазерно-ускоренными ионами, который вызван рядом возможных практических применений. Несмотря на то что большинство из них связывается с более совершенными короткоимпульсными лазерами следующего поколения, уже сейчас ведутся как теоретические, так и экспериментальные исследования, нацеленные на практическое использование различных методов лазерного получения сгустков ионов с энергиями от субмегаэлектронвольтных до гигаэлектронвольтных. Перечислим обсуждаемые приложения.

Инжектор для ионного ускорителя. Коль скоро появляется «малоразмерный» способ эффективного ускорения ионов, естественным выглядит их использование в качестве инжектора для традиционного ускорителя. Конечно, по-настоящему привлекательной лазерная схема инжекции будет выглядеть, когда удастся приблизиться к гигаэлектронвольтной энергии ионных сгустков.

Протонная радиография. Изображения, подобно рентгеновским снимкам отражающие структуру микрообъекта, можно получать с использованием высокоэнергетичных протонов. Но наиболее интересным оказывается использование того факта, что в данном случае зондирующее излучение связано с переносом заряда. Это означает, что лазерно-созданный микропучок протонов будет определенным образом отклоняться при прохождении областей с сильными электрическими и/или магнитными полями и даст информацию о генерации и свойствах полей в микрообъемах. Примером может служить протонное зондирование на микрометровых масштабах сильных полей, которые возникают в мишенях, используемых в экспериментах по лазерному термоядерному синтезу. Эксперименты по протонной радиографии уже ведутся в ряде лабораторий.

Получение короткоживущих изотопов, например, для позитронной эмиссионной томографии. Позитрон-излучающие изотопы (обычно элементы второго периода Периодической системы) могут образовываться при облучении протонами, испущенными лазерной мишенью, вторич-

ной мишени из специально подобранного вещества в результате (p, n) - и (p, α) -реакций. Соответствующие эксперименты уже проведены, но для получения изотопов в необходимых количествах потребуются лазеры большей энергии.

Короткоимпульсный источник нейтронов. Сгустки лазерно-ускоренных протонов (или дейтронов), бомбардируя вторичную мишень, могут рождают короткие всплески нейтронов, которые пригодятся, например, для диагностики с высочайшими проникающей способностью и временным разрешением, пригодными для изучения быстротекущих процессов в плотных средах. При достижении протонами энергий гигаэлектронвольтного диапазона станет возможным получение направленных потоков нейтронов. В лазерных экспериментах уже получены нейтронные вспышки. Их практическое использование связывается с разработкой короткоимпульсных лазеров следующего поколения.

Быстрый поджиг термоядерной мишени. Ускоренный коротким лазерным импульсом ионный (протонный) сгусток можно впрыснуть внутрь сжатой и нагретой длинным (наносекундным) лазерным импульсом термоядерной мишени. При этом предполагается, что освобождаемая ионами энергия в небольшой части термоядерного горючего окажется достаточной для инициации термоядерного горения всей мишени. Сейчас нет окончательной ясности в возможности реализации такого сценария на практике; пока не сделан и выбор между протонами и легкими ионами в качестве драйвера.

Глубокая ионная имплантация. В отличие от традиционной ионной имплантации, речь идет о внедрении ионов достаточно глубоко внутрь образца с целью микроструктурирования последнего. Яркий пример — живо обсуждаемая новая технология протонной имплантации в оптоволокно для получения определенных оптических свойств. Причем речь идет об использовании протонов весьма умеренных энергий (~1 МэВ), т.е. указанную технологию реально внедрить в ближайшем будущем.

Вещество в экстремальных условиях. Воздействие на образцы сгустков высокоэнергетичных ионов, характеризующихся высокой плотностью энергии, позволяет получать в микрообъемах вещество в экстремальных состояниях, когда давление может достигать беспрецедентной величины. Изучение таких состояний вещества необходимо для массы приложений, и лазерно-ускоренные частицы дают для него новый эффективный инструмент.

Ядерная физика. Здесь лазерно-ускоренные ионы выступают как еще один инструмент для другой области знаний. Число возможных ядерных процессов, представляющих интерес для изучения, огромно. Даже сечения ядерных реакций для многих изотопов еще недостаточно хорошо

изучены и измерены. Реакции синтеза ядер средней части таблицы Менделеева, могут, например, использоваться для получения сильно возбужденных ядер, изучение которых представляет безусловный интерес. Большое преимущество использования ускоренных лазером ионных сгустков для ядерной физики — их короткая длительность, недоступная для других методов ускорения.

Астрофизика в лаборатории. Моделирование астрофизических процессов в лаборатории — новая возможность раскрытия их загадок с помощью мощных короткоимпульсных лазеров. Столкновения лазерно-ускоренных пучков частиц друг с другом и веществом хорошо воспроизводят астрофизические условия, что должно пролить свет на природу и свойства ряда электромагнитных явлений в далеком космосе.

Адронная терапия. Наверно, самая замечательная идея по использованию лазерного ускорения протонов и/или ионов углерода — применять их для радиационной терапии рака. Ее воплощение позволило бы вести такую терапию непосредственно в больницах и в широких масштабах, тогда как сейчас лечение проводится на немногочисленных ускорителях, предназначенных в основном для физических исследований. Конечно, предстоит еще пройти длинный путь в поисках путей получения хорошо управляемых ионных пучков высокого качества и требуемой энергии в сотни мегаэлектронвольт. Однако уже сейчас в мире появляются лазерные лаборатории, полностью нацеленные на воплощение идеи лазерной адронной терапии.

Заключение еще впереди

Несмотря на успехи в лазерно-плазменном ускорении ионов, мы все еще далеки от того, чтобы дать ответ на вопрос: возможен ли инновационный технологический прорыв в обозримом будущем с использованием этого интересного явления? Таким образом, *заключение* нас еще только ожидает, а сейчас предстоит работа, работа и работа. Ее цель — научиться хорошо управлять процессом лазерной генерации ионов, чтобы получать ионные сгустки с желаемыми параметрами, и прежде всего — добиться хорошей моноэнергетичности ионных пучков и выйти на уровень энергий, превышающий 100 МэВ на нуклон. Уже сейчас на основе имеющихся лазерных технологий и полученных знаний по механизмам ускорения ионам есть уверенность в преодолении в ближайшее время знакового рубежа по энергии ускоренных частиц в 100 МэВ. Большие ожидания связываются с реализацией панъевропейского проекта ELI — строительство лазера с выходной мощностью 200 ПВт. Проект предполагает, что в нескольких государствах будут построены лазерные системы, ориентированные на достижение самостоятельных целей, в том числе и задачу ускорения частиц. Адреса трех из них уже определены: Венгрия, Чехия, Румыния. Хотелось бы, чтобы и российские научные центры не остались в стороне. И надежда на это есть — именно сейчас правительство рассматривает инициативу создания лазерной системы экзаваттного уровня мощности в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород). ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проект 09-02-00187-а).

Литература

1. Yanovsky V., Chvykov V., Kalinchenko G. et al. Ultra-high intensity-300-TW laser at 0.1 Hz repetition rate // Optics Express. 2008. V.16. P.2109—2114.
2. http://www.eli-np.ro/documents/ELI-NP-Laser_v8.pdf
3. Горбунов Л.М. Зачем нужны сверхмощные лазерные импульсы? // Природа. 1988. №5. С.15—23.
4. Быченков В.Ю. Пятьдесят лет лазеру. Новый шаг — ускоритель на столе // Наука и жизнь. 2010. №12. С.18—23.
5. Snavely R.A., Key M.H., Hatchett S.P. et al. Intense high-energy proton beams from petawatt-laser irradiation of solids // Phys. Rev. Lett. 2000. V.84. P.899—902.
6. Gaillard S.A., Flippo K.A., Lowenstern M.E. et al. Proton acceleration from ultrahigh-intensity short-pulse laser matter interactions with Cu micro-cone targets at an intrinsic $\sim 10^{-8}$ contrast // J. Phys.: Conf. Series. 2010. V.244. P.022034(1—4).
7. Wilks S.C., Langdon A.B., Cowan T.E. et al. Energetic proton generation in ultra-intense laser-solid interactions // Phys. Plasmas. 2001. V.8. P.542—549.
8. Liseykina T.V., Bychenkov V.Yu., Dudnikova G.I., Pegoraro F. Laser-triggered ion acceleration at moderate intensity and pulse duration // Appl. Phys. B. 2005. V.81. P.537—542.
9. Mackinnon A.J., Sentoku Y., Patel P.K. et al. Enhancement of proton acceleration by hot-electron recirculation in thin foils irradiated by ultraintense laser pulses // Phys. Rev. Lett. 2002. V.88. P.215006(1—4).
10. Fuchs J., Antici P., D’Humieres E. et al. Laser-driven proton scaling laws and new paths towards energy increase // Nature Physics. 2006. V.2. P.48—54.
11. Говрас Е.А., Быченков В.Ю., Брантов А.В. Кулоновское ускорение легких ионов из однородных и слоистых мишеней // ЖЭТФ. 2012. Т.141. №5, в печати.
12. Maksimchuk A. Частное сообщение.

Избыточный вес и ожирение: возможная коррекция

Е.Э.Хиразова, М.В.Маслова, Н.А.Соколова

Статистика неумолимо свидетельствует о значительном росте числа людей, страдающих избыточным весом и ожирением: за последние 20 лет в странах Европы и в Америке их число выросло более чем в 2,5 раза. По оценкам Всемирной организации здравоохранения, в мире лишний вес имеют более 1 млрд человек: среди жителей Западной Европы от 10 до 20% у мужчин и от 20 до 25% у женщин. В некоторых регионах Восточной Европы страдают ожирением 35% людей; в России — в среднем 30% трудоспособного населения (еще у 25% — избыточная масса тела). Больше всего тучных людей в США: у 60% населения лишний вес, и 27% страдают ожирением, что, по подсчетам экспертов, ведет к преждевременной смерти около 300 тыс. американцев в год. В Японии представители общества по изучению ожирения признают, что эта проблема в стране приобретает характер цунами, угрожая здоровью нации. Повсеместно наблюдается рост случаев ожирения у детей и подростков.

Ожирение и связанные с ним заболевания становятся тяжелым экономическим бременем для общества. В развитых странах мира на их лечение тратится 8—10% годовых средств, выделяемых на здравоохранение: в США — 70 млрд долл., в Великобритании — около 12 млн фунтов стерлингов.

© Хиразова Е.Э., Маслова М.В., Соколова Н.А., 2012



Елизавета Эдуардовна Хиразова, аспирант кафедры физиологии человека и животных биологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Занимается изучением расстройств аппетита и пищевого поведения и их возможной коррекции.



Мария Вадимовна Маслова, кандидат биологических наук, ассистент той же кафедры. Основная область научных интересов — регуляция различных форм поведения и материнско-детского взаимодействия.



Наталья Александровна Соколова, доктор биологических наук, профессор той же кафедры. Область научных интересов — изучение регуляторных систем организма, влияние стрессов различной этиологии в ряду поколений.

Увеличение массы тела сопровождается нарушениями в сердечно-сосудистой, дыхательной, эндокринной и других системах организма. При этом гипотрофия мышц и гипотония ки-

шечника создают дополнительную нагрузку на опорно-двигательный аппарат, способствуя развитию артрозов. Один из распространенных спутников ожирения — диабет II типа. Все это

снижает качество жизни и укорачивает ее продолжительность.

По данным медицинской статистики, в США увеличение индекса массы тела (ИМТ) у мужчин с 18.5 до 35 и более единиц увеличивает риск летального исхода примерно на 35%, а у женщин — примерно на 24% (рис.1). Неудивительно поэтому, что идеал красоты нашего времени — это худая, спортивная женщина или же подтянутый спортивный мужчина.

Булимия (от греч. βοσι — бык; λιπος — голод) переводится как «бычий голод» и диагностируется как одно из расстройств психики. Для этого заболевания характерны постоянное чувство голода и связанное с ним переедание, за которым следует искусственное опорожнение желудка. У таких больных из-за полного отсутствия самоконтроля и неумеренной еды возникает острое чувство вины, и в результате развивается депрессивное состояние. Прогрессирующая булимия сопровождается колебаниями веса (на 10–15 кг), болями в мышцах, воспалением околоушных желез, горла и десен.

Современная психология и психотерапия объясняет феномен булимии тем, что наша психика всегда формирует симптом с изначально помогающими и поддерживающими нас целями. В случае булимии это означает: защищать свою психику от «угрожающего» внешнего мира; получать удовольствие безопасным для нас путем; справляться с базовой тревогой; найти безопасный заменитель недостающего внимания со стороны окружающего мира к своим проблемам.

Наиболее доступным средством для достижения этих целей служит еда. Она хороший заменитель поддержки и внимания: ее легче добыть, и она очень хорошо утешает в трудную минуту на протяжении всей жизни, с младенчества до глубокой старости [1]. Однако перееданию сопутствует крайне нежелатель-

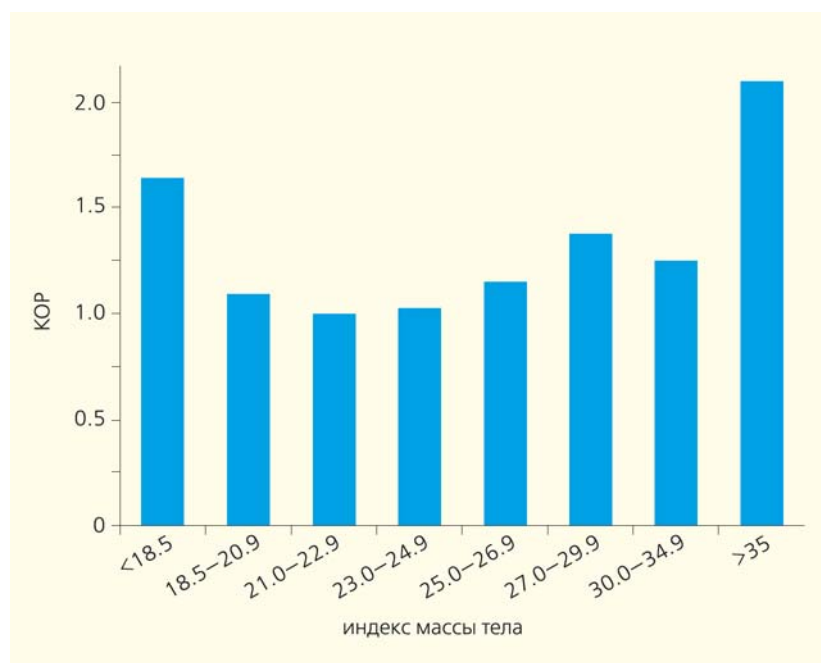
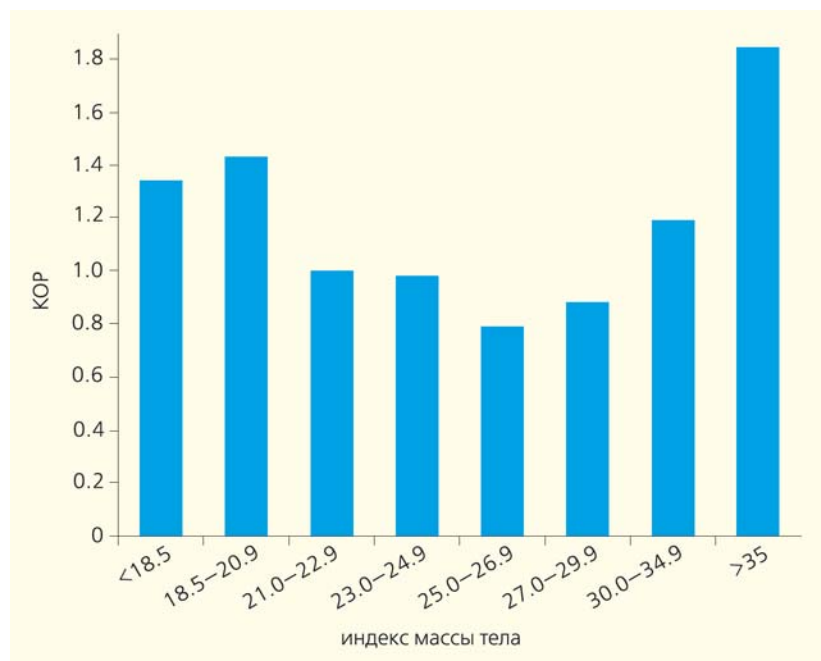


Рис.1. Относительный риск летального исхода в зависимости от величины индекса массы тела (ИМТ) для мужчин (вверху) и женщин в США. По оси ординат: коэффициент относительного риска (КОР) летального исхода. По оси абсцисс: значения ИМТ (в усл. ед.); ИМТ = масса тела/рост² (кг/м²).

ное изменение формы тела, вплоть до ожирения.

Несоответствие двух целей — «защиты» и поддержания спортивной формы — вызывает амбивалентные желания, которые вступают в противоречие (полу-

чить поддержку в еде и при этом сохранить худобу). Эти конфликты появляются уже в подростковом возрасте. Для многих спасительным поведением оказывается провоцирование рвоты после приступа переедания.

Таким образом, ясно, что работы, посвященные изучению ожирения и поискам путей коррекции этой опасной для здоровья и жизни человека дисфункции организма, вызывают большой интерес у физиологов и клиницистов.

Механизмы ожирения

Среди механизмов ожирения выделяют нейрогенные, эндокринные и метаболические [2]. Нейрогенные, в свою очередь, могут быть двух типов — коркового и гипоталамического (рис.2).

Причиной ожирения по **корковому (психогенному) механизму** служат различные расстройства психики, проявляющиеся постоянным, иногда непреодолимым стремлением к приему пищи (булимия). Такие нарушения связаны с активацией серотонинергической, опиоидергической и других систем, участвующих в формировании ощущений удовольствия и комфорта. В результате пища становится сильным положительным стимулом (допингом), что еще более активирует указанные системы, — и порочный круг психогенного механизма ожирения замыкается.

Ожирение по гипоталамическому механизму развивается из-за повреждения нейронов вентромедиального и паравентрикулярного ядер гипоталамуса (например, после сотрясения мозга, при энцефалитах, краниофарингиоме, метастазах опухолей в гипоталамус). При этом в нейронах заднелатерального вентрального ядра гипоталамуса могут спонтанно повышаться синтез и секреция нейропептида Y и одновременно снижаться чувствительность к ингибирующим его факторам (главным образом к лептину). В результате усиливается выработка нейропептидов и нейропептидов, формирующих чувство голода и повышающих аппетит (ГАМК, дофамина, β-эндорфина, энкефалинов), что приводит к избыточному приему пищи.

К эндокринным механизмам ожирения относят лептиновый, гипотиреоидный, надпочечниковый и инсулиновый (рис.3) [3].

В основе развития первичного ожирения лежит **лептин**. Этот гормон, образующийся в жировых клетках, уменьшает аппетит и повышает расход энергии организмом. Уровень лептина в крови положительно

коррелирует с количеством белой жировой ткани. Рецепторы к нему имеют многие клетки, в том числе нейроны вентромедиального ядра гипоталамуса. Лептин подавляет образование и выделение гипоталамусом нейропептида Y, который формирует чувство голода, повышает аппетит, снижает энергозатраты организма. Между гипоталамусом и жировой тканью существует отрицательная обратная связь: избыточное потребление пищи, сопровождающееся увеличением массы жировой ткани, усиливает секрецию лептина и, как следствие, тормозит синтез нейропептида Y. В результате чувство голода ослабляется. Однако у тучных людей этот регуляторный механизм может быть нарушен (например, из-за повышенной резистентности к лептину или мутации его гена).

Гипотиреоидный механизм включается при недостаточности йодсодержащих гормонов щитовидной железы, когда снижаются интенсивность липолиза, а также скорость обменных процессов в тканях и энергетические затраты организма. В результате нарастает масса тела.

Надпочечниковый (глюкокортикоидный, кортизоловый) механизм связан с усиленной продукцией глюкокортикоидов в коре надпочечников (например, при болезни или синдроме Иценко—Кушинга). При их избытке активизируются гликогенолиз (развивается гипергликемия), транспорт глюкозы в жировые клетки и гликолиз (угнетаются липолитические реакции и накапливаются триглицериды).

Инсулиновый механизм обусловлен прямой активацией инсулином липогенеза в жировой ткани. Считают, что основные повреждения связаны с уменьшением числа рецепторов для инсулина, обуславливающих резистентность к инсулину и компенсаторный гиперинсулинизм [4].

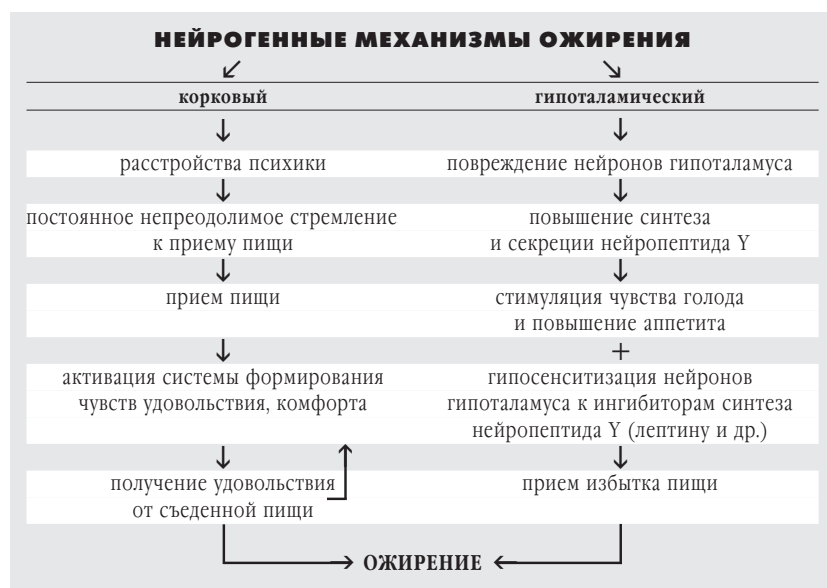


Рис.2. Нейрогенные механизмы ожирения.

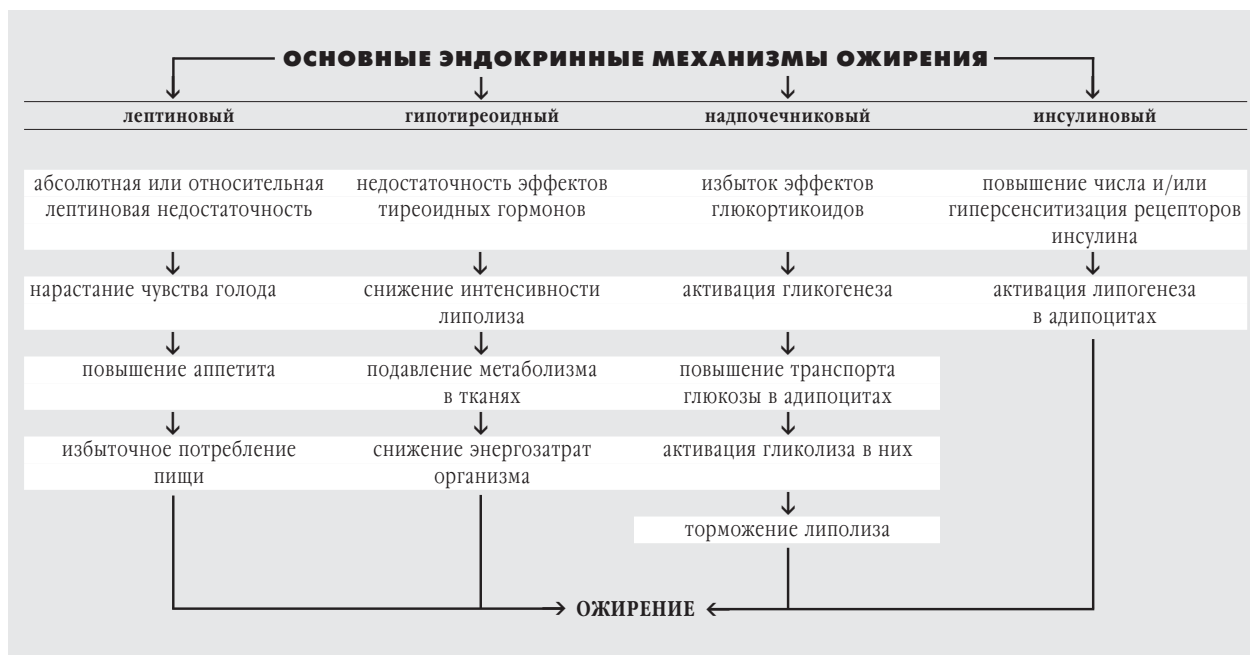


Рис.3. Эндокринные механизмы ожирения.

Ожирение может развиваться также при других эндокринопатиях (например, при дефиците соматотропного и гонадотропных гормонов). В настоящее время в патогенезе ожирения учитываются особенности и самой жировой ткани, число и величина жировых клеток — адипоцитов. Их количество генетически обусловлено, а величина их зависит от возраста, пола, воздействия регуляторных и метаболических факторов. Число жировых клеток относительно постоянно и с возрастом не меняется (у женщин их количество больше, чем у мужчин). У молодых людей число адипоцитов составляет $3 \cdot 10^{10}$, содержание жира в клетке — 0,6 мкг, общее количество жира в организме — примерно 18 кг. У лиц с небольшой физической активностью и ожирением эти величины составляют $4,6 \cdot 10^{10}$; 1,1 мкг и 50 кг соответственно. Встречаются случаи ожирения, когда при нормальном числе адипоцитов общее количество жира более 70 кг, однако масса одной клетки равна 1,6 мкг. В других случаях масса адипоцитов оста-

ется нормальной, а их число достигает $9 \cdot 10^{10}$. Общее количество жира может составлять 100 кг и более.

Метаболические механизмы развиваются в связи с отложением большого количества жира и увеличением нагрузки на жизненно важные органы. Далеко зашедшее ожирение вызывает в них ряд функциональных изменений. Прежде всего нарушается обмен в жировой ткани: усиливается синтез триглицеридов и липопротеидов, изменяется способность к мобилизации жировых резервов, наблюдаются гиперлипемия и гиперхолестеринемия, повышается уровень свободных жирных кислот.

Нарушения в углеводном обмене выражаются в ограничении метаболизма глюкозы, повышении содержания гликогена в печени. В мышечной ткани нарушается утилизация глюкозы, несмотря на гиперинсулинизм. Дыхательный коэффициент (отношение объема выделяемого из организма углекислого газа к объему поглощаемого за то же время кислорода) в норме у здорового человека составляет 0,85.

Если же он достигает 0,7—0,74, это свидетельствует о том, что в качестве источника энергии используются в основном жирные кислоты [4].

Запасы углеводов в организме относительно малы — они примерно равны их суточному приему с пищей. В связи с этим выработался механизм экономии углеводов. Однако при высокой концентрации жиров в крови активируется механизм, обеспечивающий повышение аппетита и увеличение приема пищи, направленное на обеспечение необходимого количества в организме углеводов. В этих условиях жиры накапливаются в виде триглицеридов — и развивается ожирение [5].

Важнейшую роль в развитии нейrogenного ожирения и булимии играют гипоталамические пептиды (стимуляторы орексии) [6].

К ним относятся грелин, NPY, AgRP (agouti-related peptide). Грелин, состоящий из 28 аминокислотных остатков, открыли сравнительно недавно, в 1999 г. Рецепторы этого регуляторного пептида найдены в нескольких ядрах гипоталамуса (аркуатном,

вентромедиальном и паравентрикулярных). Орексирующие эффекты грелина могут быть опосредованы через другие нейропептиды, в частности через AgRP и NPY [7]. Их синтезируют нейроны гипоталамуса, расположенные в вентромедиальной части аркуатного ядра.

Пептид AgRP состоит из 111 аминокислот. Этот природный антагонист меланокортиновых рецепторов (MC3 и MC4) оказывает сильное и длительное стимулирующее действие на аппетит. Меланокортины, в частности α -MSH, образуются при протеолитическом расщеплении проопиомеланокортина (ПОМС). Мыши с выключенным геном ПОМС (вследствие чего у них отсутствует α -MSH) страдают ожирением — так же, как и мыши с повышенной экспрессией м-РНК гена AgRP. Активация MC4-рецептора агонистами приводила, наоборот, к уменьшению потребления пищи.

NPY (36 аминокислотных остатков) — один из самых сильных эндогенных орексирующих пептидов. Известно пять подтипов его рецепторов, два из которых, Y₁ и Y₅, считаются передатчиками его орексирующих эффектов. Отсюда делается вывод, что антагонисты этих подтипов могут рассматриваться как потенциальные терапевтические средства в борьбе с ожирением.

Среди пептидов, регулирующих аппетит, кроме его стимуляторов имеются также ингибиторы орексии (аноректические пептиды). Они синтезируются как в центральной нервной системе, так и в периферических органах. К ним относятся: соматостатин, кортиколиберин, тиролиберин, лептин, обестатин. Если первые три давно известны и всесторонне изучены, в том числе и их аноректическое действие, то два последних пептида — лептин и обестатин — активно исследуются последние годы.

Белковый гормон лептин (от греч. λεπτός — тонкий; открыт в 1994 г.), продуцируемый адипоцитами белого жира, содержит 145 аминокислотных остатков. Стимулятором секреции лептина служит прием пищи, а его содержание в плазме крови положительно коррелирует с долей жира в массе тела. Это свидетельствует о нарушениях чувствительности к лептину при ожирении. Предполагают, что эффект лептина может быть отчасти опосредован через ингибирование гена NPY.

Эффекты грелина и лептина связаны с их влиянием на синтез орексирующего NPY, т.е. приводят соответственно к повышению или подавлению его секреции. Этим, возможно, объясняется то, что увеличение содержания одного из них подав-

ляет эффект другого. Интересно отметить, что у людей, страдающих ожирением, содержание грелина в плазме крови снижено.

Особое внимание исследователей в последние годы привлекает обестатин (от англ. obesity — ожирение). Его открытие связано с изучением регуляции веса тела с помощью пептидных гормонов, понижающих аппетит. В 2003 г. исследователи Медицинской школы Стэнфордского университета, проводившие компьютерный поиск последовательностей генов у ряда организмов, идентифицировали обестатин как новый гормон.

Этот пептид — производное прогрелина — состоит из 23 аминокислотных остатков. Поскольку прогрелин — еще и предшественник грелина, пептиды-антагонисты (орексирующие грелин и анорексирующий обестатин) происходят из одного корня (рис.4).

Однако механизм, лежащий в основе синтеза двух пептидов с противоположным действием, до сих пор неясен. Показано, что обестатин подавляет секрецию соматотропного гормона (СТГ) и потребление пищи, вызываемое грелином. Предполагают, что рецептор обестатина — это GPR39, который был обнаружен и на пери-

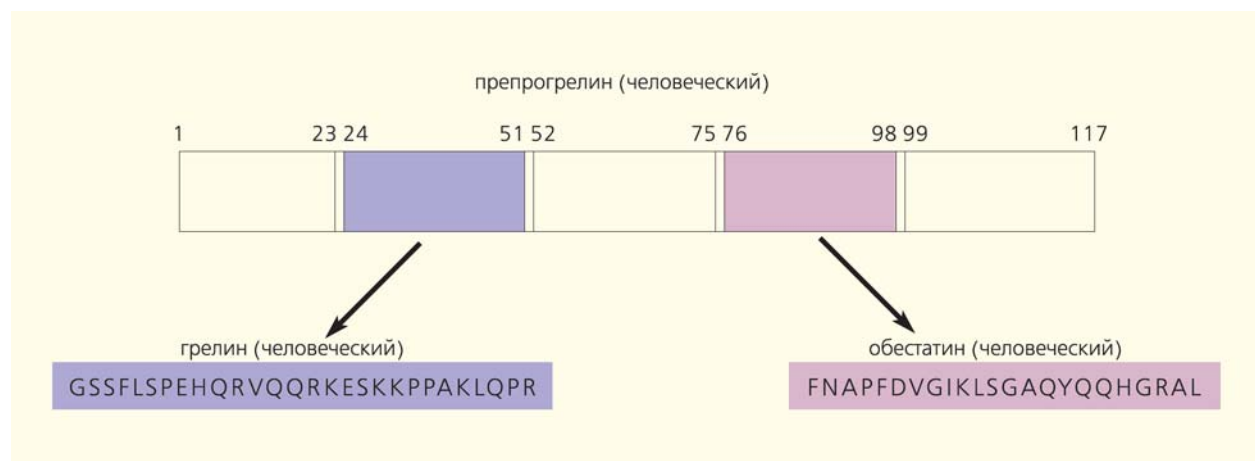


Рис.4. Схема образования грелина или обестатина из препрогрелина. (The Journal of Clinical Endocrinology. 2007. V.92. №9. P.3396—3398.)

ферии, и в центральной нервной системе [8].

Впервые обестатин выделили из желудка крыс в 2005 г. [9]. В настоящее время известно, что этот пептид синтезируется во многих тканях, включая мозг грызунов. Содержание его в плазме крови уменьшается у ненакормленных животных. По одним данным, при ожирении концентрация обестатина значительно повышается (причем у самок по сравнению с самцами крыс достоверно выше), по другим, напротив, снижается. Экспрессия и распределение этого пептида не зависят от возраста, но его содержание связано с той или иной патологией (например, у пациентов с диабетом II типа оно понижено).

Данные об изменении потребления пищи и уменьшения в весе служат наиболее прямыми доказательствами анорексигенного влияния обестатина. Однако в этой области есть много противоречий. Ряд авторов убедительно показали, что этот пептид уменьшает потребление пищи и воды и вызывает падение веса, что связывают с замедленным опустошением желудка и подавлением моторики желудочно-кишечного тракта [10]. Однако такие результаты в ряде других работ не подтвердились [11]. Эти противоречия ставят перед исследователями задачу глубокого анализа эффектов обестатина на разные проявления жизнедеятельности животных, поскольку в основе подобных изменений могут лежать метаболические нарушения, влияющие на состояние других систем, в том числе и на форменные элементы крови.

Мы впервые изучили действие обестатина в разной концентрации на форменные элементы крови *in vitro* по показателям оседлости эритроцитов и агрегации тромбоцитов. Обестатин в дозах 100, 500, 800 и 1000 нМ увеличивал степень гидролиза эритроцитов в крови животных, при этом агрегация тромбоцитов в зависимости от

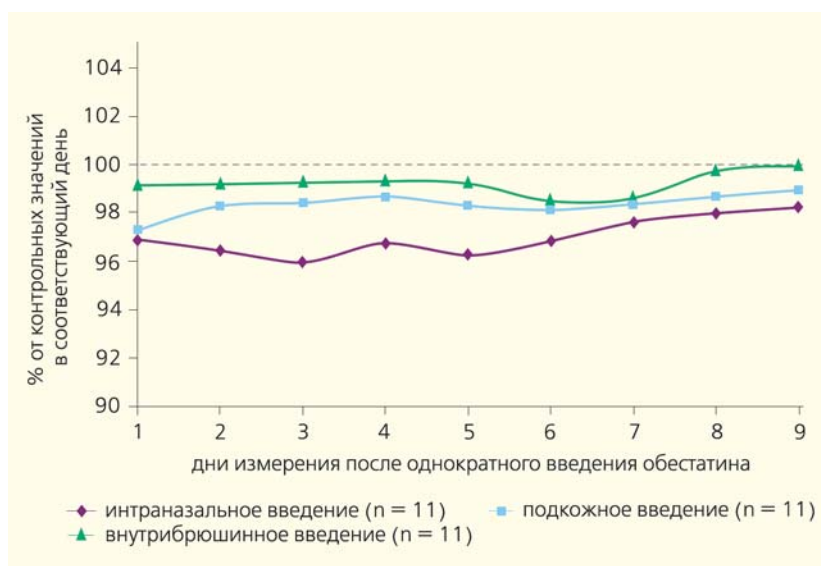


Рис. 5. Изменение массы тела после однократного введения обестатина в дозе 300 нМ/кг. За 100% принято значение регистрируемого показателя в контрольной группе в соответствующий день измерения.

концентрации снижалась. Так как доза в 300 нМ не вызвала каких-либо изменений данных показателей (т.е. не оказывала негативного действия), мы изучили влияние обестатина в той же дозе на потребление пищи, воды и на массу тела при различных способах введения (подкож-

ном, внутрибрюшинном и интраназальном). Ни при одном из них масса тела не менялась (рис. 5). Только после интраназального введения обестатина потребление пищи и питья заметно снижалось (рис. 6, 7).

