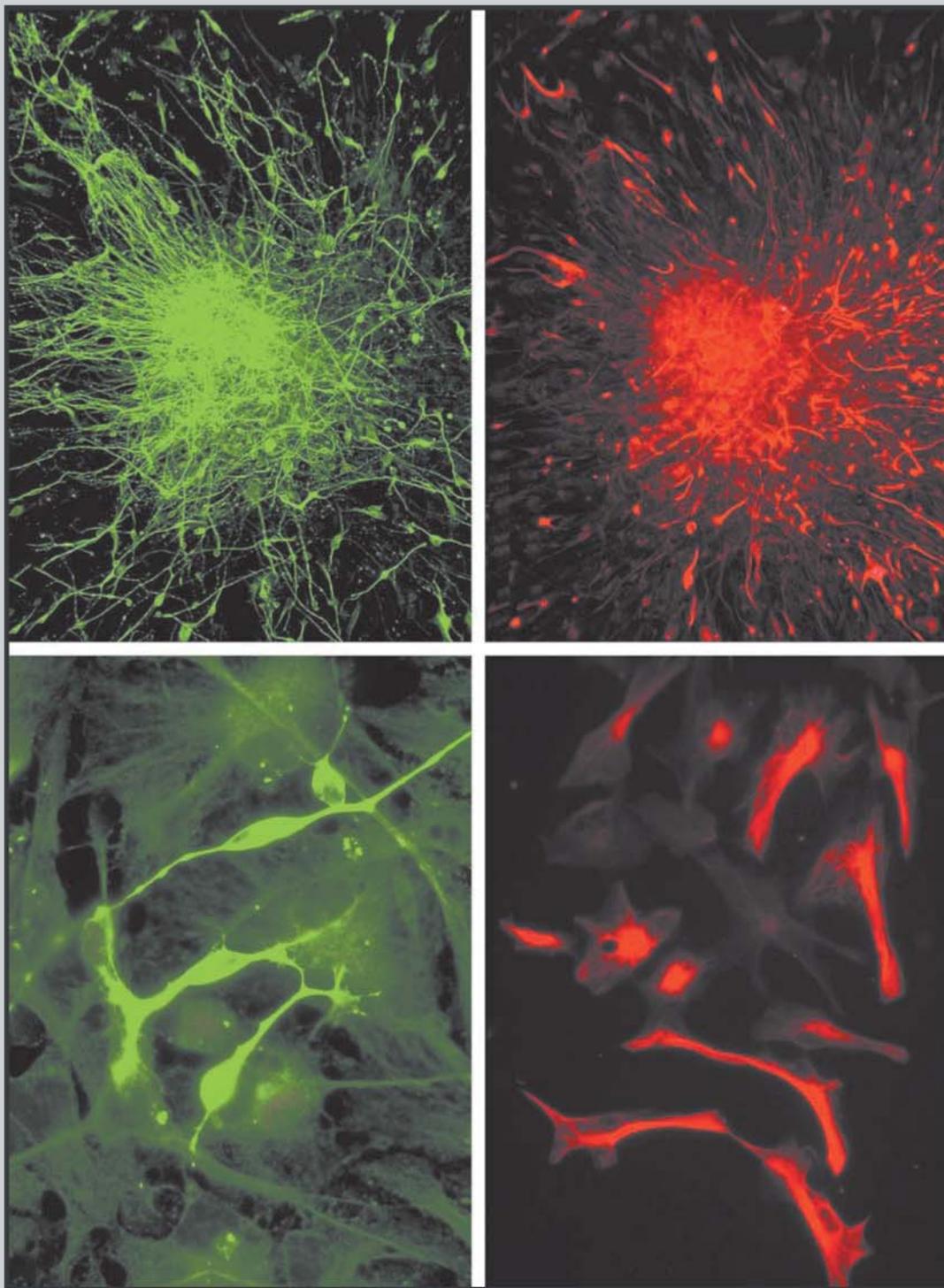


ПРИРОДА

10 07



В НОМЕРЕ:**3 ЭСТАФЕТА ПОКОЛЕНИЙ**

К 90-летию Института экспериментальной биологии и 40-летию Института биологии развития им.Н.К.Кольцова РАН

Озернюк Н.Д.

Одна история двух институтов (4)

Домарацкая Е.И., Паюшина О.В., Старостин В.И.

Стволовые клетки и проблемы дифференцировки (8)

Александрова М.А.

Нейротрансплантация для терапии мозга? (18)

Захарова Л.А.

«Программирование» здоровья (23)

Баклушинская И.Ю.

Слепушонки — исключение из многих правил (29)

38 Сурдин В.Г.

Спутник-1

40 Сомов Б.В.

Гнев Гелиоса

Солнечные вспышки влияют на межпланетное пространство, магнитосферу и ионосферу Земли, возможно, даже на ее биосферу. Каковы современные представления о физическом механизме этого интереснейшего явления природы?

Вести из экспедиций**50 Сагалевиц А.М.**

Репортаж из-под ледового купола

58 Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П.

База данных и модели глубинного строения осадочных бассейнов Земли

Использование базы геолого-геофизических данных позволило построить модель глубинного строения региона Охотского моря и проследить эволюцию развития осадочных бассейнов на примере впадин Северо-Китайской равнины.

67 Голиков Ю.П.

Предугадавший вирусную природу рака

К 150-летию со дня рождения В.В.Подвысоцкого

76**Новости науки**

Кольцо из темной материи (76). Есть ли жизнь на Энцеладе и сколько длится день на Сатурне? **Вибе Д.З.** (76). Как разрушается сверхпроводимость (77). Кремниевая спинтроника (78). Прочность жгутов нанотрубок повышается скручиванием (79). Быстрая реверсия естественного отбора (79). Апоптоз нейронов (80). Глипролины с множеством функций. **Белянова Л.П.** (81). Арктика в Колонном зале. **Зубрева М.Ю.** (81). Влияние льда на динамику озер (82). Вентиляция вод Охотского моря (82). Смоленск — главный город кривичей (82). **Коротко (49, 66, 75)**

Рецензии**84 Аксенов Г.П.**

Ноосфера в Дурновском переулке

89**Новые книги****В конце номера****91 Наумов Г.Б.**

Музей истории Земли

CONTENTS:

3 MAINTAINING THE NOBLE TRADITION

To 90th Anniversary
of Institute of Experimental Biology
and 40th Anniversary of N.K.Koltzoff
Institute of Developmental Biology RAS

Ozernyuk N.D.

One History of the Two Institutes (4)

**Domaratskaya E.I., Payushina O.V.,
Starostin V.I.**

**Stem Cells and Problems
of Cellular Differentiation (8)**

Aleksandrova M.A.

**Neurotransplantation for Brain
Therapy? (18)**

Zakharova L.A.

«Programming» of Health (23)

Baklushinskaya I.Yu.

**Mole-voles:
Exception from Many Rules (29)**

38 Surdin V.G.

Sputnik-1

40 Somov B.V.

Wrath of Helios

Solar flares influence interplanetary space, the Earth's magnetosphere and ionosphere and, possibly, even its biosphere. What are current concepts of physical mechanisms of this very intriguing natural phenomenon?

News from Expeditions

50 Sagalevich A.M.

Report from under Ice Dome

58 Rodnikov A.G., Sergeeva N.A., Zabarinskaya L.P.

**Database and Models
of Deep Structure
for the Earth Sediment Basins**

Using database of geologic and geophysical data allows to devise a model of deep structure of Sea of Okhotsk region and track the development of sedimentary basins on examples of depressions at North China Plain.

67 Golikov Yu.P.

**The One Who Foretells
the Virus Origin of Cancer**

To 150th Anniversary of V.V.Podvysotsky

76

Science News

A Ring of Dark Matter (76). Is There Life on Enceladus and How Long Is the Day at Saturn? **Wiebe D.Z.** (76). How Is Superconductivity Destroyed (77). Silicone Spintronics (78). Braids of Nanotubes Strengthened by Twisting (79). Rapid Reversion of Natural Selection (79). Apoptosis of Neurons (80). Versatile Glyprolines. **Belyanova L.P.** (81). Arctic in Columnar Hall. **Zubreva M.Yu.** (81). Ice Impact on Lakes Dynamics (82). Sea of Okhotsk Waters Ventilation (82). Smolensk — The Main Town of Krivichi Tribe (82).
In Brief (49, 66, 75)

Book Reviews

84 Aksenov G.P.

Noosphere at Durnovsky Side Street

89

New Books

In the End of the Issue

91 Naumov G.B.

The Earth History Museum

Эстафета поколений

К 90-летию Института экспериментальной биологии
и 40-летию Института биологии развития
им.Н.К.Кольцова РАН



Нам приятно представить в этом номере институт, история которого, как и люди, работавшие и работающие в нем, очень близки нашему журналу, а значит, и нашим постоянным читателям. Становление Института биологии развития РАН неразрывно связано с Институтом экспериментальной биологии, вдохновителем, организатором и бессменным директором которого был Николай Константинович Кольцов, классик отечественной биологии, много сделавший не только для развития науки, но и для ее популяризации*. Он стоял и у истоков «Природы», принимал самое активное участие в ее издании**. 1917 год. Кольцов озабочен развитием науки в России. Первые этапы организации института можно проследить, листая старую «Природу». Вот что пишет он в своем журнале: «...Каждый, кто вместе с русским народом болезненно переживает великий и страшный перелом в жизни нашей родины, должен знать, что для действительного возрождения страны необходимы прежде всего просвещение и наука. Но наука не может только распространяться в ширину, она должна и углубляться. Дух научного исследования должен заразить русскую молодежь. Этот дух искания истины даст веру в лучшее будущее и умение его добиться...»***.

На какие средства открывался кольцовский институт? Об этом опять читаем в «Природе» за 1917 г., в разделе «Хроника»:

«Московский Научный Институт получил от Г.М.Марка крупное пожертвование: 1.200.000 рублей. <...> Правление и ученый Совет Научного Института, соглашаясь с предложением жертвователя, постановили образовать из полученной суммы неприкосновенный капитал, с тем чтобы % с этого капита-

* Рокицкий П.Ф. Роль Н.К.Кольцова в развитии общей и экспериментальной биологии в нашей стране // Природа. 1972. №7. С.24—35.

** Подробнее см.: Успенская Н.В. «Природа» и время // Природа. 1992. №1. С.3—10; «Природе» — 95! // Там же. 2007. №1. С.3—12.

*** Кольцов Ник. Исследовательские институты в Соединенных штатах Америки // Природа. 1917. №9—10. С.982—1008.

ла шли на содержание учреждений Института. <...> Решено немедленно организовать временные исследовательские лаборатории в наемных помещениях по следующим специальностям: 1) по экспериментальной биологии, 2) по микробиологии, 3) по энтомологии, 4) по физиологии. На оборудование этих лабораторий имеется в настоящее время особый капитал в 80.000 рублей, составившийся из собранных ранее пожертвований...» (№2. С.281).

«Московский Научный Институт открывает в текущем году пять новых исследовательских лабораторий: 1) по экспериментальной биологии (на оборудование ассигновано 23.000 рублей, годичный бюджет 20.800 рублей, директором избран Н.К.Кольцов); 2) по микробиологии (на оборудование — 20.000 руб.)...» (№4. С.542).

«Для временного размещения четырех Биологических Институтов и Института Туда обществом московского Научного Института приобретено за 400 тысяч рублей дом на Сивцевом Вражке №41...» (№5—6. С.722).

Так Кольцов со своими ближайшими учениками (их было не более 10) в 1917 г. оказался в нескольких комнатах на Сивцевом Вражке. Только через несколько лет они получили «свой дом» на Воронцовом поле. А в 1930 г. кольцовский институт признали образцовым экспериментально-биологическим учреждением, где работал дружный коллектив «птенцов гнезда» Кольцова. В 1939 г. история института оборвалась, но в 1967 г. начался ее новый этап. Так считают в Институте биологии развития, носящем с 1976 г. имя своего патриарха.

Как возник этот институт и чем живет он сегодня, рассказывают его нынешний директор и ведущие сотрудники.

Одна история двух институтов

Н.Д.Озернюк

История кольцовского института полна замечательных и драматических страниц, отражающих все сложности развития нашей биологии в XX в. Началась она в 1917 г., а идея создания института, организация и руководство на протяжении более 20 лет связаны с именем Николая Константиновича Кольцова — выдающегося отечественного биолога, основателя многих научных направлений, определивших облик экспериментальной биологии в первой половине XX в.

К моменту создания Института экспериментальной биологии в России наука развивалась в высших учебных заведениях.



Николай Дмитриевич Озернюк, доктор биологических наук, директор института, заведующий лабораторией биофизики. Лауреат премии им.А.О.Ковалевского РАН (2000). Основные научные интересы связаны с изучением общих закономерностей онтогенеза и механизмов адаптации.

Кольцов задумал создать первый в России самостоятельный научно-исследовательский институт для решения проблем экспериментальной биологии,

прежде всего генетики, цитологии, биологии развития, физиологии. Такой принцип организации принес удивительные результаты. Уже в 30-е годы Ин-

ститут экспериментальной биологии стал признанным научным центром не только у нас в стране, но и за рубежом, а знаменитая кольцовская школа генетиков и цитологов получила мировую известность.

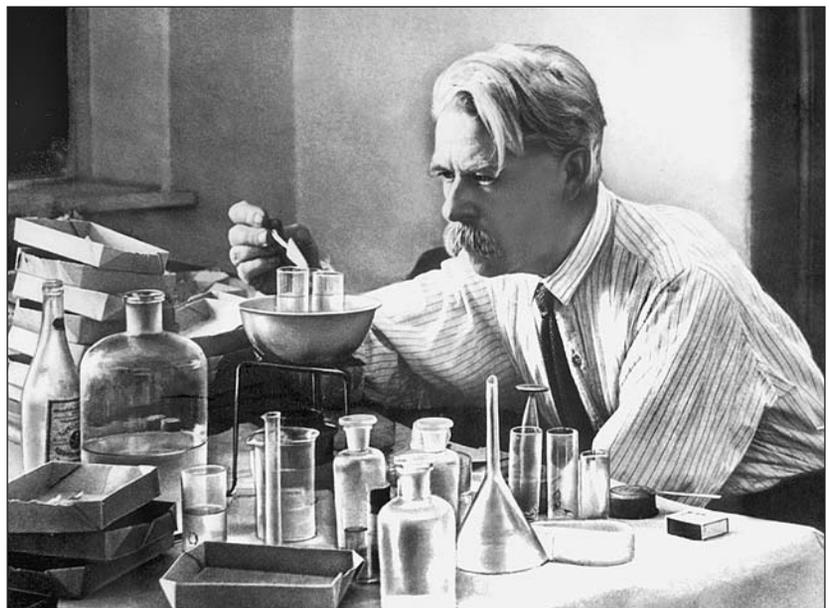
Многие из пришедших в институт молодых исследователей выросли в крупных ученых, которые оказали большое влияние на развитие различных областей экспериментальной биологии. В частности, в отделе генетики, возглавляемом С.С.Четвериковым, работали Б.Л.Астауров, А.С.Серебровский, Н.В.Тимофеев-Ресовский, Н.К.Беляев, П.Ф.Рокицкий, С.Н.Гершензон. Отделом механики (физиологии) развития руководил Д.П.Филатов, а отделом культуры тканей — первоначально А.В.Румянцев, затем Г.К.Хрущов, а после преобразования в отдел физиологии клетки — Б.В.Кедровский. С.Н.Скадовский возглавлял отдел физико-химической биологии.

Популярность института определялась огромным научным авторитетом его директора, его провидческими идеями в разных областях биологии. Главное пророчество Кольцова — существование в клетке наследственных молекул, носителей генетической информации, и матричный принцип их редупликации. В 1927 г. на Третьем Всероссийском съезде зоологов, анатомов и гистологов в Ленинграде в своем вступительном докладе «Физико-химические основы морфологии» он сформулировал новый для биологии принцип: *omnis molecule ex molecule* (каждая молекула от молекулы). И хотя наследственными молекулами оказались не белки (как предполагал Кольцов), а ДНК, его мысль инициировала размышления о структуре молекул наследственности и механизмах их воспроизведения. И спустя 26 лет Дж.Уотсон и Ф.Крик расшифровали структуру двойной спирали ДНК, доказав матричный принцип ее репликации.

Предсказание существования наследственных молекул — дале-



Здание бывшего Института экспериментальной биологии.



Николай Константинович Кольцов (15.VII.1872—2.XII.1940). Директор Института экспериментальной биологии с 1917 по 1938 г.

Фото из архива «Природы»

ко не единственное пророчество Кольцова. Он был щедр на идеи и охотно раздавал их своим ученикам. В 1916 г. Кольцов предположил возможность получения мутаций с помощью рентгеновского излучения. Проверку этой идеи он поручил своим ученикам Д.Д.Ромашову и Н.В.Тимо-

фееву-Ресовскому*. И хотя их попытки получить мутации на дрозофиле не увенчались успехом (просто тогда не было технических возможностей), они опреде-

* «Я прожил счастливую жизнь» // Природа. 1990. №9. С.68—104; К 100-летию со дня рождения Н.В.Тимофеева-Ресовского // Там же. 2000. №11. С.67—74.



Борис Львович Астауров
(27.X.1904—21.VI.1974).

Директор Института биологии
развития им.Н.К.Кольцова РАН
с 1967 по 1974 г.

Фото из архива «Природы»

лили нужное направление дальнейших исследований. Следует отметить, что идея получения мутаций при помощи рентгеновских лучей была высказана Николаем Константиновичем более чем за 10 лет до открытия радиационного мутагенеза, сделанного почти одновременно Г.А.Надсоном и Г.А.Филипповым на дрожжах, а также Л.Стадлером на ячмене и Г.Мёллером на дрозофиле (именно он получил Нобелевскую премию за открытие радиационного мутагенеза).

Идея химического мутагенеза также принадлежит Кольцову. В 30-е годы он предложил В.В.Сахарову* проверить влияние различных химических соединений на растения и животных. Вскоре Сахаров в кольцовском институте и М.Е.Лобашов в Ленинграде открыли явление химического мутагенеза. Несколько позднее к этой работе подключился аспирант института И.А.Рапопорт**, который про-

* Мелконова Е.Ф. От общего корня // Природа. 2002. №5. С.73—78.

** Химический мутагенез // Природа. 1997. №1. С.3—39.

демонстрировал мутагенную активность ряда соединений и установил специфичность их действия.

Мысль об экспериментальном получении полиплоидных организмов, высказанная Кольцовым, подтвердилась в замечательных исследованиях В.В.Сахарова. Наконец, начатые Николаем Константиновичем вслед за А.А.Тихомировым исследования искусственного партеногенеза и регуляции пола у животных продолжил и успешно завершил ученик Кольцова Б.Л.Астауров.

Целая плеяда блестящих биологов, выращенных Кольцовым, оставила свой автограф в летописи биологических открытий. Но, несмотря на все эти впечатляющие достижения, для кольцовского института настали тяжелые времена. В 1938 г. в связи с переводом из системы Наркомздрава РСФСР в Академию наук СССР Институт экспериментальной биологии реорганизовали и переименовали в Институт цитологии, гистологии и эмбриологии, через год после этой реорганизации Кольцова сняли с должности директора, и в декабре 1940 г. он скоропостижно скончался***.

Спустя 10 лет, в 1948 г., когда генетика окончательно попала в немилость, в судьбе кольцовского института произошел еще один поворот: Институт цитологии, гистологии и эмбриологии АН СССР объединили с Институтом эволюционной морфологии АН СССР и образовали Институт морфологии животных им.А.Н.Северцова.

Однако на этом история кольцовского института не закончилась. Идея его воссоздания вопреки многочисленным трудностям жила среди учеников Кольцова. И в 1967 г. по инициативе Астаурова Президиум АН СССР принял решение разделить Институт морфологии животных. Так появились

*** Астауров Б.Л. Памяти Николая Константиновича Кольцова // Природа. 1941. №5. С.109—117.

Институт экспериментальной морфологии и экологии животных и Институт биологии развития, образование которого можно считать воссозданием кольцовского института****. При всех предшествующих реорганизациях удалось сохранить не только основные направления исследований, но и значительную часть научных кадров. Конечно, Астауров, возглавивший институт, опирался на опыт своего учителя и его принципы. Главное состояло в том, что биология развития должна быть междисциплинарной наукой, использующей разнообразные подходы для решения проблем онтогенеза.

Основными задачами нового института его директор определил «познание причинных связей и закономерностей индивидуального развития организма животных на молекулярном, клеточном, тканевом и организменном уровнях, разработку методов управления процессами репродукции, роста и формообразования». Астауров в число приоритетных направлений включил исследования основных этапов реализации генетической информации (пути от гена к признаку); взаимодействие ядра и цитоплазмы (влияние цитоплазматических факторов на экспрессию генов во время развития); искусственный партеногенез и регуляцию пола у животных; экспериментальную эмбриологию и клеточную дифференцировку. Появились и новые направления в работе института, связанные с анализом молекулярных механизмов развития и генетической регуляцией процессов онтогенеза.

Говоря о достижениях Института биологии развития, следует отметить блестящие результаты в изучении искусственного партеногенеза и регуляции пола у тутового шелкопряда, полученные Астауровым и его учениками. В решение данной проблемы огромный вклад внес В.А.Струн-

**** Символ возрождения поруганной генетики // Природа. 2004. №10. С.65—79.

ников*. Он успешно завершил исследования по закреплению гетерозиса в последовательном ряду поколений без гибридизации. И.Б.Збарский открыл и охарактеризовал новую внутриядерную структуру — ядерный матрикс. Г.А.Бузников обнаружил в зародышах ранних стадий эмбрионального развития нейромедиаторы, выполняющие на этом этапе необычную для них регуляторную функцию. Л.И.Корочкин открыл новое семейство генов нервной системы**.

Сегодня в институте 20 лабораторий. Направления исследований в них по давно сложившейся традиции подразделяются на эмбриологическое, цитологическое, молекулярно-биологическое, генетическое и физиологическое.

Эмбриологическое направление представлено лабораториями: экспериментальной эмбриологии им.Д.П.Филатова, биофизики развития, биохимической эмбриологии. Оно включает выяснение особенностей предзародышевого и зародышевого развития, его биохимические и биофизические аспекты, а также влияние факторов среды на гаметогенез и эмбриогенез.

Цитологическое направление объединяет лаборатории: гистогенеза, цитологии, проблем клеточной пролиферации, экспериментальной нейробиологии, проблем регенерации. Исследования проблем клеточной биологии связаны с анализом пролиферации, дифференцировки и трансдифференцировки различных клеток и тканей (кровотворных, нейральных, эпидермальных, печеночных, сперматогенных, тканей глаза, клеток иммунной системы), с изучением процессов регенерации тканей и органов, а также особенностей биологии эмбриональных и тканеспецифических стволовых клеток.

* Ожидаю новых результатов // Природа. 2004. №8. С.50—59.