Мы полагаем, что наши данные в какой-то мере объясняют

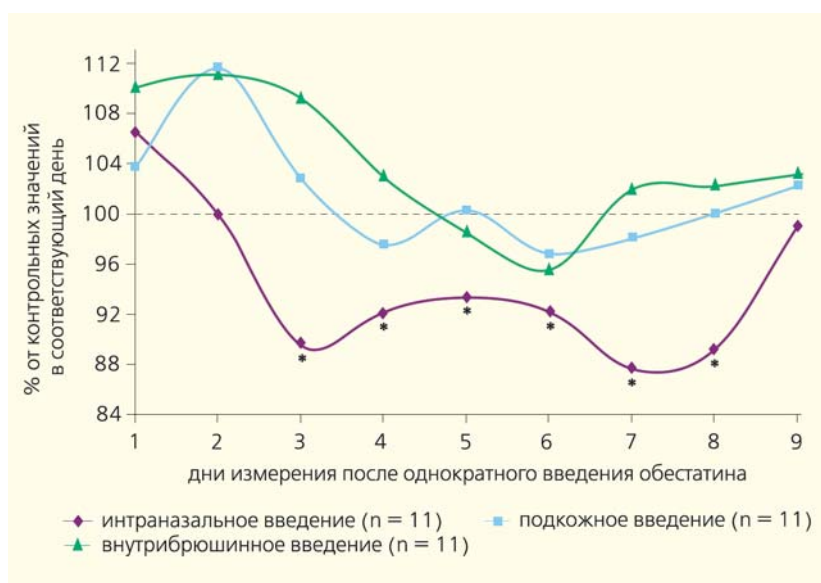


Рис. 6. Динамика потребления корма после однократного введения обестатина в дозе 300 нМ/кг. Условные обозначения: * — значимое отличие от контроля ($p < 0.05$). За 100% принято значение регистрируемого показателя в контрольной группе в соответствующий день измерения.

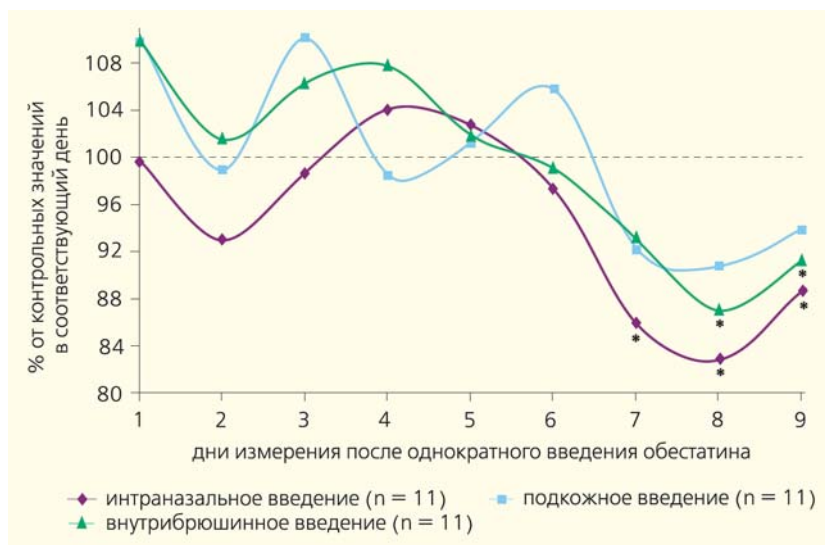


Рис.7. Динамика потребления корма после однократного введения обестатина в дозе 300 нМ/кг. Условные обозначения: * — значимое отличие от контроля ($p < 0.05$). За 100% принято значение регистрируемого показателя в контрольной группе в соответствующий день измерения.

имеющиеся в литературе разногласия по вопросу анорексигенного действия обестатина. Из наших результатов следует, что влияние обестатина на пищевое поведение проявляется лишь в узком диапазоне его кон-

центраций (вероятно, близких к выявленной нами концентрации в 300 нМ) и, скорее всего, опосредуются через центральные механизмы, обуславливающие пищевую зависимость. Отсутствии заметных изменений

массы тела в наших экспериментах можно объяснить чрезвычайной краткостью действия пептида при однократном интраназальном введении. К тому же, как известно из литературных источников, время жизни пептида очень мало — примерно 10 мин. В дальнейшем мы продолжим наши эксперименты уже при хроническом введении обестатина.

Еще одно важное и интересное направление — это исследование эффектов не самого обестатина, а его фрагментов. Об их высокой эффективности (фрагментов 1–10 и 11–23) уже имеются предварительные данные [12, 13]. Можно предположить, что и более короткие фрагменты пептида проявят анорексическую активность. Если она будет обнаружена, можно будет говорить о доклинических испытаниях.

Таким образом, поиск эндогенных пептидергических регуляторов потребления пищи — одно из перспективных направлений в разработке методов коррекции пищевого поведения. ■

Литература

1. Лопатухина И. Раба еды? Восстание рабов! Как избавиться от пищевой зависимости. М., 2010. С.256
2. Шутова В.И., Данилова Л.И. Ожирение, или синдром избыточной массы тела // Медицинские новости. 2004. №7 С.41–47.
3. Литвицкий П.Ф. Патолофизиология: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. Т.1. М., 2003.
4. Зайко Н.Н., Быць Ю.В., Атаман А.В. и др. Патологическая физиология: Учебн. для студентов мед. вузов. 3-е изд. М., 2002.
5. Литвицкий П.Ф. Патолофизиология: Учебник. 2-е изд., испр. и доп. Т.1. М., 2003.
6. Граф А.В., Солуянова И.А., Соколова Н.А. Пищевое поведение и регуляторные пептиды: новый подход к проблеме // Нейрохимия. 2002. Т.19. №4. С.254–257.
7. Charlisa Gibson and Marta Korbonits The Yin and Yang of the ghrelin gene products // Immun. Endoc. and Metab. Agents in Med. Chem. 2008. V.8. P.292–302.
8. Jackson V.R., Notbacker H.P., Civelli O. GPR39 receptor expression in the mouse brain // Neuroreport. 2006. V.17. №8. P.813–816.
9. Zhang J.V., Ren P.G., Avsian-Kretchmer O. et al. Obestatin, a peptide encoded by the ghrelin gene, opposes ghrelin's effects on food intake // Science. 2005. V.310. №5750. P.996–999.
10. Samson W.K., White M.M., Price C., Ferguson A.V. Obestatin acts in brain to inhibit thirst // Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol. 2007. V.292. №1. P.637–643.
11. Unniappan S., Speck M., Kieffer T.J. Metabolic effects of chronic obestatin infusion in rats // Peptides. 2008. V.29. №8. P.1354–1361.
12. Subasinghage A.P., Green B.D., Flatt P.R. et al. Metabolic and structural properties of human obestatin {1–23} and two fragment peptides // Peptides. 2010. V.31. №9. P.1697–1705.
13. Nagaraj S., Peddha M.S., Manjappara U.V. Fragment analogs as better mimics of obestatin // Regul. Pept. 2009. V.158. №1–3. P.143–148.



Хрупкое равновесие Анапской пересыпи

Р.Д.Косьян, В.В.Крыленко, С.Б.Куклев

Анапа занимает ведущее место на российском рынке санаторно-курортного лечения, морского туризма и детского отдыха. Главная ценность региона — Анапская пересыпь, вытянутая вдоль Черного моря почти на 47 км, от Таманского п-ова до Анапы. Морская сторона пересыпи — непрерывная лента песчаного пляжа шириной 50—200 м. Знаменитый золотой анапский песок состоит из мельчайших обломков морских раковин и горных пород. Тильную часть пляжей обрамляют живописные дюны, поросшие лохом серебристым (дикой маслиной), тамариском и солелюбивыми травами. Кроме того, в регионе имеются источники целебных вод и грязей. Удобный для застройки рельеф, транспортные коммуникации способствовали развитию курорта Анапа.

Анапская пересыпь — очень динамичный природный объект, состояние которого зависит от большого количества природных и (приходится с сожалением отметить) антропогенных факторов. Общая тенденция динамики пляжей Анапской пересыпи — повсеместное сокращение их ширины. В последние годы процесс деградации пляжей усилился. На некоторых участках ширина пляжа сократилась настолько, что в период штормов волны достигают основания авандюны и начинают размыв



Рубен Дереникович Косьян, доктор географических наук, профессор, заведующий отделом береговой зоны моря Южного отделения Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН. Область научных интересов — динамические процессы береговой зоны Черного моря.



Вячеслав Владимирович Крыленко, кандидат географических наук, старший научный сотрудник того же отделения. Специалист в области геоэкологии, биоразнообразия, картографии.



Сергей Борисович Куклев, кандидат географических наук, заведующий гидрофизическим отделом того же отделения. Занимается изучением гидрофизических процессов Черного моря, экологией прибрежной зоны и математическим моделированием гидродинамических процессов.

вать отложения дюнных массивов — последнего рубежа перед тем, как волны начнут разрушать объекты на берегу. Для защиты и восстановления пляжей необходимо понять причины такой деградации.

История образования пересыпи

Формирование современного облика Анапской пересыпи началось 8—15 тыс. лет назад. В середине последнего ледникового

© Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Куклев С.Б., 2012



Рис.1. Схема распределения суши и воды в низовьях Кубани во время каламитской (7—6 тыс. лет назад) трансгрессии [1]. 1 — пойма р.Кубань, 2 — внепойменные, более древние территории, 3 — морские заливы и проливы, 4 — современная береговая линия Азовского и Черного морей.

периода уровень Черного моря находился на 80—90 м ниже современного. В то время один из рукавов р.Кубань впадал непосредственно в Черное море, где и происходило накопление твердого стока реки. Большая часть аллювиальных (речных) отложений сохранилась в виде подводных песчаных полей на глубинах 30—50 м. С окончанием ледникового периода уровень моря начал подниматься. При постепенном смещении прибойной зоны вверх по склону аллювиальный материал (преимущественно крупнозернистые пески) в виде береговых подводных валов и надводных дюн перемещался вместе с береговой линией. Таким образом, формирование литодинамической системы Анапской пересыпи изначально произошло из материала аллювия пра-Кубани, накопленного при низком стоянии уровня Черного моря.

Во время каламитской трансгрессии (7—6 тыс. лет назад) Таманский п-ов представлял собой архипелаг островов на стыке ак-

ваторий Черного и Азовского морей (рис.1). Устьем р.Кубань, где происходило дальнейшее накопление ее аллювия, стали заливы на месте современных лиманов — Бугазского, Кизилташского, Витязевского — единого тогда гидрологического объекта. Весьма вероятно, что сток реки значительно превосходил современный в связи с таянием горных ледников Кавказа. Огромный поток аллювиального материала накапливался вблизи устья Кубани, постепенно заполняя пространство между полуостровами (отрогами Кавказского хребта) и Таманским поднятием. О скорости этого накопления можно судить по скорости образования дельтового выступа, менее чем за 100 лет разделившего единый Кубанский лиман на Кизилташский и Витязевский (рис.2). Впоследствии, в конце XIX — начале XX в., сток Кубани полностью отошел к бассейну Азовского моря. Таким образом, аллювий р.Кубань после достижения современного уровня моря (т.е. не менее 5 тыс. лет на-

зад) непосредственно в акваторию Черного моря не поступал и в дальнейшем формировании Анапской пересыпи не участвовал.

Формирование аккумулятивного тела будущей пересыпи шло преимущественно за счет материала абразии палеомыса Железный Рог, сложенного рыхлыми отложениями. Продукты его разрушения вовлекались во вдольбереговой поток наносов и перемещались на юго-восток. Об этом свидетельствует железорудная галька с мыса Железный Рог, обнаруженная на самом южном краю пересыпи. Конфигурация берега (выдвинутые далеко в море мысы Анапский и Железный Рог) и пологий шельф создали условия, при которых твердый материал, попав в данную литодинамическую систему, мог покинуть ее только в виде мельчайшей взвеси, выносимой морскими течениями в открытое море (рис.3). По мере роста косы трансформировалась в единую пересыпь — узкую полосу наносной суши из песка и гальки, отделяющую прибрежный лиман от основного водоема [3]. Сейчас Анапская пересыпь (в литературе именуемая также Бугазско-Витязевской, Кизилташско-Витязевской, Анапско-Таманской) — обширное аккумулятивное песчаное тело [4], которое отделяет от Черного моря систему лиманов (лагун) — оз.Соленое, лиманы Бугазский (Кизилташский), Витязевский, оз.Чембурское, Анапские плавни, — некогда бывших морскими заливами.

Главный индикатор положения пересыпи в разные периоды развития — состав ее отложений. Показательно распространение морских и лиманных позднеголоценовых осадков. В тыловой части Анапской террасы и Витязевской пересыпи морские осадки выходят на поверхность, слагая наиболее древнюю часть пересыпи [5]. На севере Анапской пересыпи — на Бугазской косе — морские отложения отсутствуют, сменяясь лиман-

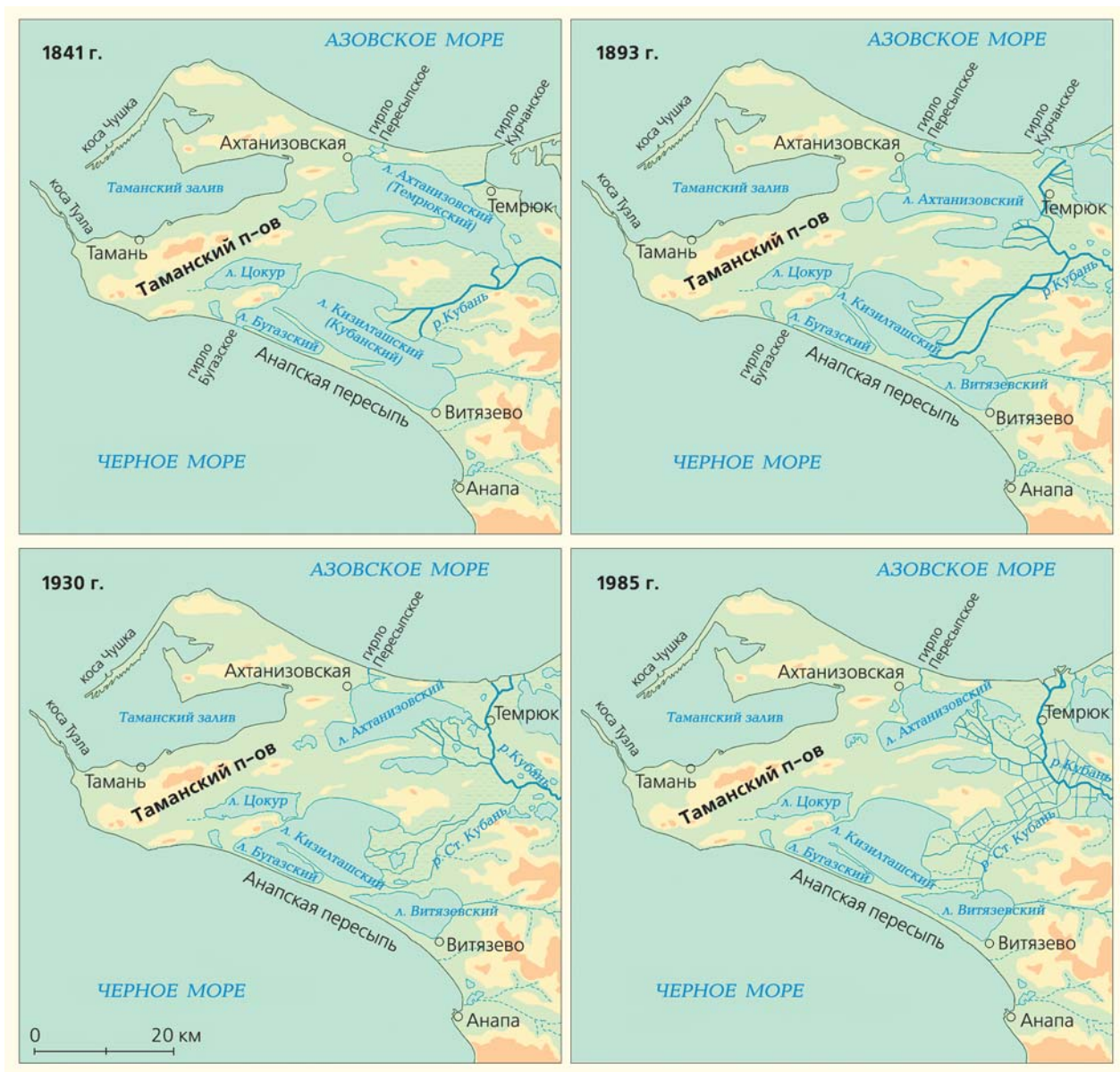


Рис.2. Схема развития юго-западной части дельты р.Кубань [2].

ными. Южнее, в районе Витязевской пересыпи, древние морские отложения перекрыты более молодыми морскими и эоловыми наносами.

Причина такого строения в том, что коренной берег в районе палеомыса Железный Рог, сложенный преимущественно рыхлыми отложениями, быстро разрушался под действием абразионных процессов и с течением времени отступил на несколько километров. Размыву при этом подверглись от-

ложения Бугазского лимана. Одновременно южный аккумулятивный участок пересыпи, «опирающийся» на значительно более прочный Анапский мыс, выдвинулся в сторону моря, сохранив в своей тыльной части древние морские отложения (рис.4). Как следствие, береговая дуга длиной 50 км изменила ориентировку на несколько градусов по часовой стрелке вокруг центра у Благовещенского останца. Поворот генеральной линии берега сказался на мощ-

ности вдольбереговых наносов, формируемых под действием волнений преобладающих направлений. Максимальная величина разворота в крайних точках (южная Тамань и Анапа) составила 1.1–1.5 км (по некоторым данным, до 2 км). Этого оказалось достаточно, чтобы равнодействующая волнений стала близкой к нормали, вдольбереговой поток наносов существенно ослабел и преобладающим движением наносов стали поперечные миграции.

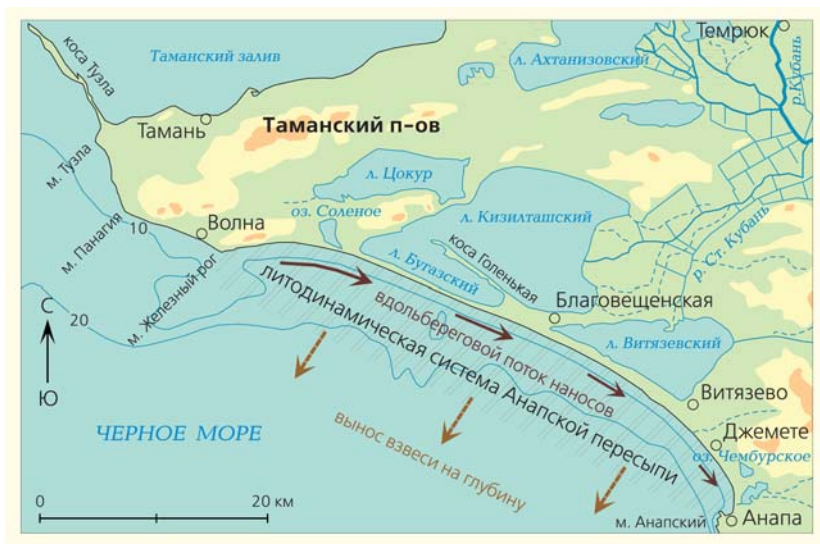


Рис.3. Схема литодинамической системы Анапской пересыпи.

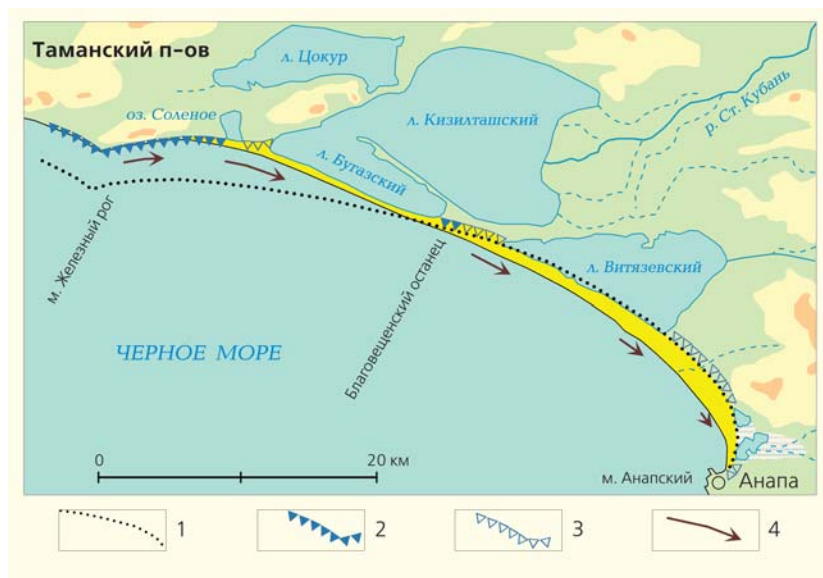


Рис.4. Схема развития берега от мыса Железный Рог до Анапы [5, с изменениями]. 1 — начальное положение береговой линии, 2 — активные клифы, 3 — оттершие клифы, 4 — направление миграции наносов.

Современное состояние Анапской пересыпи

Изменения природной среды, происходящие в настоящее время, безусловно, сказываются на состоянии пересыпи. Современную динамику Анапской пересыпи определяют природные гидродинамические факторы (подъем уровня моря, волновой режим, прибрежные течения)

и баланс наносов (поперечный и вдольбереговой потоки, истирание, поступление ракуши, эоловые процессы).

Как будет развиваться геосистема Анапской пересыпи в дальнейшем, ведь к сложным и не всегда благоприятным природным процессам добавилось антропогенное воздействие? Можно ли нам вмешиваться в ход природных процессов, и где допустимые

границы такого вмешательства? Как использовать природный потенциал Анапской пересыпи, не вредя окружающей среде?

Поиск ответов на эти и многие другие вопросы был целью исследований, проведенных специалистами Южного отделения Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ЮО ИО РАН), которые занимались изучением Анапской пересыпи с 1947 г.

В 2010 г. при финансовой поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края научным коллективом ЮО ИО РАН выполнялись комплексные научные исследования. На 10-километровом участке берега от устья р.Анапки до пос.Витязево исследовались гидродинамический режим, геоморфологические и литодинамические процессы, биологическое разнообразие и антропогенная нагрузка. Собранный обширный материал позволил получить представление о современном развитии береговых процессов не только на исследованном участке, но и на всей Анапской пересыпи в целом.

Изменение гидродинамического режима. Гидродинамические и литодинамические процессы таких объектов, как Анапская пересыпь, тесно взаимосвязаны. Гидродинамика определяет направление и интенсивность миграции наносов, скорость их истирания, пространственную дифференциацию. В свою очередь, перемещение наносов приводит к изменению глубин и контура береговой линии, которые оказывают влияние на формирование структуры волнения и течений. В случае Анапской пересыпи принято говорить о единой структуре гидролитодинамических процессов, где изменение хотя бы одного структурного элемента (неважно, связанного с воздействием природного характера или с вмешательством человека) окажет влияние на дальнейшее развитие структуры в целом.

На развитие гидролитодинамических процессов оказывают влияние глобальные климатические факторы. Один из них — изменение уровня моря. Палеогеографический анализ показывает, что в позднем голоцене динамика Анапской пересыпи носила циклический характер [4]. При стабилизации уровня моря или регрессивных спадах наблюдались аккумуляция наносов в береговой зоне и увеличение ширины пляжей. При трансгрессивном подъеме аккумуляция сменялась размывом пляжей. Данная закономерность характерна для многих песчаных берегов морей и океанов. В современных условиях наблюдается подъем уровня Мирового океана. В последние десятилетия начали размываться берега, на которых раньше наблюдались однонаправленные процессы аккумуляции. По всей видимости, не избежали подобной участи и пляжи Анапской пересыпи, где за последние 50 лет уровень моря поднялся примерно на 10–13 см (или ~2.5 мм в год).

Миграция и истирание материала. Анализ гранулометрического состава донных и пляжных отложений позволяет понять один из важных аспектов функционирования литодинамической системы пересыпи — движущую силу и направление миграции материала в зависимости от его крупности. Доля крупных частиц в составе пляжных и донных отложений уменьшается с севера на юг. Как мы уже говорили, одним из источников, питавших пересыпь, ранее был материал абразии берегов Таманского п-ова. Математическое моделирование показало, что и в настоящее время в годовом цикле результирующий поток наносов направлен на юго-восток, в сторону Анапы. Перемещаясь под действием волновых течений на юг, частицы песка постепенно истираются, и средний диаметр частиц в наносах, слагающих пляж и подводный склон, уменьшает-

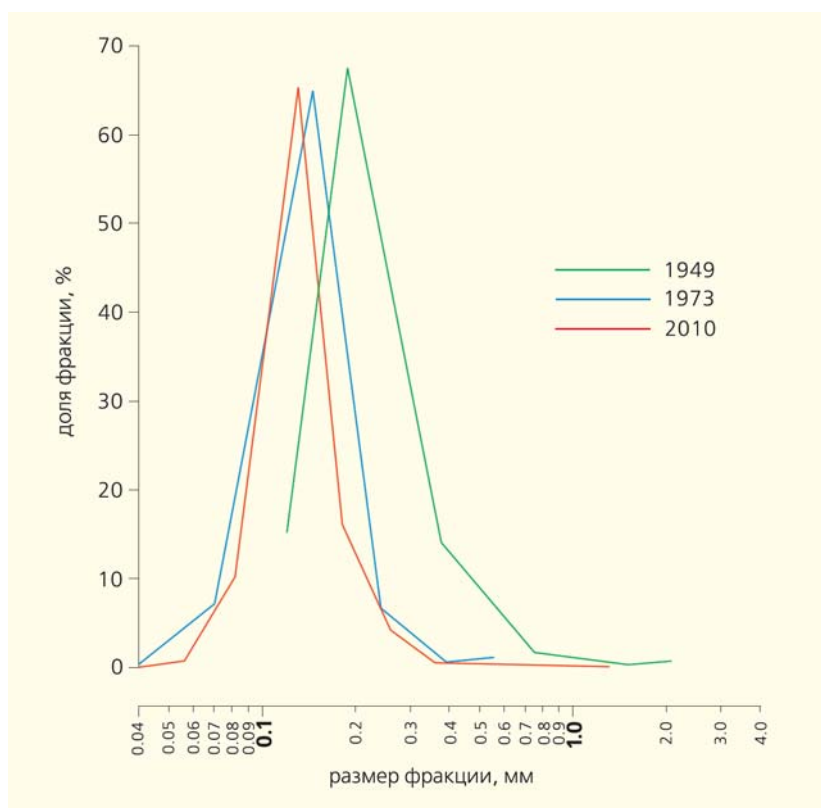


Рис.5. Сравнение распределения гранулометрического состава донных отложений на изученном участке пересыпи: в 1949 [5], 1973 [7] и в 2010 гг.

ся. Наиболее мелкие уходят из береговой зоны на большие глубины. Частички размером 0.063–0.1 мм аккумулируются на глубинах более 7 м, а размером менее 0.063 мм уходят на глубины более 10 м, навсегда покидая береговую зону. Расчеты показали, что иссякающего по мере продвижения на юг потока крупнозернистого песка недостаточно для компенсации потерь мелкозернистого материала в южной части пересыпи.

Сравнение данных гранулометрического анализа за 1949, 1973 и 2010 гг. (рис.5) показало, что с течением времени также наблюдается уменьшение средних размеров частиц в донных отложениях. Это указывает на недостаточность современной подпитки литодинамической системы пересыпи крупнозернистыми наносами.

Поступление ракушки. Существуют ли еще какие-либо современные источники пополне-

ния Анапской пересыпи крупнозернистым материалом? Да, это сообщество прибрежных раковинных моллюсков, преимущественно двустворчатых. Содержание раковинного материала в песках Анапской пересыпи местами достигает 50%. Из них 95% приходится на долю *Chamelea gallina*, 3% — на *Donax trunculus*, 2% — на *Rapana venosa* [6]. Годовое поступление органогенного карбоната на один погонный метр берега только за счет *C.gallina* составляет 180 (!) кг. С учетом менее значимых поставщиков оно может быть оценено в 200 кг/м в год. Таким образом, выброс раковинного материала с прилегающих пространств морского дна в настоящее время — один из основных источников пляжного материала для Анапской пересыпи.

Важнейшая черта биогенной составляющей наносов — ее непрерывное возобновление. К примеру, весьма протяженные

и устойчивые аккумулятивные береговые формы Азовского моря, несмотря на то что до 30% поступившего раковинного материала истирается, практически полностью состоят из ракушки. Однако биогенный источник весьма изменчив. Межгодовые и сезонные колебания ареалов распространения и биомассы моллюсков отражаются на объемах аккумуляции раковин в береговой зоне. Кроме того, в значительной степени влияют и негативные последствия изменения экосистемы в целом.

Так, уменьшился общий объем поступающей ракушки вследствие пресинга дальневосточного вселенца рапаны (*Rapana venosa*) — хищного брюхоногого моллюска, питающегося двустворками. Распространение рапаны привело к снижению численности венерок *C.gallina* и, следовательно, к снижению воспроизводства ракушечного материала в целом. Современные исследования показали, что максимальный возраст *C.gallina* на данном участке составляет три-четыре года при продолжительности жизни (времени достижения максимальных размеров) семь-восемь лет. Таким образом, венерки выедаются задолго до достижения максимального размера ракушки. Здесь может возникнуть вполне закономерный вопрос — в природе ничто не исчезает бесследно, если уменьшается количество ракушки *C.gallina*, значит, возрастает количество ракушки *R.venosa*, которое может возместить потери в балансе пляжеобразующего материала? Раковины рапана крупнее, но гораздо более хрупкие и измельчаются значительно быстрее. Это подтверждается небольшим содержанием материала от раковин рапана (до 2%) в пляжных отложениях Анапской пересыпи.

Еще большее негативное воздействие прибрежные сообщества двустворчатых моллюсков испытывают от хозяйственной деятельности человека — неочищенных стоков. Загрязнение

морской воды и донных отложений приводит к угнетению и гибели моллюсков. С развитием рекреационного комплекса объем поступающих в морскую воду загрязняющих веществ от года к году растет. Если не будут приняты срочные меры по очистке стоков, можно ожидать дальнейшего сокращения численности моллюсков. Ситуация усугубляется тем, что даже срочные меры не дадут положительного мгновенного результата. Неблагоприятный отклик популяции моллюсков на длительное загрязнение морской среды (даже если оно полностью прекратится) будет наблюдаться годы, а может, и десятки лет.

Эоловые процессы совместно с развитием растительности способствуют упорядочению рельефа, дифференциации наносов, аккумуляции свободных песков, выводу их из зоны действия ветропесчаного и волнового потоков. Благодаря эоловым процессам возникла характерная форма берегового рельефа Анапской пересыпи — дюнный пояс. Дующие к берегу ветры подхватывают сухой песок и переносят его в глубь материка. Отдельные неровности рельефа или кустики растительности задерживают песок. Вокруг них возникают первичные песчаные холмы, которые, постепенно сливаясь, образуют асимметричные песчаные валы или гряды, поперечные господствующему ветру, — дюны. Возникновение развитых эоловых форм возможно лишь при наличии достаточного объема песка с размером частиц, позволяющим ветру свободно перемещать их. Например, на многочисленных косах Азовского моря, сложенных преимущественно крупными наносами (ракушей), нет эоловых форм, подобных дюнам Анапской пересыпи.

Размеры прибрежных дюн иногда достигают десятков километров в длину и десятков метров в высоту. Такие формы рельефа на морском берегу существенно меняют ветровой поток

и объем наносов, перемещающихся под действием ветра. Растительность также играет важную роль в существовании эоловой формы. При густой растительности на верхней и тыльной частях дюны практически не существует значимого ветропесчаного потока, направленного со стороны моря в глубь суши. Аналогично, ветровая тень от высокой дюны снижает вынос песка с пляжа в море. Массовое движение песка наблюдается только на участках, где растительный покров (как правило, и рельеф) нарушен. В таких местах отмечаются наибольшие поперечные перемещения песка, как в сторону моря, так и в глубину суши.

Отступление берега постепенно приводит к разрушению эоловых форм, но при этом дюна служит источником пополнения вдольберегового потока наносов, что существенно снижает риск катастрофического размыва берега даже при экстремальных штормах.

Хозяйственное освоение дюнного пространства

Во второй половине XX в. началось плановое освоение южной части Анапской пересыпи под рекреационное использование. По обе стороны старой дороги Анапа—Джемте, ставшей Пионерским проспектом, были выделены участки под размещение оздоровительных учреждений, преимущественно детских. Постепенно границы рекреационной зоны расширились, и Пионерский проспект практически достиг пос.Витязево. Сначала на дюнах строительство не велось, на пляже сооружались только временные постройки. С точки зрения сохранения ландшафтного облика Анапской пересыпи освоение шло щадящими методами. Тем не менее именно тогда начались прокладка и ежегодное обновление «прорезей» дюнного пояса для облегчения прохода и проезда на пляж.



Рис.6. Разрушение дюны для «благоустройства» пляжа. Март 2011 г.

Повсеместно происходило масштабное озеленение протяженной территории в тыльной части дюнного пояса, что привело к полному прекращению перевывания песков внутри озелененной территории и к значительному ослаблению ветров, дующих с суши. По мнению некоторых исследователей, именно по этой причине стало со-

кращаться поступление песка с берега в море и началось отступление берега.

С окончанием периода экономического спада, связанного с перестройкой, вновь возобновилось освоение новых территорий под рекреационные объекты. Несколько новых объектов в районе Джемете были размещены непосредственно в

дюнном поясе. При этом были повреждены или даже полностью снесены не только тыльные гряды дюн, но и авантюна (рис.6).

При хозяйственной деятельности сильнейшему изменению в первую очередь подвергаются рельеф и растительный покров. Как показало проведенное в 2010 г. обследование, на 10-ки-



Рис.7. Прокладка новых и обновление старых прорезей через дюны (для облегчения прохода и проезда на пляж) существенно нарушает рельеф и растительный покров (космический снимок Google Earth).

лометровом участке от устья р. Анапки до пос. Витязево существует более 60 ежегодно обновляемых искусственных прорезей дюнного пояса (рис. 7). Часто их прокладка сопровождается изъятием песчаного материала. (Для сравнения отметим, что на Атлантическом побережье штата Флорида в США проходы и проезды к пляжу через дюнный пояс располагаются не чаще чем через 25 км.) Крутые края прорезей, сложенные песком, осыпаются, что приводит к повреждению рельефа и растительности на гораздо большей площади, чем первоначальная прорезь. При вдольбереговых ветрах, когда ветропесчаный поток направлен вдоль дюны, прорези достаточно быстро заносятся песком. Дюна самовосстанавливается. При поперечных же ветрах стенки выемок разрушаются — и песок выносится либо на пляж, либо на рекреационную территорию за дюнным поясом. Большинство прорезей созданы в местах примыкания улиц или широких пешеходных аллей, вдоль

которых песок беспрепятственно переносится на сотни метров от границы дюн. Именно это послужило причиной возникновения распространенного мнения, что дюны «наступают» на город. Подобный процесс можно наблюдать на участках, где авантюна полностью снесена и застройка выходит непосредственно в эоловую зону.

В период штормов искусственные проходы способствуют более глубокому проникновению волн. При экстремальных штормах волны переклестывали через гребень разрушенной авантюны и в тыльной части образовались временные озера. Модельные расчеты показали, что максимальный накат на естественном берегу с авантюной составил 27 м, а с разрушенной авантюной — 60 м. Таким образом создаются дополнительные условия для эрозии авантюны и деградации зоны дюнных отложений в целом.

Важным элементом баланса наносов служит формирование ветроустойчивой поверхности,

с помощью которой в определенный момент практически полностью прекращается движение песка в пределах пляжа и его вынос в море или на дюну. При рекреационном использовании периодически производится очистка пляжа от мусора и водорослей путем боронования. Сформировавшаяся ветроустойчивая поверхность разрушается, и перенос песка возобновляется до образования новой ветроустойчивой поверхности (рис. 8). Кроме того, боронование увеличивает площадь контакта влажного песка с атмосферой, способствуя высушиванию и, соответственно, — увеличению переноса песка. В целом подобное мероприятие приводит к усилению выноса песка с пляжа в море (при береговых ветрах) и на дюны (при морских ветрах), и средняя высота пляжа постепенно уменьшается. Аналогичное явление наблюдается при массовом перемещении на пляже транспортных средств и отдыхающих. При этом разрушается не



Рис. 8. Разрушение ветроустойчивой поверхности при очистке пляжа.

только ветроустойчивая поверхность, но и растительный покров, закрепляющий дюну. Наибольший ущерб наносят квадроциклы и подобные механизмы, движущиеся зачастую вне существующих проездов.

В прошлом выдвигались (да и в настоящее время выдвигаются) предложения использовать аккумулятивные песчаные отложения Анапской пересыпи как источник строительного сырья. Для восстановления ширины пляжей предлагалось брать песок с подводного склона. При всей «простоте» данного решения оно несет угрозу существующей гидродинамической системе Анапской пересыпи и экосистеме обширной акватории Черного моря.