** «Чтобы жить, нужно во что-то верить...» // Природа. 2006. №12. С.67—78.

Молекулярно-биологическое направление представлено работами лабораторий: биохимии, молекулярно-генетических механизмов онтогенеза, молекулярной биологии развития, генетических механизмов органогенеза, группы регуляторных белков. В этих лабораториях изучаются: генетический контроль процессов развития органов и тканей; механизмы регуляции синтеза и деградации белков на разных стадиях онтогенеза; регуляторные функции белков и пептидов межклеточного матрикса.

К генетическому направлению относятся исследования, осуществляемые в лабораториях: генетики; цитогенетики; структурно-функциональной организации эукариотических хромосом. Работы сотрудников посвящены генетическим механизмам видообразования, в том числе хромосомного; оценке эволюционной роли отдаленной гибридизации; а также анализу структуры хромосом эукариот.

Физиологическое направление — это исследования лабораторий: общей физиологии; сравнительной физиологии; гормональных регуляций. В этих лабораториях изучаются: становление нейрогуморальной регуляции в онтогенезе; клеточные и молекулярные механизмы, которые формируют поведение в ходе развития и перестройку поведенческих программ у взрослых организмов; молекулярные основы функционирования сигнальных путей; особенности синтеза гормональных рецепторов; роль нейромедиаторов в регуляции самых ранних этапов эмбрионального развития.

Экологические и эволюционные аспекты развития организмов изучаются в лаборатории постнатального онтогенеза. Исследуется фенотипическая изменчивость, нарушения стабильности процессов развития; особенности роста и гетерохроний как факторов, определяющих микроэволюционные изменения в популяциях живот-

ных; изменчивость регистрирующих структур (ткани зуба и кости) для характеристики состояния популяций наземных позвоночных.

Есть у нас и своя биологическая станция — одно из старейших подразделений института, история которой опять возвращает нас к Кольцову. Организовали ее на юге Подмосковья, на каширской земле, в бывшей барской усадьбе близ деревни Кропотово в 1927 г. по инициативе кафедры общей биологии Второго МГУ, где профессор Кольцов читал лекции. С 1932 по 1937 г. биостанция принадлежала Институту экспериментального морфогенеза. Затем ее передали кольцовскому институту; потом она путешествовала по уже описанному маршруту, пока в 1967 г. не перешла к нам.

Во времена Кольцова здесь работали многие выдающиеся биологи: сам Н.К.Кольцов, Д.П.Филатов, Б.В.Кедровский, Л.Я.Бляхер, А.Г.Лапчинский, М.С.Навашин, В.В.Сахаров, Б.Л.Астауров, Н.П.Дубинин, Б.Н.Сидоров, Н.Н.Соколов, В.А.Струнников и др. Именно здесь Астауров в 30-е годы начал изучать регуляцию пола у тутового шелкопряда, а потом Струнников разрабатывал подходы к управлению размножением и регуляцией пола. Сегодня эти работы, к сожалению, сворачиваются из-за нехватки кадров.

Сейчас здесь активно работают физиологи на насекомых, моллюсках, амфибиях, используя методы электрофизиологии, цитохимии и молекулярной биологии. Биофизики изучают особенности энергетического метаболизма у моллюсков, насекомых и других беспозвоночных. Продолжаются работы по полиплоидии гречихи, успешно начатой Сахаровым. Идет направленный отбор и селекция для получения семян гречихи и календулы. Генетики проводят в Каширском р-не мониторинг видового разнообразия дрозофил вдоль бассейна р.Оки. Кропотово уже на протяжении 80 лет остается

экспериментальной базой фундаментальных и прикладных работ по многим проблемам биологии развития. Здесь с удовольствием работают и сотрудники института, и студенты.

Трудности, характерные для современного этапа развития отечественной науки, коснулись, естественно, и нашего института. Каким образом решаются сейчас непростые организационные, финансовые и кадровые проблемы? Выход из дан-

ной ситуации видится в привлечении молодежи в институт, концентрации усилий вокруг немногих, но самых важных проблем биологии развития, а также в формировании более тесных связей с вузами, прежде всего с биологическим факультетом МГУ и Московской медицинской академией им.И.М.Сеченова. У нас создан Центр клеточных технологий, в котором сосредоточены исследования по различным проблемам кле-

точной биологии, в том числе биологии стволовых клеток; организован Учебно-научный центр по биологии развития совместно с биологическим факультетом МГУ; возобновлено регулярное проведение Школ по биологии развития (в 2005 г. состоялась XIV школа). Значительно возрос приток аспирантов и молодых исследователей. Таким образом, вопреки трудностям, история кольцовского института продолжается. ■

Стволовые клетки и проблемы дифференцировки

Е.И.Домарацкая, О.В.Паюшина, В.И.Старостин

Проблема клеточной дифференцировки продолжает оставаться крайне актуальной для современной биологии и медицины. Интерес к ней самых разных специалистов (молекулярных биологов, генетиков, цитологов, биологов развития и т.п.) резко возрос в связи с успехами в изучении эмбриональных и тканеспецифических стволовых клеток* и не в последнюю очередь связан с поиском методов клеточной терапии для восстановления поврежденных органов и тканей.

Важен метод

Со времени образования нашей лаборатории в 1971 г. одним из ее основных направле-

© Домарацкая Е.И., Паюшина О.В., Старостин В.И., 2007

ний стало исследование кроветворных и стромальных стволовых клеток на разных стадиях развития организма. Уникальный объект для изучения механизмов клеточной дифференцировки и регенерации тканей — кроветворная ткань. Многообразие ее клеточных форм (эритроидная, гранулоцитарная, моноцитарная, мегакариоцитарная и лимфоидная), отличающихся степенью зрелости и спецификой обменных процессов, обеспечивается кроветворными стволовыми клетками. Они способны к дифференцировке во все типы зрелых клеток крови (т.е. они полипотентны) и к самовоспроизведе-

* О стволовых клетках см.: Корочкин Л.И. Что такое стволовые клетки // Природа. 2005. №6. С.3—11; Киселев С.Л., Лагарькова М.А. Эмбриональные стволовые клетки // Там же. 2006. №10. С.49—55.

нию, что позволяет им оставаться в категории стволовых и обеспечивать кроветворение неопределенно долго. Кроветворные клетки возникают на ранних стадиях эмбриогенеза. Циркулируя в крови и заселяя закладки кроветворных органов, они осуществляют последовательное перемещение кроветворной ткани в эмбриональном развитии, а также формирование эктопических (за пределами обычных мест) очагов гемопоэза при патологии и в экспериментах.

Для нормального кроветворения необходимо взаимодействие кроветворных и родоначальных клеток с клетками стромы, составляющими основу так называемого кроветворного микроокружения. Стромальные клетки через молекулы адгезии распознают

и удерживают кроветворные клетки, участвуя таким образом в их миграции, выделяют и аккумулируют разнообразные факторы роста, регулирующие их рост (пролиферацию) и дифференцировку.

Кроветворное микроокружение создается другой популяцией стволовых клеток — мезенхимными. Они способны давать начало разным типам стромальных клеток — ретикулярным, жировым, костным (остеобластам), эндотелиальным и гладкомышечным клеткам сосудов и др., — каждый из которых по своему участвует в кроветворении. Однако интерес исследователей к мезенхимным стволовым клеткам (их еще называют стромальными) связан не только с их ролью в гемопоэзе: они еще служат источником обновления и восстановления различных соединительных тканей, таких как костная, хрящевая, жировая и ряд других. Изучение этих клеток имеет важное теоретическое значение для понимания механизмов гистогенеза тканей; кроме того, на них возлагают большие надежды при разработке новых методов регенеративной медицины [1].

Кроветворный и стромальный ряды дифференцировки представлены иерархией клеток, различающихся по степени зрелости (стволовые, родоначальные, коммитированные, созревающие, терминально дифференцированные клетки). Во главе таких гистогенетических рядов стоят длительно самоподдерживающиеся «незрелые» (недифференцированные) истинно стволовые клетки с наиболее высокими потенциями. Непосредственным объектом наших исследований служили стволовые/родоначальные (мультипотентные) клетки, находящиеся на следующей стадии дифференцировки. Они не обладают экстенсивным самоподдержанием, но способны к дифференцировке по нескольким направлениям.

Мезенхимные и кроветворные стволовые клетки отлича-



Елена Ивановна Домарацкая, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гистогенеза. Область научных интересов — стволовые кроветворные и мезенхимные клетки в пре- и постнатальном развитии организма, их чувствительность к факторам различной физической и химической природы.



Ольга Викторовна Паюшина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — стволовые мезенхимные клетки в пре- и постнатальном развитии, их поддержание, рост и дифференцировка в культуре.



Валерий Иванович Старостин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник той же лаборатории. Область научных интересов — мезенхимные стволовые клетки, их происхождение, поддержание в культуре, влияние ростовых факторов, механизмы дифференцировки.

ются друг от друга по способности к размножению *in vitro*, поэтому для изучения каждой из этих популяций необходим свой методический подход. Если первые могут длительно размножаться и самоподдерживаться в культуре, сохраняя свои свойства, то для вторых создать подходящие условия для самоподдержания довольно трудно. Однако присущая кроветворным клеткам способность к миграции и заселению кроветворных органов позволяет в эксперименте пересаживать кроветворную ткань. Такой методический прием и стал главным в наших исследованиях. Он дал воз-

можность выявить морфологически неразличимые стволовые и родоначальные клетки, определить их потенции к самоподдержанию и дифференцировке и судить о восстановлении гемопоэза.

Способность кроветворных родоначальных клеток к многократному делению и образованию колоний-клонов позволяет анализировать их *in vivo*. Этот прием впервые использовали канадские биологи Дж.Е.Тилл и Е.А.Мак-Каллок [2]: животным, у которых после облучения убита собственная кроветворная ткань, внутривенно вводили взвесь донорского костного

мозга. По количеству кроветворных колоний, образующихся в селезенке реципиента, судили о содержании во введенной взвеси клоногенных родоначальных клеток — колониеобразующих единиц селезенки (КОЕ-С). Сначала эти клетки считали кроветворными стволовыми. Но затем выяснилось, что они принадлежат к более зрелым, родоначальным клеткам, поскольку дают ограниченное число генераций себе подобных клеток и ограниченный набор иных — эритроидных, миелоидных и мегакариоцитарных (но не лимфоидных). С помощью модифицированного метода селезеночных колоний японским исследователям удалось продемонстрировать, что истинные кроветворные стволовые клетки также формируют визуально различимые клоны-колонии в селезенке в более поздние сроки по сравнению с мультипотентными предшественниками [3].

Мы, используя этот метод, обнаружили в кроветворной ткани (желточном мешке, печени, селезенке и костном мозге) на ранних этапах онтогенеза (в пренатальном периоде и в первую неделю после рождения) особую категорию клоногенных кроветворных клеток [4]. Они в поздние сроки после трансплантации (на 11-е сутки) образуют на поверхности селезенки небольшие клоны клеток blastного типа, которые по своим свойствам менее зрелые, чем КОЕ-С, и представляют собой их предшествующую стадию дифференцировки.

Таким образом, метод селезеночных колоний остается адекватной моделью клоногенных кроветворных клеток разной степени зрелости и в зависимости от срока наблюдения позволяет раздельно учитывать мультипотентные предшественники и стволовые клетки.

Для изучения стромальных клеток используется другой вариант трансплантации кроветворной ткани — пересадки

кроветворных органов или их фрагментов в подкожную соединительную ткань или под капсулу почки животного-реципиента. В этом случае последующую регенерацию трансплантата обеспечивают содержащиеся в нем стромальные клетки, а ее характер дает представление об их способности формировать новые кроветворные территории и дифференцироваться *in vivo*. Кроме того, сравнительная легкость культивирования мезенхимных стволовых клеток позволяет также анализировать их способность к пролиферации и дифференцировке *in vitro*.

А.Я.Фриденштейн еще в 70-х годах разработал метод выделения из костного мозга и клонирования мезенхимных клеток, основанный на их прилипании к культуральному пластику [6]. При помещении суспензии костного мозга в пластиковый флакон кроветворные клетки остаются во взвеси и удаляются при последующей смене среды, а мезенхимные прикрепляются к поверхности, начинают делиться и образуют колонии фибробластоподобных клеток. Клетки, дающие начало таким клонам, называются колониеобразующими единицами фибробластов (КОЕ-Ф). Традиционно считается, что подавляющее большинство мезенхимных стволовых клеток прикрепляется к пластику уже в первые сутки после помещения в культуру. Однако, по нашим данным, даже после недели культивирования в среде все еще много фибробластов, способных давать колонии при пересеве в новый флакон. Но если поверхность флакона покрыть фибронектином (белком внеклеточного матрикса), адгезия значительно усиливается: почти все колониеобразующие клетки садятся в течение первых суток культивирования. Благодаря этим экспериментальным моделям мы получили ряд важных результатов.

Действие цитотоксических препаратов

С помощью цитотоксических препаратов можно избирательно удалять из исследуемой ткани кроветворные клетки определенной стадии дифференцировки. Этот прием в сочетании с пересадкой выживших клеток облученному животному позволяет определить в гистогенетическом ряду ту или иную клеточную категорию и ее роль в восстановлении кроветворной ткани.

Мы использовали цитотоксические препараты разного спектра действия. Так, циклоспецифический 5-фторурацил избирательно устраняет более продвинутые в дифференцировке клетки, но сохраняет ранние клетки с повышенной способностью к самоподдержанию. В частности, в кроветворном ряду этот препарат токсичнее для наиболее зрелых клеток, образующих колонии в течение семи дней после трансплантации, тогда как молодые клетки, дающие колонии через 11 дней, устойчивее к нему.

Алкилирующий препарат дипин, напротив, токсичен для молодых клеток. Мы впервые применили его для исследования кроветворных и мезенхимных стволовых клеток, поскольку ранее дипин с успехом использовали для анализа клеточных источников регенерирующей печени [5]. Этот сильный радиомиметик и мутаген вызывает скрытые повреждения генетического аппарата, которые затем становятся необратимыми. Однократное введение дипина значительно снижает число кроветворных клеток и нарушает стационарное состояние кроветворной ткани (рис.1). При этом содержание кроветворных родоначальных клеток в костном мозге и селезенке периодически изменяется.

Обнаруженные нами колебания в содержании КОЕ селезенки, видимо, отражают динамику функционирования самых ран-

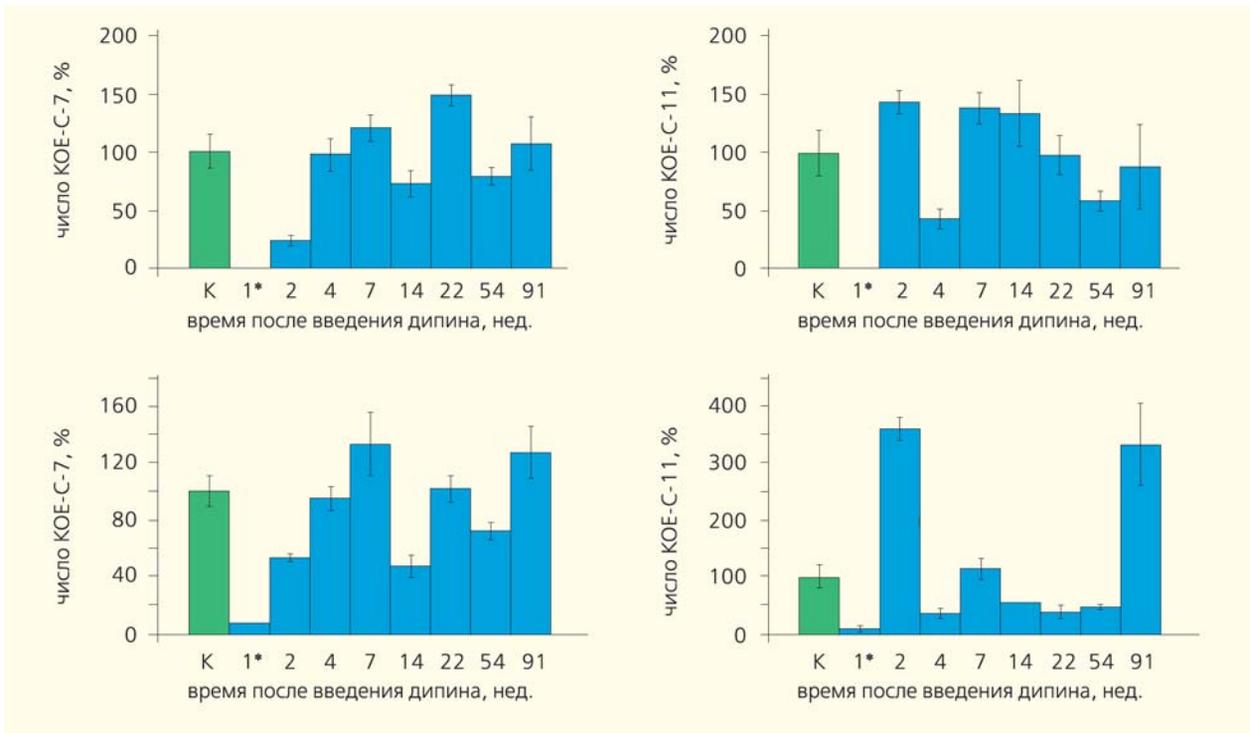


Рис.1. Динамика содержания колониобразующих единиц селезенки (КОЕ-С) в костном мозге (вверху) и селезенке после однократного введения дипина. КОЕ-С-7 — клетки, образовавшие колонии за 7 дней, КОЕ-С-11 — за 11 дней. 1* — одни сутки; К — содержание клеток до введения препаратов.

них кроветворных клеток. Поскольку популяция КОЕ-С не способна к самоподдержанию, клетки, регистрируемые в отдаленные сроки после введения дипина, — это потомки кроветворных стволовых клеток, переживших воздействие препарата (см. рис.1). Можно представить, что после введения дипина события в популяции кроветворных клеток развиваются следующим образом: в результате гибели части кроветворных клеток в костном мозге и селезенке резко снижается количество КОЕ-С, а выжившие клетки дают новые клоны, которые мы можем идентифицировать *in vivo* как колонии на поверхности селезенки животных-реципиентов. Эксперименты с дипином наглядно демонстрируют, что, во-первых, среди кроветворных стволовых клеток есть и устойчивые, и чувствительные к препарату клетки и, во-вторых, кроветворение поддерживается на постоянном уровне за

счет последовательной работы клонов кроветворных клеток.

С помощью дипина и 5-фторурацила исследовались и восстановительные потенции мезенхимных клеток в костном мозге. Через сутки после введения дипина там сохраняется не более 20% от исходного числа

КОЕ фибробластов (рис.2). В течение года наблюдения значительные колебания их численности соответствуют изменениям количества родоначальных кроветворных клеток. Их нестабильная концентрация в двух гистогенетически различных тканях, взаимодействие

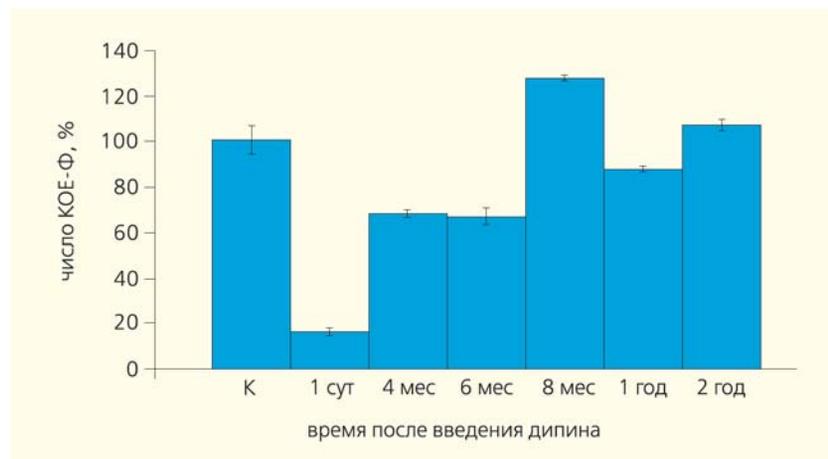


Рис.2. Содержание стромальных клеток-предшественниц (КОЕ-Ф) в костном мозге мышей в разные сроки после введения дипина.

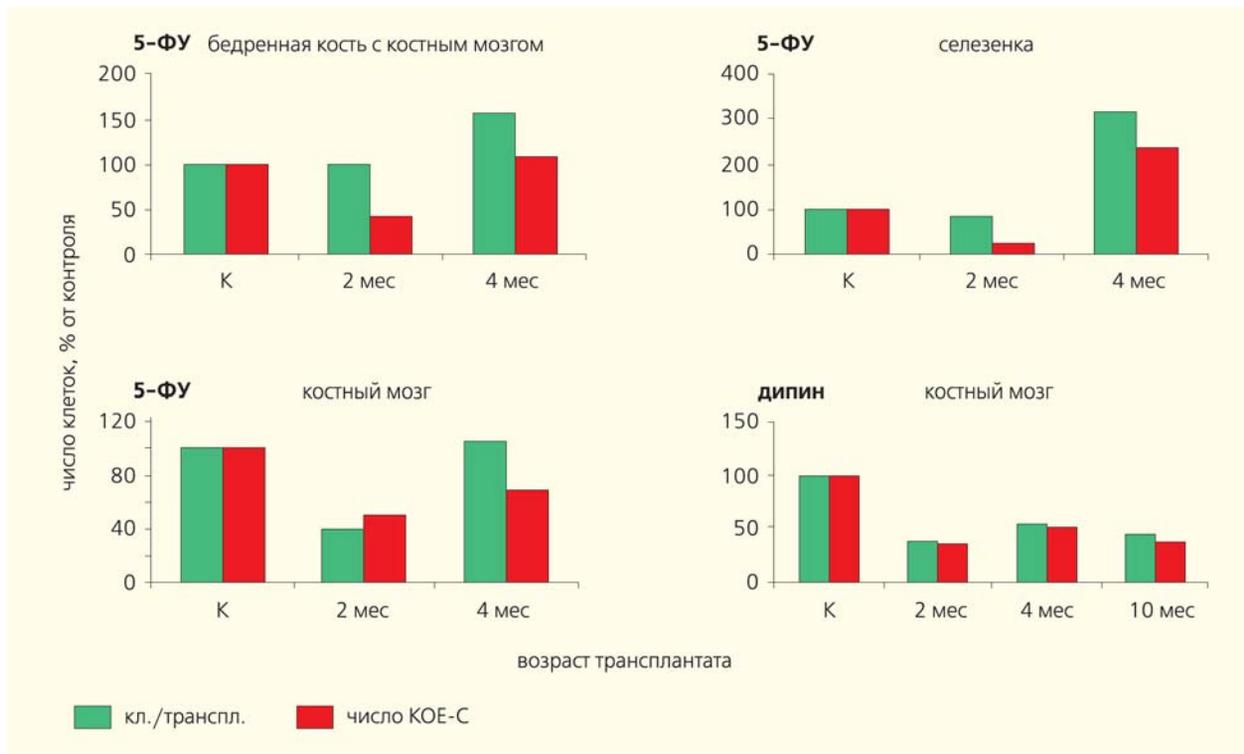


Рис.3. Влияние 5-фторурацила и дипина на регенерацию трансплантатов.