Важная характеристика подводного рельефа Анапской пересыпи — система подводных валов, которые существенно определяют гидродинамический режим прибойной зоны. При штормах обрушение наиболее крупных волн происходит над гребнями подводных валов, и разрушительная энергия волны в значительной степени гасится далеко от берега. Изъятие песка с морского дна неизбежно приведет к исчезновению подводных валов и более активному размыву пляжей. Даже сейчас на отдельных участках при экстремальных штормах вода перехлестывает через пониженные участки дюн. Если подводного вала не станет, волна без помех ударит по берегу, что может привести к размыву пляжей и прорыву пересыпей, отгораживающих лиманы от моря. Как показывает опыт, иногда одного сильного шторма достаточно, чтобы песчаный берег отступил на десятки метров. «Восстановление» пляжа за счет материала подводных валов приведет, наоборот, к катастрофическому его разрушению. Изменение глубин даже на отдельном участке послужит толчком к переформированию структуры вдольбереговых потоков наносов всей литодинамической системы и ак-

тивной деградации пляжей от мыса Железный Рог до Анапы.

При разработке донных грунтов образуется зона повышенной мутности, где идет взаимодействие между взвесью и водой. В воду переходят накопленные на дне загрязняющие вещества и илестые частицы, которые течениями могут переноситься на десятки километров. Это приведет к росту химического (возможно, радиационного и бактериального) загрязнения рекреационной зоны анапских пляжей. Плата за загрязнение морской среды при предполагаемых объемах работ может составить миллиарды рублей.

Водоросли, оказавшиеся в зоне оседания мутьевого облака, угнетаются: прекращается рост слоевища, в клетках накапливаются токсические вещества, замедляется фотосинтез. Максимальный ущерб наносится однолетним и сезонным формам водорослей, нарушается их воспроизводство — не могут прорасти споры. Снижается продукция гидробионтов, обитающих в зарослях, уменьшаются нерестовые и кормовые площади для рыбы.

Илистыми частицами забиваются органы дыхания зоопланктона и моллюсков-фильтраторов; происходит заиливание дна и угнетение донных биологических форм. Многие мелкие донные животные не способны преодолеть слой грунта толщиной всего 0,5–2 см. Угнетение (уничтожение) донных форм приведет к снижению воспроизводства ракушечного материала, который участвует в образовании пляжей, что усилит их деградацию. Таким образом, негативное (прямое или косвенное) воздействие проявится на значительном расстоянии от района производства работ по изъятию донных песков. Общая экологическая обстановка, включая состояние анапских пляжей, необратимо ухудшится. Стоимость природоохранных мероприятий, компенсирующих негатив-

ное воздействие добычи песка на природную среду, превысит возможную выгоду от реализации подобных проектов.

Как сохранить ландшафт Анапской пересыпи

Анапская пересыпь с ее уникальными песчаными пляжами, живописными дюнами и благотворным морским воздухом привлекает к себе большое количество отдыхающих. Поток их с каждым годом увеличивается. Сейчас рассматриваются различные инвестиционные проекты, реализация которых принесет новые средства в бюджет региона. Между тем мгновенная прибыль в перспективе может обернуться колоссальными убытками. К сожалению, экологическое обоснование часто носит ограниченный характер и сводится к выявлению прямых негативных воздействий на окружающую среду (выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, образования опасных отходов, загрязненных стоков). Такой же локальный характер носят и разрабатываемые мероприятия по защите окружающей среды.

Мы уже отмечали, что Анапская пересыпь — единый природный объект, где все процессы взаимосвязаны, и локальное воздействие на отдельном участке берега может привести к негативным последствиям для всего побережья. Это единство необходимо учитывать при экологическом обосновании проектов. Недопустима реализация проектов по изъятию песчаного материала, размещению объектов капитального строительства в зоне дюнных массивов, перемещению или уничтожению дюн. Такой подход находит понимание в администрации Краснодарского края, в краевом и городском отделах архитектуры. В настоящее время разрабатывается Генеральная схема развития г. Анапы и Анапского р-на. Практика «точечной застройки» уходит в прошлое.

Главная проблема при хозяйственном освоении Анапской пересыпи — поиск компромисса между сохранением уникального природного образования и использованием важной для социально-экономического развития рекреационной территории. Нужно использовать российский и зарубежный опыт. Можно привести пример защиты и освоения Куршской косы, расположенной на территории России, т.е. находящейся в тех же законодательных рамках, что и Анапская пересыпь. Национальный парк «Куршская коса» был образован в 1987 г. на площади 6621 га. Сегодня Куршская коса — визитная карточка Калининградской обл., третий по посещаемости национальный парк в стране. Придание статуса особо охраняемой природной территории (ООПТ) — «Национальный парк» — не мешает интенсивному ее использованию в качестве рекреационного объекта. При разработке планов дальнейшего хозяйственного использования Анапской пересыпи первоочередным делом становится придание ей статуса ООПТ соответствующего ранга (национальный парк управляется федеральными органами власти, природный парк — региональными).

Важные составляющие экосистемы Анапской пересыпи — прилегающая акватория Черного моря с подводными банками

(поставщиками ракушечного материала) и приморские лиманы (с уникальными ихтио- и орнитофауной). Границы ООПТ должны быть определены с учетом этих природных связей. Как и на Куршской косе, на территории Анапской пересыпи следует предусмотреть дифференцированный режим охраны с учетом природных, историко-культурных, хозяйственных и иных особенностей. Например, можно выделить функциональные зоны: заповедную, экологического туризма, рекреационную, обслуживания посетителей. Такое деление должно способствовать эффективному использованию рекреационного потенциала, но при этом в достаточной мере защищать уникальный природный комплекс.

На участках, уже подвергшихся существенному антропогенному преобразованию, необходимо оптимально восстановить зону дюнных массивов с максимальным сохранением естественного рельефа. Подобные мероприятия сравнительно дешевы — нужно лишь прекратить возобновление прорезей, а в пределах существующих — поспособствовать естественному накоплению песка (высадкой растений или сооружением изгородей). В 50-х годах XX в. так были восстановлены дюны в районе Джемете, причем значительная часть работ выполнялась школьниками.

Наблюдается тенденция постепенного сокращения пляжей в южной части пересыпи. Для их восстановления на участке Анапа—Витязево необходимо отсыпать минимум 300—400 тыс. м³ песка с ежегодной компенсационной подсыпкой на естественную убыль 50—60 тыс. м³/год. Однако недопустимо использовать песчаный материал, находящийся на акватории Анапы. Как показали наши исследования, в данных условиях наиболее устойчивым будет пляж из песка крупнее 0.315 мм. Более мелкий материал безвозвратно выносится в море, либо происходит его массовая аккумуляция в дюнном поясе. В песке подводного склона Анапской пересыпи преобладают частицы размером 0.1—0.16 мм, и его использование для восстановления пляжей бессмысленно. Кроме того, как мы уже говорили, сам процесс изъятия и перемещения больших объемов донных отложений приведет к масштабному загрязнению обширной акватории.

Лишь выполнение перечисленных мероприятий позволит компенсировать негативные природные факторы, восполнить уже нанесенный человеком ущерб. При уважительном и внимательном отношении к сложной естественной системе Анапской пересыпи вполне реально сохранить и увеличить экономический потенциал региона, не вредя природе. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-05-00524, 10-05-90300, 09-05-00707 и 11-05-00032.

Литература

1. Блажний Е.С. Почвы дельты Кубани и прилегающих пространств. Краснодар, 1971.
2. Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани. М., 2010.
3. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М., 1988.
4. Измайлов Я.А. Эволюционная география побережий Азовского и Черного морей. Кн.1: Анапская пересыпь. Сочи, 2005.
5. Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М., 1958.
6. Косьян А.Р. Экологическое состояние популяций *Rapana venosa* в северной части Черного моря // Наукові записки Тернопольського національного педагогічного університету ім. М.Гнатюка. Серія: Біологія. Спеціальний випуск: Гідроекологія. 2010. № 3 (44). С. 122—127.
7. Анциферов С.М., Косьян Р.Д. Исследование движения взвешенного обломочного материала в верхней части шельфа, мористее зоны валов // Океанология. 1977. Т.22. №3. С.497—505.

Горы Гамбурцева — хребет, который никто никогда не видел

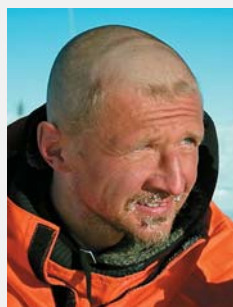
П.Г.Талалай, А.Н.Марков

Вображаемые крайние точки на поверхности Земли принято называть ее полюсами. Сначала это были географические полюса, в которых земной геоид пересекается с осью его вращения, а затем на глобусе появились магнитные и геомагнитные полюса, полюса холода и жары, а также полюса относительной недоступности — не физические феномены, а географические точки, равноудаленные от берегов, своеобразные «центры масс» географических фигур — океанов или континентов. Так, Северный полюс недоступности находится в арктических льдах на максимальном расстоянии от любой суши. Евразийский — расположен на севере Китая, недалеко от г.Урумчи, Североамериканский — в Южной Дакоте... Южный полюс недоступности, о котором пойдет речь, находится в Восточной Антарктиде, на расстоянии 878 км от географического Южного полюса, и попасть на него намного труднее, чем на географический. Эта точка впервые покорилась человеку только в 1958 г., спустя почти полвека после героических походов к Южному полюсу Руаля Амундсена и Роберта Скотта. Без преувеличения можно сказать, что Южный полюс недоступности — одна из самых труднодостижимых для человека точек нашей планеты.

© Талалай П.Г., Марков А.Н., 2012



Павел Григорьевич Талалай, доктор технических наук, неоднократный участник полярных экспедиций в Антарктиду, Гренландию и Российскую Арктику. Область научных интересов — разработка технологии и техники глубокого бурения скважин во льду. В настоящее время директор Полярного научно-исследовательского центра Цзилинского университета (Чанчунь, Китай). Постоянный автор «Природы».

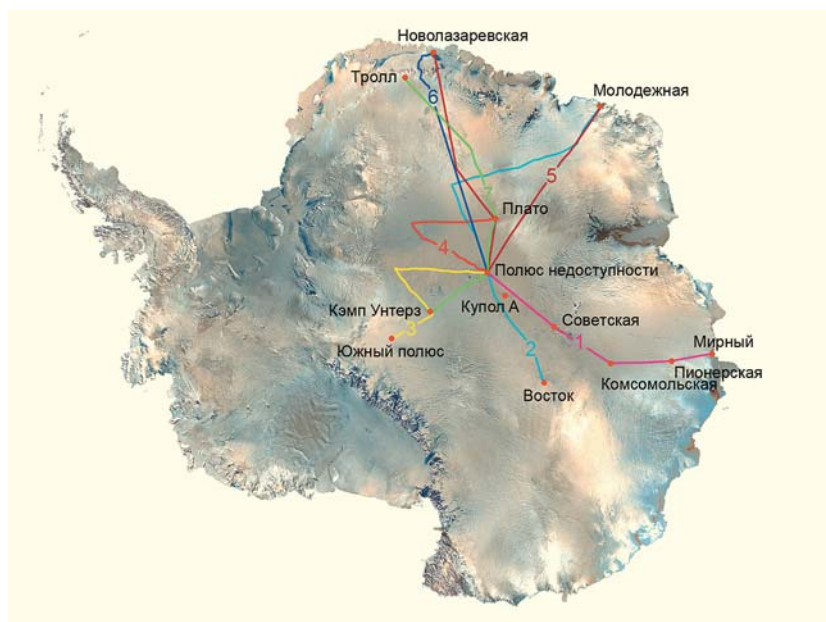


Алексей Николаевич Марков, кандидат геолого-минералогических наук, доцент Санкт-Петербургского горного университета, участник полярных экспедиций в Антарктиду и Российскую Арктику. Область научных интересов — геофизические исследования в ледовых скважинах, динамика ледниковых покровов.

В 1957—1959 гг. Советским Союзом была организована Третья комплексная антарктическая экспедиция (КАЭ). Одним из основных пунктов ее научной программы стало исследование внутренних областей Антарктиды, в том числе района Южного полюса недоступности. Для создания на пути к нему промежуточной базы 26 декабря 1957 г. из обсерватории Мирный вышел санно-гусеничный поезд [1]. 17 февраля 1958 г. отряд достиг

новой станции Советская — на расстоянии 1420 км от побережья и на высоте 3662 м над ур.м. 18 февраля при температуре -56°C состоялось ее торжественное открытие. Шестеро полярников остались здесь на зимовку для проведения наблюдений (имея связь с внешним миром лишь по радио), а остальные участники похода вышли в обратный путь и 5 марта вернулись в Мирный.

В течение долгой антарктической зимы механики Мирного



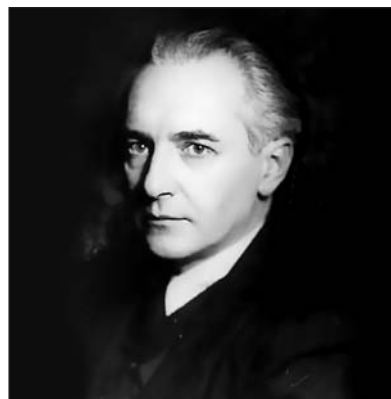
Походы к Южному полюсу недоступности: 1 — санно-гусеничный поезд Третьей КАЭ (23.10.1958—18.01.1959); 2 — санно-гусеничный поезд Девятой САЭ (03.01.1964—21.03.1964); 3 — американский траверс Queen Maud Land Traverse I (04.12.1964—27.01.1965); 4 — американский траверс Queen Maud Land Traverse II (15.12.1965—29.01.1966); 5 — санно-гусеничный поезд 12-й САЭ (28.12.1966—26.03.1967); 6 — международная экспедиция Team N2i (04.12.2006—19.01.2007); 7 — Норвежско-Американский Восточно-Антарктический научно-исследовательский траверс (16.11.2007—15.01.2008).

готовили машины к следующему походу. И вот 23 октября 1958 г. санно-гусеничный поезд в количестве шести тяжелых тягачей и вездехода «Пингвин» вновь отправился в глубь материка.

12 ноября исследователи прибыли на внутриконтинентальную станцию Комсомольская. Здесь поезд переформировали. Для доставки грузов на станцию Восток было решено отправить три



Е.И.Толстиков (1913—1987) с летчиками П.П.Москаленко и Б.П.Лаушкиным на дрейфующей станции «Северный полюс-4».



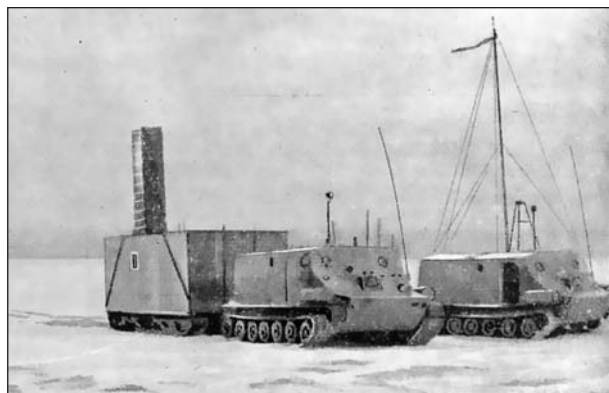
Г.А.Гамбурцев (1903—1955).
Фото М.С.Наппельбаума

тягача и вездеход, а к Полюсу недоступности — пять тягачей и сопровождающий вездеход с горючим. Однако в 230 км от Комсомольской вездеход вместе с двумя водителями, страдавшими горной болезнью, пришлось отправить обратно в Мирный.

29 ноября поезд прибыл на станцию Советская, где его ждали перезимовавшие полярники. 30 ноября сюда самолетом прибыл начальник Третьей КАЭ, Герой Советского Союза Е.И.Толстиков. По его настоянию был проведен медицинский осмотр остальных участников похода. В результате в Мирный самолетом Ли-2 отправились еще трое — механик-водитель и двое сейсмологов.

3 декабря поезд из четырех тягачей, каждый из которых имел на прицепе сани с горючим и оборудованим, вышел по направлению к Полюсу недоступности. Личный состав похода включал 18 человек. Движение оказалось нелегким. Временами снег был настолько рыхлым, что глубина колеи достигала полуметра. Тягачи буксовали, и приходилось идти сцепом по две-три машины. Но труднопроходимые участки иногда сменялись более твердым настом, по которому вездеходы шли относительно легко.

Пройдя более 100 км от Советской, поезд остановился на отдых. Водители, как обычно, стали менять пальцы траков.



На пути к Полюсу недоступности: слева — советские антарктические вездеходы «Пингвин» (1958) [5], справа — американские тягачи «Tucker Sno-Cat» — участники траверса Queen Maud Land Traverse I (1965).

Внезапно после удара кувалдой по гусенице раздался оглушительный гул. Он напоминал грохот от удара по пустой деревянной бочке, только в тысячу раз сильнее. Участникам похода стало не по себе. Казалось, что поблизости находится крупная пустота. Но где? Начальник экспедиции влез на самый высокий балок, осмотрел в бинокль окружающую местность, но ничего подозрительного не увидел. Другие участники пешком обошли окрестности в поисках трещин, и тоже ничего не обнаружили. Было решено, что дальнейшее продвижение вперед без воздушной разведки рискованно. Тогда Толстиков передал по радио в Мирный указание начальнику авиаотряда В.М.Перову вылететь в расположение санно-гусеничного поезда и осмотреть рельеф в направлении его движения. После детальной разведки летчики сообщили, что по маршруту, кроме сплошного снежного покрова, ничего нет. Поезд продолжил движение, а природа антарктического гула так и осталась невыясненной...

На 160-м километре пути от станции Советская поверхность ледника стала постепенно подниматься. Участники похода достигли самого высокого места Антарктиды — около 4000 м над ур.м. Было принято решение назвать это плато Советским. Его наивысшая точка сейчас известна как Купол А. Это название да-

но участниками Британской антарктической службы в честь мифологического великана Аргуса.

Известна еще одна интересная деталь советских исследований в Антарктиде. Во время движения поезда к Полюсу недоступности в СССР происходили выборы в Верховный Совет, и полярники не могли не принять в них участие. Станции в Антарктиде были прикреплены к Дзержинскому району Ленинграда (где в то время находился Институт Арктики и Антарктики). В походе были организованы выборы — за баллотировавшегося по этому округу поэта Николая Тихонова. Результаты выборов по радио передали в Мирный. Однако в этот день между Мирным и «большой землей» была плохая радиосвязь. После долгих поисков в эфире радистам удалось связаться с советским рыболовным траулером, работавшим в северной Атлантике. Моряк-радист согласился принять от полярников телеграмму и передать ее в радиоцентр своего пароходства в Мурманске. Оттуда сообщили в Москву в Министерство рыбной промышленности, далее передали в Главное управление Севморпути. Из управления данные отправились в Ленинград, в Институт Арктики и Антарктики, и уже оттуда результаты выборов привезли на избирательный участок.

14 декабря 1958 г. санно-гусеничный поезд достиг цели свое-

го путешествия — впервые в истории освоения Антарктиды был покорен Южный полюс относительной недоступности. Штурман похода Ю.Н.Авсюк, в будущем член-корреспондент АН СССР, определил координаты этого места как 82°06'ю.ш., 54°58'в.д.* Эта точка расположе-

* В 2005 г. специалисты Британской антарктической службы нашли, что положение Южного полюса недоступности находится восточнее, в точке с координатами 83°50'37"ю.ш., 65°43'30"в.д. Это положение они оценили как «наиболее точно измеренное имеющимися доступными средствами».



Буровой балок на Полюсе недоступности. В декабре 1958 г. на вышке установлен бюст В.И.Ленина — так, чтобы его взор был устремлен к Москве.

на на максимальном удалении от всех берегов Антарктиды. Здесь еще никогда не ступала нога человека. В первый же день установили радиомачту, жилой балок и оборудовали постоянную радиостанцию. Разбили метеорологическую площадку и приступили к наблюдениям. Была пробурена скважина глубиной 60 м и взяты образцы снега и фирна. Вблизи станции с помощью тягача укатали снег для взлетно-посадочной полосы. Вскоре на мачте был поднят флаг Советского Союза, а на балке, на самом высоком постаменте, установлен бюст В.И.Ленина.

18 декабря на Полюсе недоступности совершил посадку самолет Ли-2. В этот же день часть научных сотрудников, выполнивших свою работу, вылетела в Мирный. 26 декабря станция была законсервирована, и поезд двинулся в обратном направлении. На Полюсе недоступности оставили запас продовольствия на 4–5 мес для четверых человек и записку для прибывших с предложением пользоваться продуктами.

3 января 1959 г. поезд прибыл на Советскую, где к нему присоединились еще три тягача. Перегрузки в пути сказались на состоянии техники, и на одной из машин загорелся двигатель. Пожар потушить не удалось,

сгоревший тягач пришлось бросить на полпути. Прошли станции Комсомольская и Пионерская, и, наконец, 18 января прибыли в обсерваторию Мирный. Уникальный поход, продолжавшийся 88 дней, за которые было преодолено около 4300 км, завершился.

После этого в разные годы на Полюсе недоступности побывали еще несколько экспедиций, в том числе зарубежных [2]. Спустя шесть лет после открытия временной станции сюда прибыл санно-гусеничный поезд Девятой Советской антарктической экспедиции (САЭ), следовавший со станции Восток на Молодежную. Через год, 28 января 1965 г., станцию посетили участники американского траверса Queen Maud Land Traverse I. Они пробыли здесь около недели, после чего были эвакуированы на самолетах С-130, оставив вездеходы на станции. Спустя восемь месяцев, 22 ноября 1965 г., на Полюсе недоступности высадились члены похода Queen Maud Land Traverse II, которые расконсервировали тягачи и продолжили движение к американской станции Плато [2]. Еще через год сюда прибыл санно-гусеничный поезд Двенадцатой САЭ, выполнявший маршрут Молодежная — Полюс недоступности — Плато (амери-

канская станция) — Новолазаревская.

Примечательно, что следующее посещение станции состоялось только через 40 лет, в январе 2007 г., участниками международной экспедиции Team N2i, которые достигли Полюса недоступности без применения механической тяги, используя кайт-скиинг (на лыжах под парусом в виде большого воздушного змея). Они нашли станцию полностью погребенной под снегом. На поверхности оставался лишь бюст Ленина, установленный 48 лет назад [2]. Говорят, что советские полярники оставили в балке под памятником книгу для посетителей, которую может подписать человек, добравшийся до станции. Видимо, рассчитывая поставить подписи в этой книге, путешественники, несмотря на то, что место официально признано историческим памятником, пытались откопать вход в здание и проникнуть внутрь. К счастью, безуспешно.

Еще через год, по пути от норвежской береговой станции Тролл к Южному полюсу, здесь побывал Норвежско-Американский Восточно-Антарктический научно-исследовательский траверс. В этот раз этические нормы были учтены: свой временный лагерь полярники разбили



19 января 2007 г. участники международной экспедиции Team N2i достигли Полюса недоступности. Станция оказалась полностью погребенной под снегом [2].



Новый 2008 год участники Норвежско-Американского Восточно-Антарктического научно-исследовательского похода отпраздновали на Полюсе недоступности [2].

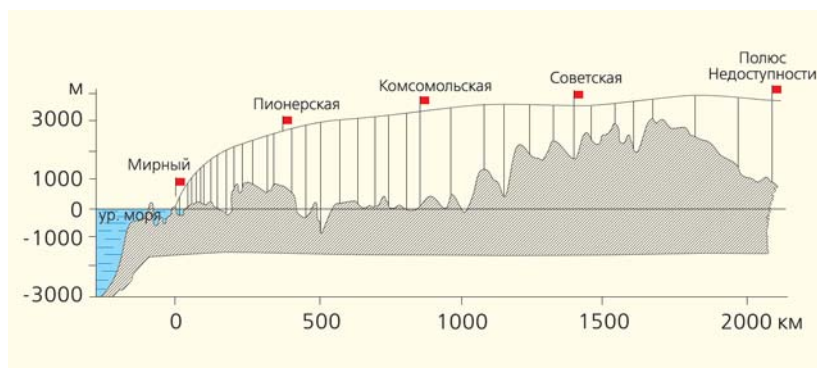
в 4 км от советской станции. Здесь была оставлена автоматическая метеостанция и пробурена 90-метровая скважина.

Возвращаясь к походу Третьей КАЭ, отметим, что советские геофизики по результатам проведенных сейсмических и гравиметрических исследований впервые построили профиль рельефа коренных пород Восточной Антарктиды. Так в области, примыкающей к наивысшей точке континента, была открыта огромная система подледных горных хребтов [3, 4]. Она была названа в честь советского геофизика, академика Григория Александровича Гамбурцева.

Его биография заслуживает отдельного рассказа. Отметим лишь коротко, что Гамбурцев основал современную сейсмическую геофизику. Он предложил новый метод для разведки полезных ископаемых и глубинного зондирования земной коры — так называемый корреляционный метод преломленных волн. В 1946 г. Гамбурцев возглавил Геофизический институт АН СССР, который, по воспоминаниям сотрудников, продолжал активно работать даже в тяжелые годы сталинской эпохи. Умер академик Гамбурцев 28 июня 1955 г. в возрасте 52 лет. Случилось это прямо на заседании Президиума Академии наук СССР, во время прений по его докладу. Обсуждался вопрос о разделении Геофизического института, ставшего слишком крупным, на три самостоятельных...

Загадочные горы Гамбурцева

Прошло 50 лет с тех пор, как ученики Г.А.Гамбурцева открыли подледниковый горный хребет и назвали его именем своего учителя. Но этот географический объект по-прежнему остается одним из самых загадочных феноменов современной геологии и геомеханики. Ученые всего мира, занимающиеся антарктической подледни-



Разрез ледникового покрова по профилю Мирный — Полюс недоступности [3, 4]. Вертикальные линии показывают опорные точки совместных сейсмических и гравиметрических наблюдений, между которыми разрез построен по данным гравиметрической съемки. Под станцией Советская открыт горный хребет, названный участниками Третьей КАЭ горами Гамбурцева.

ковой топографией и геотектоникой, ломая язык и коверкая, обсуждают орогенез Gamburtsev Subglacial Mountains. Многие из них предпочитают аббревиатуру GSM, прочно вошедшую в глоссарий современной научной литературы.

Считается, что именно здесь примерно 34 млн лет назад образовались первые горные ледники, ставшие «зародышами» будущего антарктического ледникового покрова. Согласно современным представлениям, в это время произошло резкое и существенное охлаждение южного полярного района Земли. В дальнейшем локальные ледники Антарктиды объединились в единый континентальный покров [6].

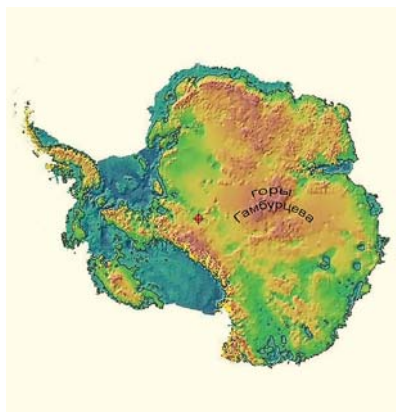
Стоит заметить, что в названии статьи есть небольшое лукавство. Бесспорно, что эти горы не видел современный человек (даже если принять, что максимальный возраст *Homo sapiens* может достигать 1 млн лет). Однако в эпохи исторических потеплений распадки горного хребта, скорее всего, были покрыты растительностью. В ее делянках обитала доисторическая живность и, кто знает, возможно, и вполне разумные существа...

После обнаружения подледниковых гор Гамбурцева геофизики впервые появились в этом районе только в 1974 г. совме-

стный проект самолетного радиоэхозондирования, выполненный Институтом полярных исследований им.Р.Скотта (Великобритания), Национальным научным фондом США и Техническим университетом Дании, позволил получить несколько профилей рельефа. И уже в 1983 г. Д.Дрори (D.Drewry) выпустил карту подледникового рельефа Антарктиды с довольно подробным описанием гор Гамбурцева.

Современное изучение гор Гамбурцева началось в 2004 г., а в 2007 г. оно переросло в один из самых значительных проектов Четвертого международного полярного года — проект AGAP (Antarctica's Gamburtsev Province), посвященный исследованию антарктической провинции Гамбурцева. Ученые из семи стран — Австралии, Великобритании, Германии, Канады, Китая, США и Японии — объединились для проведения геофизических исследований, составления детальной карты рельефа подледниковых гор и, главное, изучения структуры земной коры в этом районе. К сожалению, Россия, несмотря на приоритет открытия гор Гамбурцева, не вошла в число участников этого проекта.

В течение трех лет ученые проводили самолетное радиоэхозондирование, сейсмические ис-



Подледный рельеф Антарктиды.

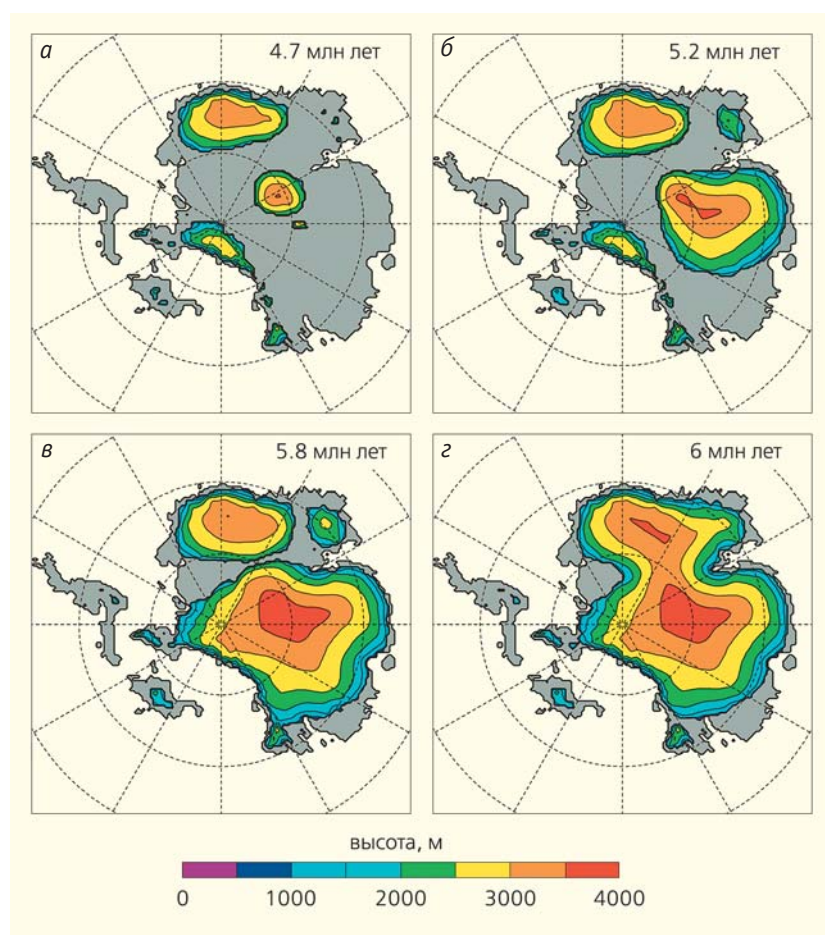
следования, бурили неглубокие скважины. Для самолетного зондирования были сооружены две временные базы — North AGAP, на которой базировались ученые Великобритании и Австралии, и South AGAP, где обосновались полярники США, Германии и Японии. Китай осуществлял снабжение баз топливом, а также проводил собственные геофизические исследования в санно-гусеничных походах. В результате совместной обработки геофизических данных была построена трехмерная модель гор Гамбур-

цева, хотя, по мнению геофизиков, отдельные районы требуют дальнейшего, более детального, изучения.

В чем же заключается главная «загадочность» этих гор? Горы Гамбурцева по площади и перепадам высот, форме пиков и долин очень напоминают современные Альпы. Следовательно, и процесс горообразования, как считают геологи, должен быть схожим. Однако Альпы сформировались в результате столкновения тектонических плит, и складкообразование завершилось здесь примерно 40 млн лет назад. В Антарктиде же подобные процессы не происходили по крайней мере последние 500 млн лет. Центральная область Восточной Антарктиды (где расположен массив гор Гамбурцева), несмотря на все коллизии, происходившие с дрейфовавшими по Земле частями суперконтинента Гондвана, за столь длительный в геологических масштабах период времени так и оставалась вдали от наиболее тектонически активных краевых областей [7]. Геофизикам не удалось обнаружить магнитные аномалии, характерные и для недавней тектонической активности. Как же и когда в таком случае могли сформироваться горы Гамбурцева? Не исключено, что при образовании самого суперконтинента Гондвана. Но это уже совсем другая история...

Как пошутил кто-то из ученых, занимающихся антарктической геотектоникой, открытие гор Гамбурцева сродни ситуации, когда археолог проникает в египетскую пирамиду и обнаруживает там астронавта. Нет логического объяснения тому, как астронавт смог очутиться внутри египетской пирамиды, так же, как нет причин, по которым огромный горный хребет смог бы сравнительно недавно вырасти в центральной части Восточной Антарктиды.

Многие другие вопросы, касающиеся этих гор, также до сих пор остаются открытыми.



Моделирование роста ледникового покрова Антарктиды (временная шкала — с начала оледенения): а — через 4.7 млн лет возникли первые три очага оледенения в высокогорных районах Земли Королевы Мод, гор Гамбурцева и Трансантарктических гор; б — через 5.2 млн лет в связи с резким сокращением содержания CO_2 произошло грандиозное увеличение ледникового купола над горами Гамбурцева; в — через 5.7 млн лет содержание CO_2 продолжало сокращаться, что привело к объединению двух ледниковых куполов над горами Гамбурцева и над Трансантарктическими горами в один ледниковый щит; г — через 6 млн лет происходит дальнейшее объединение ледниковых куполов в один континентальный Восточно-Антарктический ледниковый покров [6].

Так, непонятно, почему горы Гамбурцева имеют такие острые пики и глубокие долины (на новых трехмерных моделях это видно особенно хорошо). Ведь формирование и движение антарктического ледникового покрова неизбежно должно было привести к сглаживанию и эрозии горных хребтов.

Ответ на последний вопрос в виде рабочей гипотезы был предложен сотрудниками Земной обсерватории Ламон-Доэрти (Lamont-Doherty Earth Observatory) Колумбийского университета во главе с профессором Р.Белл (R.Bell). Тщательно анализируя радарные профили, они установили, что в долинах гор на границе антарктического ледникового покрова и подледниковых горных пород происходит постоянное таяние льда [8]. Этот процесс донного таяния был предсказан еще в далеких 60-х годах советским ученым И.А.Зотиковым. Он теоретически обосновал, что отвод тепла от нижней поверхности ледника вверх из-за его большой толщины очень мал. В связи с этим часть геотермического потока должна постоянно затрачиваться на непрерывное таяние у границы лед — твердое ложе [9].

Далее американские ученые пришли к выводу, что теплообмен между ледником и подледниковой водой неизбежно приводит не только к таянию льда, но и к намерзанию воды к подошве ледового покрова (в определенных областях) в виде так называемого конжеляционного льда. Примерзшая снизу льда вода перемещается в направлении его движения и «затаскивается» на склоны и пики гор, образуя новый стратиграфический слой мощностью от нескольких десятков до сотен метров. Развивая эту теорию на 11-м Международном симпозиуме по антарктическим наукам о земле (ISAES 2011), проходившем летом 2011 г. в г.Эдинбурге, ученые предположили, что именно эта прослой-

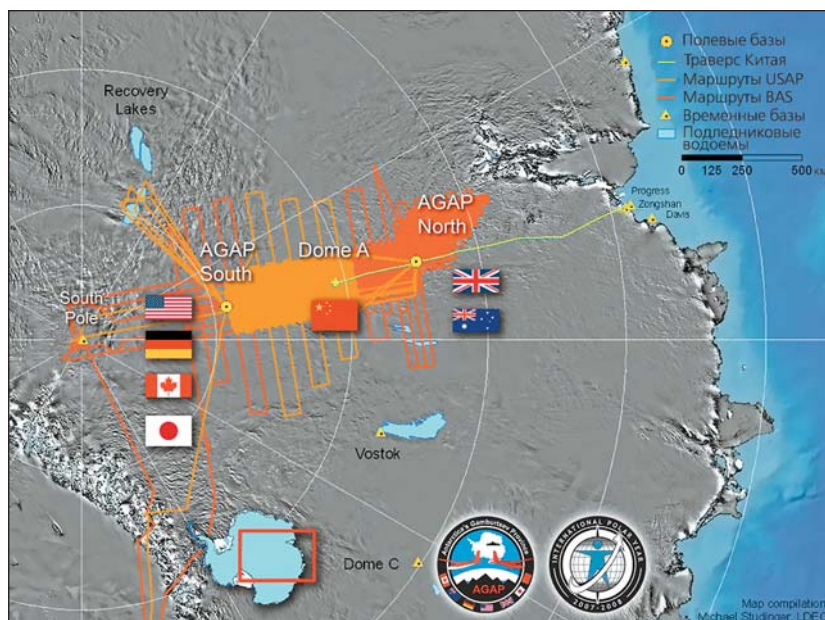


Схема самолетных маршрутов и траверсов, выполненных по проекту AGAP. Общая протяженность авиамаршрутов превысила 120 тыс. км (карта составлена M.Studinger).

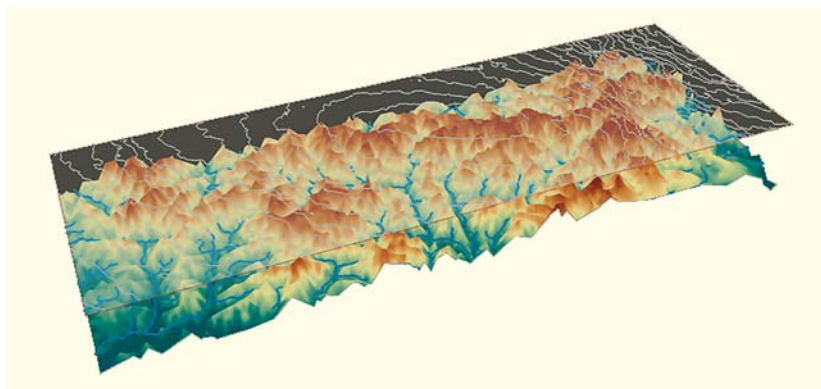


Сезонная база North AGAP. На базе лыжного варианта самолета Twin Otter Британской антарктической службы (BAS) установлены радарные, магнитные и гравитационные датчики.

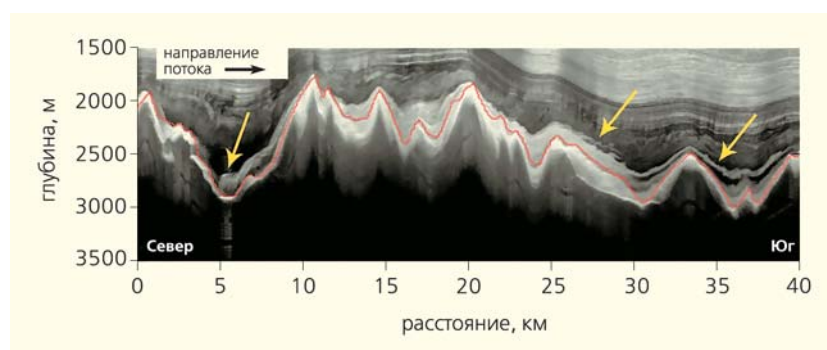
ка конжеляционного льда предохраняет горы от разрушения и эрозии [10].

Но... Антарктида доверила скрывать ответ на этот вопрос, впрочем, как и на многие другие, своему многовековому «стражнику» — ледниковому покрову. Подтвердить или опровергнуть гипотезу Р.Белл, полу-

чить конкретные данные о движении ледника по ложу, а также достоверно определить состав, структуру и, главное, возраст слагающих горы Гамбурцева пород можно только одним способом — пробурить скважину через весь ледниковый покров, внедриться в подстилающие породы, поднять на поверхность



Трехмерная модель гор Гамбургцева [10].



Один из радарных профилей, полученных сотрудниками Земной обсерватории Ламон-Доэрти (Lamont-Doherty Earth Observatory) Колумбийского университета в юго-западном секторе гор Гамбургцева. Ложе ледникового покрова отмечено красной линией, кровля конгломерационного льда обозначена желтыми стрелками [8].

образцы в виде керновых проб и провести их детальные исследования.

Проект бурения подледниковых гор Гамбургцева инициирован Институтом геомеханики Академии геологических наук Китая. Ученые из этого института уже приступили к поиску оптимальной точки бурения. При ее выборе им предстоит учитывать не только свои интересы — изучение подледниковой геологии, но и пожелания гляциологов, с нетерпением ожидающих керн льда, примыкающего к антарктическому ложу. Предварительные намерения участвовать в проекте выразили Институт морских и полярных исследований им.А.Вегенера (Германия) и Национальный институт полярных исследований (Япония).

Бурение подледниковых горных пород

Технология бурения подледниковых пород с отбором керновых проб крайне сложна. В связи с этим каждое прохождение границы ледник — горные породы представляет особый интерес.

На первом этапе современные исследования подледниковых отложений проводились с применением традиционной схемы вращательного бурения скважин с приводом бурильной колонны на поверхности. Впервые сквозное бурение ледника с выходом в подстилающие горные породы удалось осуществить в российской Арктике сотрудникам Гляциологической экспедиции Института географии АН СССР. В 1957—1959 гг.

они пробурили на леднике Чурляниса (архипелаг Земля Франца-Иосифа) несколько скважин с отбором керна глубиной от 20 до 82 м [11]. В то же время в обсерватории Мирный, используя промышленно выпускаемую в то время установку КАМ-500, полярники Второй КАЭ пробурили скважину глубиной 66.7 м, из которых 2.2 м — методом дробового бурения по подледниковым горным породам [12].

В целом традиционное вращательное бурение на трубах оказалось малоэффективным при работе во льдах, так как масса, габариты и уровень энергопотребления бурового оборудования были крайне велики, а достигнутые глубины незначительны. Кроме того, промышленные буровые установки не приспособлены к таким неблагоприятным для практической деятельности условиям Арктики и Антарктики, как низкие отрицательные температуры, чрезвычайная отдаленность от обжитых районов, специфические транспортные условия, полное отсутствие инфраструктуры и т.д. Это привело к поиску новых способов бурения. Стали применяться электромеханические буровые снаряды (электробуры), в которых для снижения материалоемкости и энергопотребления вместо обычных бурильных труб для спуска-подъема бурового инструмента используется грузонесущий кабель.

Так, в 1965 г. американская лаборатория USA CRREL (U.S. Army Cold Research and Engineering Laboratory) приобрела у фирмы Reda Pump Co. электробур А.Аругюнова, который был модернизирован для условий бурения скважин во льдах [13]. Снаряд имел длину 26.5 м и массу 1100 кг. Он был впервые испытан на станции Кэмп Сенчури в Гренландии, где в летние сезоны 1965 и 1966 гг. скважина была пройдена до глубины 1391 м, причем последние 3.6 м — по подледниковым горным породам (мерзлomu глинистому конгломерату).

Затем оборудование из Гренландии было перевезено в Антарктиду, на станцию Берд, где в летние сезоны 1966—1967 и 1968—1969 гг. пробурена скважина через всю толщу ледникового покрова [14]. На глубине 2164 м были достигнуты подстилающие ледник породы, на контакте с которыми обнаружен слой воды не менее 0.2—0.3 м. Было сделано несколько безуспешных попыток поднять керн горных пород. Максимальная проходка в этом интервале составила 1.3 м, при этом в каждом последующем рейсе войти в уже пробуренную часть не удавалось. Поэтому был сделан вывод, что либо ледниковый покров довольно быстро движется относительно своего ложа, либо этот материал рыхлый. На поверхность удалось поднять лишь небольшое количество шлама в виде тонкозернистых глинистых частиц.

Использование электробура на кабеле стало поворотной точкой в развитии техники и технологии бурения скважин во льду. Все современные электромеханические средства в той или иной степени используют схему первого бурового снаряда CRREL, и в последующих гляцио-геологических работах еще четыре раза удавалось пробурить сквозные скважины через всю толщу ледникового покрова с выходом в подстилающие горные породы.

В 1989—1993 гг. специалисты лаборатории PICO (Polar Ice Coring Office) из Университета Аляски прошли скважину в центральной части Гренландии глубиной 3053 м, которая вышла в подстилающие ледник горные породы на глубину 1.55 м [15]. Для этого они использовали специально разработанный снаряд PICO-5.2". В 1994 г. буровое оборудование PICO привезли в Антарктиду, и в центральной части локального ледникового Купола Тэйлор, находящегося во внутренней области Сухих долин Мак-Мердо, через всю толщу ледника была пробурена сква-

жина глубиной 554 м, которая вышла на 0.1 м в подстилающие породы — песчаники и долериты [16].

Два раза сквозное бурение ледников с выходом в подстилающие горные породы осуществляли сотрудники Санкт-Петербургского горного института (правда, не на таких больших глубинах, как это сделали ранее американцы) [17]. Обе скважины пройдены колонковым электромеханическим снарядом КЭМС-112 в ледниках, расположенных на архипелаге Северная Земля: первая — в 1988 г. в леднике Вавилова до глубины 461.6 м, вторая — в 1999—2001 гг. в леднике Академии Наук до глубины 724 м. В обоих случаях на поверхность было извлечено около 2 м подледниковых горных пород. В экспедиции 1988 г. непосредственное участие принимали и авторы этих строк.

В проекте бурения подледниковых гор Гамбурцева также будет использован электромеханический снаряд на грузонесущем кабеле. Нижняя часть снаряда приспособлена для подсоединения к вращающейся части стандартного геологоразведочного колонкового набора с алмазной коронкой.

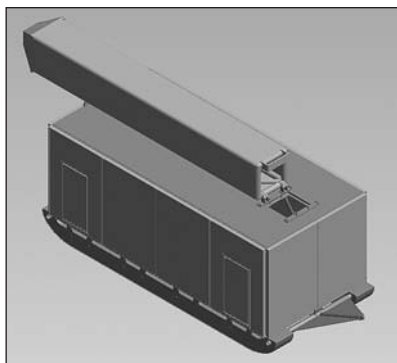


Самоходная буровая установка СБУ-150-ЗИВ на шасси автомобиля ЗИЛ-151 использовалась для колонкового бурения на леднике Чурляниса (архипелаг Земля Франца-Иосифа, 1957—1959) [11].

Оборудование к месту проведения буровых работ планируется доставлять санно-гусеничным походом. Для осуществления проекта будет изготовлена передвижная утепленная буровая установка с поворотной мачтой. Ее трехмерная модель



Керн подледниковых горных пород, извлеченный в 1988 г. из скважины глубиной 461.6 м на леднике Вавилова (архипелаг Северная Земля, о. Октябрьской Революции). Минеральный материал представлен красноцветными девонскими песчаниками, алевролитами и аргиллитами. Мощность мореносодержащего льда составляет 2.1 м, а подстилающих горных пород — 2.3 м [16].



Передвижная буровая установка хорошо приспособлена к суровым условиям Антарктиды (трехмерный цифровой прототип выполнен М.А.Сысоевым).

в виде цифрового прототипа уже создана. В качестве основных материалов металлоконструкции установки используются высокопрочные алюминиевые сплавы, что позволяет снизить

массу бурового оборудования с 25–30 (если используется стальной прокат) до 12–14 т.

Буровое оборудование должно быть подготовлено к сезону 2013–2014 гг. В это время на китайскую береговую станцию Жонгшан предполагается доставить в разобранном виде буровое здание, буровой снаряд, лебедку, пульт контроля и другое необходимое для проведения полевых работ оборудование. После сборки буровой техники передвижную установку доставят на склон ледникового покрова. Здесь, на расстоянии не более 10–12 км от станции Жонгшан, где мощность льда не превышает 200–250 м, планируется бурение первой экспериментальной скважины с выходом в подстилающие ледник горные породы. При этом будет проверена работоспособ-

ность бурового снаряда, отлажена технология бурения, испытаны новые промывочные жидкости.

Экспериментальное бурение наверняка подскажет направления дальнейшего совершенствования, для того чтобы в следующий сезон (2014–2015) буровая установка была доставлена в выбранную точку над одним из пиков гор Гамбурцева (а это не менее 900 км от станции Жонгшан) и специалисты смогли пробурить там скважину через всю толщу ледникового покрова и впервые поднять на поверхность образцы горных пород. Исследования этого керна позволят приоткрыть завесу над происхождением одного из самых загадочных географических объектов современности — подледниковых гор Гамбурцева. ■

Литература

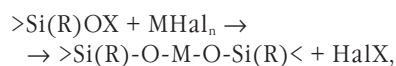
1. Лазарев А.С. Достижение полюса недоступности // Дуэль. 2008. №51 (599). 16 декабря (http://www.duel.ru/200851/?51_6_1).
2. <http://traverse.npolar.no/historical-traverses/pole-of-inaccessibility>
3. Сорохтин О.Г., Авсюк Ю.Н., Кондратьев В.И. Результаты определения мощности ледникового покрова в Восточной Антарктиде // Информационный бюллетень Советской антарктической экспедиции. 1959. №11. С.9–13.
4. Сорохтин О.Г., Авсюк Ю.Н., Кондратьев О.К. Методика и основные результаты сейсмических и гравиметрических исследований строения Восточной Антарктиды // Известия АН СССР. Сер. геофизическая. 1960. №3. С.396–401.
5. Гвоздецкий Н.А. Советские географические исследования и открытия. М., 1967.
6. DeConto R.M., Pollard D. Rapid Cenozoic glaciation of Antarctica induced by declining atmospheric CO₂ // Nature. 2003. V.421. P.245–249.
7. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М., 2001.
8. Bell R.E., Ferraccioli F., Creyts T.T. et al. Widespread persistent thickening of the east Antarctic ice sheet by freezing from the base // Science. 2011. V.331. P.1592–1595.
9. Zotikov I.A. Bottom melting in the central zone of the ice shield on the Antarctic continent and its influence upon the present balance of the ice mass // Hydrological Sciences Journal. 1963. V.8. P.36–44.
10. Creyts T., Ferraccioli F., Wolovick M. et al. Ice sheet thermal structure preserves subglacial mountain topography // 11th International Symposium on Antarctic Earth Sciences. Programme and Abstracts. 2011. P.138–139.
11. Базанов Л.Д. Опыт колонкового бурения на ледниках Земли Франца-Иосифа // Исследования ледников и ледниковых районов. 1961. Вып.1. С.109–114.
12. Вторая континентальная экспедиция 1956–1958 гг. Общее описание / Под ред. А.Ф.Трешникова. Л., 1960.
13. Ueda H.T., Garfield D.E. Drilling through the Greenland ice sheet // CRREL Spec. Rep. 126. Hanover, 1968.
14. Ueda H.T., Garfield D.E. Core drilling through the Antarctic ice sheet // CRREL Tech. Rep. 231. Hanover, 1969.
15. Kelley J.J., Stanford K., Koci B. et al. Ice coring and drilling technologies developed by the Polar Ice Coring Office // Mem. of National Institute of Polar Research. 1994. №49. P.24–40.
16. Steig E.J., Morse D.L., Waddington E.D. et al. Wisconsinan and Holocene climate history from an ice core at Taylor Dome, Western Ross Embayment, Antarctica // Geografiska Annaler. 2000. V.82A. P.213–235.
17. Васильев Н.И., Талалай П.Г. Бурение подледниковых горных пород на архипелаге Северная Земля // Освоение минеральных ресурсов севера: проблемы и решения. Труды VIII Международной научно-практической конференции. 2010. Т.1. С.27–31.

Как строить ажурные каркасы

М.М. Левицкий, А.Н.Биляченко, М.С.Дронова

Соединения, молекулы которых представляют собой замкнутые каркасы, всегда привлекали химиков не только внешней красотой, но и ожидаемыми интересными свойствами. Историю каркасов можно отсчитывать от адамантана — трициклического углеводорода, который синтезирован, можно сказать, недавно, в 1941 г. и каждый цикл которого имеет форму кресла. Среди наиболее известных в наше время каркасов можно упомянуть 20-гранник карборана $H_{10}B_{10}(CH)_2$, 32-гранную молекулу фуллерена C_{60} , полученный с большим трудом 12-гранник $(CH)_{20}$ (рис.1). Естественно, что число граней и вершин, т.е. число атомов в вершинах, указанное в брутто-формуле, не совпадает.

Исключительно многообразны полиэдрические структуры металлорганосилоксанов (МОС). Эти соединения содержат фрагмент $>Si(R)OM<$, где R — органическая группа, а M — поливалентный металл. Получают их чаще всего при взаимодействии органосиланолов $>Si(R)OH$ или органосиланолятов $>Si(R)OM'$ (M' — щелочной металл) с галогенидами поливалентных металлов $MHal_n$. Синтез проходит по схеме:



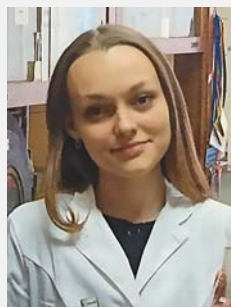
где X — атом водорода или щелочного металла. Класс МОС весьма разнообразен [1], наибо-



Михаил Моисеевич Левицкий, кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидридов металлов Института элементоорганических соединений им.А.Н.Несмеянова РАН. Научные интересы включают химию координационных и элементоорганических соединений.



Алексей Николаевич Биляченко, кандидат химических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории.



Мария Сергеевна Дронова, аспирант кафедры химии и технологии элементоорганических соединений Московского института тонкой химической технологии. Научные интересы этих авторов связаны с катализом, химией координационных и элементоорганических соединений.

лее изучены каталитические свойства этих соединений, для многих из них найдены разные области приложения [2]. Например, железосодержащий МОС катализирует селективное галогенирование ароматических углеводородов, а Cu-МОС — изомеризацию хлоруглеводородов.

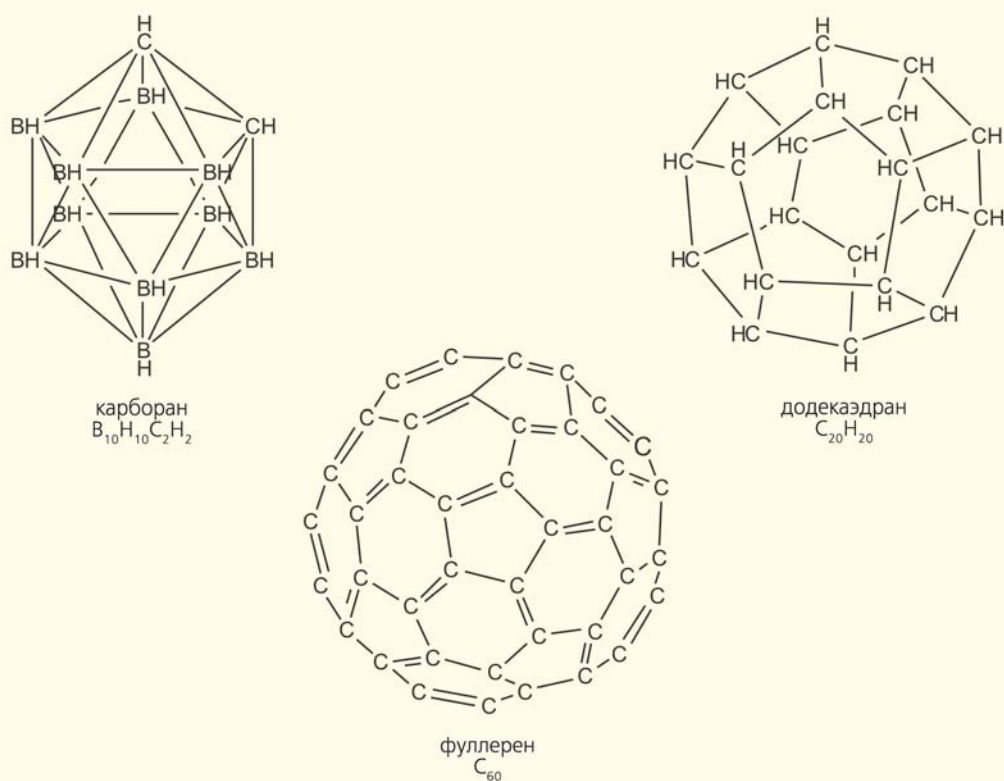


Рис.1. Примеры соединений с каркасной структурой.

Разнообразие из простого

Получая различные каркасные МОС и изучая их строение, мы решили разобраться в одной задаче, которую поставила перед нами химия этих соединений. Разнообразие форм каркасов (рис.2), привлекающее внимание, оставляет в тени интересную особенность: из одного и того же силанолята натрия $[PhSiO(ONa)]_3$, содержащего трисилоксановый цикл, можно получить каркасные соединения с разным количеством силоксановых циклов. Их может быть четыре, пять, шесть, 10 и 12 (см. рис.2).

Это привело к мысли, что, по-видимому, в растворе структура исходного циклического органосиланолята $[PhSiO(ONa)]_3$ совсем не та, которая получена рентгеноструктурным анализом кристаллического вещества. Естественно было предположить, что циклическое соединение распадается в растворе на некие элементарные реакционные фрагменты. Такой реакционной частицей мог бы служить силанон $NaO(R)Si=O$ — соединение, содержащее группировку $Si=O$ (кремнийорганический аналог кетона).

Известно, что диорганосиланоны $R_2Si=O$ крайне нестабильны, при синтезе вместо них мгновенно образуются циклические силоксаны. Стабилизировать $R_2Si=O$ удалось только в замороженном аргоне (т.е. при температуре $-189.4^\circ C$)

Предложенный нами силанон $NaO(R)Si=O$ отличается от изученных ранее диорганосиланонов наличием силанолятной группы $Si-O-Na$ и, видимо, может существовать в стабилизированной форме. Аналогия лежит буквально на поверхности — это ацетаты металлов мезомерной формы (промежуточной формы между двумя структурами, представленными классическими формулами), где атомы кислорода эквивалентны (рис.3). Предстояло решить два вопроса: возможна ли мезомерная форма для силанолят-силанола (см. рис.3), аналогичная той, что установлена для ацетатов, и допустимо ли образование силанолят-силанола из циклического силанолята.

Эксперимент и расчет. Химик-синтетик всегда сначала получает соединение, а затем доказывает его строение с помощью химического анализа и разных спектральных методов. В последние годы к набору используемых «инструментов» прибавились квантовохимические расчеты. Для этого созданы специальные компьютерные программы, причем химик-синтетик может самостоятельно проводить такие расчеты. При корректном использовании этих программ удастся сравнительно быстро получать результаты, которые с высокой точностью совпадают с экспериментом. Возможности расчетов весьма велики: они позволяют определить оптимальную геометрию молекулы;

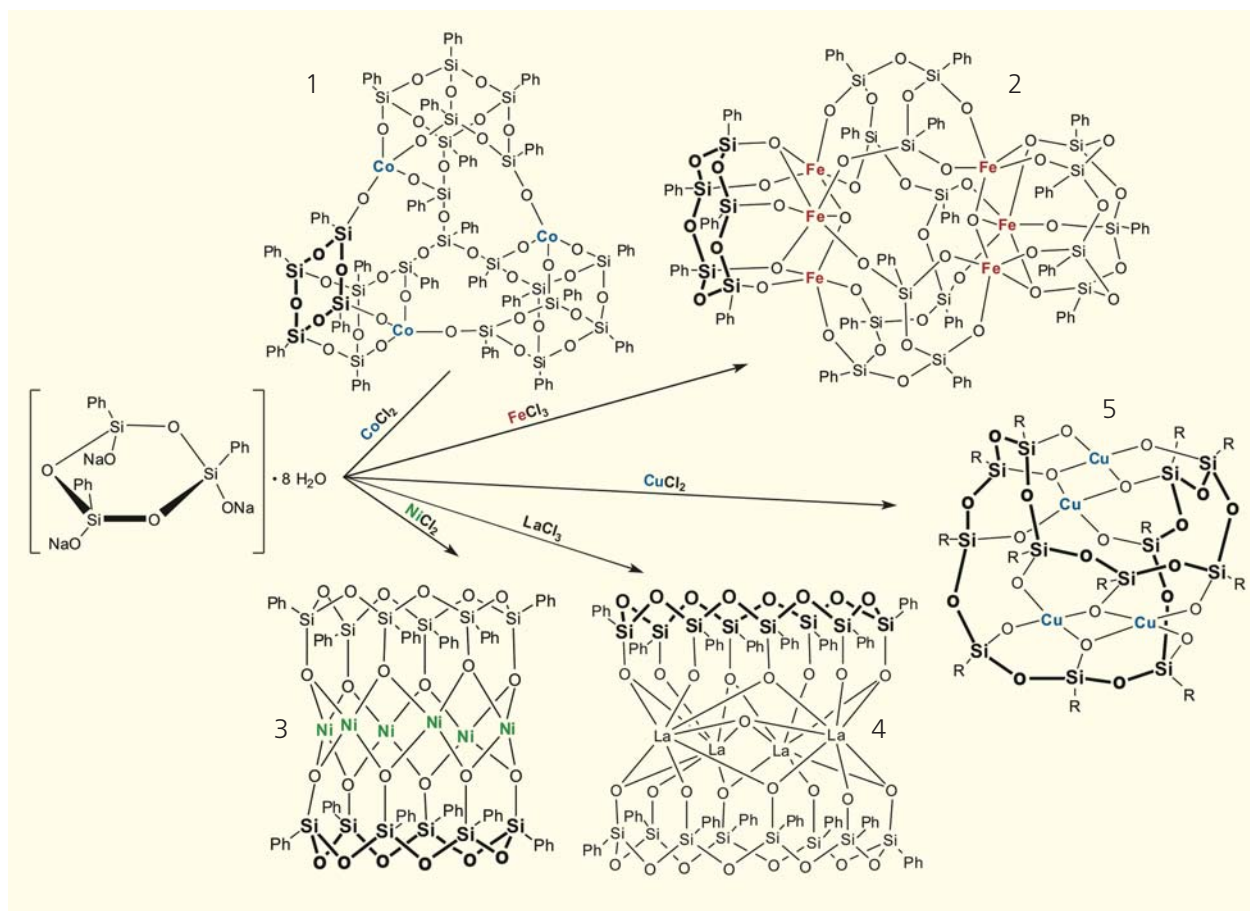


Рис.2. Разнообразие циклических силоксановых фрагментов в каркасных МОС. 1 — тетра- (приведен один из вариантов — призма), 2 — пента-, 3 — гекса-, 4 — окта- и 5 — додекасилоксановые циклы в соединениях МОС. Эти циклические фрагменты для наглядности показаны жирным шрифтом.

вычислить тепловой эффект реакции; ответить на вопрос, разрешена ли термодинамически предполагаемая реакция. Кроме того, можно определить дипольные моменты молекулы, заряды на атомах и распределение электронной плотности, рассчитать ИК-, Раман- и ЯМР-спектры, оценить эффект сольватации, найти наиболее вероятные пути протекания реакции, а в некоторых случаях — провести оценку кинетических параметров.

Дополнительная привлекательность еще и в том, что все указанные параметры могут быть рассчитаны для не полученных пока соединений, т.е. до проведения синтеза. А это оказывает заметную помощь в работе. Визуализация процесса расчета и его результата позволяет увидеть молекулы в трехмерном пространстве. Может ли это оставить равнодушным хотя бы одного химика?

Расчетным методом мы установили, что мезомерная структура силанолят-силанона энергетически более выгодна, чем несимметричная форма,

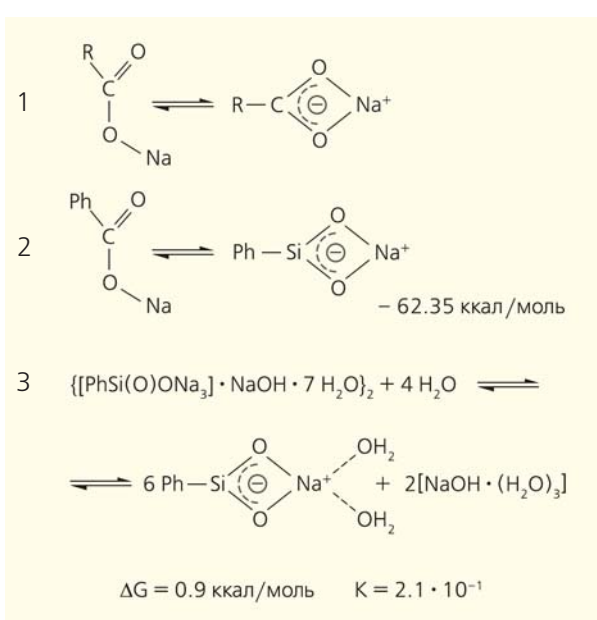


Рис.3. Образование силанолят-силанона из циклического силанолята. 1, 2 — мезомерные формы (эквивалентность атомов O — пунктир): ацетата металла (1) и силанолят-силанона (2), 3 — димер трисилоксанового циклического силанолята, координационно связанного молекулами NaOH и H₂O. G — потенциал Гиббса, K — константа равновесия.

выигрыш в энергии составляет 62.35 ккал/моль. (см. рис.3). Следовательно, мезомерная форма заметно стабилизирована.

Затем нам предстояло выяснить, может ли образоваться силанолят-силанон из циклического силанолята. Исходным соединением послужила реальная структура, которая по результатам рентгеноструктурного анализа представляет собой димер трисилоксанового циклического силанолята, координационно связанного двумя молекулами NaOH и молекулами H₂O (см. рис.3).

По результатам расчета изменение потенциала Гиббса для этой реакции $\Delta G = 0.9$ ккал/моль (см. рис.3). Исходя из этой величины, константа равновесия составляет $K = 2.1 \cdot 10^{-1}$. Отсюда можно вывести, что концентрация силанолят-силанона приблизительно в пять раз ниже концентрации исходного циклического силанолята. Стало понятно, как все происходит: силанолят-силанон расходуется при взаимодействии с галогенидом поливалентного металла, а его концентрация восполняется за счет равновесия.

Если мезомерная форма стабильна, ее можно экспериментально обнаружить. Сравнив ИК-спектры кристаллического силанолята и его раствора в хлористом метиле, в спектре раствора мы обнаружили дополнительную полосу 1224 см⁻¹. По расчету для силаноновой группировки это должно быть 1220 см⁻¹, а для экспериментально зафиксированных силанонов в замороженном аргоне получена величина 1230 см⁻¹, т.е. значения довольно близки.

Опираясь на реакцию частицей силанолят-силанона, нам удалось представить схему образования каркасных МОС (рис.4). На первой стадии галогенид поливалентного металла взаимодействует с избытком силанолята, причем организующую роль играет ион металла: он заполняет свою координационную сферу высокоосновными лигандами — силанолят-анионами Si-O⁻. При последующем введении галогенида металла фрагмент будущего каркаса удлиняется и на завершающей стадии замыкается в цикл (см. рис.2). Точно так же могут образоваться каркасы, которые наряду с поливалентным металлом содержат и щелочной (см. рис.4). Такие структуры тоже описаны.

Другой метод синтеза

Химические свойства МОС своеобразны, поскольку в их структуре сочетаются два типа звеньев: силоксановые Si-O-Si и металлосилоксановые Si-O-M, причем их химическое поведение различно. Первые чувствительны к нуклеофильным реагентам, вторые — к электрофильным. Именно эту особенность МОС мы использовали, разрабатывая альтернативный способ получения каркасных МОС, поскольку всегда можно ожидать, что иные методики позволят найти другие способы управ-

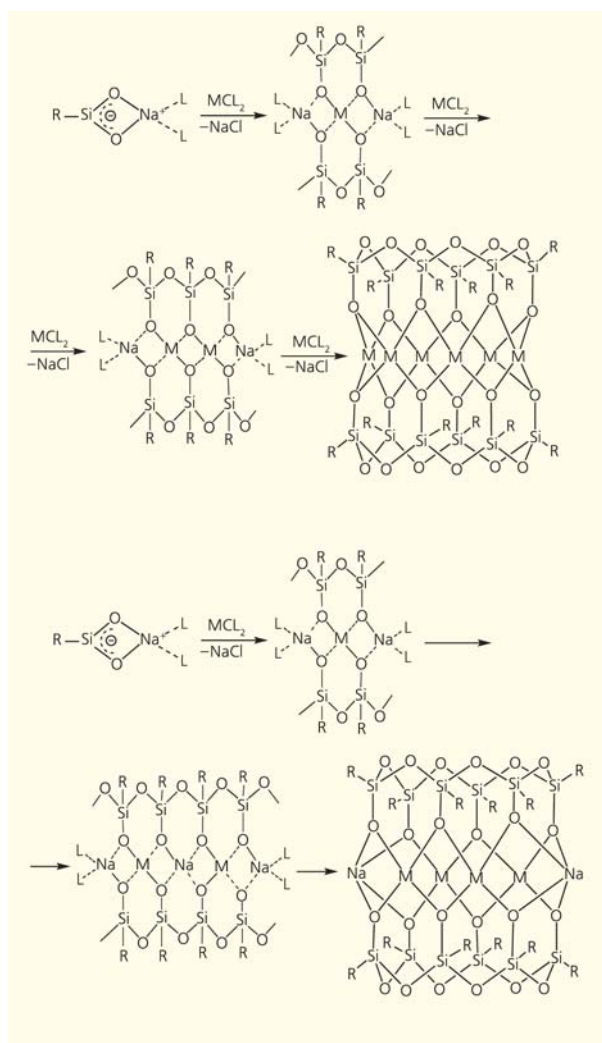


Рис.4. Схема образования каркасных МОС. R — любая органическая группа, L — сольватные растворители.

ления структурой. В качестве исходных соединений мы предполагали взять олигомерные металл-органосилоксаны (олиго-МОС), на которые соблазились подействовать нуклеофильным реагентом, чтобы расщепить силоксановые группы. Но будет ли такое расщепление преимущественным, мы не знали. Когда у химика нет возможности что-либо измерить экспериментально, он обращается к расчету. Мы так и сделали. Тем же расчетным методом, который был уже упомянут, мы вычислили тепловые эффекты реакции взаимодействия модельных МОС, не содержащих силанолятные группы Si-O-Na, с нуклеофильными реагентами — органо-силанолятом Me₃SiONa и NaOH. Реакцию направляли поочередно в сторону расщепления Si-O-Si и Si-O-M, а затем сравнили энтальпии этих реакций. Координационные числа для ионов металлов были выбраны в соответствии с имеющимися результатами предыдущих рентгеноструктурных исследований. Оказалось, возможны различные ва-

рианты взаимодействия Fe-МОС с NaOH (рис.5). Аналогичные расчеты были проведены для реакции Fe-МОС с органосилолятом Me_3SiONa , а также для Mn-МОС с обоими нуклеофильными реагентами. Из расчетов следовало, что расщепление силоксанового фрагмента представляет собой экзотермическую реакцию (см. рис.5), а металлосилоксанового — эндотермическую.

Таким образом, удалось выяснить, что предпочтительно протекает расщепление силоксановых звеньев. Значит, в олиго-МОС можно вводить силолятные группы и одновременно сохранять уже имеющиеся металлосилоксановые звенья.

Однако расчет расчетом, но компьютерные результаты надо подтвердить экспериментально. С этой целью мы решили получить новым методом те два металлорганосилоксана — Fe-содержащий и Mn-содержащий, — которые были синтезированы нами ранее прямым методом, т.е. из силолята и галогенида металла (рис.6).

Мы знали ожидаемое атомное соотношение Si/M и Si/Na, значит, могли заранее выбрать исходные олиго-МОС определенного состава и рассчитать необходимое количество нуклеофильного реагента. Все это облегчало получение МОС новым способом, в котором были испытаны органосилоляты и NaOH. В опытах олигомерный Fe-МОС, не содержащий силолятных групп, взаимодействовал с органосилолятом (см. рис.6), и его силолятные группы встраивались в олиго-МОС. После этого образовывался каркасный железонатрийфенилсилоксан, строение которого полностью совпадало со строением Fe-содержащего металлорганосилоксана, полученного прямым методом. Доказательством идентичности обоих соединений было совпадение определенных рентгеноструктурной дифракцией параметров их кристаллических решеток.

Чтобы использовать не органосилоляты, а NaOH, необходимо было учесть принципиальное различие этих двух реагентов — наличие атомов кремния в органосилоляте и их отсутствие в NaOH. Поэтому для получения каркасного Fe-МОС намеченного состава в качестве исходного соединения был необходим олиго-МОС с повышенным содержанием кремния.

Аналогично был получен Mn-содержащий МОС прямым и альтернативным методами (см. рис.6)

Итак, нам удалось показать, что каркасные МОС можно получать двумя способами: прямым (из силолята и галогенида металла) и альтернативным (из олиго-МОС при его взаимодействии с силолятом или с неорганическим основанием).

Какое окружение предпочитает металл?