которых играет решающую роль в гемопоэзе, говорит о глубоких нарушениях. Устойчивые к дипину стромальные клетки, хотя и создавали при эктопической трансплантации кроветворную территорию, в течение

8–10 мес не могли восстановить ее до контрольного уровня. Значит, дипин необратимо повреждает наиболее молодую категорию стромальных клеток с высокой восстанавливающей способностью.

После однократного введения 5-фторурацила число КОЕ фибробластов в костном мозге и селезенке также существенно уменьшалось, однако динамика роста трансплантатов была иной. Первоначальное уменьшение величины трансплантатов, вызванное гибелью части клеток, сменялось ростом, который достигал контрольного уровня или даже превышал его (рис.3). Устойчивые к фторурацилу клетки — скорее всего, наиболее молодые из мезенхимных клеток. Именно они и их потомки ответственны за регенерацию и рост трансплантата в более поздний период. Напротив, чувствительные к этому препарату клетки, хотя и участвуют в переносе кроветворного микроокружения в ранние сроки после трансплантации, но не могут обеспечить его регенерацию в полном объеме.

Сравнив рост трансплантатов от доноров, получивших 5-фторурацил и дипин, мы выделили три категории стро-

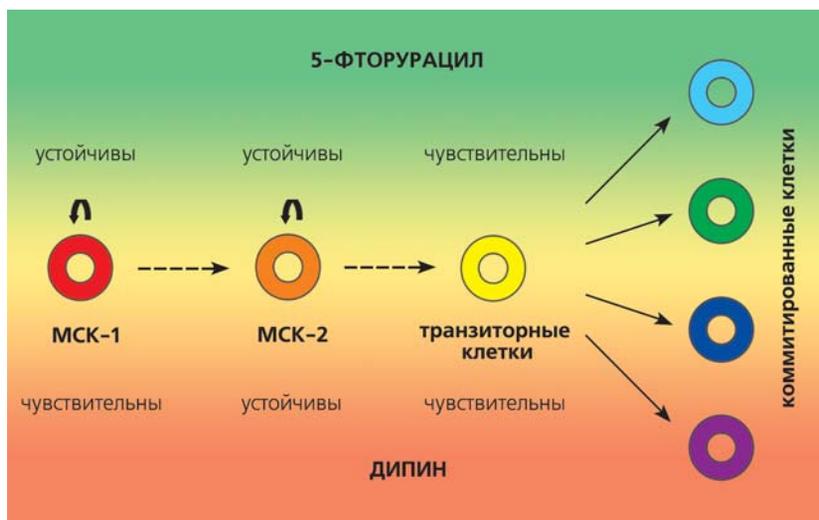


Рис.4. Схема организации стромального ряда дифференцировки. МСК-1 — мезенхимные стволовые клетки с высоким репаративным потенциалом, МСК-2 — с ограниченным.

мальных клеток, отличающихся по способности к восстановлению и организации кроветворного микроокружения после повреждения, и предложили гипотетическую модель стромального ряда дифференцировки (рис.4) [5]. *Первая категория* чувствительна к дипину, но устойчива к фторурацилу; ее высокие репаративные потенции и обеспечивают полную регенерацию эктопических трансплантатов. *Вторая* отличается устойчивостью к дипину, участвует в переносе кроветворного микроокружения, но не полностью восстанавливает трансплантат до контрольных значений, и, следовательно, ее репаративный потенциал ограничен. Наконец, *третья категория* чувствительна к 5-фторурацилу и дипину. Она участвует в формировании трансплантата на ранних сроках после пересадки, но репаративным потенциалом не обладает (очевидно, это транзиторные клетки-предшественницы, достаточно продвинутые в дифференцировке, но не оспособные к самоподдержанию).

Сравнительный анализ

Костный мозг — не единственный источник мезенхимных

стволовых клеток. Как известно, в эмбриогенезе кроветворение возникает в желточном мешке и так называемой аорто-гонадомезонефральной области, после чего кроветворные клетки переселяются сначала в печень, а затем в селезенку и костный мозг. Во всех этих органах присутствуют мезенхимные клетки, создающие микроокружение, и число их зависит от активности кроветворения в соответствующем органе. Так, согласно нашим опытам, печень 18-суточных зародышей мыши по содержанию КОЕ фибробластов сопоставима с костным мозгом взрослого животного, тогда как в печени 14-суточных эмбрионов (кроветворение только начинается) и новорожденных мышей (оно уже затухает) этих клеток существенно меньше.

Если мезенхимные стволовые клетки в костном мозге взрослого организма описаны достаточно подробно, то о клетках из эмбриональных источников (в частности, из печени) известно гораздо меньше. Можно предположить, что в ходе развития мезенхимные клетки мигрируют из одного кроветворного органа в другой, подготавливая «среду обитания» для приходящих вслед за ними кроветворных клеток [7]. Если эта гипотеза верна, то мезенхимные клет-

ки эмбриональной печени и взрослого костного мозга — одна и та же популяция, которая при переселении может приобретать новые свойства. Мы попытались выяснить, насколько сходны между собой мезенхимные клетки из взрослого костного мозга и эмбриональной печени, и если они различаются, то чем именно. В экспериментах использовали два вида животных — мышь (традиционный объект для изучения кроветворной ткани) и крысу [8].

Результаты наших опытов и с костным мозгом, и с эмбриональной печенью определили предпочтительность клеток крысы: из них всегда получались чистые колонии фибробластоподобных клеток, тогда как мышинные культуры содержали множество кроветворных клеток (прежде всего макрофагов), составляющих более 50% клеток колонии. В то же время и у мыши, и у крысы различия в морфологии и составе колоний между клетками костномозгового и печеночного происхождения оказались в целом невелики. Колонии, образуемые фибробластами из обоих органов, содержат веретеновидные или отростчатые клетки (рис.5), иногда с признаками начальных стадий жировой дифференцировки (множество капель жира в цитоплазме).

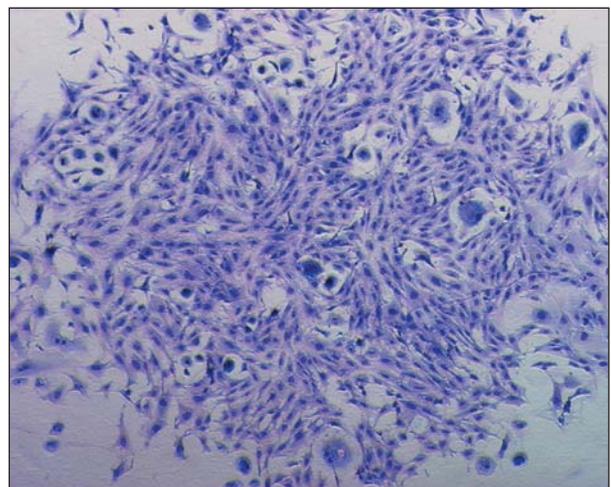
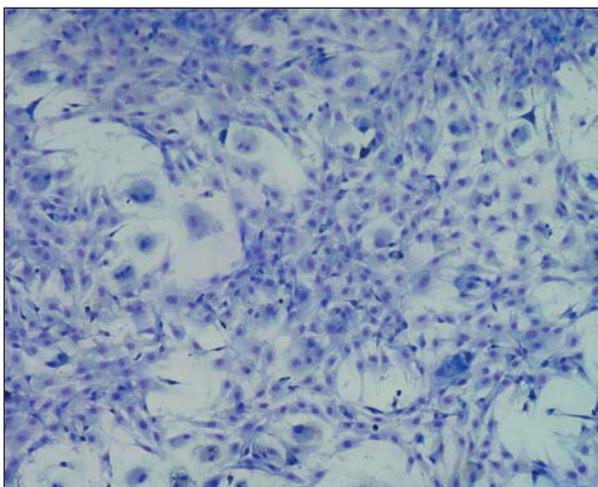


Рис.5. Микрофотографии стромальных колоний, образованных фибробластами костного мозга (слева) и эмбриональной печени крысы (справа). Увел. 40.

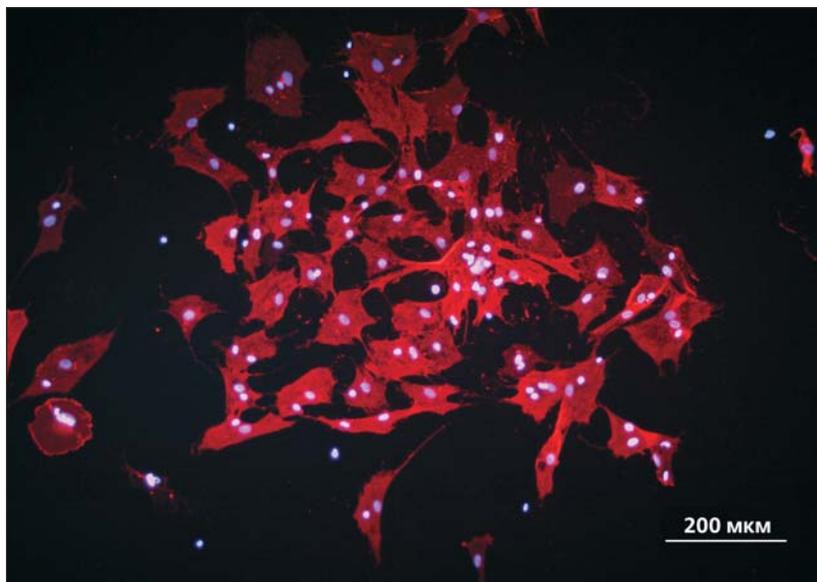


Рис.6. Микрофотография мезенхимных стволовых клеток костного мозга крысы, окрашенных иммунофлуоресцентным красителем, выявляющим белок CD90.

В культурах фибробластов печени, в отличие от костномозговых, клетки более гетерогенны по морфологии; кроме того, отмечены и некоторые различия в плотности расположения клеток: костномозговые колонии обычно имеют рыхлую сетчатую структуру, а среди печеночных встречаются как рыхлые, так и компактные. Еще одна особенность культур КОЕ фибробластов печени — присутствие небольшого числа очень плотных колоний, состоящих из округ-

лых или полигональных клеток, внешне сходных с эпителием или эндотелием. Выяснение природы этих клеток требует дальнейших исследований.

Как показал иммуногистохимический анализ, на поверхности большинства стромальных клеток обоих органов имеется молекула известного маркера мезенхимных стволовых клеток — CD90 (рис.6). Еще одна общая черта — формирование кроветворного микроокружения в организме облученного

животного. В экспериментах эти клетки, выращенные на искусственной подложке и пересаженные в перитонеальную полость облученных мышей, получивших донорские кроветворные клетки, приводили к образованию небольших очагов кроветворения, состоявших из малодифференцированных клеток и гранулоцитов.

Однако помимо общих черт мезенхимных клеток из костного мозга и эмбриональной печени, обнаружилось их различия. Прежде всего это касается способности к костной дифференцировке, о которых мы судили по гистохимической реакции на щелочную фосфатазу — маркер клеток, вступивших на путь остеогенеза. В культурах фибробластов костного мозга этот фермент содержат клетки большинства колоний, а в культурах печени он имеется лишь в отдельных клетках в единичных колониях (рис.7). Эти результаты говорят о низкой способности печеночных стромальных клеток к образованию кости, что подтверждается и другими исследованиями.

Мезенхимные клетки *in vitro* способны преобразоваться не только в костную, но и в другие соединительные ткани — в частности, в жировую. Культивируя мезенхимные клетки костного мозга крысы на соответствующую

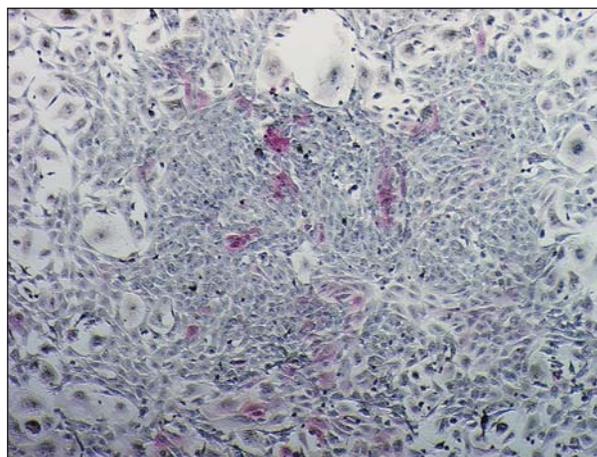
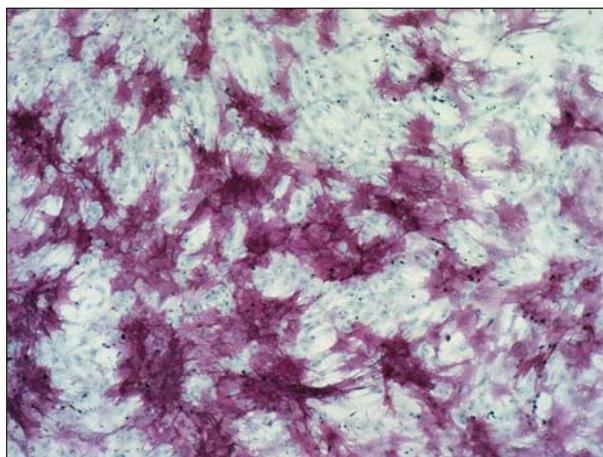
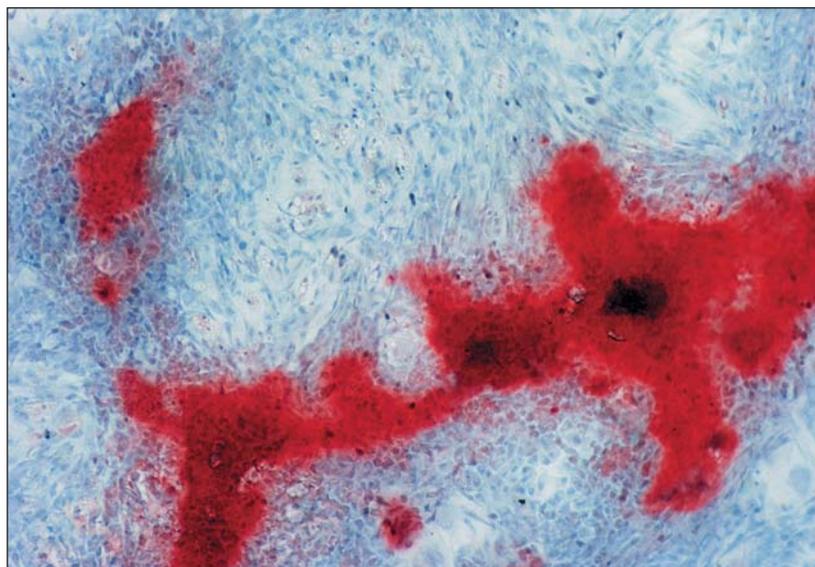


Рис.7. Микрофотографии колоний КОЕ фибробластов костного мозга (слева; увел. 100) и эмбриональной печени (справа; увел. 40) крысы после гистохимической реакции на щелочную фосфатазу.

Рис.8. Микрофотография мезенхимных стромальных клеток, дифференцирующихся *in vitro* в костную ткань. Клетки окрашены на соли кальция ализариновым красным (увел. 40).



щих средах, мы подтвердили их дифференцировку в костную и жировую ткани, которая зависит от числа пройденных пассажей. Клетки первого-четвертого пассажа демонстрировали высокую способность к обеим дифференцировкам. В остеогенной среде они сначала усиливали экспрессию щелочной фосфатазы, а затем приобретали морфологию остеобластов и формировали плотные скопления, внеклеточный матрикс которых содержал костный белок коллаген I типа, пропитанный солями кальция (рис.8). Кроме того, в дифференцирующихся клетках обнаружена экспрессия Cbfa-1 и остеокальцина — специфических маркеров остеогенеза (рис.9). В адипогенной среде те же клетки начинали экспрессировать ген PPAR δ , играющий важную роль в жировой дифференцировке, и накапливать нейтральные жиры, приобретая округлую форму и заполняясь множественными жировыми каплями (рис.10).

Однако после длительного культивирования клетки вели себя иначе. Даже после 10 пассажей они продолжали активно размножаться (хотя скорость роста на пятом-шестом пассаже резко замедлялась), но жировая ткань не формировалась, а костная имела нетипичный вид — хотя клетки по-прежнему экс-

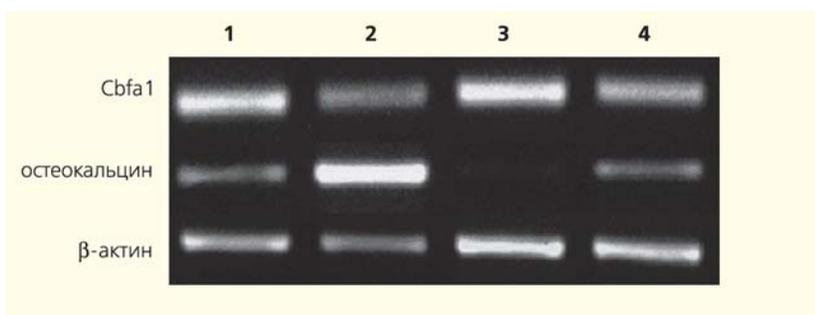


Рис.9. Результаты полимеразной цепной реакции, выявляющие экспрессию генов остеокальцина и белка Cbfa-1 в клетках разных пассажей — второго (2) и девятого (3, 4). 1, 3 — среда без индукторов остеогенеза; 2, 4 — с индукторами.

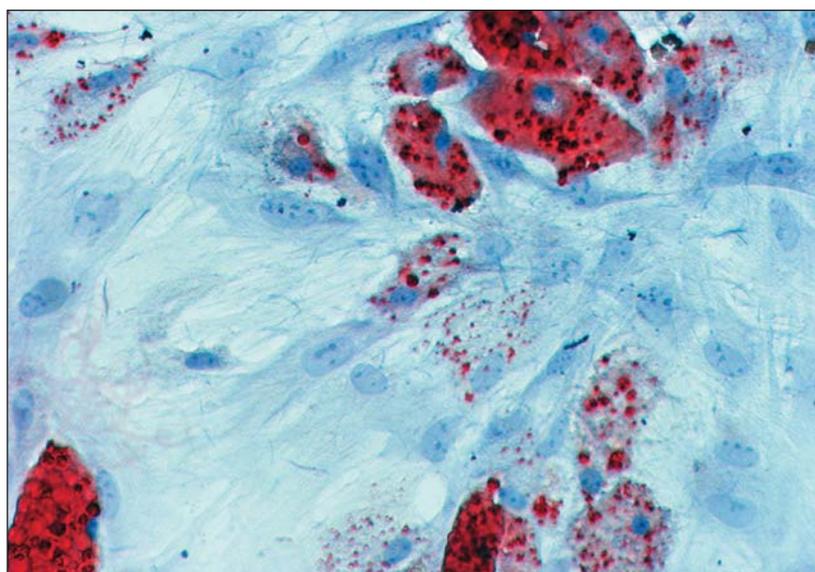


Рис.10. Микрофотография мезенхимных клеток костного мозга крысы, *in vitro* дифференцирующихся в жировую ткань. Окрашивание суданом на нейтральные жиры; увел. 200.

прессировали Cbfa-1 и остеокальцин и откладывали соли кальция, но морфологически оставались веретеновидными.

У печеночных клеток адипогенные потенции были не слабее, чем у костномозговых, но остеогенез выражен существенно меньше: малочисленны и невелики минерализованные очаги остеобластоподобных клеток, а интенсивность окрашивания на кальций низка. Тем не менее костная дифференцировка этих клеток подтверждалась экспрессией ими Cbfa-1 (специфического для остеобластов фактора транскрипции) и наличием в межклеточном веществе коллагена I типа, отсутствовавшего в контрольных культурах.

Однако при эктопической трансплантации мезенхимные клетки печени проявляли гораздо более выраженные остеогенные потенции, чем в культуре. Когда целую эмбриональную печень мыши пересаживали под капсулу почки реципиента, на месте трансплантации развивалась хрящевая ткань, которая затем сменялась костью с кроветворящим костным мозгом (рис.11). То же самое, хотя и с меньшей эффективностью,

происходило и в опытах на крысах. Очевидно, источником развития хрящевой и костной тканей служат мезенхимные стволовые клетки, содержащиеся в пересаженной печени.

Костный мозг, пересаженный в виде тканевого фрагмента, вел себя несколько иначе: на месте трансплантации также формировалась костная ткань, но без предварительного образования хряща. Возможно, такие различия связаны с механизмом дифференцировки: в случае костномозговых клеток возможен прямой остеогенез (как в эмбриогенезе плоских костей черепа), в случае печеночных — не прямой (характерный для развития длинных трубчатых костей). Сохранятся ли эти различия при трансплантации мезенхимных клеток, выделенных из тканевого фрагмента, — задача дальнейших исследований.

Еще одно направление нашей работы связано с оценкой влияния на мезенхимные клетки различных ростовых факторов — эпидермального фактора роста (EGF), фактора роста из тромбоцитов (PDGF) и основного фактора роста фибробластов (bFGF). По предварительным данным, под действием этих

факторов размер колоний, образуемых КОЕ-Ф костного мозга и эмбриональной печени, несколько увеличивался, что может быть косвенным свидетельством стимуляции клеточной пролиферации. Кроме того, EGF и bFGF изменяли число клеток-предшественниц, вступающих в клональный рост. На EGF клетки обоих типов тканей отвечали повышением числа колоний, а вот ответ на bFGF был разным: печеночные клетки проявляли более активное колониеобразование, а костномозговые, напротив, образовывали меньше колоний. Что же касается активности щелочной фосфатазы, то исследованные факторы влияли на нее только в клетках костного мозга (EGF вызывал усиление активности, bFGF — некоторое ослабление). Впрочем, полученные в экспериментах с факторами данные нуждаются в проверке и уточнении.

Космический эксперимент

Способность кроветворной и соединительной ткани достаточно быстро реагировать на функциональные запросы, изменения окружающей среды, стрессовые и экстремальные ситуации делает их адекватными тест-системами и для изучения различных внешних воздействий. В частности, освоение космического пространства поставило ряд задач, связанных с обеспечением нормальной жизнедеятельности человека в новой среде обитания.

В ходе многочисленных исследований выяснилось, что пребывание в космосе вызывает у человека и млекопитающих изменения в периферической крови [10]. Согласно современным представлениям о стволовых клетках, этот феномен есть результат более глубоких процессов, происходящих в клетках, ответственных за обновление кроветворной ткани и поддержание кроветворения на постоянном уровне. Модельные

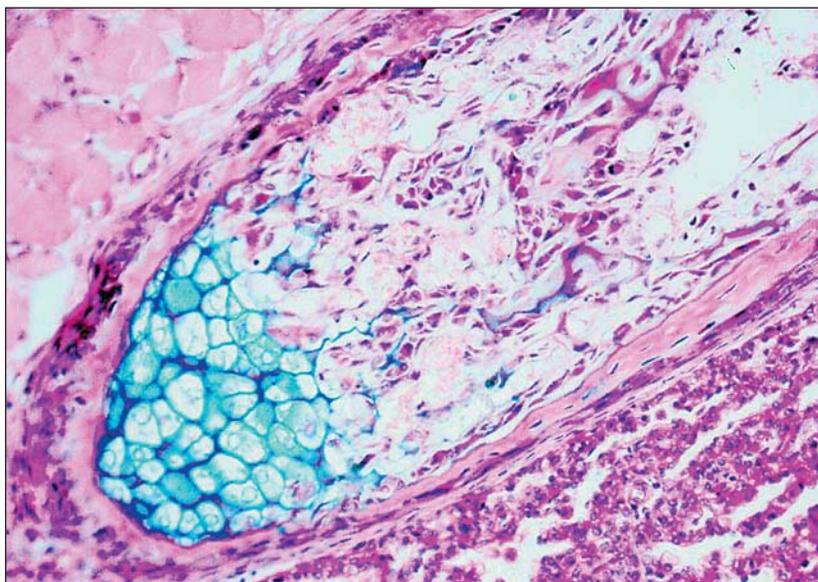


Рис.11. Микрофотография хрящевой и костной тканей, образовавшихся при эктопической трансплантации эмбриональной печени мыши.

эксперименты на лабораторных животных, находящихся на борту космического корабля, подтвердили это предположение и позволили получить достаточно полную характеристику их кроветворной ткани, что по естественным причинам невозможно сделать для человека.

Совместно с Институтом медико-биологических проблем РАН, Чехословацкой АН и НАСА мы принимали участие в биологических экспериментах, проводимых на биоспутниках серии «Космос» («Космос-1129, -1514, -1667, -1887»), «Бион» («Бион-10 и -11») и «Фотон-2М», и изучали кроветворную ткань крыс и хвостатых амфибий [11]. По нашим данным и результатам других исследователей, работающих в этой области, факторы космического полета влияют на клеточный состав крови, число стволовых и коммитированных кроветворных и мезенхимных клеток, а также костную ткань. У крыс краткосрочный космический полет приводит к достоверному уменьшению содержания КОЕ селезенки в кроветворных органах, которое быстро нормализуется на Земле. В костном мозге это вызвано действием специфических факторов полета, тогда как в селезенке — неспецифических. Вместе с тем кратковременная экспозиция в невесомости в плодном периоде (13—18-е сутки беременности) почти не сказывается на возрастной динамике содержания кроветворных стволовых клеток в кроветворных органах, свойственной животным в постнатальном развитии.

В серии работ исследовалось влияние на кроветворную систему совокупности всех факторов полета, как специфических (невесомость, ионизирующее космическое излучение), так и неспецифических (перегрузки, вибрация, световой режим) без учета вклада каждого конкретного фактора. Логическим продолжением этих экспериментов стало изучение действия на кроветворную ткань радиации —

одного из наиболее значимых космических факторов. До настоящего времени влияние облучения в низких дозах, которые организм получает в космосе, на кроветворную и соединительную ткани практически не изучалось. Мы попытались восполнить этот пробел и впервые провели комплексную оценку действия непрерывного облучения в дозах, сопоставимых с космическими, на стволовые/родоначальные кроветворные и стромальные клетки.

Проведенные исследования показали, что непрерывное γ -облучение (суммарная доза 1.5 сГр, мощность дозы 0.15—0.2 сГр/сут) в течение 10 сут повышает содержание КОЕ фибробластов в костном мозге, стимулирует их пролиферацию и активирует рост эктопических трансплантатов костного мозга. Интересно, что, в отличие от стромальных клеток, функционально тесно связанная с ними популяция кроветворных родоначальных клеток оказалась нечувствительной к таким дозам радиации [12].

Стимулирующий эффект малых доз различных химических и физических агентов (в том числе и радиации) на биологические объекты, так называемый гормезис, хорошо известен [13]. Радиационный гормезис на клеточном и молекулярном уровне наиболее изучен в клетках иммунной системы — спленоцитах и тимоцитах. Мы впервые обнаружили радиационный гормезис для стволовых клеток стромы, поскольку именно они, как было показано в опытах с дипином и 5-фторурацилом, ответственны за рост эктопических трансплантатов. В наших экспериментах стимулирующее действие непрерывного облучения наблюдалось в дозах на порядок ниже тех, для которых в настоящее время описан радиационный гормезис. В литературе мы не нашли примеров столь сильного эффекта таких малых доз радиации, а для стромальных родоначальных и стволовых клеток, он, видимо, обнаружен впервые.

Исследование подобного рода выходит за рамки космической программы и имеет медико-биологический, в том числе и экологический, аспект, поскольку γ -облучение малой интенсивности составляет один из компонентов радиоактивного природного фона, под воздействием которого живые организмы находятся в наземных условиях [13]. Обнаружение феномена радиационного гормезиса открывает новые перспективы в изучении мезенхимных клеток, которые имеются в самых разных тканях, участвуют в регуляции кроветворения, способны к миграции и обладают гистогенетической пластичностью. Это направление исследований весьма актуально не только для экспериментальной биологии, но и практической медицины.

В целом концепция тканеспецифических стволовых клеток, наиболее полно и доказательно разработанная для кроветворной ткани, в течение последних пяти лет начала распространяться и на другие органы и ткани. При этом не всегда с уверенностью можно судить о существовании в том или другом органе истинных стволовых клеток, поскольку они не выделены в чистом виде и фенотипически не описаны. Часто их объединяют в одну популяцию с родоначальными клетками. Ряд авторитетных исследователей не без основания предпочитает от употребления термина «мезенхимные стволовые клетки», предлагая называть их мезенхимными стромальными клетками [14].

В связи с этой терминологией следует напомнить, что известные русские гистологи А.А.Максимов и А.А.Заварзин разработали учение о так называемом «мезенхимном резерве», считая, что эмбриональная соединительная ткань (мезенхима) сохраняется в постнатальном периоде и служит источником разных типов клеток соединительной ткани. Поэтому наших ученых с полным правом можно причислить к основопо-

ложникам представлений о мезенхимных стволовых (родоначальных) клетках.

Особо следует остановиться на пластичности стволовых клеток, т.е. их способности давать начало производным разных зародышевых листков. Пока не ясно, происходит ли в этом случае истинная трансдифференцировка, или же в зрелых тканях сохраняются тотипотентные стволовые клетки («эмбриональный резерв» по аналогии с ме-

зенхимным). Можно также допустить, что в костном мозге сосуществуют стволовые клетки разного тканевого предназначения, реализующиеся в зависимости от запроса, например, при повреждении той или иной ткани или органа.

Буквально взрывной характер разнонаправленных исследований по стволовым клеткам, наблюдаемый в мировой науке в последние годы, вполне объясним: он связан прежде всего

с интересами практической (регенеративной) медицины и, соответственно, с притоком огромных материальных средств. Даже такие «ответственные» разделы медицины, как онкология, неврология и кардиология, начинают проявлять все возрастающий интерес к биологии стволовых клеток. Следует ожидать, что и Россия займет подобающее ей место в разработке теоретических и прикладных аспектов проблемы стволовых клеток. ■

Литература

1. Caplan A.I. // J. Orthop. Res. 1991. V.9. №5. P.641—650.
2. Till J.E., McCulloch E.A. // Rad. Res. 1961. V.14. P.213.
3. Yang G., Hisba H., Cui Y. et al. // Stem Cells. 2002. V.20. P.241—248.
4. Домарацкая Е.И., Прянишникова О.Д., Старостин В.И. и др. // Докл. АН СССР. 1985. Т.281. №5. С.1216—1218.
5. Урчуева И.В. // Monogr. Dev. Biol. Basel. 1991. V.23. P.230—236.
6. Домарацкая Е.И., Буеверова Э.И., Паюшина О.В., Старостин В.И. // Известия АН. Серия биологическая. 2005. №3. С.267—272.
7. Van Den Heuvel R.L., Versele S.R.M., Schoeters G.E.R., Vanderborght O.L.J. // Br. J. Haematol. 1987. V.66. №1. P.15—20.
8. Паюшина О.В., Буеверова Э.И., Самдыкова Г.П. // Известия АН. Серия биологическая. 2004. №6. С.659—664.
9. Martin I., Muraglia A., Campanile G. et al. // Endocrinology. 1997. V.138. №10. P.4456—4462.
10. Газенко О.Г., Ильин Е.А., Парфенов Г.П. // Известия АН. Серия биологическая. 1974. №4. С.461—475.
11. Domaratskaya E.I., Michurina T.V., Bueverova E.I. et al. // Adv. Space Res. 2002. V.30. №4. P.771—776.
12. Domaratskaya E.I., Tsetlin V.V., Bueverova E.I. et al. // Adv. Space Res. 2005. V.36. P.1334—1339.
13. Кузин А.М. Роль природного радиоактивного фона и вторичного биогеогенного излучения в явлениях жизни. М., 2002.
14. Dominici M., Le Blanc K., Slaper-Cortenbach I. et al. // Cytotherapy. 2006. V.8. №4. P.315—317.

Нейротрансплантация для терапии мозга?

М.А.Александрова

Представления о стабильности, строгой детерминированности нейронов и жесткой специфичности синаптических связей, сформулированные выдающимся испанским нейробиологом С.Рамон-и-

Кахалем уже в начале прошлого века, легли в основу нейронной теории. Открытие пластичности нервной системы (перестройки нейронов и межнейрональных связей) заставило взглянуть на ее основные положения с новых позиций. А последующее доказательство постоянного и регули-

руемого нейрогенеза опровергло представление о стабильности числа нейронов в мозге взрослых млекопитающих и человека. Эти работы повлекли за собой новую волну интереса к процессам развития мозга, адаптации нервной системы к внешним воздействиям (в том

числе в условиях патологии), а также к восстановительным процессам в центральной нервной системе.

В середине 60-х годов прошлого века американский исследователь Д.Альтман с помощью нового и модного в то время метода автордиографии обнаружил делящиеся клетки в неокортексе, гиппокампе и обонятельных луковицах мозга взрослых млекопитающих [1]. Он предположил, что постоянное возобновление нейронов и глии может иметь отношение к процессам обучения и памяти. Альтман очень интересовало, каким образом делящиеся клетки взаимодействуют с дифференцированным мозгом. В те годы арсенал методов для подобных исследований был невелик, поэтому он со своим сотрудником Г.Дасом начал пересаживать кусочки эмбрионального мозга сначала в мозг новорожденных, а потом и взрослых животных. Этот по сути классический для эмбриологов прием, модифицированный для нужд нейробиологии, стал принципиально новым, мощным методом для изучения развития и дифференцировки нервной ткани, формирования межнейронных взаимодействий, стимуляции восстановительных процессов в мозге млекопитающих. Благодаря этим работам начались бурные исследования в области нейротрансплантации, отодвинувшие на время открытия стволовых клеток, хотя и имеющие к ним непосредственное отношение.

Хорошо известно, что центральная нервная система млекопитающих обладает чрезвычайно ограниченной способностью к структурному восстановлению при различных повреждениях. Оптимистичность первых результатов по трансплантации давала надежду решить эти проблемы с помощью пересадки эмбриональной нервной ткани. Ведущие нейробиологические лаборатории мира занялись этими исследованиями. Была разработана техника и опреде-



Мария Анатольевна Александрова, доктор биологических наук, заведующая лабораторией экспериментальной нейробиологии. Основные научные интересы связаны с изучением развития и дифференцировки клеток нервной системы и проблем ее регенерации.

лены условия успешной пересадки нервной ткани. Выяснили, что можно трансплантировать любые отделы эмбрионального мозга в головной и спинной мозг взрослых млекопитающих. Имплантированные ткани приживляются, растут, дифференцируются и длительно (годы) сохраняются в мозге реципиента. В момент пересадки эмбриональная ткань уже детерминирована, поэтому ее развитие идет, как правило, соответственно ее происхождению. Нейроны трансплантатов могут устанавливать афферентные и эфферентные связи с клетками мозга реципиента, которые формируются за счет роста аксонов от нейробластов или юных нейронов трансплантата и активного роста аксонов со стороны окружения — уже зрелых нейронов реципиента.

Кроме того стало ясно, что нервная ткань обладает нейротрофической активностью, т.е. клетки секретируют во внеклеточную среду растворимые факторы, которые чрезвычайно важны для роста и жизнедеятельности клеток мозга. Разные клетки выделяют свои белки, регулирующие процессы синтеза, деления, роста, дифференцировки в них самих и других клетках. В развивающейся нервной системе синтез нейротрофических и ростовых факторов намного активнее, чем во взрослом мозге. Именно поэтому эмбриональная нервная ткань трансплантата оказывает сложное, многостороннее нейротрофическое воз-

действие на мозг реципиента. Так, пересаженная в поврежденный мозг, она может вызывать функциональную компенсацию: трансплантаты действуют как эндогенный источник недостающих нейрохимических веществ и нейротрофических факторов, а также могут прорастивать свои отростки в мозг хозяина, что способствует восстановлению нарушенного поведения.

Огромные достижения в нейротрансплантации эмбриональной ткани мозга побудили к попыткам использовать этот метод в медицинской практике для лечения болезней Паркинсона, Гентингтона, Альцгеймера, при поражениях спинного мозга и в ряде других патологий центральной нервной системы. Однако клинические испытания, проведенные на нескольких сотнях людей с повреждениями мозга (главным образом при болезни Паркинсона), не дали ожидаемых результатов, в первую очередь из-за того, что клетки из эмбрионов человека плохо переносили трансплантацию. Нужен был источник нейральных клеток, пригодных для последующей пересадки.

Приблизительно в это же время нейрологи С.Вейс и Б.Рейнольдс выделили из мозга делящиеся клетки (описанные Альтманом) и размножили их в специальных средах, содержащих эпидермальный фактор роста (EGF) и основной фактор роста фибробластов (FGF). Клетки в таких культурах формируют свободноплавающие агрегаты

шарообразной формы, нейросферы. Исследователи предположили, что каждая нейросфера развивается из стволовой клетки и включает в себя как стволовые клетки, так и их потомков. Используя метод клонирования клеток из мозга эмбриона мыши, они доказали, что из единично рассажённых клеток вырастают нейросферы, клетки которых развиваются в нейроны и глию [2]. Полученные нейросферы можно разбивать на отдельные клетки, растить их в культуре ткани. При этом стволовые клетки сохраняют способность к самоподдержанию, а их потомки, не обладающие этим качеством, могут дифференцироваться в нейроны, астроциты и олигодендроциты. Однако в настоящее время стало ясно, что поддерживать стволовые клетки в условиях культуры ткани долгое время невозможно. Можно лишь нарабатывать и исследовать их в течение нескольких месяцев, или идти по другому пути — получать бессмертные линии с помощью генноинженерных методов, хотя последние могут быть опасны в отношении опухолевого роста.

Возможность культивирования стволовых клеток, необходимых для трансплантации, в лабораторных условиях в значительной степени позволяет «отдалиться» от эмбрионального человеческого материала и дистанцироваться от этической проблемы его непосредственного использования. Сегодня очевидно, что трансплантация малодифференцированных клеток нервной ткани может быть действенным терапевтическим подходом к восстановлению поврежденного мозга. Большие надежды в лечении различных патологий центральной нервной системы возлагаются на клеточные культуры, полученные на основе стволовых клеток человека [3].

Вопрос о происхождении и локализации стволовых клеток во взрослом мозге активно разрабатывается в настоящее время.

Трудность заключается в том, что для нейтральных стволовых клеток нет универсального маркера (ни морфологического, ни молекулярно-биологического). Для выявления этих клеток в состоянии стволовости иммуногистохимическими методами применяют стратегию негативной и позитивной селекции по ряду маркеров. Некоторые из них специфичны для клеток нервной ткани. Их использование позволило проследить судьбу стволовых клеток в развитии мозга [4]. На ранних стадиях эмбриогенеза будущая нервная система — это слой стволовых нейроэпителиальных клеток, называемый нервной пластинкой. В дальнейшем она сворачивается в нервную трубку, а часть клеток, оставшаяся по краям, образует нервный гребень. Именно из нейроэпителиальных клеток нервной трубки формируются головной и спинной мозг, составляющие центральную нервную систему. Все ее клетки развиваются из стволовых клеток, расположенных в зонах роста мозга — вентрикулярной (вокруг желудочка мозга — просвета нервной трубки) и субвентрикулярной. Стволовые клетки в вентрикулярной зоне активно делятся и скорее всего становятся клетками радиальной глии, при делении которых образуются сначала нейроны, а затем астроциты и олигодендроциты. В эмбриогенезе вентрикулярная зона постепенно исчезает, поскольку клетки прекращают активное деление, и стволовые клетки обнаруживаются только в субвентрикулярной зоне развивающегося мозга. Вскоре после рождения животного клетки радиальной глии как таковые перестают выявляться, и роль стволовых начинают играть клетки со свойствами астроцитов.

Итак, на ранних этапах развития мозга стволовые клетки принимают разные облики. В эмбриогенезе это клетки нейроэпителиала и радиальной глии, а во взрослом мозге они похожи на астроциты. Это было доказа-

но в серии исследований с использованием генноинженерных методов, позволяющих пометить клетку и затем следить за ее судьбой и за потомками. Установлено, что стволовые клетки присутствуют не только в эмбриональном и раннем постнатальном периоде онтогенеза, но и в течение всей жизни организма, однако их число невелико и уменьшается с возрастом. У млекопитающих, в том числе у человека, они сохраняются в виде астроцитоподобных клеток и поддерживают нейро- и глиогенез в гиппокампе и в субвентрикулярной области мозга.

Во взрослом мозге стволовые клетки находятся в так называемых «нишах», представляющих собой сложно организованный ансамбль разных типов клеток: стволовых и прогениторных, дифференцированных нейронов и глиальных, клеток кровеносных капилляров или сосудов. Все вместе они формируют специфическое микроокружение — среду, в которой клетка сохраняет стволовые функции. Клетки «ниши» способны вырабатывать морфогенетически важные растворимые и нерастворимые белки внеклеточного матрикса, необходимые для сохранения самих стволовых клеток и для поддержания дифференцировки их потомков. В настоящее время еще не установлено, от каких именно клеток «ниши» и какие сигналы служат спусковым механизмом для пролиферации стволовых клеток и дальнейшего развития прогениторных клеток. Возможно, такие сигналы поступают от эндогенных источников (от нейронов и глии) и/или от экзогенных (кровеносной системы), а дифференцировку направляют различные факторы, в том числе и белки нейральной индукции. Поведение стволовых клеток зависит от активных веществ, растворенных во внеклеточной среде. Эпидермальный и фибробластный факторы роста могут контролировать пролиферацию, а нейротрофический фактор моз-

га, цитокины, фактор роста сосудов, гормоны и многие другие, видимо, регулируют дифференцировку новообразованных клеток. Кроме того, в регуляции пролиферации могут принимать участие классические нейромедиаторы — дофамин, серотонин и ацетилхолин.

Во взрослом мозге количество стволовых клеток в субвентрикулярной зоне очень невелико (около 1%), и они редко делятся, а вот порождаемая ими популяция так называемых транзиторных клеток делится активно. Образованные из них нейробласты мигрируют в соответствующие области мозга и заменяют погибшие вставочные нейроны. Новые клетки устанавливают специфические связи с другими нейронами и нормально функционируют, что и обеспечивает постоянное возобновление нейронов и глии в обонятельной луковице мозга и в зубчатой извилине гиппокампа. Клетки-предшественники мигрируют из субвентрикулярной зоны боковых желудочков, перемещаясь по ростральному миграционному тракту, выстланному специальными астроцитами. Так они достигают обонятельной луковицы мозга, где дифференцируются в нервные и глиальные клетки. В гиппокампе новообразование нейронов происходит в субгранулярной зоне зубчатой извилины, откуда они мигрируют и развиваются в нейроны и глию гранулярного слоя.

Обнаружена связь пролиферации и дифференцировки стволовых клеток с функциональными состояниями мозга. Длительный стресс подавляет их деление, а патологические процессы (ишемическое повреждение, травма и эпилепсия) могут его активировать. Ряд исследований указывает на то, что обучение, обогащенная среда и повышенная двигательная активность стимулируют генерацию новых нейронов зубчатой извилины гиппокампа, способствуют формированию длительной потенциации (сохранению

функциональной активности) в нем и улучшают когнитивные функции.

В других отделах мозга практически нет стволовых клеток, поэтому процессы восстановления требуют там специальной стимуляции. Исследователи полагают, что для лечения различных нейродегенеративных заболеваний человека будет полезна трансплантация нейральных стволовых клеток, создающая новые активные нейрогенные зоны в мозгу. В связи с этим изучение биологии стволовых клеток мозга человека вызывает огромный интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и клинического применения.

Мы совместно с коллегами из Центра акушерства, гинекологии и перинатологии РАМН выделяли из эмбриональной ткани

мозга стволовые предшественники нейральных клеток человека и культивировали их ткани в присутствии упомянутых факторов роста (FGF и EGF). В ходе многочисленных экспериментов удалось подобрать композиции сред и ростовых факторов для наращивания стволовых клеток [5]. В условиях суспензионного культивирования они формировали свободноплавающие агрегаты — нейросферы, которые можно было длительно выращивать и нарабатывать *in vitro* (рис.1). С помощью иммуногистохимических методов мы обнаружили, что наряду со стволовыми и прогениторными клетками в нейросферах всегда присутствуют клетки, развивающиеся по нейрональному и глиальному типу (см. рис. на первой странице обложки).

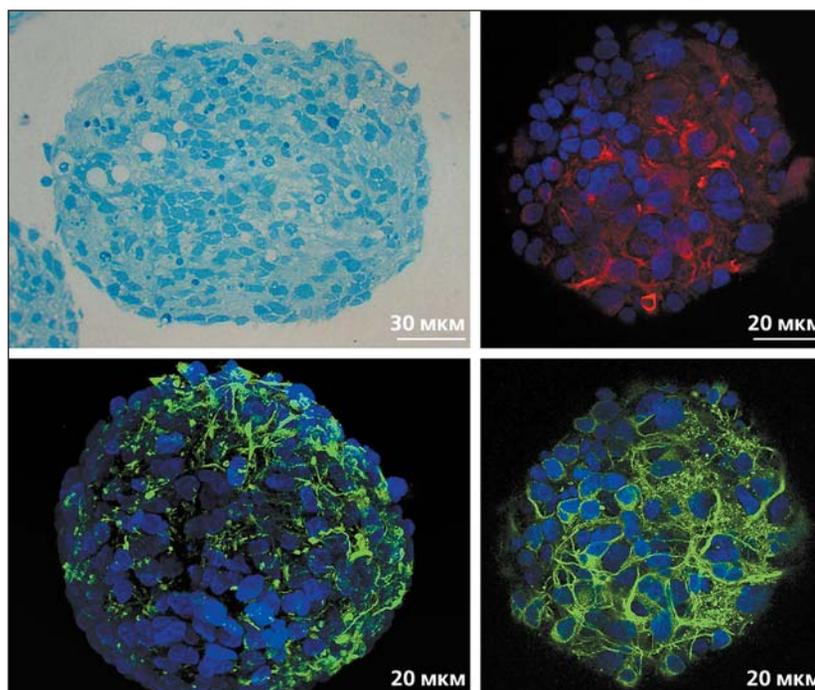


Рис.1. Микрофотографии нейросфер — нейральных стволовых клеток человека, выращенных в культуре (конфокальная микроскопия). Вверху слева — полутонкий срез нейросферы (окраска метиленовым синим), на котором видно множество жизнеспособных клеток и несколько клеток в апоптозе (темные). Нейросферы, клетки которых дифференцированы в стволовые (вверху справа), прогениторные (внизу слева) и нейроны (справа). Тип клеток выявлялся по специфичному для него белку: по нестину человека в стволовых клетках, виментину-В в прогениторных и b-III-тубулину в нейронах; для визуализации применялись флуоресцентно окрашенные антитела к белкам (ядра клеток окрашены Тото-3).