Здесь уже говорилось, что в процессе синтеза МОС ион поливалентного металла играет организующую роль, заполняя свою координационную

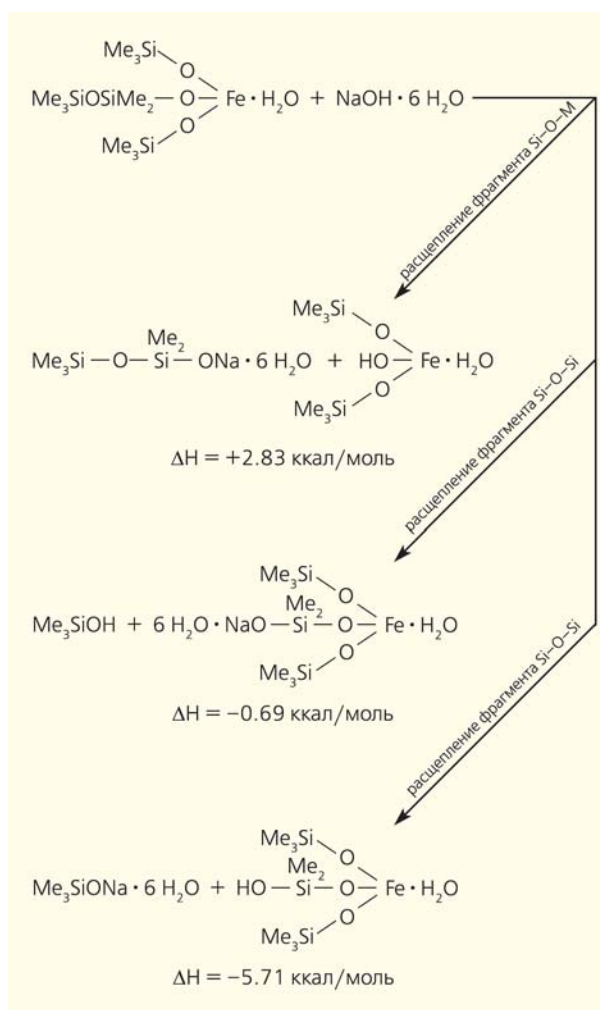


Рис.5. Расщепление МОС при действии NaOH. Me — метильная группа. Приведены результаты расчета для различных вариантов взаимодействия Fe-МОС с NaOH.

сферу высокоосновными лигандами. Мы сосредоточили внимание на строении координационного узла металла в полученных МОС, т.е. на том, чем именно окружен его ион.

Выяснилось, что в большом числе существующих сегодня МОС в заполнении координационной сферы металла участвуют преимущественно атомы кислорода. Но все они «разные», поскольку находятся в четырех кислородсодержащих фрагментах: силоксановом Si-O-Si, металлосилоксановом Si-O-M (с поливалентным металлом), металлоксидном M-O-M и силолятном Si-O-Na (формально это тоже металлосилоксановый фрагмент, но наличие щелочного металла определяет его несколько особое положение).

Во всех рассмотренных нами ажурных металлорганосилоксанах атом кислорода, содержащийся во фрагменте Si-O-M, участвует в заполнении координационной сферы металла. И кислород фрагментов M-O-M и Si-O-Na, если они имеются

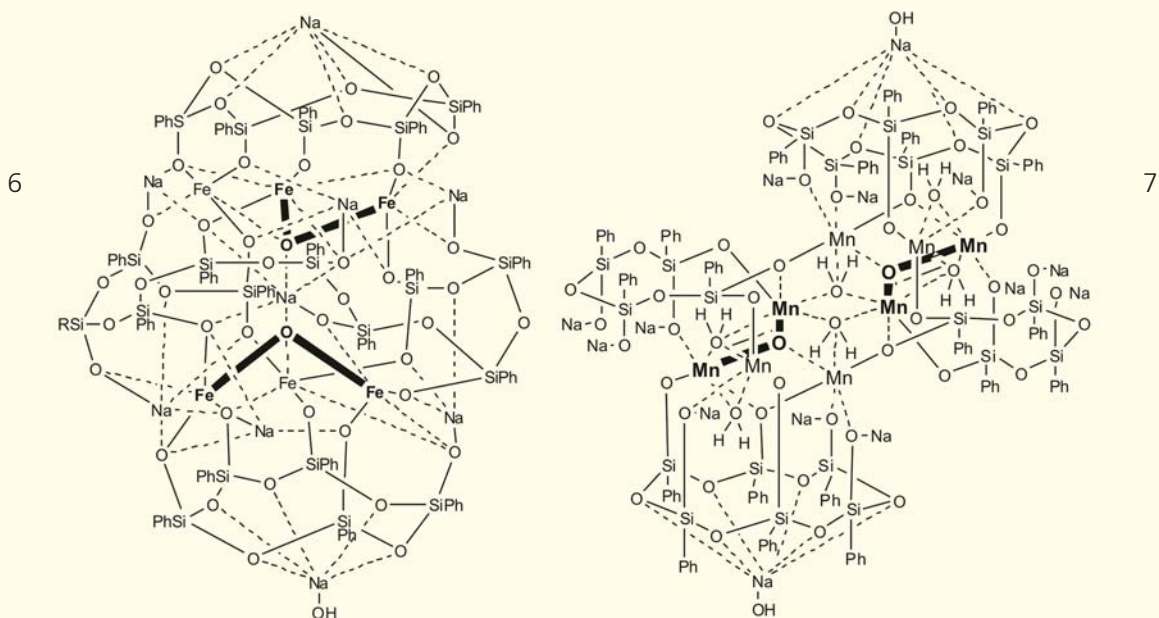
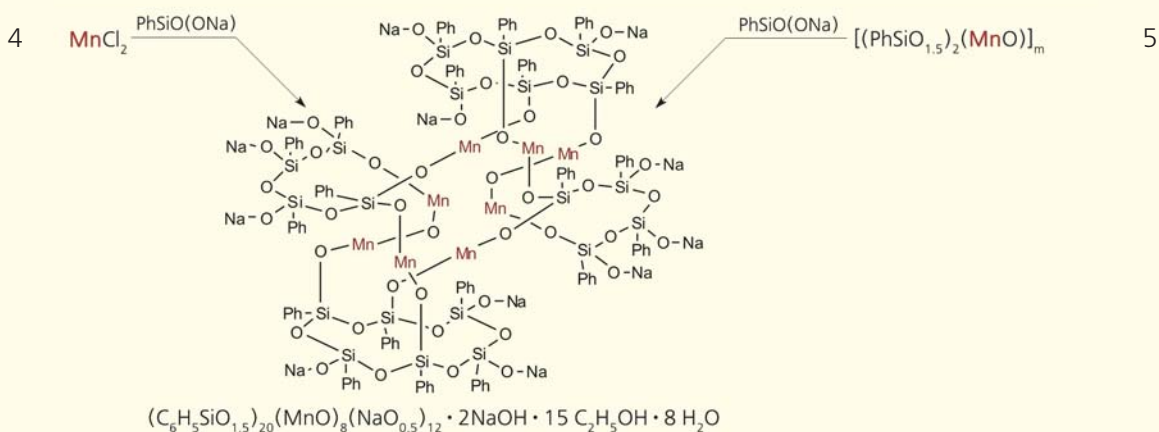
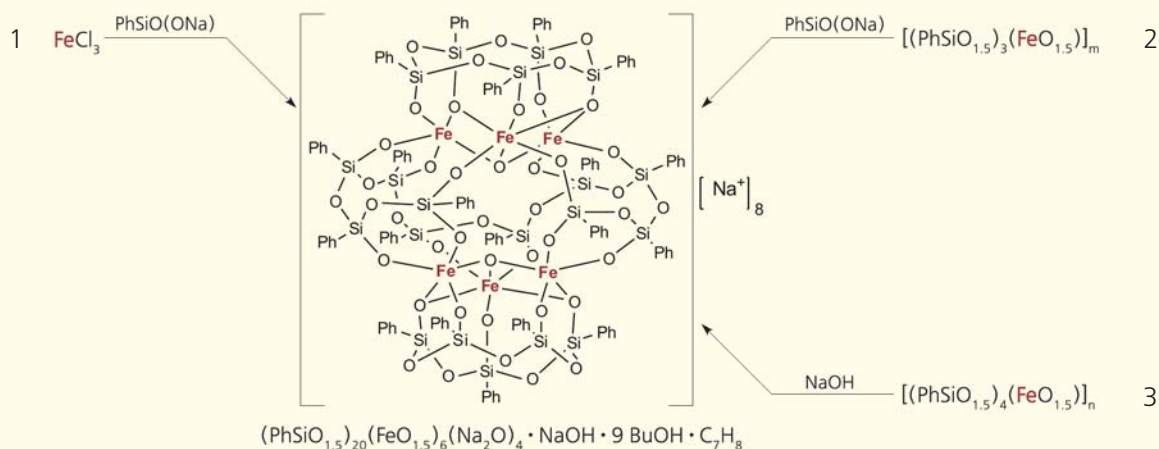


Рис.6. Прямой (1, 4) и альтернативный (2, 3, 5) способы синтеза Fe- и Mn-содержащих МОС. 6 и 7 — льюисовы структуры полученных соединений. Если мысленно удалить координационные связи (пунктиры) в льюисовой структуре (6), а вместе с ними сольватные молекулы растворителей, то структура предстанет в виде тривиальной валентной схемы (4, 5), на ней отчетливо видны все фрагменты, возникшие в процессе синтеза.

в молекуле, входит в координационную сферу, только атом О из Si-O-Si находится за ее пределами. Почему же такая разница в их поведении? Все дело в том, что атомы О в перечисленных фрагментах заметно различаются основностью (способностью к образованию донорно-акцепторной связи, которая возникает, когда неподеленная пара электронов атома в молекуле «поступает» в совместное владение с другим атомом).

По возрастанию основности эти фрагменты располагаются в ряд:



Вернемся к схеме синтеза МОС, уже показанной в начале статьи:



Реакция довольно простая и никаких побочных направлений предположить в ней нельзя. Однако в продуктах синтеза исследователи часто обнаруживали соединения, которые содержат металлоксидные фрагменты Si-O-M-O-M-O-Si. Но их наличие никак нельзя было объяснить. И, как выяснилось, это — результат другой реакции.

Дело в том, что металлу в окружении фрагментов Si-O-Si, образно говоря, «не уютно», он не может включить атомы кислорода этой группировки в свою координационную сферу. Причина тому — очень низкая основность атомов О во фрагментах, из-за чего система начинает перестраиваться (рис.7). Вначале при координации двух метало-силоксановых звеньев образуется переходный комплекс, далее он распадается с образованием металлоксидного звена М-О-М. В результате в системе появляются атомы кислорода во фрагменте с высокой основностью.

Как затормозить этот процесс? Естественно, надо ввести в систему высокоосновные атомы О. Наиболее эффективна силанольная группа Si-O-Na. Ее роль особая, Si-O-Na фактически поставляет в реакционную систему силанолат-анион SiO⁻, который представляет собой лиганд с высокой основностью. При этом катион щелочного металла часто в структуру каркаса не входит, а располагается за его пределами.

Накопленный опыт показывает, что наибольшее количество устойчивых каркасных МОС получается при наличии силанолат-аниона в координационной сфере металла. Иными словами, совместно присутствуют ионы поливалентного и щелочного металлов.

На сегодня синтезированы многие десятки каркасных МОС, которые содержат одновременно щелочной и поливалентный металлы, и только металлоксидный фрагмент М-О-М отсутствует, т.е. перегруппировка не наблюдается. Это стало почти аксиомой. Однако два соединения, Fe- и Mn-содержащие, полученные нами сравнительно недавно, нарушают сложившееся правило: в них имеются и группы Si-O-Na, и металлоксид-

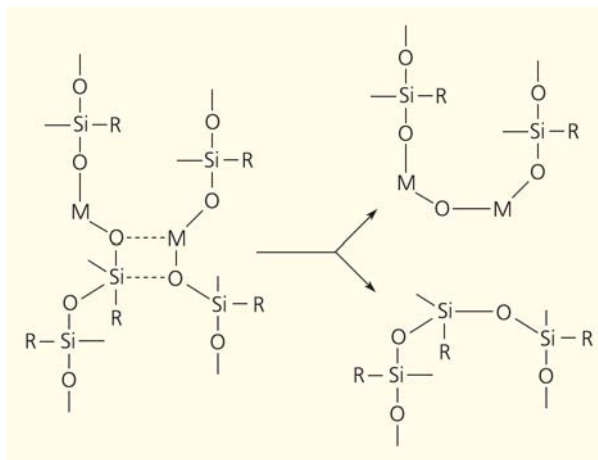


Рис.7. Схема перегруппировки МОС.

ные фрагменты М-О-М (см. рис.6). Если эти два соединения представить в виде льюисовых структур, можно «увидеть» фрагменты, которые возникли в процессе синтеза, а не в результате координационных взаимодействий при кристаллизации (см. рис.6).

В химии часто бывает, что трудно сформулировать обобщающее правило без того, чтобы не появились исключения. Итак, почему два наших соединения нарушили его? Металлоксидные фрагменты не должны возникать, если есть силанольные группы. По-видимому, все определяет основность атома О во фрагменте М-О-М. Провести расчет молекул с фрагментами М-О-М, содержащими переходный металл, удалось только для варианта, в котором координационная сфера металла насыщена. Испробовав различные мо-

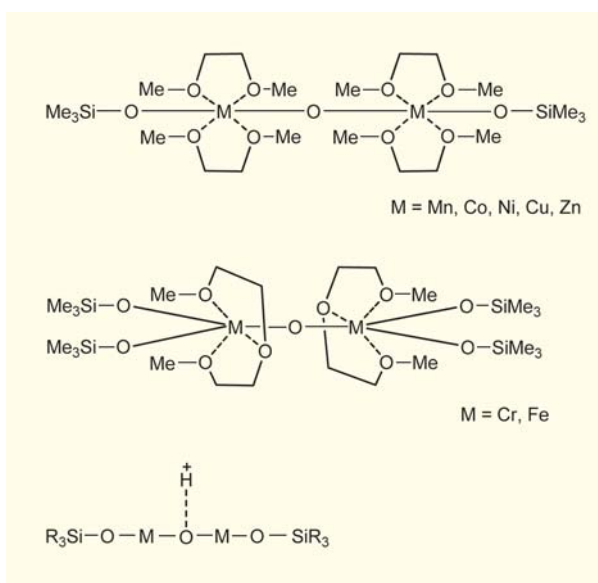


Рис.8. Модельные структуры для определения основности фрагмента М-О-М.

Таблица

Основность фрагментов М–О–М

Фрагмент М–О–М	Zn–O–Zn	Ni–O–Ni	Co–O–Co	Cu–O–Cu	Cr–O–Cr	Fe–O–Fe	Mn–O–Mn
ΔH протонирования (ккал/моль)	–160.0	–171.7	–192.4	–211.1	–217.5	–245.3	–248.6

дели, мы нашли оптимальные (рис.8) — те, в которых каждый ион металла «собирает вокруг себя» наиболее компактное окружение. Составляют его фрагменты краун-эфиров, т.е. моноглим $\text{CH}_3\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OCH}_3$ (для ионов Mn, Co, Ni, Cu или Zn) или диглим $\text{CH}_3\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OCH}_3$ (для Fe, Cr). Выбор координирующих молекул мы производили с учетом координационного числа, известного из предыдущих экспериментов.

Основность атома О во фрагменте М–О–М определяли упомянутым расчетным методом, протонируя атом О (см. рис.8) и сравнивая энтальпии реакций (таблица).

Высокие значения энтальпий вполне объяснимы, причина в том, что протонирование проводили одиночным протоном (без противоиона), притом ничем не сольватированным. Теоретически одиночный протон — самая сильная из всех мыслимых кислот, что и приводит к высокому значению энтальпии. Из таблицы следует, что наибольшей основностью обладают фрагменты Fe–O–Fe и Mn–O–Mn. Именно они и составили исключение из правила. Таким образом, присутствующие силанолат-анионы конкурируют с высокоосновными металлоксидными атомами О. В результате перегруппировка становится возможной, что приводит к получению соединений столь необычного состава.

* * *

Итак, мы рассмотрели, какие движущие силы определяют формирование каркасов и каким образом это происходит. Можно ли такие сведения применить на практике? Мы запланировали синтез не полученного ранее хромсилоксана. Из таблицы следует, что образование фрагментов Cr–O–Cr маловероятно. Значит, предстояло учесть ряд параме-

Работы выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 08-03-00026.

Литература

1. Левицкий М.М., Завин Б.Г., Биляченко А.Н. Химия металлоорганосилоксанов. Современные тенденции развития и новые концепции. Успехи химии. 2007. Т.76. №9. С.907–926.
2. Левицкий М.М., Смирнов В.В., Завин Б.Г., Биляченко А.Н., Рабкина А.Ю. Новые способы формирования структуры металлоорганосилоксанов и их каталитические свойства. Кинетика и катализ, 2009. Т.50. №4. С.512–530.

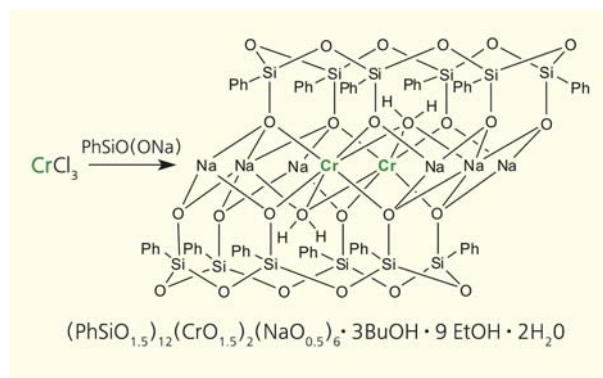


Рис.9. Новое соединение — каркасный хромфенилсилоксан.

тров: предпочтительное координационное состояние металла; необходимое количество силанолат-анионов, заполняющих его координационную сферу, и нужное соотношение Si/M в продукте синтеза. Кроме того, конечно, потребовалось определенное терпение при проведении эксперимента, который не так уж и прост.

В результате удалось синтезировать новый металлоорганосилоксан — каркасный хромфенилсилоксан (рис.9). В нем координационное число каждого атома Cr равно шести и в заполнении координационной сферы металла принимают участие по три силанолатных группы.

Таким образом, найденные принципы построения каркасов открывают пути для получения новых каркасных структур металлоорганосилоксанов. А они, как показывают недавние исследования, перспективны в качестве наноматериалов. ■

Арктика глазами биолога

Ю.И.Чернов

Обычно Арктика воспринимается как экзотический, враждебный цивилизованному человеку ландшафт. В то же время она обладает особой притягательностью — недаром издавна бытует образное выражение «заболеть Арктикой». Попав туда однажды, непременно захочешь вернуться, и нередко люди, приехавшие на короткое время с целью заработка, оседают надолго, а то и на всю жизнь, буквально влюбляясь в этот суровый край. Такое отношение к Арктике усилилось в 30—50-х годах XX в., когда бурно развивалась сеть полярных станций и промысловых стационаров, организовывались многочисленные морские экспедиции. Этому, возможно, способствовала известная «эпоха потепления» высоких широт: в те годы интенсивно осваивали биоресурсы, активно исследовали растительный и животный мир тундровой зоны и Северного Ледовитого океана, совершенствовали системы мониторинга природы, прогноза погоды и т.д. О масштабах освоения Арктики в те годы свидетельствует количество служащих на полярных станциях. Сотни специалистов трудились, например, на о.Хейса или на мысе Челюскин, расположенных в зоне полярных пустынь.

Для биолога удивительный и суровый мир Арктики — своего рода острый природный эксперимент. Простота и лаконичность организации арктических биоценозов позволяют изучать



Юрий Иванович Чернов, академик РАН, главный научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН. Область научных интересов — экология и биогеография.

одновременно все их компоненты и постигать общие биологические закономерности. Именно на материале органического мира Арктики развивались многие экологические концепции в течение всего минувшего столетия.

Общий взгляд

Проявления жизни в Арктике насыщены парадоксами: только здесь, в высоких широтах и нигде более, столь резко и в то же время закономерно меняются при движении с юга на север облик растительности, структура и видовой состав сообществ. Так, на территории Таймыра на протяжении всего 700 км зональные ландшафты чередуются — от лесотундры, южной (кустарниковой), типичной и арктической тундры до полярной пустыни (рис.1). Объясняется это тем, что в Заполярье очень резки градиенты летних температур (рис.2), а экологический «вес» каждой прибавки тепла гораздо больше, чем в других природных поясах. Глобальное распределение видообразия, основная черта которого — его уменьшение от экватора к полюсам, обусловлено прежде всего количеством летнего тепла. Хорошая тому иллюстрация — резкое уменьшение числа видов птиц, обитающих от лесостепи до полярных пустынь, в зависимости от снижения среднеиюльской температуры в каждой зоне (рис.3). К северу эта связь усиливается, причем для многих групп организмов коэффициент корреляции достигает 0.99. Однако в разных географических секторах уровни видообразия (например, дневных бабочек, рис.4) при соответствующих температурах не одинаковы. Различия параметров биоразнообразия при сходных климатических условиях неоднократно отмечали экологи и биогеографы, предлагавшие разные гипотезы [2]. В пределах Арктики подобные зависимости описываются логистической кривой, что позволяет моделировать



Рис.1. Зональные ландшафты на территории Таймыра: подзона южных (кустарниковых) тундр (а — лиственница, карликовая березка и куртины ольховника в верховьях р.Пясины, б — характерная форма ольховника, куст «в юбке», у которого почки выше уровня снега уничтожаются снежной коррозией; в — осенний вид ерниковой тундры); подзона типичных тундр (г — осоково-моховая бугорковая тундра, фото Н.В.Матвеевой); арктическая тундра (д — плакорный участок в окрестностях пос. Диксон); полярная пустыня (е — ландшафт с лишайником *Thamnia vermicularis* в окрестностях полярной станции, мыс Челюскин).

Здесь и далее фото из архива автора (исключения специально помечены)

возможные тенденции развития биоразнообразия при изменениях климата.

В тундре, как и в других природных зонах, формируются разнообразные интразональные сообщества, обусловленные преобразованием теплового ресурса на данной широте на склонах разной экспозиции (на северных склонах тепла меньше, чем на южных, а на южных больше, чем на горизонтальных участках), избыточным увлажнением, влиянием повышенного дренажа, свойствами пород и т.д. В Арктике представлены основные формы интразональности, в том числе весьма отчетлива экстразональность: в подзону южных тундр по долинам рек и южным склонам увалов заходят лесные сообщества, а в типичные тундры — кустарниковые (ерники). Очень широк спектр интразональных гидрофитных сообществ, в частности множество вариантов своеобразных болот (приручьевых, плоско- и крупнобугристых, полигональных и др.).

Зоологов и ботаников особенно привлекают луговые сообщества, которые развиваются на теплых южных склонах. Это аналоги наших суходольных лугов. Сплошной злаковый покров и пятна цветущего разнотравья резко контрастируют с однообразным осоково-моховым буро-зеленым фоном тундровых ландшафтов. Поражает обилие бобовых, норичниковых, гвоздичных в сочетании с высокими развесистыми синими дельфиниумами, плотными куртинами голубых незабудок, с белыми ясколками и др. (рис.5). В 30—50-х годах геоботаники бурно дискутировали, правомочно ли считать такие сообщества луговыми. Сейчас их, безусловно, относят к луговому типу растительности, в рамках которого выделяют несколько ассоциаций [4].

Луга занимают небольшие площади, но служат местом концентрации многих нехарактерных для тундр видов растений и животных, способствуют увеличению разнообразия флоры и фауны, а также форм биоценологических отношений. В лугах концентрируется большинство типичных фитофагов, максимальны показатели массы почвенных беспозвоночных и общей биопродуктивности. К северу сообщества лугового типа, как и другие интразональные элементы, становятся все фрагментарнее. В полярно-пустынных ландшафтах сохраняются лишь зоогенные разнотравно-злаковые локальные группировки. Как ни парадоксально, но на водоразделах подзоны арктических тундр, где среднеиюльская температура всего около 5°C и половина площади занята оголенными грунтами, обильны двудольные, которые в периоды цветения несколько оживляют пейзаж. Арктические тундры гораздо «красочнее» типичных и южных тундр с их сплошным осоково-моховым покровом, затрудняющим прогрев почвы. Для плакоров (плоских участков водоразделов) подзоны арктических тундр характерен целый ряд энтомофильных видов (например, камнеломки *Saxifraga cernua*, *S.cespitosa*, *S.foliolosa*, *S.birculus*, *S.oppositifolia*, мак *Papaver polare*,

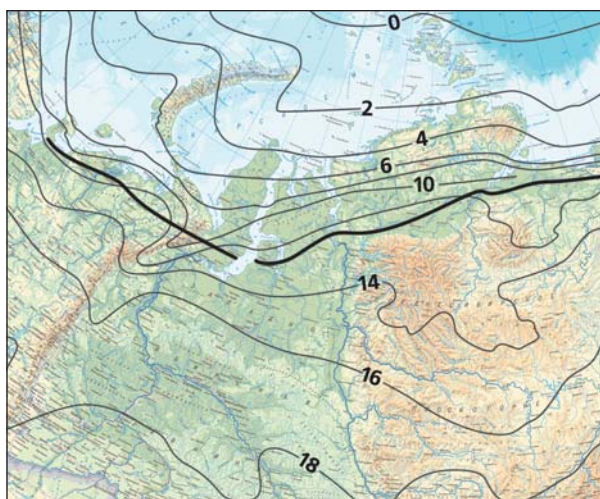


Рис.2. Изолинии среднеиюльских температур [25]. Жирная линия — южная граница тундровой зоны.

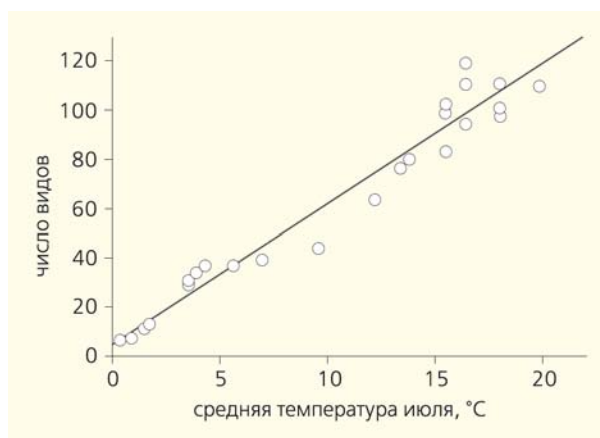


Рис.3. Корреляция числа видов птиц («конкретные фауны») со среднеиюльской температурой на территории западносибирского сектора [1].

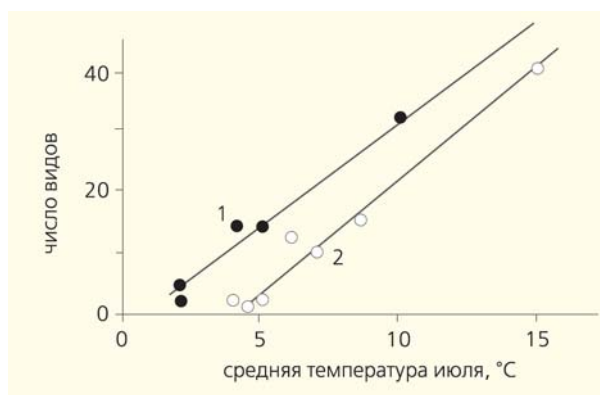


Рис.4. Корреляция числа видов дневных бабочек («конкретные фауны») со среднеиюльской температурой в двух секторах Арктики: 1 — северо-восточная Азия и запад Америки, 2 — Западная и Средняя Сибирь [2].



Рис.5. Злаково-разнотравный луг на южном склоне берега р.Рагозинки в подзоне типичных тундр. Таймыр.

лютик *Ranunculus sulphureus*, незабудочник *Eritrichium villosum* из бурчаниковых, *Minuartia macrocarpa* из гвоздичных), для основных пород — новосиверсия *Novosieversia glacialis*. Разнообразие в арктических тундрах камнеломок, характерных обитателей альпийских ландшафтов, особенно примечательно. На этом основании еще в позапрошлом столетии предлагалось выделять единое флористическое *аркто-альпийское царство камнеломок* [5].

Тундровый ландшафт очень сильно обводнен. Причудливое кружево из озер, озерков, бочагов, полигональных и бугристых болот создает бесконечное разнообразие биотопов для гигро- и гидрофильных групп организмов, удельный вес которых в высокоширотной биоте весьма велик. Так, из примерно 240 видов арктических птиц 140 — водные и полуводные, тогда как в мировой орнитофауне подавляющее большинство составляют сухопутные птицы. В классе насекомых относительно немного облигатных гидрофилов, тем не менее в Арктике есть таксоны типичных водных насекомых с повышенными адаптивными возможностями. Таковы отряды веснянок, поденок, ручейников, семейство жуков плавунцов, многие группы двукрылых, причем в фауне Арктики максимальный уровень представленности (процент от числа видов данного таксона в мире) у поденок и веснянок — 2.5 и 3.5% соответственно. Да и стрекозы, одни из самых крупных наших насекомых, для развития личинок которых водоемы высоких широт неблагоприятны, все же интенсивно про-

никают в пределы Субарктики и собственно Арктики, где отмечено около 30 видов этих прекрасных летунов (не менее пяти видов нормально развиваются в условиях тундры). Еще одна характерная черта энтомофауны Арктики — хорошая представленность прибрежных хищников, например жужелиц родов *Bembidion* и *Elaphrus*, клопов *Chiloxanthus* и др. Знаменательно, что роды *Elaphrus* и *Chiloxanthus* включают небольшое число видов, это согласуется с другими фактами (пока еще недостаточно интерпретированными) успешного освоения специфичных биотопов высокоширотных ландшафтов «малыми» таксонами [3].

В небольших тундровых водоемах обитает ряд своеобразных растений с характерной морфологией. В их числе гидрофильные лютиковые (батрахиум; лютики Палласа, Гмелина, гиперборейский; калужница арктическая), а также злаки (дюпонция, арктофила, плевропогон). Все они могут обитать как в водоемах, имея форму типичных гидрофитов, так и на влажных поверхностях — с признаками гигрофитов.

Ботаники и зоологи издавна подчеркивают уникальность *таксономического состава* растительного и животного мира Арктики. Многие арктические виды совсем не похожи на своих южных родичей, и систематики подчас с трудом подыскивают им место среди других таксонов, поэтому выделяют в отдельные подроды, самостоятельные («монотипичные») роды, даже семейства. В числе таких удивительных животных — овцебык, нарвал, белый медведь, копытный лемминг, среди растений — представитель розоцветных новосиверсия, злаки арктофила и плевропогон, которые, возможно, относятся к древнейшим элементам современной криофильной растительности, сформированным в результате длительной канализованной эволюции.

В то же время среди обычных обитателей тундры много наших хороших знакомых животных (заяц-беляк, бекас, бабочка боярышница) и растений (селезеночник, крохотлёбка, раковая шейка, сердечник и др.). Более того, некоторые пришельцы из южных ландшафтов чувствуют себя здесь явно комфортно и иногда более многочисленны, чем настоящие арктические виды. Так, местами высока плотность популяций зайца-беляка, повсюду обычна в тундровой зоне белая трясогузка, для южных тундр характерна варакушка и т.д. Борейная кортуза Маттиола (семейство первоцветных) на западе Таймыра местами образует яркие в период цветения ковры (рис.6). Проникновение большинства этих «южан» в Арктику обусловлено эффектом «сглаживания» среды в интразональных элементах ландшафта [8].

Для эколога арктические биоценозы — как атом водорода для физика. Относительная простота и лаконичность их организации позволяют охватить всю полноту структуры и взаимодействия одновременно, что способствовало развитию

кардинальных экологических концепций. Так, исследование тундровых грызунов леммингов с их массовыми размножениями и обостренными механизмами регуляции, известными нам с детства по замечательной книге Д'Эрвилли «Приключения доисторического мальчика», — одна из основ развития концепций динамики численности животных [6].

Уже в XIX и первой половине XX в. были изучены детали развития цветков и оплодотворения субарктических и арктических растений, роль резервного и страхующего опыления, самоопыления, особенности энтомофилии, конкуренции за антофилов (от греч. *ανθος* — цветок и *φιλεο* — люблю) и т.д. Эти исследования в значительной мере способствовали развитию общей антропоэкологии, до сих пор цитируются классические труды О.Экстама, О.Хагерупа, О.Хёга и др. [7, 8].

Сейчас повысился интерес биологов к обоснованной в начале XX в. А.С.Фаминцыным и К.С.Мержковским концепции *симбиогенеза*, объединяющей явления симбиоза, коадаптации, коэволюции. В связи с этим большую роль приобретают результаты традиционных (уместно вспомнить классическую работу В.И.Осмоловской 1948 г.) исследований зоологами взаимоотношений тундровых хищников друг с другом (например, песца и белой совы) и с леммингами, размножающимися с резко выраженной цикличностью, а также с «мирными» птицами, оседающими под их «защитой». Эти сложные центрические взаимодействия обуславливают микроэволюционные преобразования популяций видов симбиотических комплексов.

В тундровых сообществах развиты весьма разнообразные функциональные группировки организмов, которые могут служить модельными объектами исследований симбиогенетических процессов в экстремальных условиях. Такими моделями могут служить корневые комплексы: бактериальные на бобовых в луговых сообществах и актиномицетовые (род *Frankia*) на ольховнике (*Alnus fruticosa*) в южной тундре. Пока очень мало изучены сложные взаимоотношения лишайников с другими группами растений, с субстратами из слаборазложившихся сосудистых и мхов [10]. Крайне интересны «черные корки», которые образуются на поверхности «голых» грунтов в виде сложных ценологических объединений лишайников, водорослей, цианобактерий, мелких мхов и печеночников.

Некоторые детали организации арктических сообществ можно даже рассматривать в качестве ценологического аналога *апоптоза* (обеднения, угнетения и отмирания части компонентов с положительным эффектом для других членов биоценоза). Так, сильная разреженность цветковых в полярных пустынях и на северном пределе арктических тундр сочетается с явно повышенными показателями «жизненности» популяций отдельных видов (например, мака *Papaver polare* и злака



Рис.6. Массовое цветение кортузы Маттиола (*Cortusa matthioli*) на берегу р.Рагозинки. Таймыр.

Phippsia algida). При чрезмерном разрастании моховых подушек происходит отмирание их центральной части, образуемая при этом кольцевая форма, вероятно, более приемлема для тепловых условий полярных пустынь.

В тундровых сообществах на фоне резкого обеднения общего видового состава весьма отчетлив феномен так называемой *экологической компенсации*: отдельные таксоны (довольно богатые разнообразными видами и экологическими формами) проявляют значительную ценологическую активность, обеспечивая необходимый уровень экосистемных процессов при данных климатических условиях. Яркий пример — комары звонцы, личинки которых (всем известный мотыль) занимают ведущие продукционно-энергетические позиции в очень широком спектре наземных и водных сообществ. Другим примером экологической компенсации может служить дождевой червь — эйзения Норденшельда (*Eisenia nordenskioldi*). Этот единственный на огромных территориях сибирской тайги и тундры вид семейства люмбрицид образует разнообразные адаптивные формы, заселяющие широкий круг биотопов, и по сути замещает целый комплекс видов этой группы животных, играющих огромную роль в почвообразовательных процессах [9].

Адаптивные стратегии и филогенетический уровень таксонов

Фундаментальная биологическая проблема — адаптивные стратегии в экстремальной среде. Какая стратегия выгоднее в Арктике? В суровых условиях высоких широт часто выигрывают экономич-

ность и пластичность, способность замедлять развитие при неблагоприятных условиях или дозировать его, «подстраховываясь» от неожиданностей. У многих насекомых тундровой зоны (крупных бабочек, комаров, жуков) личиночный период растянут на три—пять и, возможно, даже восемь лет [8, 11—13]. Модельный объект исследований этих явлений — бабочка семейства волнянок *Gynaephora groenlandica*, с использованием которой выполнены серии лабораторных и полевых экспериментов. В жизненном цикле этого вида выявлены сложные соотношения «активных» и «пассивных» элементов развития. Так, гусеницы летом интенсивно питаются в течение трех недель, когда листья кормовых растений насыщены необходимыми веществами, а потом, при еще вполне благоприятной летней температуре, «заранее» впадают в спячку. В этой проблеме еще не все ясно. В свое время исследователи школы С.С.Шварца доказали, что широко распространенные, полизональные виды в условиях высоких широт часто проявляют элементы «расточительных» активных адаптивных стратегий. Пассивные, «экономичные» формы характерны для типичных арктических видов.

Адаптивные стратегии *пассивного*, или *толерантного*, типа основаны на общем биологическом правиле большей устойчивости организма при замедлении жизненных процессов. К ним особенно склонны примитивные формы. И это отражается в таксономическом составе биоты. В условиях Арктики многие относительно примитивные, невысокого филогенетического уровня, группы дают примеры значительной численности, высокого видового разнообразия и опережают по этим показателям самые прогрессивные наиболее богатые видами таксоны. Например, в северной полосе тундровой зоны и в полярных пустынях по числу видов доминируют не цветковые, составляющие основу мировой флоры, а мохообразные и лишайники. Число видов цветковых снижается от южной границы тундры до северной примерно в пять раз, тогда как мхов и лишайников — не более чем в полтора [14].

В комплексе членистоногих высоких широт резко падает разнообразие насекомых, но возрастает удельный вес таких групп, как клещи и ногохвостки. Последних сейчас считают самостоятельным классом. Эти древние членистоногие в тундрах достигают максимальной плотности населения [15]. Среди клещей, обитающих в Арктике, велика доля примитивных простигмат. Вместе с тем высокоширотные ландшафты очень успешно освоил род мезостигматических клещей *Arctoseius*, у которого, напротив, обнаружены признаки эволюционной продвинутости. Этот процесс можно рассматривать как эффект снижения разнообразия других таксонов хищных гамазовых клещей, а также как результат высокой численности их потенциальных жертв — коллембол и длинноусых двукрылых [16].

Отряд двукрылых (комары и мухи) — лидер в арктической энтомофауне [3]. Интересно, что в северной полосе тундровой зоны максимальные показатели видового разнообразия и численности у примитивных групп, таких как семейства комаров долгоножек (Tipulidae), болотниц (Limoniidae), звонцов (Chironomidae). Их имаго и личинки, многочисленные в водоемах и почве, — основной корм пресноводных рыб и многих птиц [8, 17]. Чтобы убедиться в том, что к условиям Крайнего Севера лучше всего приспособлены организмы низкого филогенетического уровня, достаточно взглянуть на схему родословного древа жесткокрылых, на которой указана представленность в Арктике (доля от числа видов в мировой фауне) крупных таксонов отряда (рис.7). Любопытные результаты получены при изучении двух семейств стрекоз: доля в одонатофауне весьма архаичного семейства Aeschnidae последовательно увеличивается от 7% в тропическом поясе до 24% в субарктическом, а наиболее продвинутого Libellulidae, наоборот, уменьшается — от 27 до 10%.

Основной «облик» флоры двудольных растений северной полосы Арктики создают четыре семейства: крестоцветные, камнеломковые, гвоздичные, лютиковые. Этот набор ведущих семейств и особенно вхождение в его состав камнеломковых, занимающих первое место в полярных пустынях, уникален в сравнении с таксономической структурой двудольных в других природных зонах. Повышение значимости этих относительно небольших семейств происходит на фоне резкого

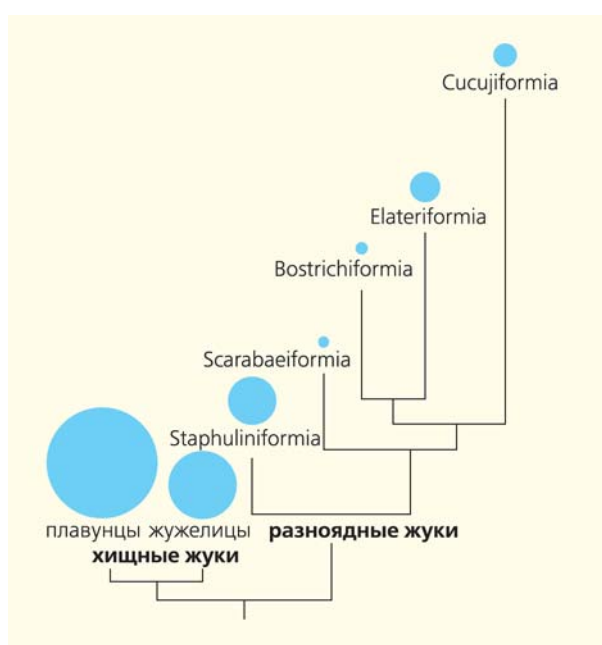


Рис.7. «Представленность» (доля от числа видов в мировой фауне) таксонов жесткокрылых разного филогенетического уровня в фауне Арктики [18]. Положение групп Archostemata и Mixophaga на рисунке не показано.

снижения разнообразия или выпадения в ряду тундровых подзон таких крупнейших и эволюционно наиболее продвинутых, как сложноцветные, бобовые, губоцветные, зонтичные и др. [14].

Важный для понимания смысла этих соотношений пример дают амфибии. Места обитаний наиболее примитивных форм хвостатых земноводных (скрытожаберников и углозубов) — высокогорные биотопы и приполярные районы с вечной мерзлотой — экстремальны не только по отношению к адаптивной зоне данного отряда, но и для всего класса амфибий. Сибирский углозуб (*Salamandrella keyserlingii*), примитивнейшая форма хвостатых земноводных, распространен до побережья Северного Ледовитого океана, обитает в районах севера Азии с очень холодной зимой, в лесотундре и южной тундре [19, 20]. Это единственный представитель класса на периферии допустимых для амфибий климатических условий. Из других земноводных далеко на север проникают лягушки рода *Rana*. Однако при значительном разнообразии их возможности освоения холодных ландшафтов гораздо меньше.

Соотношением прогрессивных и примитивных групп организмов в разных климатических зонах заинтересовались палеонтологи. Оказалось, что и в летописи древних биот от тропиков к высоким широтам отчетливо снижение доли наиболее прогрессивных групп. По словам выдающегося палеоботаника С.В.Мейена, интенсивные процессы эволюции и видообразования в теплых климатических поясах, «как помпа, накачивают» биологическое разнообразие, которое «растекается» от тропиков, «оттесняя» примитивные формы к полюсам [21]. Он назвал этот процесс *фитоспреди́нгом*, по аналогии с понятием спре́динга (от англ. spread — растягивать, расширять) в геологической концепции глобального мобилизма. В этом смысле можно использовать и термин *биоспреди́нг*. Эти явления дают ключ для понимания общепланетарных биотогенетических процессов. Многие особенности флоры и фауны Арктики — по сути проявление глобальных трендов биологического разнообразия, более отчетливое и «обостренное» на краю широтного спектра природных условий (от экваториального пояса до полярных пустынь).

Разнообразие формы и окраски

Разнообразие ярких распознавательных признаков, в том числе окрасок животных и растений, максимально в тропиках и снижается к высоким широтам наряду с падением видового богатства флоры и фауны. Однако отдельные группы, которые достигают в заполярных ландшафтах значительной плотности населения и разнообразия видов, дают противоположную картину. Хорошие примеры — группы водных и околоводных птиц. У колониальных чистиковых (конюг, топорка, ту-



Рис.8. Представители подотряда чистиковых: топорки (*Lunda cirrhata*) и малая конюга (*Aethia pygmaea*). Остров Ионы, Охотское море.

Фото С.П.Харитонов

пика, ипатки и др.) причудливы формы головы и клюва, необычна окраска (рис.8). Самцы всех четырех видов гаг (обыкновенной, гребенушки, очковой, сибирской) в брачном наряде четко различаются цветовым рисунком головы, шеи и брюха. Великолепна изящная окраска розовой чайки. Ни на кого из куликов не похожа пестрая камнешарка, изысканны коричнево-бордовые окрасы исландского песочника, краснозобика, плосконого плавунчика. Эти обитатели тундры, где велика их гнездовая плотность, резко отличаются от мелких куликов лесной полосы, ведущих скрытый образ жизни, гнездящихся локально и разреженно, и при этом гораздо скромнее окрашенных.

Аналогичные примеры есть и среди насекомых. Так, на фоне общего снижения разнообразия крупных и яркоокрашенных форм, а также эффективных опылителей, резко выделяются шмели. Они успешно освоили условия тундровой зоны, в пределах которой их не менее 25 видов. В Арктике разнообразны их окраска, жизненные циклы, популяционная структура (например, утрата «рабочих» у крупных видов, для развития которых не хватает времени), связи с цветками, способы гнездования и т.д. Велико и их биоценологическое значение, и не только как опылителей. В «безлемминговые» годы песцы разоряют до 70% их гнезд и существенно дополняют свой рацион, поедая самих шмелей, личинок, куколок и медовые соты [23].

Естественно, что в условиях тундры недостаточно «востребована» мимикрия как защитное средство. Однако семейство мух журчалок (Syrphidae), среди которых много форм с облик ос, представлено в фауне Арктики более чем сотней видов. Из них многие весьма ярко окрашены (рис.9). Доминируют виды с хищными личинками, в прошлом относимые к сборному роду *Syrphus*. Обычны крупные виды рода *Helophilus* с водными личинками. Впечатляет эффектный своеобразный



Рис.9. Журчалка *Eureodes punctifer* на цветке синюхи *Polemonium boreale*. Таймыр.

Фото А.В.Баркалова

арктический *Conosyrphus tolli*. Наличие среди журчалок с явными признаками мимикрии «под осу» значительного числа типичных арктических видов — весьма интересный нюанс генезиса фауны, ведь в Арктике изредка встречаются лишь залетные экземпляры ос.

Другая группа яркоокрашенных насекомых — дневные бабочки; в тундрах они активны в течение краткого наиболее теплого периода июля. Их антофилия ослаблена, и роль в опылении цветков невелика. Но все же на территории тундровой зо-

ны отмечено около 120 видов шести семейств [24]. У них сохраняются основные цветовые гаммы и группы окраски имаго, характерные для лесной полосы (рис.10).

Мир арктических растений также насыщен красками (рис.11). У некоторых групп двудольных (камнеломок, норичниковых, бобовых, гвоздичных) явно усилено выражение признаков энтомофильности: разнообразие и яркость цветков, их относительно крупные размеры (по отношению к величине всего растения), формирование плотных соцветий, куртин, «ковров» и т.д. Запомнилась бурная реакция японских коллег, которые особенно глубоко и тонко воспринимают природные красоты, на фотографии цветущих растений тундры, включенные в презентацию нашего с Н.В.Матвеевой доклада. Полагаю, что яркость и многообразие окрасок и форм цветков двудольных в Арктике не меньше (в расчете на общее богатство флоры), чем в более «теплых» природных зонах. Наиболее вероятные причины — относительно высокое разнообразие двукрылых, среди которых много эффективных опылителей (особенно сирфид), а также успешное освоение высокоширотных условий шмелями. Все же большинство двудольных сочетает разные формы опыления и оплодотворения — энтомофилию, анемофилию, автогамию [8]. Это соответствует общей тенденции организации экосистем Арктики: сокращению звеньев с узкой специализацией ценологических отношений.



Рис.10. Дневные бабочки Арктики: основные варианты окраски крыльев. Из коллекции автора.



Рис.11. Цветки и соцветия двудольных Арктики; слева направо, сверху вниз: ясколка большая (*Cerastium maximum*), копеечник арктический (*Hedysarum arcticum*), остролодочник Адамса (*Oxytropis adamsiana*), мытник Эдера (*Pedicularis oederi*), незабудка азиатская (*Myosotis asiatica*), смолевка бесстебельная (*Silene acaulis*).

Фото Н.В.Матвеевой и О.Л.Макаровой

Биота Арктики и экологическая целостность таксонов

Структура фауны и флоры Арктики интересна в свете сложной проблемы блочной организации биоты, обусловленной экологической целостностью надвидовых таксонов, которые «ведут» себя как нечто единое, — в частности, в процессах формирования зональных природных комплексов [22]. Можно выделить несколько вариантов «освоения» высокоширотных условий таксонами ранга отряда, семейства и т.д. Некоторые из них распределены в Заполярье фронтально, с широкой адаптивной радиацией, формированием арктических видов и плавным падением разнообразия к полюсу. Таковы отряды ржанкообразных из птиц, двукрылых из насекомых, а из растений — семейства злаковых, крестоцветных и др. Но есть таксоны высокого ранга (отряд гагарообразных и подсемейство куликов песочников), характерные именно для Арктики, где обитает большинство их видов, число которых снижается не только к северу, но и к югу. Кардинальны различия в составе арктической фауны двух таксонов растительных жуков: семейства листоедов (в основном типичные арктические виды одного рода — *Chrysolina*) и надсемейства долгоносикообразных (формы разных родов и единичные арктические виды).

Некоторые таксоны представлены в тундре единственными, но в высшей степени характерными видами. Белая сова — одна из самых своеобразных птиц отряда. Биологическая конституция

многих таксонов создает почти абсолютные запреты на адаптивные механизмы, соответствующие высокоширотным условиям. Спорадичное обитание их видов в пределах тундровой зоны обусловлено «выбором» элементов среды, «сглаживающих» климатические градиенты. Необходимость завершения развития в течение одного летнего сезона резко ограничивает разнообразие в тундровой зоне многих групп насекомых с неполным превращением, например прямокрылых, полужесткокрылых, цикадовых, тлей и др.

Макроструктура (соотношение таксонов высокого ранга) фауны и флоры Арктики предельно своеобразна (рис.12). Таксономическая структура

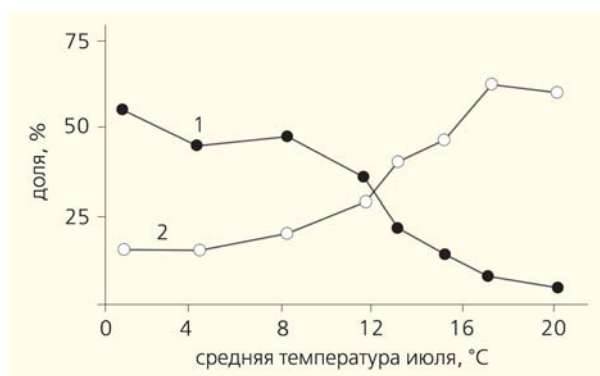


Рис.12. Изменение долей отрядов ржанкообразных (1) и воробьинообразных (2) в авифауне от полярных пустынь до лесостепи [19].

ра арктической биоты — это конечный результат перестроек биоразнообразия. И тут есть очень важный нюанс: происходит не просто изменение соотношения групп, но во многих случаях — экологическое замещение, или *викариат*. Так, при резком снижении разнообразия и численности представителей отряда воробьинообразных в арктических биоценозах их место частично занимают ржанкообразные. Например, поморников можно считать своего рода экологическим аналогом врановых, а мелких тундровых куликов —насекомоядных воробьиных, обитающих в семиаридном (от лат. *semi* — полу- и *aridus* — сухой) климате. Сходным образом карпообразные

рыбы, доминирующие в водоемах умеренного пояса, в высоких широтах замещаются лососеобразными с разными, как и у карпообразных, жизненными формами (хищники, планктонофаги, бентофаги и др.). Вместо знакомых нам голавля, жереха, плотвы, леща, густеры, подуста в Субарктике и Арктике обитают голец, нельма, пелядь, муксун, ряпушка, хариус. Эти факты затрагивают фундаментальную проблему эволюционных параллелизмов.

Итак, арктическая биота жестко встроена в планетарную систему жизни, и многие ее свойства — результат широтно-зональных изменений глобального биоразнообразия. ■

Литература

1. Чернов Ю.И. Класс птиц (Aves) в арктической фауне // Зоол. журн. 1999. Т.78. №3. С.276—292.
2. Чернов Ю.И., Певев Л.Д. Биологическое разнообразие и климат // Успехи совр. биологии. 1993. Т.113. Вып.5. С.515—531.
3. Чернов Ю.И. Биота Арктики — таксономическое разнообразие // Зоол. журн. 2002. Т.81. №1. С.1411—1431.
4. Заноха Л.Л. Луговая растительность среднесибирского сектора Арктики // Виды и сообщества в экстремальных условиях. М.; София, 2009. С.251—272.
5. Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористическое ограничение и разделение Арктики // Арктическая флористическая область. Л., 1978. С.9—104.
6. Чернявский Ф.Б., Ткачев А.В. Популяционные циклы леммингов в Арктике. М., 1982.
7. Kevan P.G., Shorthouse J.D. Behavioural thermoregulation by high Arctic butterflies // Arctic. 1970. №23. P.268—279.
8. Чернов Ю.И. Жизнь тундры. М., 1980.
9. Чернов Ю.И. Видовое разнообразие и компенсационные явления в сообществах и биотических системах // Зоол. журн. 2005. Т.84. №10. С.1221—1238.
10. Матвеева Н.В. Видовое разнообразие растительных сообществ в Арктике // Виды и сообщества в экстремальных условиях. М.; София, 2009. С.190—208.
11. MacLean S.F. Ecological adaptation of tundra invertebrates // Physiological adaptation to the environment. N.Y., 1975. P.269—300.
12. Kukal O. Winter mortality and the function of larval hibernacula during the 14-year life-cycle of an Arctic moth, *Gynaephora groenlandica* // Can. J. Zool. 1995. V.73. P.657—662.
13. Danks H.V. Long life-cycles in insects // Canadian Entomologist. 1992. V.124. P.167—187.
14. Матвеева Н.В. Зональность в растительном покрове Арктики. СПб., 1998.
15. Бабенко А.Б. Структура фауны класса Collembola Арктики // Зоол. журн. 2005. Т.84. №9. С.1064—1075.
16. Макарова О.Л. Акароценозы (Acariiformes, Parasitiformes) полярных пустынь // Зоол. журн. 2002. Т.81. №2. С.165—181.
17. Chernov Yu.I., Matveyeva N.V. Arctic ecosystems in Russia // Polar and Alpine Tundra. Elsevier, 1997. P.361—507.
18. Chernov Yu.I., Makarova O.L. Beetles (Coleoptera) in High Arctic // Proceeding of the XIII Europ. Carabidol. Meeting. Blagoevgrad, 2008. P.207—240.
19. Чернов Ю.И. Филогенетический уровень и географическое распределение таксонов // Зоол. журн. 1988. Т.67. Вып.10. С.1445—1458.
20. Алфимов А.В., Берман Д.И. Размножение сибирского углозуба (*Salamandrella keyserlingii*, Amphibia, Caudata, Hynobiidae) в водоемах на вечной мерзлоте северо-востока Азии // Зоол. журн. 2010. Т.89. №3. С.302—318.
21. Мейен С.В. Флорогенез и эволюция растений // Природа. 1987. №11. С.47—57.
22. Чернов Ю.И. Экологическая целостность надвидовых таксонов и биота Арктики // Зоол. журн. 2008. Т.87. №10. С.1155—1167.
23. Березин М.В. Взаимоотношения шмелей и песцов на острове Врангеля // Ценоотические взаимоотношения в тундровых экосистемах. М., 1992. С.90—99.
24. Чернов Ю.И., Татаринцев А.Г. Дневные бабочки (Lepidoptera, Rhopalocera) в фауне Арктики // Зоол. журн. 2006. Т.85. №10. С.1205—1229.
25. Агроклиматический атлас мира. М.; Л., 1972.

Об исчезнувших тиграх Хехцира

К.Н.Ткаченко,
кандидат биологических наук
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН
Хабаровск

Мне довелось быть свидетелем формирования и угасания небольшой группы (из самки и двух самцов) тигров в Большехецирском заповеднике, просуществовавшей с 1992 по 2007 г. Последней исчезла тигрица Трехпалая — ее характерные следы (без одного пальца на правой задней лапе) перестали встречаться с июля

2007 г., а ведь именно она первой пришла сюда уже взрослой. У Трехпалой и тигра «А», который жил на этой территории с декабря 1992 г. и был убит в феврале 2000 г. на окраине пос.Корфовский, трижды появлялось потомство. С другим самцом «Б», оказавшемся в заповеднике в ноябре 2003 г., а в декабре 2004 г. ушедшем на юго-восток, в бассейн р.Хор, она не контактировала, хотя он неоднократно

пытался гнаться за ней по следам. За 15 лет наблюдений нам удалось зафиксировать (главным образом зимой по отпечаткам лап) интересные и редкие факты, почти не освещенные в научной литературе.

Охотничье поведение тигра детально изучено А.Г.Юдаковым, И.Г.Николаевым и Е.Н.Матюшкиным. Так, известно, что хищнику удается овладеть жертвой (например, изюбром) в том случае,

© Ткаченко К.Н., 2012



Тигр — утерянная жемчужина Хехцира?

Здесь и далее фото автора



Проталина на месте длительной лежки Трехпалой. Лежку тигрица устроила в 8 м от добычи, а на стволе рядом стоящего ясеня маньчжурского оставила царапины. Левобережье р.Цыпы, февраль 2002 г.

если он подкрадется к ней на расстояние не более 20 м, да притом когда будет выше или на одном с ней уровне [1, 2]. Однако изредка охота заканчивается удачно даже в ситуации, кажущейся сначала неблагоприятной для хищника. Всего раз, в феврале 1995 г., была отмечена подобная охота тигра «А» на взрослого некрупного самца изюбря с физическими недостатками. Случилось это в горном хвойно-широколиственном лесу зимой, при высоте снежного покрова в 25–40 см. Тигр, поднимаясь по склону горы Трехглавой, в привершинной ее части, вероятно, по запаху обнаружил изюбря, лежащего в 100 м левее и выше по склону. Хищник немного посидел, затем не торопясь пошел к изюбрю, и только с 30 м бросился в его сторону, причем без предварительной остановки. Изюбрь, убегая сначала вдоль склона, прорвался сквозь заросли лещины маньчжурской, на мгновение затормозившие его движение, и понесся вниз. Тигр каким-то образом предугадал путь жертвы, срезал его, оставив в стороне заросли лещины. Через 73 м погони он сбил изюбря с ног и мгновенно убил. Тушу тигр оттащил на девять метров вниз, под густые кроны пихт, где и стал тра-

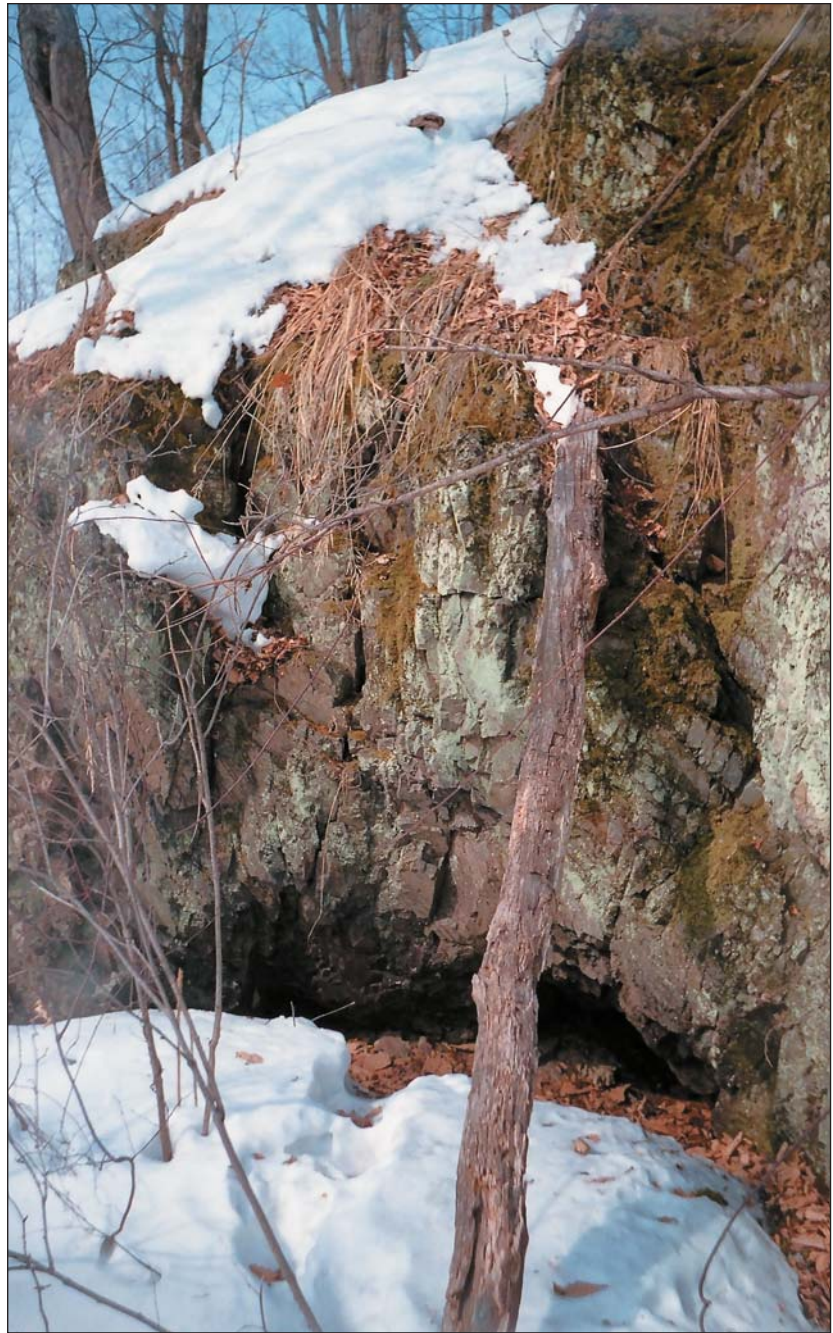


Череп и рога самца изюбря — жертвы тигра «А». Хорошо видны физические недостатки изюбря: ярко выражена асимметрия черепа и уродливые рога, а кроме того, на правой стороне нижней челюсти отсутствует передний зуб (справа).

пезничать. Успех охоты был обеспечен главным образом препятствием на пути изюбря, а также точно спрогнозированным хищником ходом убегающей жертвы.

Основной способ охоты тигра — скрадывание, т.е. невидимое жертве приближение к ней [1, 2]. Это же наблюдали и мы в Хехцире. О засадах полосатых хищников на пути следования жертвы писали Л.Г.Капланов, В.Г. и Е.В.Юдины, но без подробных описаний [3, 4]. Другие исследователи не наблюдали такой способ охоты, как и вообще броски с лежек [1, 2]. Вероятно, нападения из засад случаются редко, отчего мало кому приходилось их видеть. Но у нас такой способ был замечен 22 ноября 2003 г. по следам на снегу. На правом берегу р.Цыпа тигр «Б» спускался с гребня отрога, потом, видимо, обнаружив впереди секача, лег в позе сфинкса и с этого положения атаковал шедшего навстречу кабана, когда тот был в 20 м левее и ниже. Секач приостановился и устремился прочь; ему удалось уйти. С прыжков тигр сразу перешел на шаг и, уклонившись в сторону от маршрута убежавшего кабана, только через 500 м прилег на бок — на снегу отпечатался профиль зверя. Охотился он 21 ноября в светлое время суток, при снегопаде. Основные элементы охоты из засады были налицо: ожидание (хоть и недолгое) на пути жертвы и атака прямо с лежки.

Наблюдал я охоту амурского тигра и воочию, точнее, не всю, а момент броска (очевидно, подобное редко кому удавалось видеть). 18 апреля 2003 г. мы с Д.К.Куренчиковым находились в правобережной долине нижнего течения р.Одыр. В пять часов вечера услышали поблизости, с правой стороны от нас, отрывистое рывканье кабана и вслед за тем шум быстрой скачки зверей. Это тигрица Трехпалая гналась за годовалым кабаном. Через какие-то секунды в 20—25 м от нас про-



Тигровый грот и ведущая к нему тигриная тропа. Междуречье Цыпа—Одыр.

неслись кабан и буквально касавшаяся его задних ног тигрица. Она не издавала звуков, передняя часть ее тела казалась неизмеримо мощной, хвост, поднятый почти вертикально, вращался. Через мгновение звери скрылись. Как выяснилось позже по следам на грязи, тигрица, выйдя на бровку противопожарной минерализованной

полосы, залитой водой, прошла по ней около 50 м в направлении Одыра. Обнаружив кабанов (их было несколько) уже позади себя, она развернулась, через 30 м обратного хода повернула в лес и начала скрадывать жертву. Развязка осталась неизвестной, так как снега, на котором мы могли бы прочитать следы, в апреле уже не было.



Следы тигрицы Трехпалой, пересекавшей полотно железной дороги Хабаровск—Владивосток. Март 2004 г.

О том, что тигр убивает свою добычу только зубами, утверждал еще Дж.Корбетт, в 20—30-х годах XX в. охотившийся на тигров-людоедов в Индии [5]. В настоящее время это доказано Матюшкиным и Юдиными [2, 4], а также нашими данными. Тигр «А» прикончил одного гималайского медведя, прокусив шею

сверху, у основания черепа, а другого — вонзив зубы в голову (тоже сверху) и повредив тем самым мозговую камеру. Тигрица таким же способом задавила небольшую собаку. Крупной собаке и взрослой самке изюбря Трехпалая нанесла смертельный удар, схватив за горло у нижней челюсти. Оказалось, что у по-

следней жертвы был поврежден шейный отдел позвоночника. По данным Юдиных [4], подобное происходит непреднамеренно, когда тигр, настигнув крупное животное, подсекает ему задние ноги передней лапой, и у него при падении ломается шея. Но после падения жертвы хищник всегда хватается ее зубами.

В разных местах Сихотэ-Алиня тигры почти в половине случаев съедали добытых ими животных наполовину, а то и менее, иногда даже не призрагивались к ним [6, 7]. Подобную расточительность хищники позволяют себе в многоснежные зимы, когда охоты чаще бывают удачными [8]. В Хехцире крупную добычу тигры поглощали в основном более чем наполовину, но нетронутыми жертв не бросали. Мелких животных съедали не целиком. Например, от енотовидной собаки, пойманной Трехпалой, остались только клочья шерсти и обломки черепа, от рябчика — зоб, желудок, кишечник и много перьев.

Возле крупной добычи, которую тигры не могли съесть за раз, они проводили от трех до пяти дней. Только единожды тигрица оставалась вблизи задавленного кабана 10 дней, и неизвестно, сколько времени она еще провела бы здесь, не спугни ее люди. Если трапеза растягивалась на несколько дней, тигры устраивались на отдых недалеко (в 4—11 м) от жертвы, но иногда и в 450 м от нее. Случалось, зверь предпочитал найти место поукромнее (в скалах, где есть удобные ниши и гроты), даже если оно было в километре от места трапезы. Только изредка хищники отдыхали рядом. Один раз тигр «А» обосновался в кабаньем гайне (так называют не только беличий «дом», но и кабаньей) в 11 м от задавленного поросенка. И что примечательно: когда охотник ушел, кабаны вернулись в гайно.

Пойманную жертву хищник чаще не прячет, но иногда все-

таки затаскивает под густые кроны хвойных деревьев, где не досаждают любители пожить на дармовщину. Однажды Трехпалая, возвращаясь к остаткам задавленной ею самки изюбря, последние 50 м преодолела прыжками, чтобы согнать пировавших воронов и большеклювых ворон. Такое же случилось и на Сихотэ-Алине [1, 9].

Время глухих таежных просторов миновало, и тиграм в их перемещениях по своим владениям приходится сталкиваться с такими препятствиями, как железная и шоссейная дороги. Через автотрассу и железнодорожную линию Хабаровск — Владивосток звери переходили всегда ночью в окрестностях с.Чирки, где между дорогами и селом было не больше километра. Трехпалая обычно двигалась спокойным шагом, без остановок, но могла и лечь на подступах к дорогам или перебежать их «рысью», потревоженная автомашинами или поездами. По самим дорогам тигры никогда не ходили. Правда, случилось, тигрица, прежде чем пересечь шоссе Хабаровск—Казакевичево, где движение менее интенсивно, метров 200 шла по обочине.

Другие препятствия — инженерно-технические сооружения* (ИТС) на границе с Китаем — тигры не пытались пересекать. Поэтому они не появлялись за линией ИТС, отделяющей западную часть заповедника от остальной территории. Маршруты тигров пролегли или непосредственно вдоль ИТС, или в нескольких сотнях метров от них. Насколько серьезна для тигра такая преграда, иллюстрирует весьма редкий случай. Тигрица Трехпалая в ночь с 16 на 17 января 2001 г., по лесу огибая с.Казакевичево вдоль линии ИТС, вы-



Лежка Трехпалой в 200 м от железной дороги Хабаровск—Владивосток. Видимо, тигрица так отреагировала на проезжавший поезд. Март 2004 г.

шла к пограничному контрольно-пропускному пункту, что находится при въезде в это село. Свободно проникнув через шлагбаум, она направилась в сторону Амурской протоки по грунтовой дороге вдоль ИТС и приблизилась к пограничной вышке. Здесь тигрицу заметили

и пустили сигнальную ракету. Испугавшись, Трехпалая бросилась к лесу, отделенному от нее линией ИТС, но ударилась о колючую проволоку головой, развернулась и скрылась в лесополосе. Успокоившись, тигрица задавила собаку на окраине Казакевичева и попыталась утешить

* Инженерно-технические сооружения представляют собой ограждение из горизонтальных рядов (промежутки между ними 10 см) колючей проволоки, протянутой через двухметровой высоты столбы.

ее в лес. Она пересекла лесополосу и дорогу, но в полутора метрах от ИТС повернула обратно к лесополосе, где укрылась с жертвой в густом подросте пихты белокорой. Группа людей дважды специально спугивала тигрицу с убитой ею собаки, и оба раза Трехпалая с ходу бросалась на колючую проволоку, пытаясь прорваться. Это удалось ей только во второй раз. От ИТС тигрица ушла в лес, углубившись на 160 м, где пролежала весь день. С наступлением ночи Трехпалая побродила около ИТС и ушла в заповедные сопки подалеже от страшного места. То, что ей удалось прорваться сквозь ИТС — счастливая случайность.

В литературе описано множество встреч тигра с человеком и разных вариантов поведения хищника — от скрытного отступления до агрессии [4, 10]. На Хехцире он почти всегда первым обнаруживал людей и незаметно скрывался, о чем, как правило, узнавали по следам. Характерен следующий случай. В пасмурный день 27 декабря 1999 г. мы с А.М.Долгих тропили «в пяту» тигра «А», падал неболь-

шой снежок. В 100—150 м от левого берега р.Цыпа наткнулись на свежий след тигрицы Трехпалой. Выяснилось, что она двигалась по следу самца нам навстречу и, обнаружив нас, развернулась и незаметно, спокойным шагом, отступила своим следом. Но однажды, это было 1 октября 2000 г., Трехпалая, выйдя позади госинспектора заповедника А.Б.Наземных, не скрылась, а стала реветь, и он несколько раз выстрелил в воздух из карабина, прежде чем она ушла. Такое поведение объяснимо — поблизости находились три шестимесечных тигренка.

Тигрица была чрезвычайно осторожной даже тогда, когда по ночам она стала охотиться на собак на окраинах населенных пунктов. Благодаря осторожности Трехпалой и из-за ее плохих зубов некоторым собакам, подвергшимся нападению в 2005—2007 гг., удалось спастись. Услышав непонятные звуки во дворе, ничего не подозревающий хозяин открывал дверь дома и тут же захлопывал ее, увидев тигра, пытавшегося задавить собаку. Тигрица сразу бросила ее и убежала в лес.

Наши наблюдения на Хехцире подтверждают, что тигр все-таки избегает встреч с человеком, не проявляет агрессии и не нападает, если его не провоцировать.

Поразительно, что все описанные события произошли не где-нибудь в глухих уголках Сихотэ-Алиня, а на Хехцире. Этот миниатюрный оплот дикой жизни, заключенный в кольцо освоенной человеком местности, находится «под боком» у Хабаровска — второго по численности населения города на Дальнем Востоке России. Для нас вполне естественно днем идти по следу тигра в таежных дебрях Хехцира, а вечером быть в центре Хабаровска.

Нет ничего необычного, что главным персонажем заметки оказалась тигрица Трехпалая, потому что именно за ней наблюдения велись дольше всего — 15 лет. За эти годы я настолько привык к присутствию тигров, что без них хехцирский лес до сих пор кажется пустым. Поставится ли будущим исследователям видеть на таежных тропах Хехцира следы этого легендарного хищника? ■

Литература

1. Юдаков А.Г., Николаев И.Г. Экология амурского тигра. М., 1987.
2. Матюшкин Е.Н. Приемы охоты и поведение у добычи амурского тигра // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1991. Т.96. Вып.1. С.10—27.
3. Капланов Л.Г. Тигр в Сихотэ-Алине // Тигр. Изюбрь. Лось. 1948. Вып.14. № 29. С.18—49.
4. Юдин В.Г., Юдина Е.В. Тигр Дальнего Востока России. Владивосток, 2009.
5. Корбетт Дж. Наука джунглей; Моя Индия; Наука джунглей; Храмовый тигр. М., 2002.
6. Кучеренко С.П. Регулировать численность хищников // Охота и охотн. хозяйство. 1977. №10. С.16—19.
7. Пикунов Д.Г. Размеры хищничества амурских тигров // Редкие и исчезающие животные суши Дальнего Востока СССР. Владивосток, 1981. С.71—75.
8. Матюшкин Е.Н. Тигр и изюбрь на приморских склонах Среднего Сихотэ-Алиня // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1992. Т.97. Вып.1. С.3—20.
9. Матюшкин Е.Н. Крупные хищники и падальщики Среднего Сихотэ-Алиня // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 1974. Т.79. Вып.1. С.5—21.
10. Храмцов В.С. О поведении тигра при встрече с человеком // Экология. 1995. №3. С.252—254.