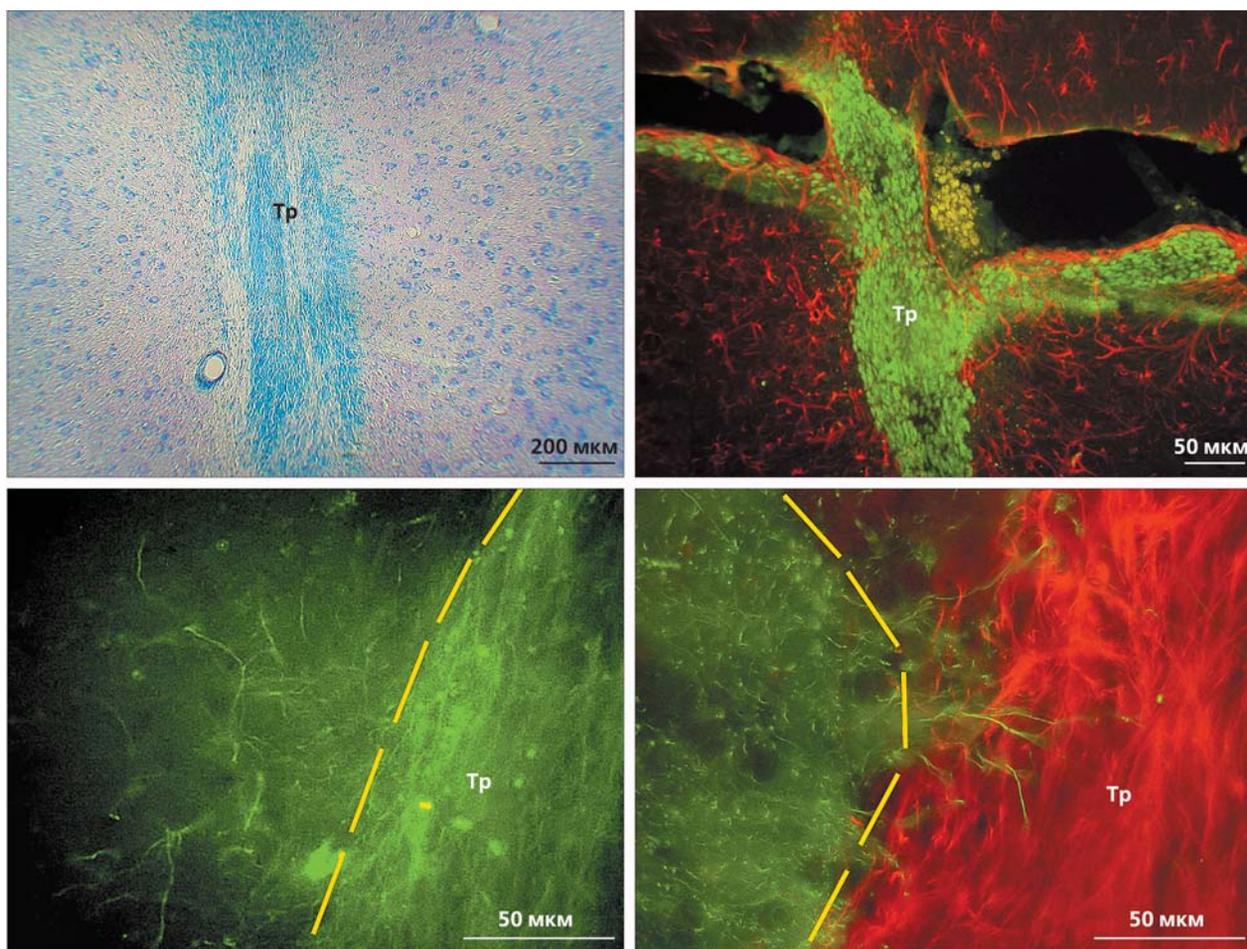


Рис.2. Микрофотографии, на которых зафиксировано поведение нейральных стволовых и прогениторных клеток, пересаженных в мозг взрослых крыс. Вверху — гистологическая картина трансплантата (слева; окраска по Гимзу) и трансплантат (справа), в котором белки ядер клеток человека окрашены зеленым, а глиальные клетки — красным (за счет окрашенных антител к глиальному кислому фибриллярному белку). Внизу — волокна, растущие из трансплантата в мозг реципиента (слева; окраска на нестин, граница отмечена пунктиром); аксоны реципиента (справа), врастающие в трансплантат нейральных клеток (зеленым окрашены антитела к нейрофиламентам, красным — к нестину).

В следующей серии опытов мы имплантировали нейральные стволовые клетки человека в мозг крыс, где клетки снова переживали несколько месяцев, и исследовали их поведение и дифференцировку. Клетки человека имеют природную метку — специфические ядерные белки, которые легко выявляются после трансплантации с помощью специфических антител. Культивируемые клетки мигрировали по эндимной выстилке желудочка, волоконным трактам, вдоль кровеносных сосудов, а также по клеткам коры и гиппокампа. В трансплантатах оказались разные клетки: стволовые

и клетки-предшественники, ранние нейробласты и клетки астроцитарного ряда, но перемещались только стволовые клетки и нейробласты. На границе трансплантатов и окружающей ткани мозга реципиента глиальный барьер, формирующийся обычно при любых травмах мозга из отростков астроцитов, не развивался. В этом случае трансплантированные клетки прорастивали свои отростки в ткань мозга хозяина (рис.2).

В модельной экспериментальной ситуации при повреждении мозга крысы (путем острой гипоксии) культивируемые нейральные стволовые

клетки человека благополучно переживали, сохраняли мультипотентный статус, широко мигрировали в среде мозга, в котором вызвана дегенерация нейронов. В результате пересадки нейральных клеток поведение животных-реципиентов нормализовалось, что было показано нашими коллегами из Института высшей нервной деятельности и нейрофизиологии. По всей видимости, этот эффект опосредован нейротрофическим влиянием трансплантата стволовых/прогениторных клеток, а не включением клеток в нервные сети мозга хозяина. Известно, что в среде микроокружения

взрослого мозга практически нет факторов, необходимых для поддержания роста отростков, наоборот, она обладает стабилизирующими и блокирующими свойствами. Трансплантат, состоящий из стволовых и прогениторных клеток, оказывает мощное нейротрофическое действие (за счет выделения нейротрофинов, ростовых факторов, цитокинов и др.), стимулируя восстановительные процессы в поврежденных, но еще живых нейронах мозга реципиента, что важно для восстановления целостного поведения животного.

Сегодня еще нет экспериментальных доказательств того, что трансплантированные стволо-

вые клетки могут замещать утраченные нейронные комплексы и интегрироваться в информационные процессы мозга реципиента. Однако очень вероятно, что нейротрофический потенциал стволовых и малодифференцированных клеток можно использовать для клеточной терапии при любых нейрохирургических операциях. Очевидно, что стимуляция репаративных процессов в поврежденных клетках мозга после травм, при инсультах, гипоксии и различных нейродегенеративных заболеваниях может предотвратить дегенерацию нейронов.

За последние десять лет, с момента открытия стволовых

клеток, наши знания в области нейрогенеза в мозге взрослых млекопитающих и человека чрезвычайно изменились. Вместе с тем необходимо отдавать себе отчет, что в настоящий момент не до конца разработаны критерии для идентификации нейральных стволовых клеток и далеко не ясны механизмы, регулирующие их активность как в нативном мозге, так и в культуре ткани. Однако именно исследования этих проблем открывают новые пластические потенциалы взрослого мозга и показывают, что в дифференцированном мозге возможно продолжение реконструкции. ■

Литература

1. Altman J. // Science. 1962. V.135. P.1127—1128.
2. Reynolds BA., Weiss S. // Science. 1992. V.255. P.1707—1710.
3. Викторов И.В. // Известия АН. Серия биологическая. 2001. №6. С.646—655.
4. Pevni L., Pao M. // Trends in Neurosci. 2003. V.26. №7. P. 51—359.
5. Александрова М.А., Подгорный О.В., Марей М.В. и др. // Клеточные технологии в биологии и медицине. 2005. №1. С.13—19.

«Программирование» здоровья

Л.А.Захарова

И для кого не секрет, что здоровье наших сограждан за последнее десятилетие значительно ухудшилось. Причин тому немало — загрязнение окружающей среды различными токсинами, эмоциональные перегрузки (стресс) и множество других так называемых факторов риска. Тем не менее далеко не каждый человек



Людмила Алексеевна Захарова, доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории гистогенеза. Область научных интересов — иммунология развития, в частности молекулярные механизмы взаимодействия нейроэндокринной и иммунной систем.

© Захарова Л.А., 2007

заболевает. От чего же это зависит? В первую очередь, конечно же, от состояния иммунной системы, которая, как известно, не только защищает организм от всех чужеродных веществ (антигенов), но и контролирует генетическую однородность клеточных популяций самого организма. Биологический смысл иммунитета заключается в обеспечении генетической целостности отдельных особей в течение их жизни (точнее, индивидуального развития, или онтогенеза), что гарантирует стабильность наследственного материала, передаваемого от поколения к поколению [1].

Долгое время считалось, что иммунная система автономна, поскольку у нее есть свои специализированные органы, ткани и клетки: тимус, где образуются и дифференцируются Т-лимфоциты, ответственные за клеточный иммунитет, и костный мозг для производства В-лимфоцитов, обеспечивающих гуморальный иммунитет. В свою очередь и мозг традиционно рассматривали как иммунологически изолированный орган из-за отсутствия связи с лимфоидной системой на периферии и наличия гематоэнцефалического барьера, который может быть нарушен, как считалось, только при патологии (например, новообразованиях мозговой ткани). О взаимоотношениях нервной и эндокринной систем, напротив, известно относительно давно. Обнаружено даже место их взаимодействия — гипоталамус. Этот отдел головного мозга вместе с важнейшей эндокринной железой, гипофизом, регулирует вегетативные функции организма, управляет высшей нервной деятельностью и размножением — ростом тела, поддержанием постоянства внутренней среды (гомеостаза), поведением, сменой сна и бодрствования и т.д.

Впоследствии выяснилось, что изоляция мозга все же неполная — клетки иммунной системы и продуцируемые ими факторы (цитокины) могут про-

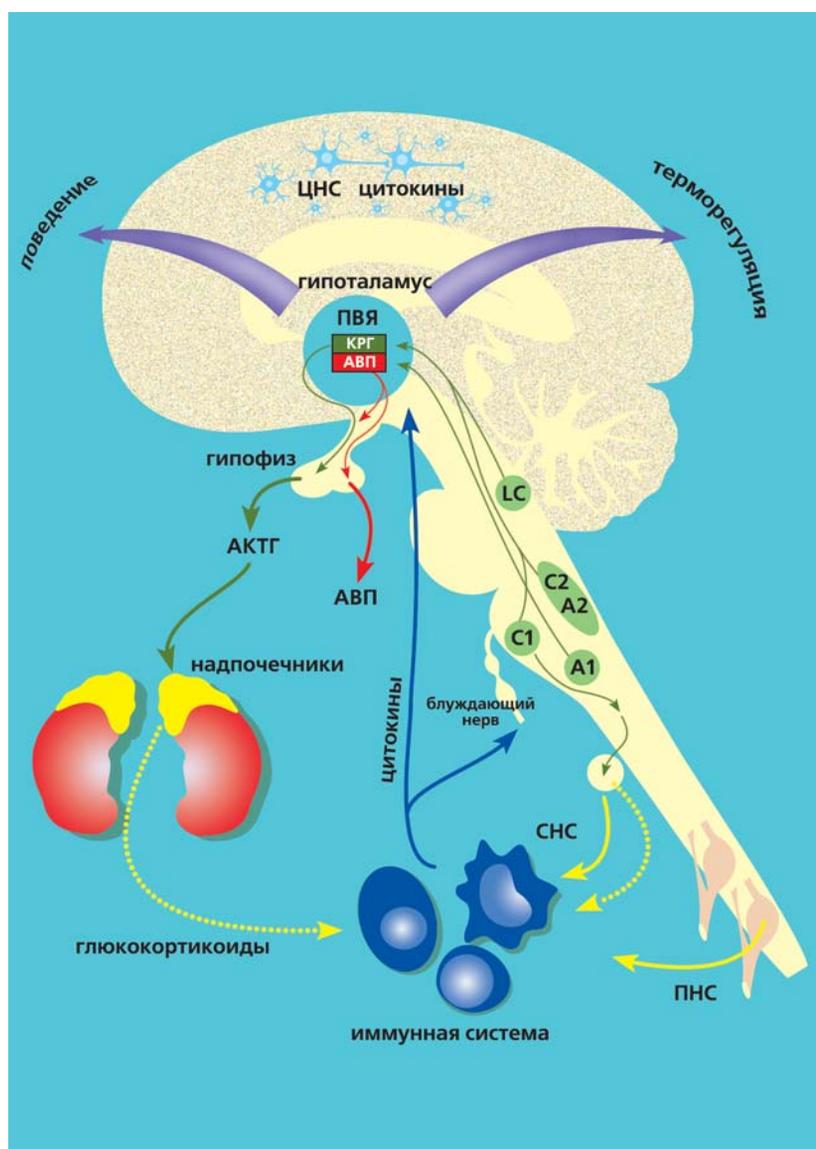


Схема взаимодействия нейроэндокринной и иммунной систем [16]. В организме здорового человека активность и согласованность работы этих систем обеспечивается различными гуморальными факторами. В отличие от цитокинов центральной нервной системы (ЦНС), контролирующих только жизнеспособность собственных клеток, цитокины иммунной системы регулируют различные реакции ЦНС (поведение, терморегуляцию, сон и др.). Кроме того, они активируют гипоталамус, в паравентрикулярных ядрах (ПВЯ) которого вырабатываются гормоны — аргинин-вазопрессин (АВП) и кортикотропин-рилизинг гормон (КРГ), побуждающий гипофиз продуцировать адренокортикотропный гормон (АКТГ), который, в свою очередь, стимулирует надпочечники синтезировать глюкокортикоиды, подавляющие иммунные процессы. Таким образом замыкается отрицательная обратная связь между иммунной системой и ЦНС. Помимо этого, иммунная система регулируется нейропептидами, которые выделяются нервными окончаниями периферической нервной системы (ПНС), а также симпатической нервной системой (СНС), работа которой основана на взаимодействии гипоталамуса с голубым пятном (LC, от лат. *locus ceruleus*) и норадренергическими ядрами (C1, C2, A1, A2), расположенными в стволе мозга. Прерывистыми стрелками обозначено тормозящее воздействие, сплошными — стимулирующее.

никать из крови в мозг. Более того, у взрослого человека нейроэндокринная и иммунная системы проявляют ряд общих свойств. Как нервные клетки, так и клетки иммунной системы способны отвечать на большое разнообразие сигналов, получать и передавать возбуждающие и тормозные сигналы, обладают памятью. Клетки обеих систем синтезируют большое количество общих регуляторных молекул и снабжены близкородственными рецепторами для их связывания. Едва ли не все элементы нейроэндокринной системы принимают участие в реакциях организма на стимулы, запускающие иммунную систему. В свою очередь, иммунная система — не только мишень для действия гормонов, она и сама активно формирует нейроэндокринный ответ организма на различные стрессогенные воздействия.

Все эти знания позволяют объединить нейроэндокринную и иммунную системы в единую суперсистему. Интеграция ее механизмов в жизнедеятельности организма настолько выражена, что иногда невозможно установить, какой из них ведущий, а какой ведомый и в какой последовательности они влияют друг на друга. Как бы там ни было, именно эта сверхсложная суперсистема позволяет организму приспосабливаться к непрерывно меняющимся внешним и внутренним условиям, справляться с воздействием неблагоприятных факторов и сохранять гомеостаз, а проще говоря, здоровье.

Безусловно, безупречная работа нервной, эндокринной и иммунной систем необходима на протяжении всей жизни человека. Однако особенно важно это в раннем его развитии (в так называемый перинатальный период, который начинается с 28-й недели беременности и заканчивается через неделю после рождения), когда формируются функции, необходимые для самостоятельного существо-

вания новорожденного. Любые нарушения в этот период хотя бы в одной из этих систем могут вызвать необратимые изменения, которые и приводят к развитию различных патологий во взрослой жизни. Почему воздействия неблагоприятных факторов столь опасны для развивающегося организма?

До и после появления на свет

Сразу же после рождения человек сталкивается с множеством разнообразных антигенов, от которых был защищен во время внутриутробного развития, при этом активность иммунной системы у новорожденного значительно ниже, чем у взрослого человека. Связано это с тем, что ко времени появления на свет она еще несовершенна и не способна к полноценному иммунному ответу, как, впрочем, нельзя назвать окончательно сформировавшейся и нейроэндокринную систему. (К слову, степень зрелости обеих систем у различных видов животных в этот период неодинакова — наиболее развиты они у человека, свиньи, коровы и овцы, менее — у крыс и мышей [2].)

Тем не менее нейроэндокринный контроль функций иммунной системы закладывается еще в эмбриональный период развития организма [3—5]. Тому есть косвенные свидетельства: рост тимуса, который формируется раньше других лимфоидных органов, и увеличение числа Т- и В-лимфоцитов (главных фигурантов иммунитета) в этот период развития сопровождается одновременным появлением в крови гормона роста, инсулина, гонадотропного, лютеинизирующего, фолликул-стимулирующего и тиреотропного гормонов. Кроме того, развитие щитовидной железы совпадает с созреванием естественных клеток-киллеров, участвующих в противораковой защите.

Убедительны и результаты прямых экспериментов на модельных животных по изучению влияния нейроэндокринной системы на формирование иммунной в первые дни после рождения (в неонатальный период). Удаление надпочечников у 3—5-дневных животных вызывает замедление созревания иммунной системы, что сказывается в их дальнейшей жизни — развивается предрасположенность к иммунодефицитам. Удаление щитовидной железы у мышей того же возраста приводит к значительному недоразвитию тимуса и существенному угнетению тимус-зависимых функций. Аналогичные операции у половозрелых животных не вызывают подобных эффектов. У карликовых мышей с врожденным дефектом передней доли гипофиза и дефицитом синтеза гормона роста наблюдается снижение массы тимуса, дефицит Т-лимфоцитов и, следовательно, подавление иммунных реакций. Введение гормона роста практически нормализует эти параметры иммунитета.

Немаловажную роль в развитии и функционировании иммунной системы играют продуцируемые в гипоталамусе релизинг-гормоны, стимулирующие синтез и секрецию гормонов гипофиза, которые в свою очередь вызывают продукцию гормонов периферическими органами. Эта зависимость была установлена в результате экспериментов на специально разработанных моделях, у которых выключали различные отделы мозга [4, 6]. Например, удаление гипоталамуса у плодов крыс приводит к подавлению клеточного иммунного ответа, а внутриутробное введение им гонадотропин-релизинг гормона, стимулирующего репродуктивную функцию в организме, полностью восстанавливает этот ответ [7, 8]. Внутриутробное введение плодам антител против этого гормона или антагониста рецепторов к нему также подавляет клеточный иммунитет [9].

В то же время, после хирургического выключения гипофиза у плодов происходит значительная стимуляция гуморального иммунитета, который в норме регулируется уже другим гормоном — арденокортикотропным (АКТГ), продуцируемым в гипофизе [10].

В развитие и функционирование иммунной системы также вовлекаются гормоны, продуцируемые в периферических органах. Мужские и женские половые гормоны, тестостерон и эстрогены, в высоких концентрациях вызывают инволюцию тимуса, а после удаления семенников или яичников у экспериментальных животных масса тимуса увеличивается. К примеру, кастрация в двухнедельном возрасте самцов мышей линии *NZB/NZW* с врожденными аутоиммунными заболеваниями (красной системной волчанкой и гемолитической анемией) вызывает значительно более быструю гибель животных по сравнению с самцами, которых кастрировали в пятинедельном возрасте. Из гормонов периферических эндокринных желез в регуляцию иммунной системы включаются также продуцируемые надпочечниками глюкокортикоиды. Их избыток подавляет активность Т-системы иммунитета, тормозит синтез цитокинов, которые отвечают за развитие воспалительного процесса (нормальной реакции организма на вторжение антигена). При недостатке глюкокортикоидов, наоборот, усиливается активность Т-лимфоцитов тимуса, что приводит к увеличению его массы.

С другой стороны, отсутствие тимуса у специально выведенной бестимусной линии мышей, которых из-за отсутствия шерсти называют еще голыми (*nude*), или у мышей, которым удаляют тимус в первые дни после рождения, приводит не только к подавлению иммунитета, но и к нарушению синтеза и секреции гормонов гипоталамуса, гипофиза, щито-

видной железы, надпочечников и половых желез. Введение таким животным пептидов, выделенных из тимуса, устраняет эти дефекты. Немаловажно для развития эндокринного дисбаланса время удаления тимуса: если операция проведена на третий день жизни, у самок задерживается развитие яичников, если на седьмой день или позднее — ничего подобного не происходит.

Механизмы «программирования»

На развитие плода, а следовательно, и на формирование его нейроэндокрино-иммунной суперсистемы, оказывают условия окружающей его среды, т.е. состояние здоровья и даже поведение матери во время беременности и кормления ребенка. Опасны не только курение, алкоголь, наркотики, инфекционные заболевания, но и диета, и даже сниженная психическая активность иммунной системы у детей, чьи матери пренебрегли этими простыми правилами, часто (особенно в первые недели жизни) приводит к развитию аллергических заболеваний. А ведь именно в этом возрасте ребенку необходим контакт с чужеродными веществами, причем не только для созревания самой иммунной системы, но и для полноценного функционирования эндокринной системы. Это убедительно доказано в экспериментах на животных. У взрослых мышей, содержащихся в течение первых двух недель жизни в стерильных условиях, исключавших контакт с антигенами, функции щитовидной и половых желез были подавлены.

Концепция негенетических факторов, действующих в ранние периоды жизни на развивающийся организм и организующих структуру и функции систем, известна как перинатальное «программирование» [11].