Жизнь, отданная науке

К 120-летию со дня рождения А.С.Серебровского

М.Н.Романов,

кандидат биологических наук

Университет штата Индиана (Терре-Хот, США)

Т.Б.Авруцкая

Мемориальный музей-кабинет академика Н.И.Вавилова

Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН

И.Г.Моисеева,

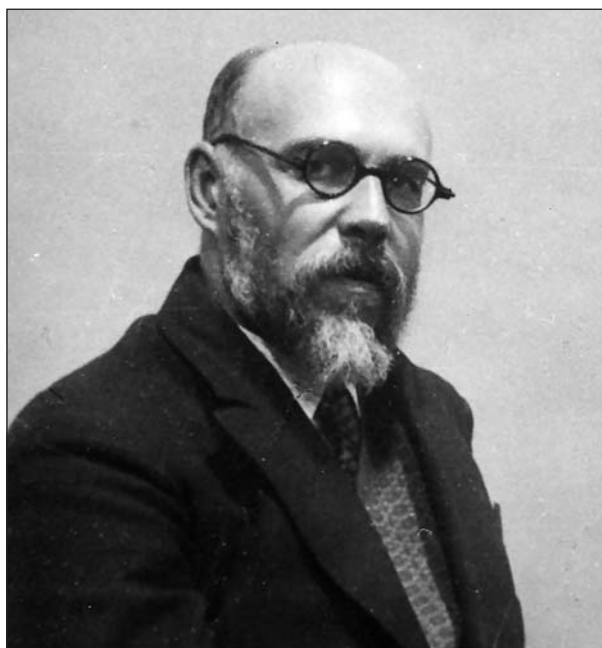
кандидат биологических наук

Институт общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН

Москва

В феврале этого года исполняется 120 лет со дня рождения члена-корреспондента АН СССР (1933), академика ВАСХНИЛ (1935), замечательного ученого-генетика Александра Сергеевича Серебровского, имя которого по праву занимает ведущее место в истории отечественной и мировой науки. Его жизненный путь и научная деятельность подробно освещены в энциклопедиях — от Большой Советской до самой современной глобальной виртуальной Википедии.

К сожалению, об открытиях, сделанных Серебровским, и о его передовых идеях в области генетики в западной науке или уже забыли, или вовсе не знают. В зарубежной специальной литературе о Серебровском если теперь и упоминают, то чаще всего лишь при освещении историографии и социологии советской науки в сталинский период. В отечественной литературе о Серебровском и его научных трудах написано очень много. Несмотря на обилие таких материалов, мы хотим еще раз отдать дань уважения великому таланту Серебровского, а также рассказать читателям о его работах, связанных с генетикой домашней курицы, которые не так часто попадают на страницы научных журналов.



Александр Сергеевич Серебровский.
18.02.1892 г. — 26.06.1948 г.

Даты жизни и научного пути

Александр Сергеевич Серебровский родился 6(18) февраля 1892 г. в Курске в семье архитектора Сергея Митрофановича Серебровского, широко образованного человека, обладавшего незаурядными литературными способностями: он писал стихи

© Романов М.Н., Авруцкая Т.Б., Моисеева И.Г., 2012

и популярные брошюры. Мать Александра, Юлия Дмитриевна, запомнилась М.М.Завадовскому, бывавшему в доме Серебровских в студенческие годы, как очень приветливая и умная женщина, умевшая принять молодежь и подшутить над их увлечениями. В семье Серебровских (вместе с Сашей было пятеро детей), известной своими демократическими традициями и революционными настроениями, бы-

вали А.В.Луначарский, А.А.Богданов, И.И.Скворцов и другие видные деятели революционного движения.

Еще в детстве Саша проявлял живой интерес к окружающей природе. Наблюдения тех лет отразились в его первой статье «Фенологические наблюдения в окрестности реки Кислинки», в дальнейшем послужившей основой для занимательной книги «Биологические прогулки». За-



Студент естественного отделения физико-математического факультета Московского университета. 1909 г.

кончив в 1909 г. реальное училище в Туле, Александр поступил на естественное отделение физико-математического факультета Московского университета. На практических занятиях у Н.К.Кольцова по курсу зоологии беспозвоночных он познакомился с Михаилом Завадовским, который оставил интересные воспоминания о том времени, беспокойном, полном юношеских исканий, глубокого интереса к природе, культуре, музыке [1]. Приводим его первое впечатление о Серебровском: «Мое внимание привлек юноша в студенческой шинели, небрежно накинутой на плечи. Сатиновая рубаша была яркого цвета, на шее — пышный галстук. На смуглом лице, обрамленном черными вьющимися баками, хорошие голубые глаза, поэтически смотрящие на мир. <...> Юноша с бантом и поэтической внешностью был хорошо знаком со среднерусской природой. Я узнал, что он закончил реальное училище в Туле и зовут его Александром Сергеевичем Серебровским, или просто Шарой. Неожиданная серьезность и содержательность “обладателя галстука и баков” располагала

к нему. <...> Совместные хождения после лекций по анатомии на Волхонку [в Народный университет Шанявского. — Прим. авторов.] и обратно в Университет, беседы во время перерывов между лекциями сблизили нас с Серебровским. Я, может быть, был в то время и начитаннее, но он много лучше знал конкретную природу, владел техникой определения растений и насекомых и был хорошим натуралистом. У нас всегда был богатый запас для интересных бесед. <...> Помню, как впервые под водительством более опытного в этом деле Серебровского мы пробрались “зайцами” на галерку Большого театра в целях послушать “Золотого Рейна” любимого композитора, но были постыдно удалены неговорчивым контролером. Помню, с какими трудностями проникали мы на симфонические концерты, посвященные Вагнеру, Бетховену, Чайковскому и другим классикам симфонической музыки, и как много эмоций и размышлений давали эти вечера после увлекательных занятий в лаборатории» [1].

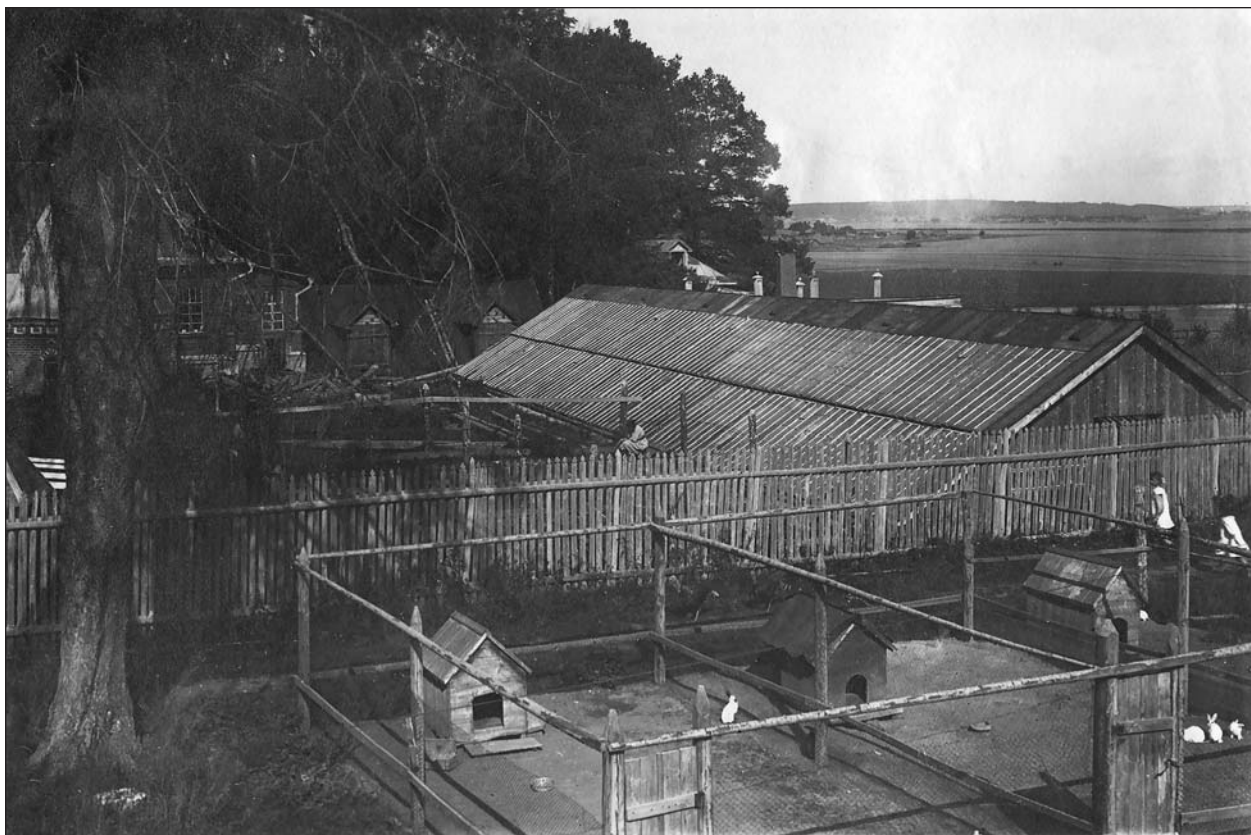
Еще один эпизод, на всю жизнь запомнившийся Завадовскому, характеризует друзей как весьма любознательных людей — качество, совершенно необходимое для биологов: «Это был период экзаменов. Оба не отрываясь сидели за книгами, зубря и ругаясь над четырьмя томами Зернова по анатомии человека. <...> В один из жарких дней Серебровский вспомнил, что сегодня в 4 часа дня должен состояться полет на аппарате тяжелее воздуха известного изобретателя Уточкина. Тома Зернова были энергично отброшены, и мы двинулись на Ходынское поле. Запаздывали. Перебираясь через товарные вагоны путей Александровской железной дороги, мы были оглушены шумом чего-то вроде легкого деревянного сарая, летящего над головой. Мы замерли, догадываясь, что над нами самолет Уточкина».

Александр Сергеевич женился еще будучи студентом. Его жена Раиса Исааковна, тоже по специальности генетик, была верной спутницей и помощницей в работе на протяжении всей его жизни [2].

После окончания в 1914 г. университета Серебровский в связи с начавшейся Первой мировой войной поступил вольноопределяющимся в армию, окончил школу прапорщиков и в течение двух лет находился в действующей армии на Кавказском фронте. Даже там он не прекращал наблюдений за природой горного края, и, возможно, именно они подтолкнули ученого вернуться на Кавказ через 10 лет — уже с экспедициями по изучению генофонда местных кур.

После демобилизации Серебровский в 1918 г. пришел в Институт экспериментальной биологии, где директор Кольцов зачислил его помощником редактора журнала «Успехи экспериментальной биологии». В широкий диапазон научных интересов Кольцова входили и проблемы отечественного животноводства и птицеводства. Еще в период Гражданской войны он писал о необходимости сохранения орловской и павловской пород кур, которые до сих пор считаются гордостью отечественной селекции.

В конце 1918 г. для экспериментальной работы по генетике домашних кур в Звенигородском уезде, в 60 км от Москвы, выделили небольшое хозяйство, впоследствии названное Аниковской генетической станцией (по имени соседней деревни) Наркомзема РСФСР. Финансирование ее обеспечивала Комиссия по исследованию естественных производительных сил России (КЕПС). В 1919 г. на средства этой комиссии в деревне Слободка на базе бывшего зоопарка А.С.Хомякова организовали вторую станцию — Тульскую, заведение которой поручили Серебровскому. Здесь появилась его первая работа по частной



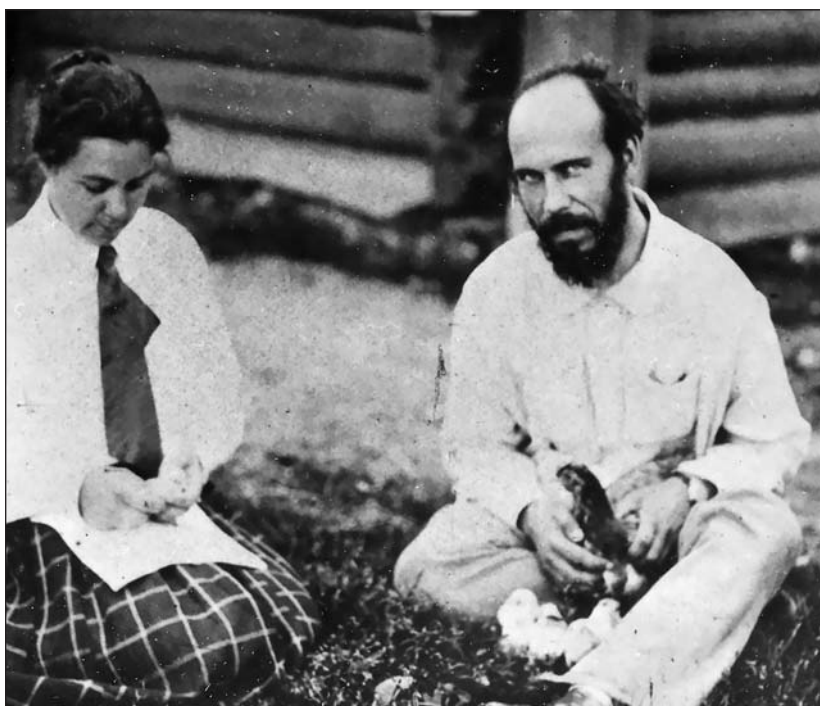
Аниковская генетическая станция.

Здесь и далее фото
из Мемориального музея Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН

генетике сельскохозяйственных животных, открывшая целое направление в отечественном животноводстве [3]. Через два года Тульскую генетическую станцию территориально перевели на Аниковскую, где и продолжалось изучение генетики кур (позднее — на Центральной генетической станции в Назареве, близ Аникова).

Г.Д.Меллер, крупный генетик, ученик Т.Г.Моргана, посетил Советский Союз по приглашению Н.И.Вавилова в 1922 г., побывал он и в Аниково, где встречался с Серебровским. Меллер привез с собой культуры с мутациями дрозофилы. Впоследствии его приезд дал возможность Серебровскому развернуть работы по изучению структуры гена [4].

Генетические особенности разных пород кур и развитие птицеводства в нашей стране, так же как и животноводства, за-



С.Е.Т.Васиной-Поповой. Аниково. 20-е годы.



На Аниковской станции со студентами. Серебровский в центре.

нимали немаловажное место в научной деятельности Серебровского: в 1921—1925 гг. — заведующий отделом птицеводства на Аниковской генетической станции; в 1923—1930 гг. — профессор кафедры птицеводства Московского зоотехнического института; в 1926—1928 гг. возглавлял отдел общей генетики и отдел генетики птиц на Центральной генетической станции в Назарьево, в 1929 г. организовал лабораторию в Биологическом институте им.К.А.Тимирязева, а в 1931 г. — сектор генетики и селекции во Всесоюзном институте животноводства ВАСХНИЛ. Результаты своих исследований популяций кур Серебровский представил на Всемирном конгрессе птицеводства в Англии (1930), где выступил с докладом о проблеме географии в Советском Союзе. Свое пребывание за рубежом Серебровский старался использовать максимально. Так, в Англии он посетил лабораторию английского генетика Ф.Кру, совершил путешествие по Шотландии и Ирландии, осмотрел крупней-

шую птицеводческую ферму на 2 млн голов с максимальной автоматизацией труда. Это дало ему возможность предложить наиболее приемлемые организационные структуры и методы развития птицеводства в условиях народного хозяйства СССР. Ранее, будучи в 1927 г. в Берлине, на V Международном генетическом конгрессе ученый успел поработать с коллекциями Берлинского музея — обследовал музейные чучела кур и диких курообразных, даже опубликовал эти данные в одном из ведущих иностранных научных журналов!

В 1931 г. по предложению Серебровского и Е.Ф.Лискуна и по разработанной ими программе Наркомземом СССР было принято постановление о широком развитии отдаленной гибридизации животных. В результате этой инициативы ученых был создан Институт сельскохозяйственной гибридизации и степной акклиматизации животных в Аскания-Нова, который впоследствии перерос в крупный научный центр. Серебровский сумел проанализировать мировые

ресурсы гибридизации и предложил их классификацию [5, 6]. Занимаясь вопросами генетики и селекции сельскохозяйственных животных, Александр Сергеевич в те времена и здесь сказал новое слово: выдвинул *теорию лидера*, а именно выявление в стаде производителей-улучшателей с обязательным использованием искусственного осеменения. Однако в этой области исследований он, как и многие другие классические генетики, не учитывал влияния окружающей среды на хозяйственно полезные признаки. Впоследствии Серебровский сам признавал ошибочность этих взглядов [7].

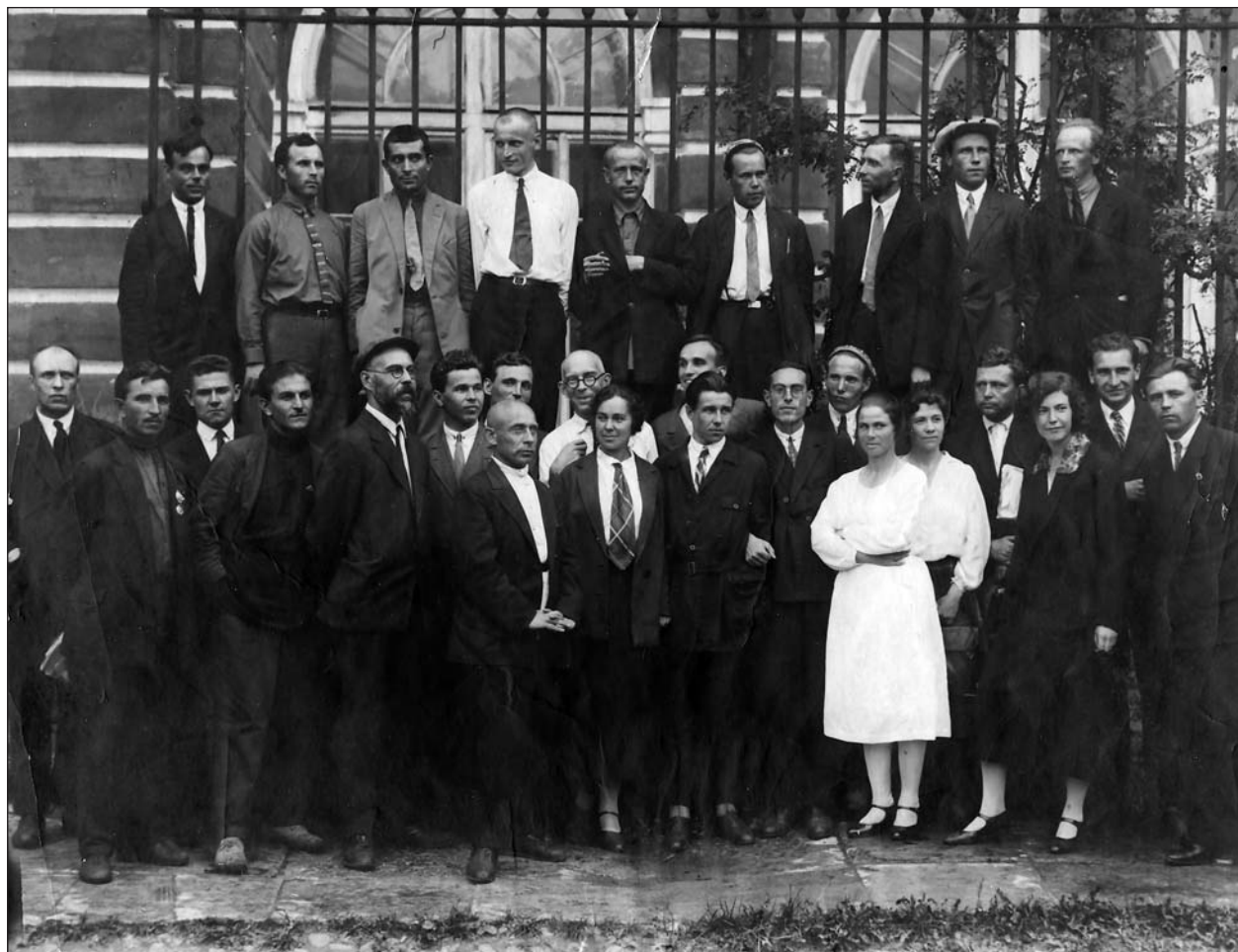
Период с 1931 по 1937 г. был наиболее активным в деятельности Серебровского как руководителя сектора генетики и селекции (СЕГИС) во Всесоюзном институте животноводства, и был связан с поиском путей развития животноводства в нашей стране.

В 1930—1948 гг. Серебровский заведовал организованной им кафедрой генетики в МГУ. До сих пор сотрудники, аспиранты и студенты кафедры генетики бережно сохраняют память о великом ученом и ее создателе [2], а в 2007 г. вышел сборник, посвященный ее первому заведующему [8].

Умер Александр Сергеевич 26 июня 1948 года в возрасте 56 лет в санатории «Болшево» Московской обл., куда попал после очередного инсульта. Похоронили его на Новодевичьем кладбище. Через месяц, 31 июля, грянула печально известная августовская сессия ВАСХНИЛ. Трудно сказать, что ожидало бы ученого, если бы не его преждевременная кончина.

Научное наследие

За что бы ни брался Серебровский на протяжении своей относительно недолгой научной жизни, он все доводил до впечатляющего результата. Блестя-



Группа зоотехников, окончивших Московский зоотехнический институт, в котором Серебровский (в нижнем ряду пятый слева) возглавлял кафедру птицеводства, на Всесоюзной конференции по планированию генетико-селекционных работ. 25 июня 1932 г. Ленинград.

щий теоретик и экспериментатор, он уделял большое внимание прикладным задачам генетики. С полным правом Серебровского, прожившего короткую, но яркую жизнь, можно назвать одним из основателей генетики популяций, а созданная им теория гена оказала огромное влияние на развитие молекулярно-генетических исследований. Концепция Серебровского о генофондах до сих пор широко применяется в популяционной генетике не только животных и растений, но и человека. А его метод определения размеров гена в условных единицах перекреста предвосхитил современные представления о единице наследственной информации — гене — как

о линейном, протяженном и дробимом отрезке на хромосоме (ее Серебровский рассматривал как гигантскую сложную молекулу)*. Ген, по Серебровскому, мутирует, теряет участки различающейся длины — что соответствует генным делециям в современном понимании; гены могут целиком удваиваться, что сегодня называют дупликацией [7, 8].

Многие исследования Серебровского не утратили своей актуальности в разных направлениях современной генетики и в наше время. Но мы подробнее остановимся на его работах

* Подробнее см.: Хесин Р.Б. Теория гена в работах А.С.Серебровского // Природа. 1972. №8. С.16—27.

по генетике домашней курицы, поскольку эта область науки нам ближе. Романов и Моисеева в своей научной деятельности часто обращаются к трудам Серебровского и используют его данные в сравнительном изучении генетического разнообразия популяций кур на новом этапе генетических знаний и технических возможностей.

Мы должны гордиться тем, что первую в мире генетическую карту курицы составили Серебровский и группа его сотрудников, определив топографию (расположение) ряда известных в то время генов на некоторых хромосомах кур. Тогда, приступив к картированию куриных генов, Серебровский еще не был знаком с классическими работа-

ми У.Бэтсона, Р.Пеннета, Т.Моргана, У.Стёртеванта, Дж.Холдейна и др. Александру Сергеевичу пришлось развивать свои исследования практически с нуля. На Западе частная генетика курицы на тот момент уже достаточно активно разрабатывалась на протяжении 20 лет. Результаты своего первого картирования трех сцепленных с полом генов курицы (т.е. генов на половой Z-хромосоме) Серебровский, не зная об успехах западных коллег, послал в журнал «American Naturalist». Статью молодого русского ученого Серебровского напечатали с примечанием: данные подтверждают находки американца Х.Гудэйла и англичанина Дж.Холдейна, о которых автор просто не был осведомлен из-за отсутствия обмена информацией [9].

Еще через пять лет Серебровский в соавторстве со своей сотрудницей Е.Т.Васиной (впоследствии — Васина-Попова) в 1927 г. публикует в английском журнале «Journal of Genetics» следующую статью о картировании сцепленных с полом генов, а в 1928 г. уже в американском журнале «Journal of Heredity» выходит работа Серебровского и его ученика С.Г.Петрова* о пер-

вом известном случае сцепления аутосомных генов. Это означало, что советские исследователи в то время прочно заняли позиции лидеров в картировании генов курицы.

В 1930 г. в советском «Журнале экспериментальной биологии» вышла основная работа по созданию первой генетической карты курицы. В этой первой в мире карте для домашнего животного авторы обобщили сведения предыдущих лет, полученные в коллективе Серебровского и за рубежом. Карта включала 12 куриных генов, расположенных на четырех группах сцепления — трех аутосомных и одной половой; еще четыре гена по результатам аналитических скрещиваний остались не сцепленными ни с одной из этих групп [10]. Этот «план хромосом» курицы составили на основе данных Центральной станции по генетике сельскохозяйственных животных по состоянию на 1 декабря 1929 г. Позднее Петров [11] и А.Н.Сунгурова [12] сделали некоторые уточнения и дополнения к хромосомной карте курицы, и в итоге она имела шесть групп сцепления и 15 генов.

Однако до недавнего времени это открытие в зарубежной научной литературе приписывали Ф.Хатту, несмотря на то что его работа была опубликована только в 1936 г. [13]. Лишь благодаря нашим усилиям по популяризации научного наследия Серебровского и его сотрудников в течение 2000-х годов удалось восстановить справедливость в вопросе приоритета генетического картирования у домашней курицы в пользу советской группы исследователей под руководством Серебровского.

Александр Сергеевич разработал понятия о геногеографии, генофонде (как совокупности всех генных вариаций в популяции), сигнальных генах, предложил графическое изображение концентрации генов в популяциях того или иного региона («роза ветров»). До сих пор большое значение имеют со-

ставленные им наследственные формулы орловской и павловской пород, а также гибридов между породами (в настоящее время мы называем их помесями). Работы Серебровского положили начало развитию частной генетики кур, которая не ограничивалась изучением только дискретных, визуально определяемых внешних признаков, но и включала физиологические параметры, яичную продуктивность, вес и размер яйца, живую массу, плотность оперения, скорость оперяемости и многие другие показатели.

Основные результаты по генетике кур вошли в сборник научных трудов «Генетика домашней курицы», который подготовил коллектив сотрудников Аниковской генетической станции [14]. Книга богато иллюстрирована работами двух художников, преподавателей Московского государственного университета А.Н.Мартынова и Н.Н.Львовой. Они превосходно сочетали свои знания по зоологии с умением хорошо рисовать и оставили нам в наследство тонко прорисованные, акварельные рисунки петухов и кур и другие иллюстрации. Оригинальные работы Львовой (28 экземпляров) находятся в фондах Мемориального музея-кабинета академика Н.И.Вавилова Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН. В музей они были переданы в дар сотрудником Института истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова Р.А.Фандо. В книге «Генетика домашней курицы» имеется 31 рисунок пород и гибридов кур. В ней приведены наследственные формулы петуха орловского алого, курицы орловской ситцевой, петуха павловского серебристого, гибридов между ними и этих пород с другими. Эти формулы — результат гибридологического анализа наследования признаков у помесей орловских и павловских особей, как между собой, так и с другими породами. К сожалению, ни в книге, ни в фондах

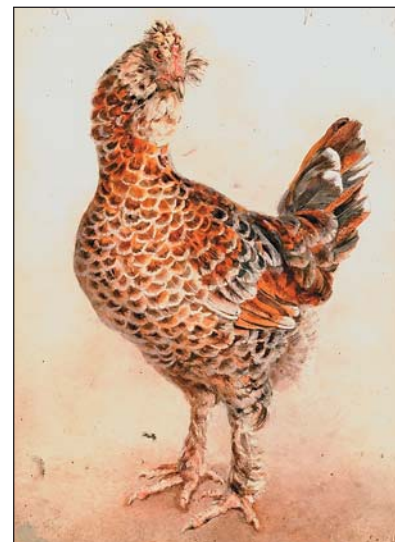
* Доктор биологических наук профессор Сергей Гаврилович Петров (1903—1999), к сожалению, почти забытый научной общественностью, в начале своей научной деятельности (1920-е годы) работал под руководством Кольцова и Серебровского, участвовал в экспедиционных обследованиях местных популяций кур под руководством Александра Сергеевича. Бывший сотрудник Института общей генетики им.Н.И.Вавилова РАН А.А.Никифоров, изучавший в Архиве РАН материалы экспедиций Серебровского, свидетельствовал, что самые точные, академически аккуратные записи были у Сергея Гавриловича. Его книга «Генетика для птицеводов» (1933) стала первым руководством по генетике кур в СССР, а докторская диссертация «Происхождение и эволюция домашних кур» (1941) по охвату материала и глубине анализа до сих пор остается лучшей работой в этой области.

музея нет цветных изображений павловской породы, удивительно красивой птицы, и по окраске оперения, и по своеобразным украшениям на голове. По определению Петрова, «курица павловской породы — шедевр красоты кур в XIX в.».

С 1926 по 1933 г. под руководством и при непосредственном участии Серебровского прошли экспедиции по 23 регионам территории СССР (РСФСР, Украинская ССР, Узбекская ССР, районы Северного Кавказа и Закавказья) для обследования местных популяций кур. Добытый в них богатейший материал (описание известных морфологических мутаций, контролируемых 17 генами в 58 местных популяциях кур) лег в основу эволюционного учения Серебровского о геногеографии [15]. Позднее такие ширококомасштабные обследования аборигенной птицы не повторялись в нашей стране, неизвестны они и за рубежом, поэтому сведения о распространении морфологических признаков у местных популяций кур имеются только в отношении российской территории и отсутствуют по другим странам.

* * *

Материалы, полученные в экспедициях под руководством Серебровского, опубликованные в журналах, в книге «Избранные труды по генетике и селекции кур» [16], а также хранящиеся в Архиве РАН, до сих пор с успехом используются нами и другими исследователями. Графическое изображение частот встречаемости аллелей, контролирующих те или иные признаки, получило дальнейшее развитие в трудах отечественных ученых под названием «полигоны частот». Частная генетика пород и гибридов, разработанная Серебровским, и сегодня представляет собой неиссякаемый источник знаний для специалистов птицеводства и любителей-птицеводов. «Художественное» насле-



Рисунки из книги «Генетика домашней курицы». Вверху: слева — петух орловский алый; справа — курица орловская ситцевая. Внизу: слева — петух F1 от скрещивания орловского петуха с курицей плимутрок; справа — курица F2 (павловский петух и орловская курица).



Курица и петух павловские серебристые. Альбом хозяйственных пород домашней птицы (СПб., 1905).

дие в виде цветных рисунков, подготовленных для издания книги «Генетика домашней курицы», служит уникальным материалом для изучения фенотипа пород и помесей, полученных почти 100 лет назад. Гибриды в работе Серебровского имеют также самостоятельное значение в плане поисков путей создания новых форм и тем самым увеличения генетических ресурсов куроводства, служа потенциальным генофондом будущих пород.

Невозможно отделить Серебровского-ученого от Серебровского-человека, поскольку эти две ипостаси обогащают и дополняют друг друга. В этом отношении мы уже приводили выдержки из книги Завадовского [1], относящиеся к периоду их учебы в университете, но и

в зрелом возрасте Александр Сергеевич оставался пылким влюбленным в жизнь со всеми ее проявлениями. Вот что пишет о своем учителе Н.И.Шапиро: «Работая с Александром Сергеевичем в течение многих лет и встречаясь с ним не только в лабораторной обстановке, но и в часы досуга, вспоминаю его как исключительно живого, веселого и остроумного человека. Большой знаток поэзии и сам писавший стихи, любитель хороших песен и сам их певший, большой любитель танцев и сам хорошо танцевавший, он был человеком, о котором с полным правом можно сказать, что ничто человеческое ему не было чуждо». И далее еще один немаловажный штрих к портрету Серебровского, отмеченный Шапиро: «Когда я за-

думываюсь над тем, что нас, тогда еще молодых, начинающих исследователей, влекло к Александру Сергеевичу, то должен сказать, что причиной этому были не только широта его взглядов и высокая принципиальность, не только способность проникать в суть анализируемых им явлений, но и простота в обращении с людьми, отношение к молодежи как старшего товарища, большая скромность».

Александр Сергеевич Серебровский — не только выдающийся ученый в области классической и прикладной генетики, но и прекрасный пример самоотверженного и бескорыстного служения Науке для всех последующих поколений биологов и генетиков и для ученых других специальностей. ■

Литература

1. Завадовский М.М. Страницы жизни. М., 1991.
2. Шапиро Н.И. Асланян М.М. А.С.Серебровский — основатель кафедры генетики Московского университета // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 1980. №4. С.63—68.
3. Серебровский А.С. Изучение наследственности сельскохозяйственных животных // Трудовое хозяйство: Орган Тул. губземотдела. 1919. №5. С.19—20; №8/9. С.8—10.
4. Дубинин Н.П. Экспериментальные исследования А.С.Серебровского по индуцированному мутагенезу // Генетика. 1992. №1. С.38—51.
5. Серебровский А.С. Гибридизация животных как наука // Тр. Ин-та по гибридизации и акклиматизации с.-х. животных в Аскании-Нова. 1933. Т.1. С.20—32.
6. Серебровский А.С. Гибридизация животных. М., 1935.
7. Коновалов В.С., Заблудовский Е.Е. А.С.Серебровский (1892—1948). Судьба и жизнь в науке // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Серія: біологія. 2007. Вип.5 (№768). С.52—62.
8. Александр Сергеевич Серебровский — основатель кафедры генетики МГУ. Биография, научное наследие, избранное / Под ред. С.В.Шестакова. Сост. З.Г.Кокаева. М., 2007.
9. Serebrovsky A.S. Crossing over involving three sex-linked genes in chickens // Amer. Nat. 1922. V.56. P.571—572.
10. Серебровский А.С., Петров С.Г. К составлению плана хромосом домашней курицы // Ж. эксперим. биол. 1930. Т.6. Вып.3. С.157—180.
11. Петров С.Г. План хромосом домашней курицы // Ж. экспер. биол. 1931. Т.7. Вып.1. С.71—76.
12. Сунгуров А.Н. О плане хромосом курицы // Биол. ж. 1933. Т.2. Вып.2—3. С.196—201.
13. Hutt F.B. Genetics of the fowl VI. A tentative chromosome map // Neue Forschungen in Tierzucht und Abstammungslehre (Duerst Festschrift). 1936. P.105—112.
14. Генетика домашней курицы. Тр. Аников. генет. станции Наркомзема РСФСР / Под ред. Н.К.Кольцова. М., 1926.
15. Серебровский А.С. Геногеография и генофонд сельскохозяйственных животных СССР // Научное слово. 1928. №9. С.3—23.
16. Серебровский А.С. Избранные труды по генетике и селекции кур / Под ред. Д.К.Беляева. М., 1976.

Сага о БАКе

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга
Москва

Большой адронный коллайдер (БАК) — самый дорогой научный прибор в истории человечества. Некоторые считают, что это хорошо, а другие — как раз наоборот. Ясно одно — этот коллайдер оправдывает свое название: не только внутри, но и вокруг него постоянно происходят столкновения. Внутри сталкиваются элементарные частицы, а вокруг — мнения. Прибор еще не вошел в рабочий режим, а о нем уже написано и сказано больше, чем обо всех других научных приборах, вместе взятых. Мнений много, и они противоречивы. Именно поэтому у специалистов по физике частиц нет четкого понимания, что такое БАК, зачем он нужен, опасен ли он для нашей планеты и не зря ли потрачены 8 млрд долл.

Попытки журналистов ответить на эти вопросы чаще всего выглядят неубедительно. А физики-профессионалы просто не видят смысла в подобных вопросах. Спросите, к примеру, портного, зачем ему швейная машинка, или таксиста — зачем ему автомобиль. После недоуменного молчания ответ, вероятно, будет такой: «А как же без этого работать?» Для физика БАК — рабочий инструмент; разумеется, он нужен! Но для обывателя — это грандиозное, загадочное и опасное сооружение: не зря же его спрятали под землю!

И в самом деле: сразу после первых пробных пусков, осенью 2008 г., БАК «взорвался» — размогился один из сверхпроводящих магнитов. Обошлось без жертв, но публика вздрогнула.

Возникла острая необходимость показать людям БАК «с человеческим лицом». За решение этой задачи взялся преподаватель Филадельфийского университета, физик-теоретик Пол Хэлперн, опытный автор, опубликовавший за последние 20 лет 12 научно-популярных книг на животрепещущие темы физики и астрономии. В его книге «Коллайдер» (Halpern P. Collider: The Search for the World's Smallest Particles. N.Y., 2009) много жизнеописаний ученых прошлого и настоящего. И показаны они не упертыми подростками, непременно желающими разломать игрушку — атом, ядро, протон... — и посмотреть, что там у них внутри. Нет, физики — это добрые и сердечные люди, не способные причинить зла и радеющие о благе человечества. Со страниц книги мы узнаем об их школьных увлечениях, домашних проблемах и интимных делах. «В разгар своих исследований радиоактивности Резерфорд решил взять передышку, чтобы уладить дела сердечные. Он ненадолго уехал в Новую Зеландию, где женился на своей школьной возлюбленной Мэри Ньютон. Однако в Англию они не вернулись. У женатого мужчины должен быть хороший доход, заключил Резерфорд и согласился на место профессора в университете Макгилла в Монреале, Канада...» Такой, на взгляд автора книги, положительный портрет ученого, должен убедить обывателя, что и за физиков можно выходить замуж, что они понимают ценность семьи и карьеры, что в целом они хорошие ребята и что БАК — очень нужное и безопасное сооружение.