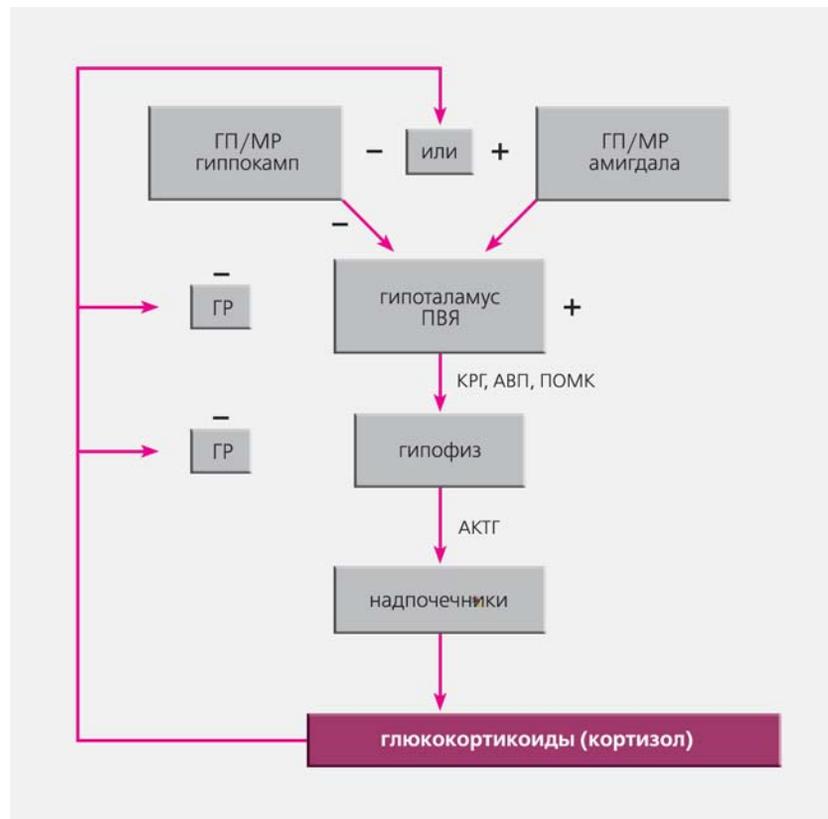
Например, половой диморфизм структур и функций в гипоталамо-гипофизарной системе позвоночных программируется половыми гормонами. Биологическая цель столь раннего программирования пока неясна. Предполагается, что пластичность физиологических систем в эмбриональном развитии позволяет окружающим факторам, действующим на беременную женщину и, соответственно, ее плод, изменять функции определенных органов и тканей. Это дает возможность еще в период внутриутробного развития оптимально подготовить ребенка к окружающим условиям. Особенно чувствителен к программированию в этот период мозг. На его развитие действуют разнообразные факторы, из которых наиболее изучены ростовые и регулирующие генную активность (транскрипционные) факторы.

Сильным стимулом, меняющим гомеостаз организма ребенка, может стать стресс, действовавший на него еще в период внутриутробного развития. Первыми реагируют на стресс гипоталамус и гипофиз, где происходит синтез и секреция различных гормонов, стимулирующих, в свою очередь, синтез надпочечниками глюкокортикоидов, в частности кортизола. Глюкокортикоиды регулируют собственную секрецию, при этом, действуя на гипоталамус и гипофиз, они подавляют синтез и секрецию кортикотропинрилизинг гормона, аргинин-вазопрессина, предшественника опиоидных пептидов, АКТГ и тем самым подавляют ответ на стресс [12]. Повышение уровня глюкокортикоидов, безусловно, защищает организм от неблагоприятных воздействий окружающей среды блокадой потенциально вредных для иммунной и других систем реакций. Однако, как оказалось, введение беременным женщинам глюкокортикоидов, которые часто назначают в клинике для ускорения развития легких

плода и профилактики вызываемых стрессом респираторных синдромов, может спровоцировать возникновение аутоиммунных заболеваний и иммуносупрессии. В результате вместо ожидаемого профилактического эффекта у ребенка развиваются патологии, сопровождающие его в течение всей последующей жизни. Вероятно, в этом кроется одна из причин формирования групп, называемых педиатрами «часто болеющие дети», которые характеризуются повышенной восприимчивостью к инфекционным заболеваниям. Ясно, что последствия повышенной заболеваемости в детстве могут негативно отразиться на здоровье уже взрослого человека.

От стресса может пострадать и сама нейроэндокринно-иммунная система, особенно если он вызван в первые дни жизни новорожденного. Ежедневное отлучение от матери детей на 15 мин (в эксперименте, моделируя эту ситуацию, животных брали в руки и поглаживали) в первые пять дней после рождения вызывает изменения уровня глюкокортикоидов и АКТГ в крови новорожденного, а также количества рецепторов к глюкокортикоидам в гипоталамо-гипофизарной системе. Плотность этих рецепторов, изменившаяся при стрессе до или сразу после рождения, сохраняется и в более поздние периоды жизни, а это значит, что и в половозрелом возрасте меняется реакция на любой новый стресс.

Поскольку нервная, эндокринная и иммунная системы взаимосвязаны, даже кратковременные сбои в одной из них в период эмбрионального развития могут вызвать нарушения в других, а впоследствии привести к гомеостатическому дисбалансу. Борьба организму с неблагоприятными факторами позволяет пластичность физиологических систем в этот период, способствующая выживанию ребенка и отменяющая на дли-



Реакция гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы на стресс в перинатальный период развития. ГР — рецепторы к глюкокортикоидам, МР — рецепторы к минералокортикоидам, ПВЯ — паравентрикулярные ядра, КРГ — кортикотропин-рилизинг гормон, АВП — аргинин-вазопрессин, ПОМК — проопиомеланокортин (предшественник опиоидов), АКТГ — аденокортикотропный гормон.

тельный срок предрасположенность организма к различным заболеваниям. Именно поэтому, видимо, в более поздние периоды жизни одни и те же факторы риска у одних людей вызывают развитие различных патологий, а у других — нет.

В экспериментальных моделях на животных доказано неблагоприятное влияние на нейроэндокрино-иммунные взаимодействия различных экзогенных факторов, действующих на ранних этапах жизни. Введение новорожденным крысам эндотоксина липополисахарида, активатора макрофагов, вызывает в гипоталамусе и гипофизе повышенную секрецию гормонов стресса и усиление реакции на него гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Вве-

дение АКТГ плодам обезьян спустя два года вызывает у них подавление продукции цитокинов, участвующих в адаптивном иммунном ответе, а также в реакциях воспаления. Введение алкоголя (этаноло) также замедляет воспалительные реакции и кроме того снижает уровень АКТГ.

Общезвестно, что женщин в период беременности и кормления ребенка следует оберегать от всевозможных стрессов (например, от громких звуков). Несоблюдение этих рекомендаций чревато вредными последствиями не только для нервной, но и иммунной системы ребенка. Тому есть экспериментальное подтверждение: у двухмесячных крыс, которых подвергали воздействию громкого шу-

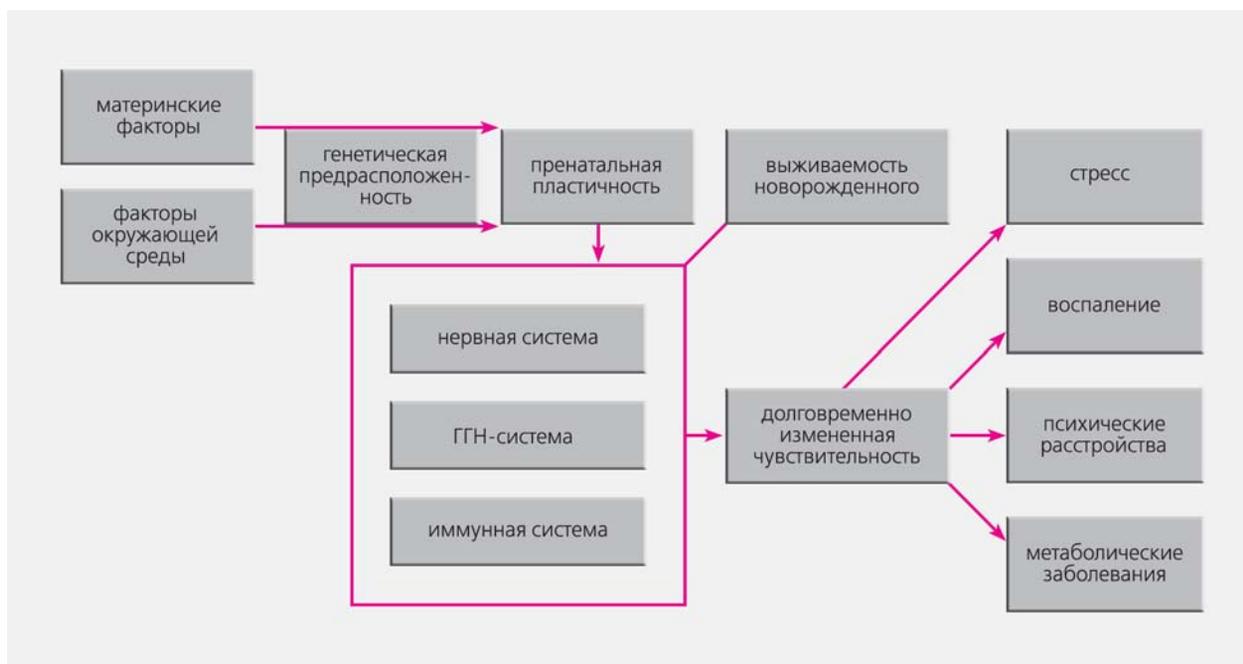


Схема влияния факторов окружающей среды на взаимодействия нейроэндокринной и иммунной систем в перинатальном развитии. ГГН-система — гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковая система.

ма еще в период внутриутробного развития, развивались выраженные признаки иммунодефицита. Аналогично действует шумовой стресс и на новорожденных.

Одни из самых распространенных и ранних проявлений нарушения функций иммунной и нейроэндокринной систем — аллергии. Установлено, что вероятность их возникновения повышена у детей, матери которых страдали во время беременности экземой, активной формой астмы, различными инфекциями либо контактировали с аллергенами (например, с шерстью домашних животных), принимали антибиотики, наркотики, курили и т.д. Неблагоприятное воздействие оказывают и физические факторы, такие как переохлаждение. Негативные реакции на вдыхаемую матерью аллергены развиваются у плода уже на 20–22-й неделе беременности, что приводит в последствии к нарушению соотношения субпопуляций Т-лимфоцитов, участвующих в развитии иммунного ответа,

направленного против этих аллергенов.

Ежедневное отлучение в первые дни жизни новорожденных крысят от матери и их поглаживание в течение 15 мин обостряет в половозрелом возрасте клинические симптомы экспериментально вызванного аллергического энцефаломиелита, Т-зависимого аутоиммунного заболевания. Хотя механизмы этого процесса пока неизвестны, предполагается, что отлучение ребенка от матери в ранние периоды жизни связано с изменением состава тучных клеток, участвующих в патофизиологии аутоиммунного воспаления в ЦНС. Кроме того, меняется уровень фактора роста нервов, продуцируемого тучными клетками, играющего ключевую роль в нейрональной пластичности и нейроэндокрино-иммунной регуляции.

Плохое обращение матери с ребенком или травмы в раннем детстве связывают с развитием в последующие периоды жизни тревожности, агрессии, депрессии и других психичес-

ких расстройств. При этом наблюдаются долговременные изменения в структурах мозга и повышенная продукция фактора роста нервов.

Таким образом, иммунная и нейроэндокринная системы оказывают взаимное регуляторное влияние не только в половозрелом возрасте, как это считалось ранее, но и на протяжении всего периода жизни, начиная с эмбрионального развития [13–15]. Индивидуальные особенности организации этих взаимодействий имеют не только медицинское, но и более широкое — биосоциальное значение. Имеются данные, что стресс-реакции, опосредованные нейроэндокрино-иммунным взаимодействием, различны у агрессивных и неагрессивных животных. Аналогичные сведения появляются и при изучении психосоматических отношений у людей, характеризующихся различными типами организации высшей нервной деятельности, особенностями личности, поведения и социальной адаптации. ■

Литература

1. Галактионов В.Г. Иммунология. М., 2004.
2. *Provinciali M., Fabris N.* // Adv. Neuroimmunol. 1991. V.1. P.124–138.
3. Захарова Л.А., Потапова А.А., Малюкова И.В. и др. // Докл. РАН. 1997. Т.357. №2. С.269–271.
4. Потапова А.А., Малюкова И.В., Захарова Л.А. // Онтогенез. 2002. Т.33. №2. С.124–129.
5. Захарова Л.А., Мельникова В.И., Ермилова И.Ю. и др. // Докл. РАН. 2003. Т.389. №5. С.708–710.
6. Захарова Л.А., Малюкова И.В., Сапронова А.А. и др. // Докл. РАН. 1995. Т.6. С.830–833.
7. Захарова Л.А., Малюкова И.В., Адамская Е.И. и др. // Биохимия. 2000. Т.65. С.1341–1346.
8. *Zakharova L.A., Maluykova I.V., Proshlyakova E.V. et al.* // J. Reproductive Immunobiology. 2000. V.47. P.17–32.
9. *Zakharova L.A., Ermilova I.Y., Melnikova V.I. et al.* // Neuroimmunomodulation. 2005. V.12. P.85–91.
10. Захарова Л.А., Арион В.Я., Ермилова И.Ю. // Аллергология и иммунология. 2004. Т.5. №4. С.528–534.
11. *Shanks N., Lightman S.L.* // J. Clin. Invest. 2001. V.108. P.1567–1573.
12. *Welberg L.A.M., Seckl J.R.* // J. Neuroendocrin. 2001. V.13. P.113–128.
13. Василенко А.М., Захарова Л.А. // Успехи совр. биол. 2000. Т.120. №2. С.174–189.
14. Захарова Л.А., Василенко А.М. // Известия АН. Серия Биологическая. 2001. №3. С.339–352.
15. Захарова Л.А., Карягина А.Ю., Попова Н.А. и др. // Докл. РАН. 2001. Т.376. №2. С.283–285.
16. *Sternberg T.M.* // J. Clin. Invest. 1997. V.100. P.2641–2647.

Слепушонки — исключение из многих правил

И.Ю.Баклушинская

На протяжении всей истории человечества делались попытки объяснить происхождение жизни и выявить закономерности ее развития. Первые зачатки эволюционных идей возникли еще у первобытных людей [1]. Однако и до сих пор в эволюции много неясного, несмотря на достижения современных биологических наук. К настоящему времени накоплено огромное количество новой информации о генетических процессах, в частности расшифрованы геномы разных видов, включая человека, но и это вновь обретенное знание не позволяет пока понять, как формируется и функционирует организм. Поэтому неслучайным представляется повышение



Ирина Юрьевна Баклушинская, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории цитогенетики. Область научных интересов — теория вида, гибридизация и гибридные зоны, генетика видообразования, механизмы определения пола млекопитающих (в частности, слепушонок), цитогенетика млекопитающих и насекомых.

© Баклушинская И.Ю., 2007

интереса к процессам развития. В последние примерно 20 лет возникло новое направление в биологии — эволюционная биология развития (по-англ. — *evo-devo*, от *EVOLution* — эволюция — и *DEVelOpment* — развитие) [2]. Уже по названию видно, что это «гибрид» эмбриологии, а точнее, современной биологии развития и эволюционной теории. Как нередко бывает в природе, в результате гибридизации, в данном случае двух направлений биологической науки, возникло некое качественно новое образование. В нем не просто объединились черты «предков», но произошел скачок от рассмотрения системы ген—признак к анализу системы ДНК—функция на уровне образования генного продукта и далее на уровне формирования систем организма. Меняется методология анализа, логические построения другого типа лежат теперь в основе теоретических рассуждений. Сейчас ученых интересует не столько эволюция организмов и их групп — видов, родов, семейств, отрядов и т.д., сколько эволюция путей развития, формирование регуляторных систем, обеспечивающих работу генов в нужное время и в нужном месте.

Основное внимание в этой новой биологической ветви перенесено с анализа особенностей строения и взаимоотношения взрослых организмов на процессы развития. Один из таких процессов, как известно, — детерминация пола. Считается, что эволюционное становление половых систем эффективно для поддержания генетического разнообразия. Эта закономерность кажется столь общей и фундаментальной для живых существ, что представляется очевидным закрепление механизма, обеспечивающего развитие разных полов, на ранних этапах эволюции. Фактически же мы сталкиваемся с тем, что дифференциация по полу осуществляется в разных группах организмов отличными друг от

друга и на удивление разнообразными механизмами.

Здесь и пойдет речь об изучении одного из таких механизмов у небольших зверьков — слепушонок. Эти весьма необычные животные самим своим существованием не подтверждают, а нарушают многие каноны эволюции и теории детерминации пола.

Феномен из феноменов

Слепушонки (*Ellobius*) — это грызуны из подсемейства полёвок, семейства хомяковых. Большую часть жизни зверьки проводят под землей, в выкопанной ими многоярусной системе туннелей и гнездовых камер. Название «слепушонки» на самом деле не соответствует действительности, они неплохо видят. Выглядывая из норы, они быстро оценивают ситуацию и при опасности стремительно скрываются под землей. Хотя слепушонки копают землю резцами, в рот она не попадает, потому что губы смыкаются сразу за зубами. Накопанную землю зверьки отгребают передними лапами и отбрасывают задними, в результате образуются холмики, по которым легко обнаружить колонию. Шерсть, покрывающая компактное туловище и лапки, короткая, она хорошо ложится и вперед, и назад и не мешает одинаково быстро передвигаться в подземных туннелях как головой, так и хвостом вперед. Два зверя, встретившись даже в широком туннеле, предпочитают не пройти рядом друг с другом, а перебраться сверху через собрата. Слепушонки удивительно разговорчивы, любые события и контакты сопровождаются своеобразными звуками: от возмущенного фырканья потревоженного зверя, переговоров при встречах до писка малышей, требующих внимания матери, и удивительного, напоминающего кошачье мурлыканье, ответа самки. К сожалению, звуковая сигнализация на уровне

современного биоакустического анализа пока не изучена. Также почти неизвестна социальная структура слепушонок, хотя ряд наблюдений позволяет прийти к выводу, что в группе преимущественно размножается одна самка. Это не может не сказаться на генетической структуре популяций.

Сейчас род *Ellobius* включает пять видов, известно также несколько ископаемых форм, причем не только из Евразии, где в настоящее время обитают слепушонки, но и из Африки. Самый крупный вид — афганская слепушонка (*E.fuscocapillus*), не превышающая в длину 15 см, населяет территорию Туркменистана, Ирана и Афганистана. Это единственный вид слепушонок со стандартным для млекопитающих типом хромосомного определения пола: XX у самок и XY у самцов. В кариотипе *E.fuscocapillus* 36 хромосом. Следующий, несколько меньший по размерам вид, — горная слепушонка (*E.lutescens*); она водится на территории Армении, Турции и Ирана. Это феноменально интересный зверь: мало того, что у него нечетное число хромосом (17), у него одна половая хромосома — только X, причем и у самок, и у самцов. Именно об этой необычной системе определения пола мы и поговорим позже. Этот вид легко узнать «в лицо» — на кончике морды есть не заросшее шерстью пятнышко, характерный «пятачок». Три остальных вида — обыкновенная (*E.talpinus*), восточная (*E.tancrei*) и алайская (*E.alaicus*) слепушонки — так называемые виды-двойники. Они существенно мельче афганской, длина их тела не превышает 11 см, и они считаются самостоятельными видами на основании особенностей хромосомных наборов, хотя практически неразличимы по морфологическим признакам.

Число и морфологию хромосом можно считать хорошими критериями вида, так как они отражают своеобразие его генофонда. По результатам опреде-

ления хромосомных чисел в 1960—1970-х годах описано немало новых видов. В итоге их количество в фауне млекопитающих СССР увеличилось более чем на сотню. Тогда в качестве нового вида была представлена алайская слепушонка с 52 хромосомами. Позже, в 1982 г., приобрела видовой статус восточная слепушонка, которая отличается от обыкновенной не числом хромосом в наборе (у обоих видов их по 54), а их морфологией [3].

Слепушонки являют собой хороший пример того, как изменился подход систематиков при выборе критерия вида. Вместо классических морфологических признаков (окраски, размеров тела, хвоста, черепных индексов и т.д.) стал использоваться другой признак, в широком смысле тоже морфологический, — характеристика хромосомного набора. Но это в первую очередь генетический признак, хорошо отражающий понятие о виде как о защищенном генофонде, что составляет сущность биологической концепции вида, разработанной Э.Майром и Ф.Добржанским. Как оказалось, и тут слепушонки исключение из правила: у восточного вида хромосомная изменчивость обусловлена транслокациями (слияниями) и представляет собой целый робертсоновский веер [4]. В Таджикистане, в горах Памиро-Алая, в долине Вахша и Сурхоба на сравнительно небольшой территории протяженностью около 120 км обитают слепушонки, в кариотипе которых от 54 до 31 хромосомы. Под влиянием неких факторов, пока неизвестно каких, две одноплечие (акроцентрические) хромосомы сливаются в одну двуплечую (метацентрическую). В итоге число хромосом в наборе сокращается, но без потерь генетического материала. Вместе с тем меняется форма хромосом, а самое главное — их взаимное расположение в клеточном ядре. Как показывают современные исследования, такого рода изменения

имеют большое значение для реализации генетической информации [5]. Именно поэтому подобные случаи множественных перестроек представляют большой интерес для эволюционных биологов. Известно несколько робертсоновских вееров: у мышей двух родов — *Leggada* и *Mus*, у бурозубок рода *Sorex*, кустарниковых полевок *Terricola* и ряда других видов.

Робертсоновский веер восточной слепушонки

Как это часто бывает, робертсоновский веер слепушонок был обнаружен случайно. В Алайской долине зоологи нашли зверьков с крупной парой двуплечих хромосом. Такая необычная хромосомная форма отсутствовала в кариотипах восточной и обыкновенной слепушонок. Для выяснения границ ареалов этих видов в Таджикистан отправилась экспедиция. В ходе ее работы К.В.Коробицына и Е.Ю.Иваницкая сделали неожиданное открытие — обнаружили низкохромосомные формы слепушонок. С этого началась история изучения робертсоновского веера.

В начале исследования, когда были известны только крайние формы робертсоновского веера (53, 52, 51 и 32), высказывалось предположение о цепочечных мутационных процессах как причине образования разнохромосомных форм и их последующей гибридизации. Позже, после обнаружения форм с промежуточными хромосомными числами, сложилась вторая гипотеза, включающая этапы образования низкохромосомной формы и ее гибридизации с исходной формой. Нужно заметить, что и в первом, и во втором случаях двуплечие хромосомы должны быть гомологичны, т.е. невозможен вариант, когда одноплечие хромосомы вступают в разные слияния. Согласно появившейся затем третьей гипотезе, веер возникает за

счет многократных и независимых слияний одноплечих хромосом в разных популяциях, при этом образовавшиеся двуплечие хромосомы могут быть негомологичными [6]. Дальнейшие исследования подтвердили правомочность всех предложенных гипотез. Так, мы выяснили, что у слепушонок независимо возникают новые робертсоновские транслокации в основном за пределами зоны веера. Но единичное слияние мы обнаружили и внутри этого района. Кроме того, гибридизация высоко- и низкохромосомных форм играет решающую роль в формировании кариотипов с различными сочетаниями метацентрических хромосом, причем формы с самыми низкими хромосомными числами (32 и 34) не принимают участия в гибридизации. Эти формы обособлены как генетически, так и географически от остальной части веера.