П.Хэлперн. КОЛЛАЙДЕР. Пер. с англ. и ред. В.Строкова.

М.: Эксмо, 2010. 272 с. (Из сер. «Открытия, которые потрясли мир».)

Мне кажется, автор справился с поставленной задачей. Он приводит множество малоизвестных деталей из жизни ученых и знакомит нас с теми, кому еще только предстоит стать великими. Но все же биографии физиков — это всего лишь гарнир к главному блюду, к истории ускорителей частиц. Прочитав эту книгу, даже далекий от науки читатель, я уверен, поймет, зачем нужны гигантские орудия, стреляющие невидимыми элементарными частицами, и почему нужно углубляться в сверхмалое, чтобы понять устройство сверхбольшого — всей нашей Вселенной. Автор убедительно рассказывает о тех деталях, мимо которых проходят журналисты. И при этом он не уступает профессиональным писателям в искусстве неожиданных поворотов и ярких аналогий. Помоему, в аналогиях ему нет равных. Многомерное пространство он сравнивает с многоэтажной подземной парковкой, а физиков-ядерщиков — с акушерами, напряженно ждущими и до конца не уверенными в том, что же родится в очередном эксперименте.

Некоторые аналогии вызовут улыбку, но в сочности языка и автору, и переводчику не откажешь. Очевидно, в этом немалую роль сыграли учителя и коллеги — многих из них автор благодарит не в конце, как это принято, а в начале книги. Он рассказывает нам историю о том, как великий физик Дж.Дж.Томсон, учитель Э.Резерфорда, каждый день после обеда приглашал к себе молодых сотрудников на чай, а позже вспоминал: «Мы беседовали обо всем на свете, но не о физике. Я не поощрял разговоры о физике, поскольку мы встречались, чтобы отдохнуть... и поскольку научиться говорить на своем птичьем языке очень легко, но отвыкнуть от этого непросто. А если от этого не отвыкнуть, то способность поддерживать разговор на общие темы атрофируется за ненадобностью».

Книга написана уж точно не сухим языком строгого ученого. Напротив, это живой и увлекательный рассказ о любимом деле. Пусть не все затронутые темы раскрыты до конца, а некоторые эпизоды описаны неоднократно, но в целом это дает возможность читателю обнаружить что-то новое и интересное в сложной области живой современной науки, не погружаясь во второстепенные технические детали. В конце концов, это легкое чтение (как для физиков, так и для лириков). Например, лирики узнают из книги, что пространство-время похоже на мягкий матрас: чем тяжелее севший на него человек, тем быстрее скатываются к нему разбросанные по матрасу вещи. А физики обнаружат, что эволюция Вселенной напоминает историю женевского собора Святого Петра: оба они развивались от исходной гармонии и симметрии к нынешнему разнобою и хаосу. Как видим, автор книги легко оперирует аналогиями из разных областей жизни, что является непременным условием современного научно-популярного произведения «легкой весовой категории». И я не считаю это недостатком книги. Издательство «Эксмо» избрало именно такой уровень для книг из серии «Открытия, которые потрясли мир»: читатель со школьным образованием может взять из этой серии книгу на любую тему и прочитать ее без напряжения, освежая свои школьные знания и приобретая новые. Разумеется, некоторых будет раздражать представление автора об их интеллекте (« 10^{34} — это 1 с 34 нулями», «тор — это бублик», «фотоны — частицы света», а «спектральные линии — это узкие цветные полосы»), но, перешагнув через это, они также узнают немало нового и интересного.

Например, в книге подробно рассказано о грандиозном неудавшемся проекте американского Сверхпроводящего су-

перколлайдера (ССК), который должен был превзойти по размаху и стоимости БАК, но его строительство остановили на полпути по финансовым соображениям. Это очень интересная история, дающая пищу для размышлений тем, кто затевает большие научные проекты в демократических странах. Любопытно, что проект ССК критиковали не только люди, далекие от науки, но даже некоторые физики. Например, один из первооткрывателей реликтового излучения, нобелевский лауреат Арно Пензиас считал расходы на ССК неоправданно высокими. «Те, кто агитирует за ССК, говорят, что он поднимет популярность науки среди населения и привлечет в эту область много молодежи, — делился Пензиас своим мнением. — Но если вдруг у нас не хватит денег, чтобы научить эту самую молодежь? Просто потому, что мы их потратили не на образование, а на вот такие агрегаты. Что тогда? Нация должна определиться со своими научными приоритетами, мы должны спросить сами себя, что нам по-настоящему необходимо».

В начале 1990-х стоимость ССК оценивалась в 10 млрд долл., и 2 млрд из них уже было вложено. Тысячи специалистов оставили свои должности и перешли в проект ССК, перебрались в техасские прерии, где сооружалось гигантское кольцо ускорителя. Но физики других специальностей роптали все сильнее, доказывая, что «класть все яйца в одну корзину» недальновидно. Они приводили убедительные примеры того, как малыми средствами делались великие открытия, такие как полупроводники, наноматериалы или высокотемпературная сверхпроводимость. Поскольку открытия в области материалов связаны с жизнью людей теснее, чем физика высоких энергий, многие специалисты в этих областях были уверены, что финансирование должно

идти по крайней мере в равных пропорциях. «Мы наблюдаем очевидный перекося, — отмечал физик Нейл Эшкрофт из Корнелльского университета. — Физика твердого тела составляет основу высоких технологий, компьютерных чипов и всех электронных устройств, на которых держится современное производство. Но когда дело доходит до крупных проектов, она оказывается на задворках». В результате широкого обсуждения работы по ССК были сначала заморожены, а затем окончательно остановлены. Уже потраченные деньги были в прямом смысле закопаны в землю в виде огромного туннеля на 100-метровой глубине в штате Техас. Трудно сказать, было ли это решение мудрым или ошибочным. Но важно помнить, что и такие решения можно принимать, если в этом появляется необходимость. В России тоже затевались сомнительные мегапроекты типа поворота сибирских рек и создания космоплана «Буран». В некоторых случаях здравый смысл побеждал и работы прекращались, в других — нет. Известно, к чему это приводило.

В прошлом название научного прибора становилось общеизвестным, а порою и популярным только после того, как с его помощью удавалось сделать важное открытие: вспомним телескоп, микроскоп, синхрофазотрон... Но современные мегаприборы попадают на первые полосы газет еще до вступления в строй лишь по причине своего размера и дороговизны. Это делает работу ученых нервной, поскольку от них ждут невероятных открытий «еще вчера».

А в период строительства БАКа родился еще более неприятный «угол общественного зрения»: впервые заговорили об опасности научного прибора и проводимых на нем экспериментов. Чисто теоретическая возможность создания в недрах коллайдера миниатюрных черных дыр усилиями журналистов и телевидения превратилась в глобальную опасность, угрожающую нашей планете, а возможно — и Вселенной! Кто не помнит компьютерных анимаций, демонстрирующих, как от берегов Женевского озера расширяется темное пятно, поглощающее сначала Швейцарию с Францией, а затем и всю Землю. В конце концов, трудно упрекнуть журналистов в желании создать и продать сенсацию, используя то небольшое из статей физиков, что они — журналисты — в состоянии понять. Если общество содержит ученых и позволяет им удовлетворять свое любопытство, то обязанность самих ученых (а не журналистов!) — рассказывать обществу о своей работе на общепонятном языке.

Полу Хэлперну это удалось. Перед глазами читателей при слове «БАК» вместо миллиардов долларов, закопанных под землю в мирном уголке Европы, и опасности быть поглощенным ужасной черной дырой встанут счастливые лица физиков, разгадавших очередную тайну природы. Читатель поймет, что настоящие проблемы экспериментальной физики — это не зловещие черные дыры, а гигантская стоимость хороших приборов: все хорошее стоит дорого, а наилучшее — еще дороже. Увидит, что в результате поисков неуло-

вимого «хиггса», даже если он не будет найден, физики обязательно создадут что-нибудь стоящее вроде Интернета. Оценит, что среди ученых есть люди, готовые потратить свою единственную жизнь не на возведение дома-крепости или покупку престижного авто, а на то, чтобы человечество стало еще чуть-чуть умнее.

Это — о содержании книги. А каково ее материальное воплощение? Иллюстрации скудные: несколько черно-белых фотографий, мало о чем дающих представление. Но перевод текста хороший: в научном смысле — безукоризненный, в литературном — ровный и легкий. Тот факт, что местами легкость стиля оборачивается некоторой потерей ясности, — это неизбежная плата за «популярность». Отредактирована книга неплохо, хотя и не идеально (а кто видел идеальные книги?). В целом, русский вариант «Коллайдера» — это удача и автора перевода (В.Н.Строкова), и московского издательства «Эксмо». Впрочем, мы уже привыкли к тому, что если на обложке есть логотип фонда «Династия», то можно не сомневаться — книга не разочарует. Прочитав ее, вы не поймете всех тонкостей физики элементарных частиц и космологии многомерной Вселенной, но обязательно почувствуете тот азарт и вдохновение, с которым физики вгрызаются в недра материи, постигают темную сторону вещества и энергии, непременно желая узнать, на каком фундаменте построено здание нашей Вселенной и как именно выглядело самое первое мгновение ее существования. ■

История науки

Е.И.Орлов. МОЯ ЖИЗНЬ. Сост. А.В.Бялко. М.: Книгарь, 2011. 208 с.

Академик Егор Иванович Орлов (1865—1944) принадлежит к плеяде крупнейших русских химиков-универсалов начала XX в. Выходец из крестьян Нижегородской губернии, он учился в семинарии, подрабатывал репетиторством, занимался статистикой в земстве, затем экстерном поступил в Московский университет, который окончил в 1894 г.

До 1910 г. Егор Иванович преподавал в Костромском химико-техническом училище, затем в Харьковском технологическом институте. В 1911—1932 гг. был директором Украинского научно-исследовательского института силикатной промышленности, а позднее — профессором Московского химико-технологического института им.Д.И.Менделеева.

Орлов занимался химической кинетикой и технологией производства неорганических продуктов. Он развил (1907—1910) представления о механизме усложненных реакций, не поддающихся описанию посредством кинетических уравнений первого, второго и третьего порядков. Осуществил (1908) второй в истории химии (после получения метана П.Сабатье в 1902 г.) каталитический синтез на основе водорода и оксида углерода, в результате чего был получен этилен.

Общей чертой его работ стало сочетание фундаментальных исследований с созданием новых технологий, которые доводились им (и его учениками) до промышленного производства. По проекту Орлова был построен (1909) первый в России формалиновый завод. Он автор ряда монографий по технологии производства соды, силикатов, минеральных пигментов. Его книга «Формальдегид,

его добывание, свойства и применение», изданная в Костроме (1908), положила начало работам по получению промышленного синтеза первых пластмасс, фенолформальдегидных смол.

В книге собраны воспоминания ученого о времени и о себе. Егор Иванович оставил записи: как комментарий к прочитанному, частью в виде дневниковых заметок, иногда в автобиографической форме. После его смерти рукописи бережно хранились потомками.

Физика. Химия

Г.М.Хажинский. МОДЕЛИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ МЕТАЛЛОВ. М.: Научный мир, 2011. 231 с.

Книга предназначена для специалистов по проектированию и техническому диагностированию энергетического и нефтехимического оборудования, а также для исследователей, занимающихся вопросами высокотемпературного деформирования и разрушения материалов (может быть использована при разработке компьютерных программ для расчета на прочность современных конструкций).

В ней описаны расчетные модели, показывающие особенности искажения и изменения стали и сплавов при переменных нагрузках и повышенных температурах. Деформирование конструкционных материалов рассмотрено на основе теории пластического течения и ползучести с анизотропным упрочнением, а также теории упругого нелинейно-вязкого тела с независимыми (параллельными) механизмами деформирования.

Автор анализирует специфику разрушения металла при однократном и циклическом нагружении, а также в условиях ползучести, показывает критерии сопротивления малоцикловой усталости и длительной

циклической прочности, дает подробное экспериментальное обоснование предлагаемых расчетных моделей. Он обобщает модели на случай сложного напряженного состояния и предлагает методику их применения в расчетах конструкций.

Геология. Геофизика

В.В.Харахинов, С.И.Шленкин. НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ ДОКЕМБРИЙСКИХ ТОЛЩ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ. М.: Научный мир, 2011. 420 с.

В этой книге впервые на основе применения современных (в первую очередь сейсмических и скважинных) технологий детально освещены вопросы строения и формирования трещинных (в том числе трещинно-кавернозных) резервуаров нефти и газа, составленных относительно консолидированными древнейшими верхнепротерозойскими карбонатными породами. Обобщен огромный объем существующей информации по строению и нефтегазоносности рифейских и вендских отложений Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазоаккумуляции, занимающего значительную по размерам территорию Сибирской платформы и представляющего собой уникальный объект с особыми условиями нефтегенеза и нефтегазоаккумуляции.

На основе геохимического изучения керн многочисленных скважин и геофизических исследований структуры литосферы региона приводятся данные об эндогенных факторах формирования верхнепротерозойских залежей нефти и газа. Авторы дают рекомендации по дальнейшему освоению нефтегазового потенциала региона, имеющего все предпосылки для создания в его пределах крупного центра нефтегазодобычи Восточной Сибири.

Путь в геологии

В.А.Баскина,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Седьмого февраля 2012 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Марины Алексеевны Фаворской. Доктор геолого-минералогических наук, профессор, она более 50 лет (1941—1996) работала в Институте геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ) РАН.

Многие годы Марина Алексеевна была членом редколлегии журналов «Природа», «Советская геология», «Global Tectonics and Metallogeny»; членом Тихоокеанского и Петрографического комитетов СССР; председателем геологической группы в Союзе обществ дружбы с зарубежными странами.

В 1943 г. Фаворская начала работать на Дальнем Востоке, став пионером изучения магматизма Приморья. Установила последовательность магматических процессов в мезозое и кайнозое, эволюцию составов магматических образований, связь этих явлений с тектоникой. Обнаружила поперечную зональность вулканического пояса, выделила крупные блоки автономного развития. Выявленные ею закономерности, оставаясь справедливыми поныне, на многие годы стали базой для последующих исследователей Дальнего Востока.

Последние 20 лет работы она посвятила проблемам глобальной металлогении. В 1970 г. организовала в ИГЕМ Лабораторию тектоно-магматических методов прогноза месторождений. Именно Фаворская выдвинула и сформулировала в 1966—1968 гг. идею о специфике крупных и уникальных по запасам

минеральных месторождений, об отличиях их тектонической позиции и истории формирования от мелких месторождений. Ей принадлежит высказанный впервые тезис, что крупные и суперкрупные месторождения, независимо от их возраста и состава полезного ископаемого, обладают многими общими для всех них чертами, анализ которых позволит подойти и к вопросу о их генезисе.

Это был важный шаг, прорыв в металлогении. Об этом можно судить хотя бы по тому, что многие позднейшие исследования российских и зарубежных геологов эти предположения подтвердили и что позже, в 90-х годах, те же идеи специфики формирования крупных и уникальных месторождений, особого подхода к их прогнозу, стали популярными, востребованными и самыми оплачиваемыми в рудной тематике. Однако ранее, в то время, когда эти представления были высказаны Фаворской, они не были активно поддержаны в геологическом сообществе и чаще всего попросту ревниво замалчивались.

Я полагаю, что в силу человеческих слабостей коллеги не желали признать, что женщина, не облеченная академическими титулами и даже «не специалист» в области месторождений, позволяет себе высказывать новые идеи, касающиеся важнейших проблем теоретической металлогении, тектоники и прогноза. Как и бывает в таких случаях, через какое-то время период умолчания сменился периодом утверждения, что ничего нового в высказанных гипотезах нет, что все это было давно известно.



Марина Алексеевна Фаворская.

В 90-х годах, когда представления о специфике генезиса и тектонической позиции крупных и уникальных месторождений оказались ведущей парадигмой исследований минерального сырья, имя Марины Алексеевны в этих работах уже не упоминалось.

Не упоминалось теми руководителями проектов, кто был знаком с сутью, методами, публикациями работ Фаворской и ее коллектива и заведомо знал о ее пионерской роли в постановке проблемы. Не упоминалось и в тех случаях, когда выводы новых исследований совпадали с выводами, предложенными ранее в работах Марины Алексеевны и ее сотрудников.

Марина Алексеевна Фаворская родилась 7 февраля 1912 г. в Санкт-Петербурге. Ее отец, академик Алексей Евграфович Фаворский, был создателем российской школы химиков-органиков [1].

Марина Алексеевна с детства мечтала о романтических путешествиях и хотела учиться в Горном институте. Этим планам воспротивилась семья. В 1927 г., в возрасте 15 лет, она поступила на химический факультет Ленинградского университета. Окончив его в 1931 г. как инженер-исследователь-химик по специальности «эфирные масла и жиры», Марина Алексеевна работала по распределению в промышленных химических организациях. Осенью 1933 г. она поступила экстерном на геолого-почвенно-географический факультет университета и в 1937 г. окончила его с отличием по специальности «геология».

С переводом Академии наук в Москву туда переехал из Ленинграда А.Е.Фаворский. Марина Алексеевна последовала за отцом. Здесь она прожила всю жизнь.

В 1938 г. Фаворская стала аспиранткой Института геологических наук АН СССР (от которого позже отделился ИГЕМ). С началом войны она работала по военной тематике на Урале. В марте 1943 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Неоинтрузии Верхней Сванетии». С 1943 г. начала работать в Восточно-Сибирской экспедиции в должности старшего научного сотрудника Геологического института. Так сбылась ее детская мечта. Марина Алексеевна рассказывала: «Еще на химфаке я увлекалась книгами В.К.Арсеньева. Однажды напялила полушубок, взяла у брата одностволку и так сфотографировалась. Называлась фотография “В делях Уссурийского края”. Конечно, я и не предполагала, что попаду в самые настоящие деляи». В Сихотэ-Алине и в Хабаровском крае она работала многие годы. Часто без дорог, без транспорта. Тогда еще без учеников и сотрудников, с одним-двумя студентами, иногда с рабочими-орочами, она каждое лето шла маршрутами вдоль необжитых берегов Японского

моря и Татарского пролива или пересекала таежные хребты.

В одном из шуточных альбомов геоморфолог Н.А.Лебедева посвятила ей стихи:

*У скал, где волн бушует танец,
Где моря даль аквамариinna
Ползет Фаворская Марина,
Петрографический спартанец.*

Марина Алексеевна выросла в среде петербургской интеллигенции. Ее двоюродный брат — художник Владимир Андреевич Фаворский. Семьи Фаворских и Н.А.Римского-Корсакова находятся в родстве. В юности Фаворская слышала выступления А.Ахматовой, а позже познакомилась с ней. Ей посчастливилось видеть на сцене М.Чехова. Она знала и любила поэзию. Сама писала стихи и оставила книжечку своей лирики. Покинув работу, смогла полностью отдаться писательству. Она написала две книжки очерков и воспоминаний, и благодаря помощи ее молодого коллеги Сергея Жданова книги были изданы [2].

В образе лирического героя этих книг отражены лучшие черты личности автора: ощущение счастья наедине с нетронутой природой, тревога за ее будущее, увлеченность своим делом, радость при встрече с добрыми и талантливыми людьми. Это — автопортрет, такой она видела себя, такой останется в памяти читателей. Тот, кому еще посчастливится прочесть ее книги «О том, что было при мне» и «След на пустынном берегу», найдет в них тонкие описания природы и почувствует радости и трудности геологической жизни. В одном из рассказов она писала: «И снова тепло, сушь, неповторимое очарование природы и неповторимая радость тесного общения с ней. <...> Все мы, люди одной профессии, бываем иногда так счастливы, как теперь я, и старший передает младшему любовь к этой радостной красоте, и в этом наше общее право на счастье».

Ее отношение к работе, к людям передавалось друзьям и кол-

легам. В течение жизни Фаворская вела полевые исследования в Сванетии, Таджикистане, Армении, Приморье, на Камчатке — и везде вокруг нее объединялись молодые ученые, единомышленники-энтузиасты.

В 1950-х годах Фаворская взяла на себя руководство несколькими аспирантами из Армении, и с этого начались долготелная близость, наша влюбленность в Армению, совместные геологические поездки, полные смеха и радости. С Мариной Алексеевной мы бывали и в мастерской у М.Сарьяна, где он сам водил нас и рассказывал о своих работах.

В Москве близкие ей семьи художника Фаворского и геолога М.М.Веселовской дружили с Борисом Шергиным. Благодаря Марине Алексеевне мы смогли узнать и полюбить этого замечательного человека и писателя, его творчество.

Надежной поддержкой в жизни Фаворской оказалась ее помощница Зинаида Дмитриевна Здорова, рязанская колхозница, прожившая рядом с Мариной Алексеевной более 40 лет. Зина обладала чувством юмора и прекрасным, образным русским языком. Она взяла на себя весь ненавистный и неподвластный быт. Ее стараниями и кулинарными шедеврами украшались частые застолья. Отпуска они часто проводили в деревне и бродили по лесам, в чем Зина тоже была незаменимым спутником. На Зинаиду Дмитриевну легла основная тяжесть в нелегкой задаче вырастить усыновленного Фаворской малыша — при том, что мать летом уезжала в поле, а остальное время была погружена в науку.

В 1954 г. Фаворская стала доктором геолого-минералогических наук, защитив диссертацию на тему «Верхнемеловой—кайнозойский магматизм Сихотэ-Алиня», с 1956 по 1965 г. возглавляла Восточно-Сибирскую экспедицию АН, тогда же начал складываться собственный коллектив сотрудников в ИГЕМ. По-

явились группы аспирантов в Армении, на Камчатке, в Средней Азии. И в новых регионах Марина Алексеевна не замыкалась в собственно петрографических вопросах, старалась увязать магматические явления с тектоникой, геофизикой, рудообразованием, использовать новые методы исследования. Формировались связи с зарубежными геологами — Фаворская ездила на геологические конгрессы и симпозиумы в Мексику, в Чехословакию, во Францию, в Японию.

Широкий региональный фронт работ и комплексные исследования магматизма и геохимии, геологии, морфоструктур стали тем фундаментом, на котором зародилась и складывалась новая металлогеническая концепция Фаворской. Она пришла к выводу, что крупным и уникальным минеральным месторождениям свойственна особая тектоническая позиция и своя история становления (в отличие от мелких концентраций того же полезного ископаемого) и что именно на такие месторождения следует обратить внимание. В контроле крупных месторождений главная роль отводилась «рудоконцентрирующим» структурам. Впервые эти представления прозвучали в докладе М.А.Фаворской и И.К.Волчанской в 1966 г. во Владивостоке, на симпозиуме, посвященном академику С.С.Смирнову. Марина Алексеевна понимала важность выдвинутой ею идеи и, по-видимому, хотела найти надежного помощника для ее продвижения. Она привлекла к соавторству И.Н.Томсона. Начиная с 1968 г. публиковались подробные статьи о новом классе глубинных сквозных систем нарушений, о признаках их специфического эндогенного режима, об их роли в размещении именно крупных и уникальных месторождений; о свойственных таким структурам геологических, геохимических и других аномалиях [3]. В 1970 г. в ИГЕМ ею была организована новая лаборатория «тек-

тоно-магматических методов прогноза месторождений», в задачи которой входила разработка гипотезы о специфике крупных месторождений и характерных для них комплексах аномалий; строились модели их формирования и общие подходы к прогнозам.

Тогда же была подтверждена практическая значимость развиваемых подходов. В 1974 г. сотрудники лаборатории, составив прогнозную схему на основе морфоструктурных, магматических и геофизических аномалий, нашли в намеченном структурном узле, в пустыне Гоби, выходы апатит-магнетитовых руд известного сейчас крупного редкометального месторождения Мухугай-Худук [4].

Коллективная монография «Глобальные закономерности размещения крупных месторождений» [5] суммировала результаты анализа геологических условий формирования и размещения крупных и уникальных месторождений минерального сырья на всех континентах. Выявленные закономерности касались «крупных и уникальных концентраций практически всего набора полезных элементов, включающих платину, никель, золото, уран, олово, литий, фтор, барий, свинец и др.».

В рецензии на книгу академик И.Г.Магакьян в 1976 г. писал: «Результаты показали удивительную устойчивость основных закономерностей размещения уникальных и крупных рудных узлов эндогенной минерализации. <...> Работа закрепит приоритет советской науки в разработке важнейших проблем металлогении». О том, что идеи и методы Фаворской были важнейшим прорывом в металлогении, академик Д.В.Рундквист сказал автору статьи в личной беседе 3 июля 2010 г.

Результаты работ лаборатории позволили затронуть и ряд важных общегеологических проблем. Факты устойчивой пространственной позиции каркаса древних, протопланетных

структур и неоднократного возобновления в них эндогенной активности; факт пересечения этими структурами границ океанов и континентов ставили под вопрос универсальность тектонических механизмов, постулируемых тектоникой плит. Правомочность таких сомнений позже подтвердили и ведущие тектонисты. Так, В.Е.Хаин в 1997 г. признал крупным просчетом «игнорирование сторонниками плейтотектонической концепции факта существования глобальной, закономерно ориентированной сети линеаментов». Ю.М.Пуцаровский пришел к выводу, что среди протяженных разломов дна океана имеются структуры, принадлежащие к древнему общепланетарному каркасу.

Металлогенические гипотезы Фаворской не были достаточно оценены и поддержаны. В российской научной литературе до конца 70-х годов проблема крупных и уникальных месторождений, особенностей их размещения и генезиса практически не ставилась. Так, через 10 лет после первых подробных публикаций Фаворской, в предложениях о «Дальнейших путях совершенствования прогнозно-металлогенических исследований» [6] ни слова не было сказано о подходе к прогнозу собственно крупных и уникальных месторождений. Ведущие специалисты по рудным месторождениям — Смирнов, а позже и Рундквист — увидели в построениях Фаворской не более чем возврат к линеаментной металлогении, иными словами, к старой идее, что рудные месторождения располагаются в системах разломов или в узлах их пересечения. Не были приняты представления о рудоконцентрирующих структурах как о системах нарушений с особыми предисторией, эволюцией и эндогенным режимом, не получили заметного распространения представления об узлах длительной эндогенной активности.

Томсон со временем все менее был склонен признавать

и значимость самой проблемы, и тем более пионерскую роль Фаворской в ее постановке. К вопросам контроля крупных и уникальных минеральных месторождений Томсон вернулся значительно позже, когда это стало тематикой хорошо финансируемых всероссийских проектов.

В наши дни из публикаций, посвященных истории металлогенических идей, можно сделать вывод, что проблема специфики формирования крупных месторождений материализовалась «сама собой». Например, «говоря о глобальной металлогении, следует подчеркнуть, что естественным следствием ее развития стало выделение и целенаправленное изучение крупных и суперкрупных, гигантских месторождений, определяющих мировой баланс сырья...» [7. С.43]. Поэтому хотелось бы еще раз подчеркнуть, что вывод о специфике именно крупных месторождений, условий их возникновения, об общих закономерностях их размещения, о подходах к их прогнозу и к глобальной металлогении стал талантливым предвидением Фаворской — был сделан, обоснован и опубликован ею и коллегами еще в 1966—1974 гг.

За рубежом активное развитие проблем крупных и уникальных месторождений в значительной мере связано с именем американского исследователя Я.Кутина. Марина Алексеевна поддерживала с ним активные контакты. Кутин читал порусски, обсуждал и хорошо знал наши работы, регулярно получая их из России. Позже он также сосредоточился на проблемах именно крупных месторождений; их распределения в глобальном масштабе и признаках мантийного заложения контролирующих структур [8]. Учреждение журнала «Global Tectonics and Metallogeny» под редакцией Кутина позволило ему широко публиковать результаты своих работ, на которые и стали ссылаться не только зарубежные,

но и российские исследователи. Собственные, а также сложившиеся в литературе представления о глобальной металлогении крупных минеральных месторождений Кутин подытожил в 1991 г. С этого времени он уже широко цитирует работы Фаворской и ее коллег, в том числе статьи и книги, изданные на русском языке (цитирует все, кроме первых принципиальных публикаций 1968—1973 гг.). При этом Кутин не упоминает о пионерской роли Марины Алексеевны и ее сотрудников в постановке и начальной разработке проблемы, в привлечении внимания к крупным и уникальным месторождениям, в выявлении и суммировании общих признаков их контроля.

В международном геологическом сообществе широкий интерес к проблемам крупных и гигантских месторождений возник в начале 1980-х и стремительно развивался в 1990-х годах. Уже при жизни Фаворской особенности становления крупных и суперкрупных месторождений стали ведущей парадигмой российской и мировой металлогении. Задача их специального изучения была поставлена в декларации Международного геологического конгресса в 1992 г. Участие в подобных работах стало престижным и щедро поддерживалось материально.

С 1995 по 1998 г. факторы контроля крупных и суперкрупных месторождений обсуждались на сессиях геологических союзов в США, Китае, Венесуэле. На сессии Международного геологического конгресса во Флоренции в 2004 г. работала отдельная секция по изучению крупных и суперкрупных месторождений. На 12-й сессии Международной ассоциации по генезису рудных месторождений (МАГРМ) в Москве в 2006 г. генезис и закономерности размещения крупных месторождений были одной из главных тем.

Начатый в 1995 г. международный проект «Промышленные суперконцентрации метал-

лов в литосфере», возглавляемый с российской стороны Рундквистом, продолжался пять лет. В числе прочих ставились задачи установления геологических факторов образования, размещения и времени становления крупных и суперкрупных месторождений, а также минералогических и петрологических признаков этих объектов — т.е. проект был направлен на решение тех проблем, которые ранее были поставлены в работах Марины Алексеевны и ее коллег.

В 1996—2006 гг. в работах многочисленных коллективов, нацеленных на изучение факторов образования и размещения крупных уникальных минеральных месторождений и на их прогноз, подтвердились, а часто и буквально были повторены полученные ранее Фаворской и опубликованные ею выводы: однотипность признаков контроля крупных месторождений на разных континентах; общие признаки таких месторождений, независимо от возраста и состава полезного ископаемого; принадлежность рудоконцентрирующих систем нарушений к древнему, протопланетному каркасу; «сквозной» характер таких структур, секущих границы континентальных и океанических плит; длительная эндогенная активность в узлах скопления месторождений; признаки мантийных корней; «полигенность и полихронность» крупных рудных месторождений; аномальная сложность микроэлементного состава и минералогии месторождений, размещение месторождений и их скоплений-кластеров в узлах пересечения широтных и меридиональных систем нарушений. Подтвердились и выводы о том, что большое количество месторождений, которые считаются осадочными или биогенными (нефти, минеральных солей), контролируется теми же «рудоконцентрирующими линеаментами».

Однако изданные в те годы в России многочисленные коллективные монографии, посвя-

ценные проблемам крупных и уникальных месторождений, не упоминают о работах Фаворской.

В 1986 г. дирекция ИГЕМ предложила Марине Алексеевне передать руководство лабораторией кому-либо из молодых сотрудников, но она не сочла это возможным. Фаворской предложили уйти на пенсию, и лаборатория перестала существовать.

Почему Марина Алексеевна не боролась? Думаю, что вначале она не восприняла предложение всерьез. Ведь она создала коллектив энергичных и эффективно работающих сотрудников; выдвинула и успешно разрабатывала вместе с коллегами и учениками новое, важное направление в металлогении. Предложенные ими методы прогнозов привели к открытию новых минеральных месторождений. В 1970—1990 гг. сотрудниками лаборатории было опубликовано 20 коллективных и персональных монографий. Среди сотрудников и аспирантов Фаворской 14 человек защитили кандидатские, а восемь — докторские диссертации, двое стали членами Академии наук. (Это лишь немногие из тех, кому посчастливилось приобщиться к ее истовому отношению к делу, высокому строю духа.) Это ли не настоящая научная школа? Фаворская была убеждена, что все это будет принято во внимание. Когда же ликвидация лаборатории стала фактом, Марина Алексеевна почувствовала себя преданной.

С 1986 до 1996 г. она работала одна, оставаясь в ИГЕМ в качестве консультанта.

Слова признания прозвучали в 1992 г., когда состоялось заседание ученого совета ИГЕМ РАН, посвященное 80-летию Фаворской. В научных докладах говорилось о замечательном вкладе Марины Алексеевны и ее учеников в металлогению, приводились примеры открытых (благодаря предложенным и разработанным ими методам) новых минеральных месторождений.



Владивосток. Марина Алексеевна — в центре.

Девяностые годы принесли много испытаний. Фаворской довелось пережить и близких ей сверстников, и многих молодых друзей. Любимый племянник Игорь Алексеевич Фаворский, физик, умер, получив дозу радиации во время эксперимента. Рано ушли из жизни ученики — Д.И.Фрих-Хар, И.К.Волчанская (Рундквист), О.Н.Волынец, Б.Х.Меликсетян, Н.Л.Шилин. Научные гипотезы, над которыми она так самозабвенно, счастливо трудилась, недопонимались, замалчивались или, наоборот, успешно развивались другими — так, будто не существовало ее многочисленных публикаций.

Последние годы она провела в малюсенькой квартирке, где жила вместе с приемным сыном и его семьей. Доживала Марина Алексеевна на профессорскую стипендию Дж.Сороса, получив ее благодаря инициативе и энер-

гии ученого секретаря ИГЕМ К.В.Подлесского.

Она чувствовала себя одинокой, непонятой и ненужной. Отрадой оставался литературный кружок Дома ученых, где Фаворскую очень ценили. Помню, как ее племянница, приехав из Ленинграда, отвозила часть книг Фаворской в Минералогический музей АН, где они быстро разошлись среди сотрудников и посетителей. Со временем романтическая натура Фаворской не выдержала натиска прозы жизни, настроение у нее становилось все более безрадостным: «Все кончилось ничем. <...> Считается, что у меня “семья”, а то бы я могла претендовать на место в доме престарелых ученых». Жалела, что в свое время уехала из Ленинграда: «Сам город совершенно другой, другие люди. <...> Там все мои». Имевшиеся у нее бумаги и доку-

менты родственников из клана Фаворских она передала в Государственный архив. Свои личные письма сожгла в Коньковском лесу. Тяжелобольная Зинаида Дмитриевна давно жила отдельно и изменить ход вещей была не в силах.

Марина Алексеевна умерла 8 декабря 2003 г. На ее бедных похоронах кроме сына, невестки и Зинаиды Здоровой было пятеро бывших сотрудников.

Прах ее покоится в Санкт-Петербурге, рядом с другими членами семьи Фаворских.

Важно напомнить, что вывод о специфике крупных и уникальных месторождений, условий их возникновения и первые обобщения о глобальных закономерностях их размещения были сделаны, обоснованы и опубликованы Фаворской и ее коллегами в 1966–1974 гг. Результаты выполненных позд-

нее всероссийских и международных проектов во многом подтвердили, а во многих случаях и буквально повторили эти выводы. Но в 90-х годах, когда представления об особенностях генезиса и тектонической позиции крупных и уникальных месторождений оказались на гребне исследований минерального сырья, имя Марины Алексеевны в этих работах не упоминалось. ■

Литература

1. Фаворская Т.А. Алексей Евграфович Фаворский. Л., 1980.
2. Фаворская М.А. След на пустынном берегу: Рассказы. М., 1993.
3. Фаворская М.А. О геохимических индикаторах глубинной тектоники // Сов. геол. 1971. №11. С.6–9.
4. Баскина В.А., Волчанская И.К. О новом типе редкоземельной минерализации в Южной Монголии // ДАН. 1976. Т.228. №3.
5. Фаворская М.А., Томсон И.Н., Баскина В.А. и др. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений. М., 1974.
6. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Ред. Д.В.Рундквист. Л., 1978.
7. Крупные и суперкрупные месторождения рудных полезных ископаемых. Т.1: Глобальные закономерности размещения / Ред. Д.В.Рундквист. М., 1980.
8. Kutina J. Relationships between the distribution of big endogenic ore deposits and the basement fracture pattern. Examples from the continents // 1st Intern. Conf. on the new basement tectonics / Eds R.A.Hodgson, S.P.Gay, J.Y.Benjamin. 1976. P.565–593.

ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

Учредитель:
Российская академия наук,
президиум
Адрес издателя: 117997,
Москва, Профсоюзная, 90

Адрес редакции: 119049,
Москва, Мароновский пер., 26
Тел.: (499) 238-24-56, 238-25-77
Факс: (499) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 20.01.2012
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 2116
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП типографии «Наука»
Академиздатцентра «Наука» РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6