Таким образом, оказалось, что формирование веера обусловлено множественным слиянием разных одноплечих хромосом в двуплечие. Это привело к образованию 36-хромосомной формы, а уже она, вступив в гибридизацию с исходной, 54-хромосомной формой, дает робертсоновский веер. Такая гипотеза подтверждается не только наличием гомологичных двуплечих хромосом в веере, кариотипов с одинаковым числом хромосом и разным набором метацентриков, но и существованием в природе большого количества структурных гетерозигот по 1—4 слияниям.

Интересно, что двуплечие хромосомы закрепляются в поколениях не случайным образом, а по определенным закономерностям. Преимущество в закреплении имеют крупные хромосомы, как выяснилось при анализе выборки слепушонок из природы, а также тех, которые в течение многих лет разводились в неволе. Мы проанализировали кариотипы шести поколений полученных нами гибри-

дов разных хромосомных форм, и выяснили, что уже во втором поколении встречаются метacentрические хромосомы в гомозиготном состоянии. Состав двуплечих хромосом в наборах экспериментально полученных гибридов оказался значительно разнообразнее, чем у природных. Следовательно, гибридизация в природе длится гораздо больше десятка лет, за это время отбор уже успел отбраковать «лишние» варианты. Нам удалось экспериментально выявить те последствия, к которым ведут разные слияния. Например, от скрещивания взятых из зоны веера форм с 48 и 50 хромосомами появляются гибриды с резко сниженной плодовитостью, что свидетельствует о значительных генетических различиях исходных форм [7]. При дальнейшей гибридизации и возвратных скрещиваниях в основном закрепляются высокохромосомные наборы, т.е. робертсоновское слияние не становится предпочтительным. Но если скрещивать формы с 32 и 34 хромосомами, то, наоборот, оно закрепляется и преобладает 32-хромосомная форма. Можно предположить, что при наличии большого количества двуплечих хромосом в наборе даже те новые слияния, в результате которых образуются мелкие хромосомы, имеют шансы закрепиться. Кроме того, важен и состав двуплечих хромосом: одно из слияний может определить их совместимость с другими. Так, оказалось, что у слепушонок с разных берегов Сурхоба, разделяющего зону робертсоновского веера, кариотипы отличаются, что, вероятно, обусловлено наличием хромосомы V. Несомненно, что причины столь несхожих последствий кроются в изменении архитектоники ядра вследствие перераспределения хромосомных территорий при слиянии разных хромосом.

Интересно, что у алайской слепушонки мы также обнаружили небольшой робертсонов-

ский веер, в то время как у обыкновенной слепушонки, занимающей обширный ареал, кариотип неизменчив.

Итак, слепушонки — прекрасная модель для изучения начальных этапов видообразования, что само по себе необычно. Действительно, такой процесс, инициированный хромосомными перестройками, признается далеко не всеми. А что уж говорить о том, что гибридизация играет здесь первостепенную роль? Это уже почти крамола. Однако данные, полученные при анализе робертсоновского веера слепушонок, убедительно свидетельствуют о «творческой» роли гибридизации в эволюции. Но уникальность слепушонок этим не исчерпывается. Мы уже упоминали о нестандартной системе хромосомного определения пола у одного из видов этого рода. Как оказалось, дело не ограничивается только нестандартностью половых систем слепушонок, она имеет свои последствия. Но чтобы оценить их, скажем — коротко — о механизмах определения пола в разных группах живых организмов.

Определение пола: выбор пути

Что понимается под определением пола? Это комплекс генетических событий, которые приводят к выбору пути, ведущему к дифференциации гонад — специфическому для самцов или для самок. Пути эти многообразны, им соответствуют разные типы хромосомного определения пола. Гетерогаметным полом могут быть самцы или самки, а число половых хромосом — разным.

В начале XX в. была описана Y-хромосома человека как специфичная для мужского пола. Основания считать ее ответственной за мужской пол плацентарных млекопитающих изначально базируются на исследованиях разного рода отклонений,

в первую очередь у человека, а также у других видов. Если утрачена X-хромосома, но сохранена Y-хромосома, развиваются самцы, при отсутствии Y-хромосомы любая развивающаяся особь станет самкой независимо от того, сколько у нее X-хромосом. Зародыш с нормальной Y-хромосомой будет самцом, даже несмотря на присутствие избыточных X-хромосом.

У дрозофилы, как и у млекопитающих, гетерогаметный пол — мужской, поэтому и обозначения пола идентичны: XX — самки, XY — самцы. Но, как оказывается, на этом сходство фактически заканчивается. Например, в детерминации пола дрозофил, как показал еще К.Б.Бриджес, важную роль играет баланс X-хромосом и аутосом (неполовых хромосом), а включение генетического механизма обеспечивается работой особых генов-счетчиков. У птиц и змей гетерогаметны самки (ZW — самки, ZZ — самцы). «Переключателями» генетических программ детерминации пола могут служить факторы окружающей среды, например температура, как у аллигаторов. Дж.Грейвз, одна из ведущих исследователей систем детерминации пола у млекопитающих, полагает, что система XX—XY могла возникнуть у их предков, имевших термозависимый тип определения пола [8]. Новая система сделала весьма важную часть онтогенеза независимой от внешней среды. Интересно, что у представителя однопроходных — утконоса — система хромосомного определения пола очень сложна, она состоит из 10 хромосом: 5X и 5Y.

У всех плацентарных млекопитающих большая, богатая генами X-хромосома и маленькая гетерохроматиновая Y-хромосома негомологичны. Исключение — небольшой «псевдоаутосомный регион» на одном или обоих концах, которыми они соединяются и где идет рекомбинация в мейозе. Размер X-хромосомы достигает 5% гаплоидного генома, у человека она



Обыкновенная слепушонка в природе. Застигнутая на поверхности земли (слева), она стремится мгновенно уйти вглубь.
Фото С.Е.Черенкова, <http://www.rusbiophoto.com>.

содержит от трех до четырех тысяч генов. Y-хромосома составляет до 2% гаплоидного набора, в ней всего несколько десятков активных генов, затерянных среди повторяющихся последовательностей и псевдоге-

нов. С.Оно впервые установил, что X-хромосома очень консервативна по размерам и содержанию генов у различных видов [9]. Позже это подтвердилось результатами сравнительного геномного картирования и диффе-

ренциальной окраской хромосом. Поскольку у самок в наборе две копии X-хромосомы, а у самцов только одна, должен неизбежно нарушаться баланс дозы генов между полами. Для компенсации этого сформиро-



Горная слепушонка в естественном местообитании (Армения; слева) и в виварии института; внизу — семидневный детеныш.

Здесь и далее фото автора



Детеныши, рожденные в неволе.

вался механизм инактивации одной из X-хромосом.

Итак, анализ различных отклонений позволил доказать ведущую роль Y-хромосомы в определении пола. Но в дальнейшем выяснилось, что этот про-

цесс, стратегия которого сходна у разных организмов, обеспечивается сложным каскадом генов. Это первичный генетический сигнал, разный у самцов и самок; ключевой ген, реагирующий на первичный сигнал,

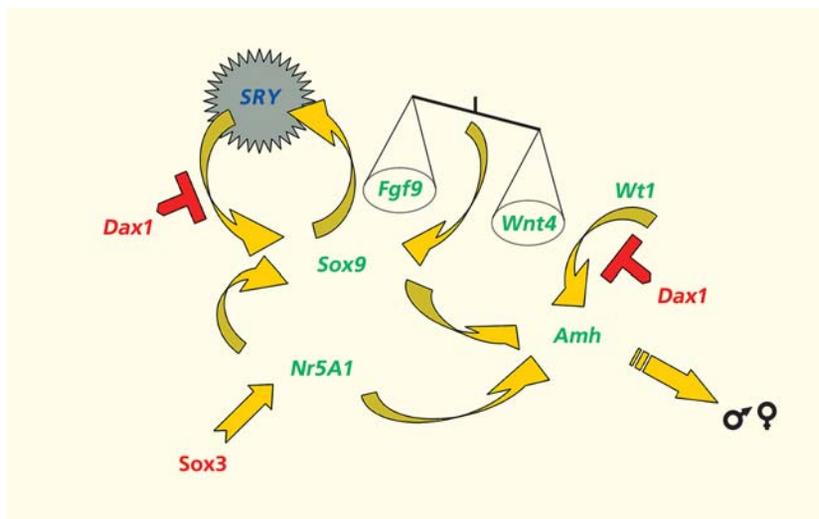


Схема взаимодействия генов в каскаде, определяющем пол млекопитающих. Зеленым обозначены гены, локализованные в аутосомах, красным — в X-хромосоме, синим — в Y-хромосоме. Желтыми стрелками показаны направления стимуляции, красными значками — места ингибирования. Объяснения в тексте.

и ген — двойной переключатель, от которого, в конечном счете, зависит выбор между двумя альтернативными программами дифференциации пола. Но тактика этого процесса значительно отличается в разных группах. Кроме того, виды первичного сигнала могут быть принципиально разными, как, например, температура и длина дня.

Сейчас многое известно о взаимодействии генов, причастных к определению пола у млекопитающих. Но мы рассмотрим взаимодействие не всех генов каскада, а лишь нескольких наиболее значимых (подробнее о процессах, связанных с определением пола, можно узнать из обзора А.Ф.Смирнова [10]). Недифференцированные прогонады способны развиваться в любом из двух направлений, т.е. эти клетки бипотенциальны, и их судьба зависит от генетического определения пола. Сначала в них экспрессируются гены *WT1* и *Nr5A1*, а затем — ген *Sry*. Почему же тогда считается, что именно он ответствен за развитие мужских гонад, семенников? Дело в том, что если ген *Sry* не экспрессируется, например у эмбрионов с генотипом XX или XY, но несущих делецию по гену *Sry*, бипотенциальные клетки развиваются в женские гонады. *Sry* имеет консервативный HMG-домен; белок, кодируемый им, особым образом связывается с ДНК и изгибает ее. Такое изменение пространственной структуры важно для регуляции транскрипции.

Вместе с продуктом гена *Nr5A1* и рядом других факторов белок, кодируемый *Sry*, индуцирует экспрессию *Sox9*, локализованного в аутосоме. Благодаря механизму обратной связи активность *Sox9* может поддерживаться, даже когда ген *Sry* «замолкает». Кроме того, экспрессия *Sox9* стабилизируется, если определенным количеством продукта *Fgf9* подавлена активность *Wnt4*. Именно от продукта гена *Sox9* зависит превра-

щение бипотенциальных клеток в клетки Сертоли, причем количество последних важно для развития гонад. Если число клеток Сертоли в развивающихся гонадах превышает некоторый предел, то они в дальнейшем становятся семенниками, если же нет, формируются яичники. Как недавно установил Й.Ким с коллегами, этот баланс обеспечивается системой взаимодействия продуктов *Fgf9*—*Wnt4* [11]. Что же происходит в клетках Сертоли? Одно из центральных событий дифференциации пола — синтез антимюллеровского гормона (Anti Mullerian Hormon, AMH) этими клетками. Введение извне дополнительной дозы гормона может привести к реверсии пола у млекопитающих с генотипом XX, а недостаток AMH у XY-мышей — к формированию псевдогермафродитов. Иными словами, у млекопитающих «по умолчанию» развиваются женские гонады, а чтобы сформировались мужские, необходим целый комплекс процессов, который начинается с экспрессии гена *Sry* — фактора, играющего роль пускового механизма для развития семенников.

Сейчас известно более 20 генов, как и *Sry*, принадлежащих к семейству *SOX*. Они выполняют различные функции в онтогенезе и высоко консервативны у разных видов. О гене *Sox9*, локализованном в одной из пар аутосом, мы уже упоминали. Логично предположить, что фактор, определяющий развитие семенников, должен быть специфичен для Y-хромосомы. Тем удивительнее обнаружение в X-хромосоме гена *Sox3*, родственного *Sry* и также задействованного в каскаде генов, определяющем пол.

Итак, путь дифференцировки пола может контролироваться неким неизвестным чувствительным к температуре продуктом у ряда рептилий. У других рептилий и птиц пол определяется геном *Dmrt1*, у однопроходных и сумчатых — *Atry*,

у плацентарных — *Sry*. Очевидно, что в ходе эволюции контроль детерминации пола менялся. Новый ген может осуществлять контролирующую функцию разными способами, например, взаимодействуя со старым геном или его «переключателем»; удлиняя цепь команд или, наоборот, укорачивая ее. *Sry* можно рассматривать как ген, изначально расположенный в Y-хромосоме. Появившийся вследствие ее деградации, он продолжает быстро эволюционировать, быстрее, чем остальные гены в ней [8]. Может ли исчезнуть и сам ген *Sry*? Оказалось, может. Его нет у двух видов слепушонок с разным типом определения пола — у горной (X0—X0) и восточной (XX—XX) [12]. Отсутствует *Sry* также у двух видов колючих мышей рода *Tokudaia* (X0—X0), которые обитают на двух островах японского архипелага Рюкю и содержат 25 и 45 хромосом в наборах [13]. У самцов и самок этих мышей есть два других гена, *Zfy* и *Tsry*, которые находятся в Y-хромосоме у большинства млекопитающих. Это свидетельствует о том, что регион Y-хромосомы был транслоцирован (перемещен) на X-хромосому или в аутосомы. Больше о колючих мышах пока ничего неизвестно, слепушонки изучены тщательнее, поэтому остановимся на загадке дифференциации их полов подробнее.

Система определения пола у слепушонок

После описания у горных слепушонок (*E.lutescens*) необычного для млекопитающих нечетного набора хромосом, одинакового у самцов и самок [14], началось изучение необычного кариотипа и системы определения пола. Это изучение шло как на хромосомном, так и на генном уровне. Вначале высказывалось предположение, что одна из хромосом набора — это слившиеся X-хромосомы

у самок и X- и Y- — у самцов, поскольку в мейозе у тех и других существует непарный элемент. Но размеры нечетной хромосомы у горной слепушонки сопоставимы с размерами типичной X-хромосомы млекопитающих. Следовательно, она не может быть результатом слияния двух X-хромосом. Гипотеза известнейших цитогенетиков Р.Маттея и М.Уайта была отвергнута, вместо нее появилось другое предположение — о возможной транслокации Y-хромосомы на аутосому. Но в то время, в 1950-х годах, цитологическими методами эту гипотезу проверить было нельзя. Основываясь на данных по локализации гена глюкозофосфатдегидрогеназы *G6pd*, В.Фогель с коллегами в качестве X-хромосомы определили девятую хромосому [15]. Из результатов детального изучения мейоза у самцов горных слепушонок следовало, что она ведет себя как типичная X-хромосома млекопитающих [16]. Когда кариотип этого вида исследовали методом сравнительной геномной гибридизации, был сделан вывод о практически полной идентичности хромосомных наборов у самцов и самок [17]. Поскольку разрешающая способность метода очень высока, такой вывод наводит на мысль о различиях на генном, а не хромосомном уровне.

Итак, у горных слепушонок в кариотипе нечетное число элементов. В ходе мейоза должны формироваться гаметы трех типов: с 16, 17 и 18 хромосомами. Данные по 50%-й смертности на стадии зиготы и снижению плодовитости [18] свидетельствуют в пользу того, что жизнеспособны только особи с 17 хромосомами, причем одна из них должна быть X-хромосомой. Почему погибают гаметы без нее, понятно, но почему оказывается летальным вариант с двумя X-хромосомами и нормальным, четным числом хромосом (18), неизвестно до сих пор.

В группе видов-двойников — обыкновенной, восточной и

алайской слепушонок, — как выяснилось при изучении мейоза, также отсутствует Y-хромосома [16]. Это согласуется с результатами анализа дифференциально окрашенных хромосомных наборов [19]. Совокупность всех этих данных приводит к выводу о существовании одинаковой системы определения пола — типа XX — у самцов и самок.

Таким образом, виды рода *Ellobius* с необычными вариантами кариотипа нарушают три правила хромосомного определения пола у млекопитающих:

— самцы с дополнительной X-хромосомой обычно стерильны; но у слепушонок они фертильны;

— для нормального завершения мейоза при формировании мужских половых клеток необходимо спаривание сегмента Y-хромосомы или хотя бы ассоциация XY; этого нет у *E.lutescens*;

— в мейозе развивающихся женских половых клеток должно быть две активные X-хромосомы; но у *E.lutescens* имеется только одна.

На геномном уровне поиски Y-хромосомы у слепушонок начались после того, как выяснилась роль гена *Sry* как пускового элемента в генетическом каскаде детерминации пола. К тому времени изменились взгляды на роль Y-хромосомы в этом процессе у млекопитающих, и интерес исследователей сместился к проблеме детерминации развития разных полов. Поскольку именно ген *Sry* считался ключевым в данной цепи онтогенетических событий, логично было начать изучение загадочной системы половых хромосом у слепушонок именно с него. Для этого нужны маркеры, с помощью которых можно экспериментально обнаружить этот ген. Но обычно используемые в генетических работах маркеры мыши не годились для выявления гена у слепушонок, поскольку они эволюционно довольно далеки от мышей. Нужно было искать новые маркеры. Поэтому

пришлось клонировать *Sry* афганской слепушонки (*E.fuscicapillus*) с обычным для млекопитающих типом определения пола (XX—XY) и использовать ген для изучения системы половых хромосом *E.lutescens* и *E.tancrei* в сравнении с системами других млекопитающих [12]. В результате оказалось, что *Sry* афганской слепушонки высокогомологичен такому же гену человека и мыши, но его нет у горных и восточных слепушонок. Фогель с коллегами предположили, что у этих видов пол определяется мутантным аллелем какого-то гена, который обычно включается после *Sry* в каскаде [20]. Значит, необходимо сосредоточиться на поисках этого гена. У горных слепушонок с одной половой хромосомой в первую очередь можно проверить маркеры, которые помогли бы исключить или, наоборот, подтвердить роль X-хромосомы в определении пола. Таких маркеров не может быть много, поскольку X-хромосома исключена из процесса рекомбинации. Гены, вовлеченные в систему определения пола у других видов, могут быть использованы для того, чтобы изолировать тесно связанные полиморфные маркеры у слепушонок и проверить расщепление аллелей в связи с полом.

Одним из наиболее перспективных генов-кандидатов на роль первичного фактора, определяющего пол у горных слепушонок, не имеющих гена *Sry*, казался ген *Sox9*. Но В.Джаст и В.Фогель с сотрудниками доказали, что полиморфный маркер в семье слепушонок наследуется независимо от пола животных [21]. Эти результаты вместе с тем не снижают роли *Sox9* в развитии семенников у данного вида, но указывают на существование какого-то другого, действующего в эмбриональном развитии до *Sox9* и запускающего механизм формирования гонад.

Все тот же Джаст с коллегами в качестве претендента на эту роль у *E. lutescens* сочли ген

Nr5A1. Методом флуоресцентной гибридизации *in situ* они картировали его во второй хромосоме [17]. Изучив интронные маркеры, исследователи сделали вывод: наследование, связанное с полом, отсутствует. Следовательно, *Nr5A1* не может быть ключевым геном в определении пола, но он, несомненно, играет важную роль в дифференциации гонад совместно с генами *Wt1* и *Dax1*.

Продолжив работу, эти исследователи высказали гипотезу о системе определения пола, так сказать, «от противоположного». Чтобы подтвердить ее, нужно выявить гены, которые вели бы к формированию самцов при наличии только X-хромосом. Известно, например, что гены *Foxl2* и *Pisrt1* могут вести к смене пола у млекопитающих — развитию XX-самок или XX-псевдогермафродитов. Но, как выяснилось, у горных слепушонок наследование полиморфных маркеров обоих этих генов не связано с полом [22]. Таким образом, на сегодняшний день неясно, существует ли у слепушонок какой-то ген, определяющий развитие мужских гонад, в роли которого у млекопитающих обычно выступает *Sry*, либо у этих животных сформировалась какая-то принципиально иная генетическая система детерминации пола.

Что же произошло с Y-хромосомой у слепушонок? Куда переместились гены, которые обычно в ней локализованы? Чтобы выяснить, исчезла ли Y-хромосома целиком или отсутствует только ген *Sry*, группа тех же исследователей проверила наличие гена *Zfy* у горных и восточных слепушонок. *Zfy* и *Zfx* (гомолог этого гена на X-хромосоме) — высококонсервативные гены у многих видов млекопитающих. *Zfy* не ответивен за формирование семенников, но, поскольку он локализован в Y-хромосоме, то по его наличию или отсутствию можно судить (с некоторыми оговорками, разумеется), есть эта хромо-

сома или нет. Как оказалось, *Zfx* имеется у самок, а *Zfy* отсутствует у самцов и горных (X0), и восточных слепушонок (XX), но есть у самцов афганского вида (XX—XY) [20]. Эти результаты свидетельствуют о полной утрате Y-хромосомы горными и восточными слепушонками.

До сих пор детерминация пола у слепушонок остается загадкой. Ее по-прежнему продолжает разрешать интернациональная группа исследователей во главе с В.Джастом из Университета г.Ульм (Германия). Ведется анализ разных генов, вовлеченных в каскад детерминации пола. Эта работа не простая, поскольку требует сложных современных молекулярногенетических методов и соответствующего оборудования. Кроме того, чтобы определить тип наследования того или иного гена, не-

обходимо иметь много животных, причем нужно знать их генотип по меньшей мере в трех поколениях. Дело в том, что слепушонок трудно содержать и тем более разводить в неволе. Так, несмотря на многолетний опыт в этом нелегком деле, мы постоянно сталкиваемся с непредвиденными ситуациями: например, животные начинают «капризничать» и отказываются есть морковь, предпочитая ей бананы, которых, понятно, в природе они никогда не встречали. Удивительно, но осложняется также подбор пар для дальнейшего разведения из-за симпатий-антипатий между «навязываемыми» партнерами — оказавшиеся в одной клетке животные зачастую вступают в кровопролитные схватки. Тем не менее в неволе уже получено несколько поколений горной сле-

пушонки, и разведение продолжается как в Ульме, так и в Москве. С обыкновенной слепушонкой такая работа началась всего полтора года назад. К счастью, этот вид более плодовит и в природе, и в неволе, и мы надеемся быстрее получить достаточное количество зверьков. Однако анализ XX системы определения пола еще сложнее, чем X0 системы, и не исключено, что на генном уровне они тоже различаются.

Как видим, у слепушонок нестандартный тип детерминации пола и удивительные генетические системы видов. Эти грызуны являют собой уникальный объект для изучения закономерностей генетики видообразования и становления регуляторных систем в эволюции — основных направлений эволюционной биологии развития. ■

Работа частично поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 02-04-48938 и 05-04-49118) и Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Биоразнообразие и динамика генофондов» (подпрограмма «Динамика генофондов»).

Литература

1. Воронцов Н.Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М., 1999.
2. Wilkins A.S. The Evolution of Developmental Pathways. Sunderland (USA), 2002.
3. Якименко Л.В., Воронцов Н.Н. Морфотипическая изменчивость кариологически дифференцированных популяций слепушонок надвида *Ellobius talpinus* // Фенетика популяций / Ред. А.В.Яблоков. М., 1982. С.276—289.
4. Воронцов Н.Н. Широкая изменчивость хромосом слепушонок в сейсмически активном районе // Природа. 1981. №12. С.100.
5. Разин С.В. // Генетика. 2006. Т.42. №12. С.1605—1614.
6. Lyapunova E.A., Vorontsov N.N., Korobitsina K.V. et al. // Genetica. 1980. V.52/53. P.239—247.
7. Ляпунова Е.А., Баклушинская И.Ю., Коломиец О.Л., Мазурова Т.Ф. // Докл. АН СССР. 1990. Т.310. №3. С.721—723.
8. Graves J. // Cell. 2006. V.124. P.901—914.
9. Obno S. Sex Chromosomes and Sex Linked Genes. Berlin, 1967.
10. Смирнов А.Ф. // Соросовский образовательный журнал. 1997. №1. С.26—34.
11. Kim Y., Kobayashi A., Sekido R. et al. // PLoS Biol. 2006. V.4(6): e187. DOI: 10.1371/journal.pbio.0040187
12. Just W., Rau W., Vogel W. et al. // Nature Genetics. 1995. V.11. P.117—118.
13. Sutou S., Mitsui Y., Tsuchida K. // Mammal. Genome. 2001. V.12. P.17—21.
14. Mattbey R. // Arch Klaus-Stift VererbForsch. 1953. V.28. P.65—73.
15. Vogel W., Steinbach P., Djalali M. et al. // Chromosoma. 1988. V.96. P.112—118.
16. Kolomiets O.L., Vorontsov N.N., Lyapunova E.A., Mazurova T.F. // Genetica. 1991. V.84. P.179—189.
17. Just W., Baumstark A., Hameister H. et al. // Cytogenet. Genome Res. 2002. V.96. P.146—153.
18. Lyapunova E.A., Vorontsov N.N., Zakarjan G.G. // Experientia. 1975. V.31. P.417—418.
19. Баклушинская И.Ю., Ляпунова Е.А. // Цитология. 1990. Т.32. №4. С.378—383.
20. Vogel W., Jainta S., Rau W. et al. // Cytogenet. Cell Genet. 1998. V.80. P.214—221.
21. Baumstark A., Akhverdyan M., Schulze A. et al. // Molecular Genetics and Metabolism. 2001. V.72. P.61—66.
22. Baumstark A., Hameister H., Akhverdyan M., Bakloushinskaya I., Just W. // Mammalian Genome. 2005. V.16. P.281—289.

Спутник-1

В.Г.Сурдин,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга
Москва

Ровно 50 лет назад — 4 октября 1957 г. в 22 ч 28 мин по московскому времени — на орбиту вокруг Земли был запущен первый искусственный спутник. Это был советский аппарат, выведенный на орбиту двухступенчатой ракетой конструкции Сергея Павловича Королёва. Мне было тогда четыре с половиной года, и я помню это событие. Для меня и моих коллег-астрономов оно стало решающим: начнись космическая эра лет на 10 позже, наша жизнь сложилась бы иначе.

Мир ждал этого события, но никто не предполагал, что произойдет оно в бедной, разрушенной войнами и революциями стране. Право, не знаю, гордиться ли этим или сожалеть. Единственный ребенок инженера и врача, я ходил тогда в пальто, перешитом из старого папиного пиджака, а у некоторых моих друзей не было и этого. Создавая бомбы и ракеты, наша страна отказывала своим гражданам во всем. Не уверен, что это было нужно. Но это было. Мне трудно понять тех политиков, которые этим руководили, но я горжусь теми инженерами, которые это сделали. Именно с того момента космонавтика стала и остается до сих пор главным направлением технического прогресса, а лидеры космонавтики считаются мировыми лидерами.

В истории современной техники было только два подобных рывка, и оба произошли в середине XX в.: рывок в энергетике и рывок в скорости. Ядерное расщепление и ядерный синтез

вооружили человека устройствами невиданной мощности, сначала в форме атомных и водородных бомб, а затем в виде атомных (а в скором времени, возможно, и термоядерных) электростанций. Рывок же в скорости обеспечили ракеты. К концу XIX в. локомотивы и автомобили достигали скоростей около 100 км/ч. Спустя полстолетия самолеты летали со скоростью звука (около 1000 км/ч). В середине 1940-х годов боевые ракеты Вернера фон Брауна при вертикальном взлете разгонялись до 1.5 км/с на высоте 40 км и по инерции «запрыгивали» на высоту 160 км, практически — в космос. Но для создания искусственного спутника Земли, о котором мечтали ученые и военные, этого было недостаточно: требовалась скорость около 8 км/с на высоте не менее 200 км. Только в этом случае аппарат может кружить вокруг Земли, не касаясь плотных слоев атмосферы. Вот это-то и удалось разработчикам первого спутника. С 1943 г. к 1957 г. скорость ракет возросла почти на порядок. Такого никогда не было и вряд ли когда-нибудь будет еще в истории техники.

В те годы произошел качественный скачок — земная гравитация была преодолена. Уже через месяц после первого спутника на орбите была Лайка, а через год ракеты отправились к Луне, за короткое время достигли ее, облетели вокруг и показали нам загадочную «обратную сторону». Фактически в тот год Человек не просто оторвался от Земли, а шагнул в бесконечность. Открылась дорога в любой уголок Солнечной сис-

темы и даже (если забыть про чудовищную продолжительность полета) — к звездам. По-мнению, мы снисходительно улыбались, когда первые королевские ракеты журналисты называли «звездолетами». Но ведь по сути это была правда.

Постепенно любое важное событие становится легендой и, как положено легенде, вымысел в ней начинает вытеснять правду. Вот свежий пример: в книге английских авторов, изданной в 2005 г., о «Спутнике-1» сказано: «Этот первый космический аппарат представлял собой стальную сферу весом 16 кг, в которой находился простой радиопередатчик, издававший бессмысленные, но регулярные сигналы, которыми мог восхищаться весь мир».

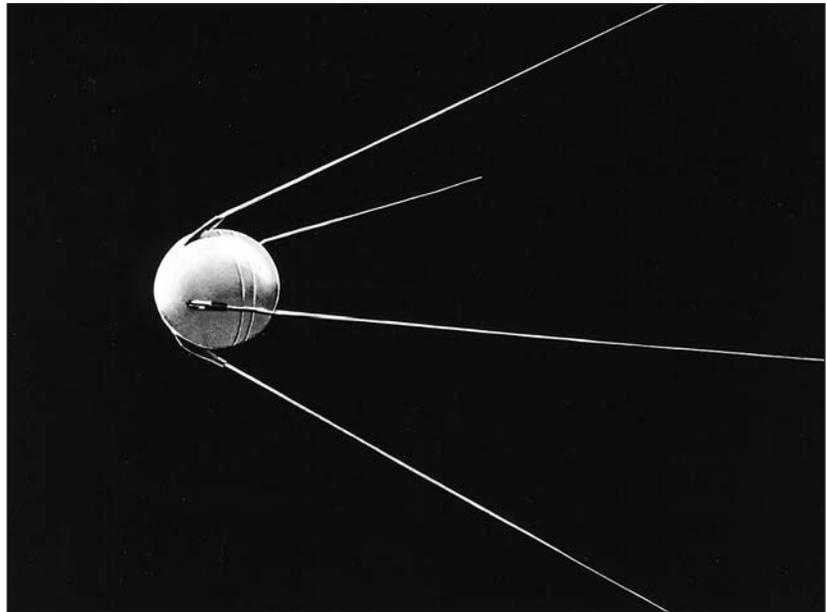
Тут почти все — неправда. Спутник действительно был сферический, но не стальной, а алюминиевый, диаметром 58 см. Весил он не 16, а 84 кг. Из них 51 кг приходился на аккумуляторы, поскольку солнечных батарей на спутнике не было. Передатчиков же было два, они работали на частотах 20 и 40 МГц (длина волны 15 и 7.5 м). Имея выходную мощность около 1 Вт и передавая сигналы на таких частотах, они не были доступны бытовым радиоприемникам «всего мира», и уж тем более нашим отечественным, вообще не имевшим таких диапазонов. Но их сигналы — знаменитые «бип-бип» — отнюдь не были бессмысленными: путем изменения частоты посылок сигналов и пауз между ними на Землю передавалась телеметрическая информация — температура и давление внутри аппарата.

А сравнение сигналов от двух передатчиков позволило изучить условия прохождения радиоволн в ионосфере Земли. Любопытная деталь, говорящая о том, насколько наша ракетная техника опережала в те годы нашу электронику: передатчики на спутнике были... ламповые.

Хотя Королев называл этот аппарат «ПС» — простейший спутник, он не был таким уж примитивным. Например, аппарат имел систему терморегулирования с радиатором и газовым контуром теплообмена. Термореле держало температуру в диапазоне от 20 до 36°C и в случае необходимости включало вентилятор, который заставлял циркулировать азот в герметичном корпусе спутника. Разумеется, следующие спутники были куда как сложнее, но этот был изящен в своей простоте. В конце концов, он был просто красив — маленькая рукотворная планета. Аристотель назвал бы этот зеркальный шарик «идеальным телом».

Работа на орбите длилась недолго: запаса электроэнергии хватило на три недели, после этого Спутник-1 замолчал. Но при этом он не перестал быть научным прибором: наблюдения за его движением и сходом с орбиты помогли узнать плотность атмосферы на высоте полета. Начальная орбита спутника имела высоту в апогее 947 км, в перигее 228 км. Пролетав 3 мес и совершив около 1400 оборотов вокруг Земли, спутник вошел в плотные слои атмосферы и сгорел 4 января 1958 г.

Влияние его короткой жизни оказалось фантастическим. Во всем цивилизованном мире случился культурный шок (приступ страха у американцев наступит позже, после запуска первых тяжелых спутников «Восток», на месте которых могли бы быть ядерные бомбы). На нас стали смотреть другими глазами. С нас стали брать пример. Загадку наших успехов искали и в системе образования,



Первый искусственный спутник Земли.

и в системе планирования, и в таланте наших шпионов, и бог знает в чем еще... Американцы приняли вызов и с честью вышли из положения в 1969 г., отправив людей на Луну. Теперь уже мы отстаем от них в космонавтике. Разумеется, вторыми тоже быть неплохо. Но долго ли мы продержимся на этом почетном месте? Космосом всерьез занялись в Европе, Японии, Китае, Индии. Вспоминая Спутник-1, мы должны говорить себе: «Ему УЖЕ 50 лет, в космонавтике настала новая эпоха, нельзя стоять на месте».

Запуск первого советского спутника для одних стал звездным часом, для других — трагедией. Например, он стал личной трагедией для великого инженера фон Брауна и для всех немецких ракетчиков, тоже оказавшихся заложниками политиков. Но справедливости ради надо признать, что в первом спутнике была доля и их труда: наше и американское ракетное могущество уходит корнями в немецкий инженерный гений.

Фон Браун, Королев, Глушко, Челомей... тысячи инженеров и армия рабочих за невероятно короткое время создали космо-

навтику, потянувшую за собой микроэлектронику и прочие радости и неприятности нашего времени. Уже полвека мы живем в другом мире: он стал мал и теперь уместается на нескольких фотографиях с орбиты. В нем нет больше недостижимых мест и нет больше мест безопасных. У военных исчезли понятия «фронт» и «тыл» — теперь можно нанести удар в любой точке планеты. А писатели-фантасты поняли, что их выдумки слабы перед фантазией инженеров: новые научные идеи быстрее воплощаются в металле, чем попадают на страницы фантастических романов. Попробуйте найти у фантастов мысли про спутниковый Интернет и систему глобальной навигации... А для нас уже привычным стало ходить с приемником GPS по грибы и «ходить» через Интернет по сайтам всех стран.

Не будем же забывать, что первой вехой на этом пути был Спутник-1. Впрочем, он уже никогда не уйдет из памяти: он превратится в легенду и навсегда останется в истории — как первый каменный топор, первое колесо и первый огонь, добытый Человеком. ■

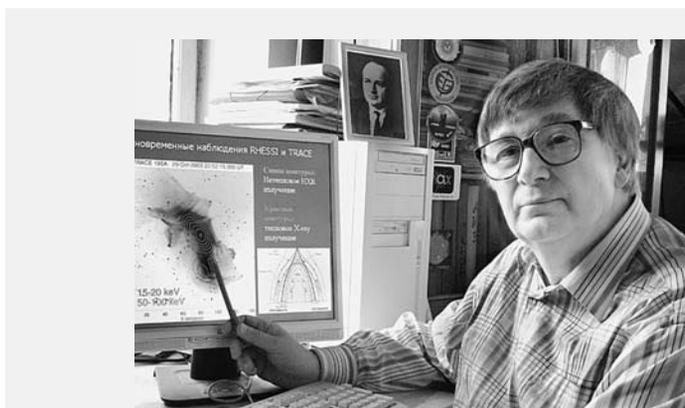
Гнев Гелиоса

Б.В.СОМОВ

Вспышки на Солнце — самое мощное среди всех нестационарных явлений, происходящих в его атмосфере [1], т.е. в двух тонких «слоях» на поверхности Солнца, фотосфере и хромосфере, и в протяженной горячей короне. Энергия самых больших вспышек достигает $(1-3) \cdot 10^{32}$ эрг, что в сотни раз превышает тепловую энергию, которую можно было бы получить при сжигании всех разведанных запасов нефти и угля на Земле. Столь большие вспышки, к счастью, происходят редко: в среднем примерно раз в год, причем преимущественно в годы максимума солнечной активности.

Масштаб самых малых вспышек до сих пор неизвестен. Чем лучше становятся современные телескопы, чем выше их пространственное и временное разрешение, тем более мелкие вспышки на Солнце удается «разглядеть» и изучить. Энергия таких вспышек не превышает 10^{24} эрг, т.е. $\sim 10^{-9}$ от энергии большой вспышки. Поэтому сейчас их условно называют «нановспышками». Предполагается, что мириады мельчайших вспышек (еще более мелких, чем нановспышки) буквально заполняют корону, нагревая ее своей энергией [2].

Удивительно, но распределение вспышек по их энергии описывается единым степенным законом. Энергия вспышек и частота их появления тоже связаны между собой степенным законом. Это говорит о том, что



Борис Всеволодович Сомов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики Солнца Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова, лауреат Государственной премии (1982), автор ряда известных во всем мире монографий. Занимается физикой магнитного пересоединения в космической плазме.

при всем своем огромном многообразии солнечные вспышки подчиняются вполне определенным законам подобия. По видимому, существует единый физический механизм, отвечающий за природу вспышек и работающий в очень широком диапазоне условий [3].

Каков этот механизм, мы узнаем к концу статьи.

О вспышках чуть подробнее

Типичное время наиболее яркой фазы в большой вспышке составляет десятки минут. При мощности выделения энергии $\sim 10^{29}$ эрг/с получим допол-

нительный поток менее сотых долей процента от мощности излучения всего Солнца в оптическом диапазоне, так называемой *солнечной постоянной* ($\sim 4 \cdot 10^{33}$ эрг/с). Поэтому при вспышках не происходит заметного изменения светимости Солнца. Мы не видим их.

Тем не менее при вспышке внезапное увеличение яркости в атмосфере Солнца происходит, распространяется через все ее слои и сопровождается быстрыми движениями вещества — солнечной плазмы. Рост яркости того или иного слоя подразумевает дополнительный его нагрев, т.е. дополнительный вклад энергии в этот слой. Наблюдаемая последова-

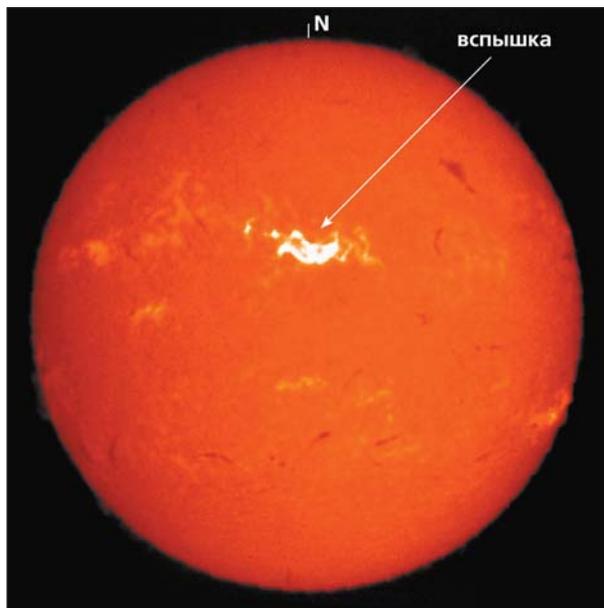


Рис.1. Большая вспышка (балл 3В/Х5.7) 14 июля 2000 г., получившая название «Бастильская вспышка». Вспышка сфотографирована в спектральной линии H_{α} водорода (длина волны $\lambda = 6563 \text{ \AA}$).

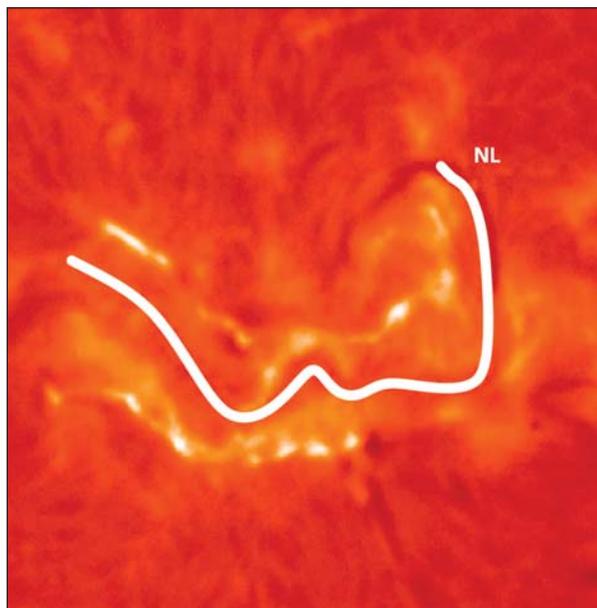


Рис.2. Вспышка 14 июля 2000 г. в виде двух «лент» в хромосфере, расположенных по разные стороны относительно «нейтральной линии» NL. На нейтральной линии происходит смена знака вертикальной составляющей магнитного поля.

тельность свечения различных слоев в атмосфере Солнца свидетельствует о том, что энергия вспышки накапливается до ее начала на некоторой высоте в короне. Во время вспышки она распространяется вверх и вниз.

В поверхностных слоях атмосферы Солнца увеличение яркости охватывает значительную площадь, иногда до 10^{-3} площади видимой полусферы Солнца (рис.1). Можно было бы попытаться представить себе солнечную вспышку по аналогии с сильным взрывом в атмосфере Земли. Однако вспышки на Солнце — гораздо более сложное явление природы.

Задача изучения вспышек облегчается тем, что Солнце расположено близко от нас. Поэтому солнечные вспышки, в отличие от вспышек на других звездах, а также от многих других аналогичных явлений во Вселенной (например, вспышек в коронах аккреционных дисков релятивистских объектов [4]), доступны самому всестороннему исследованию.

Излучение солнечных вспышек охватывает практически весь электромагнитный спектр от километровых радиоволн до жестких гамма-лучей. Однако до начала космической эры на протяжении многих лет наблюдения вспышек велись преимущественно в видимом диапазоне: в «белом свете» (непрерывном спектре видимого излучения) или в H_{α} -линии водорода. Наблюдения в спектральных линиях, профиль которых сильно зависит от напряженности магнитного поля, позволили измерять магнитные поля на Солнце и установить их связь со вспышками. Итоги «ранних» исследований вспышек, обзор их феноменологических свойств и классификация приведены в [5].

Часто вспышка видна как увеличение яркости хромосферы в двух «лентах», расположенных в областях противоположной полярности на поверхности Солнца (рис.2). Радионаблюдения подтверждали эту закономерность, имеющую принципиальное значение для физики вспышек, но ее понима-

ние в те времена оставалось на чисто эмпирическом уровне.

Было установлено также, что вспышки происходят, как правило, вблизи *солнечных пятен*, где напряженность поля 2000—3000 Гс. Столь сильные магнитные поля подавляют конвекцию внутри пятна, что приводит к локальному уменьшению температуры фотосферы, ее потемнению (рис.3). Это и стало причиной названия «пятно».

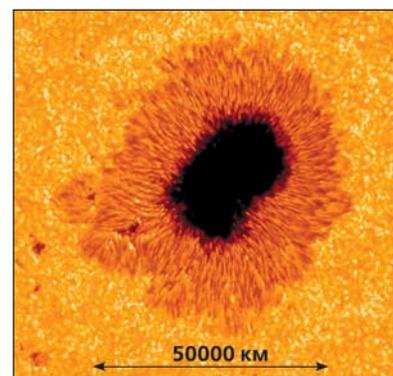


Рис.3. Типичное солнечное пятно состоит из «тени» (наиболее темная часть) и полутени (стрелками указан характерный масштаб).

Вспышки, особенно большие, связаны с сильными магнитными полями на поверхности Солнца.

Запуск в нашей стране первого искусственного спутника Земли, пятидесятилетний юбилей которого мы отмечаем в этом октябре, открыл новую эпоху в исследованиях Солнца. Когда обсерватории смогли расположить вне атмосферы Земли, удалось увидеть Солнце в лучах, поглощаемых земной атмосферой: в жестком ультрафиолете, рентгене, гамма-излучении. Спутники и космические аппараты регистрируют не только излучение вспышек, но и потоки заряженных частиц высоких энергий (солнечные космические лучи) [6], выбросы солнечного вещества (горячей плазмы) в межпланетное пространство, порождаемые этими выбросами мощные ударные волны.

Космические исследования вспышек на Солнце, особенно в годы координированных международных программ, приобрели всеобъемлющий комплексный характер [7]. Последние десятилетия, как правило, несколько космических обсерваторий пристально вглядываются в «разгневанное» Солнце с помощью специальных рентгеновских, ультрафиолетовых и оптических (внеатмосферных) телескопов. Сейчас таких космических аппаратов шесть: «SOHO» (Solar and Heliospheric Observatory, Европейское космическое агентство), «TRACE» (Transition Region and Coronal Explorer, НАСА), «RHESI» (Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager, НАСА), «Hinode» (японский спутник «Восход Солнца») и два американских спутника «Stereo». Наша обеспокоенность вспышками на Солнце совершенно не случайна.

Солнце и мы

Наше Солнце — спокойная звезда. Температура на ее поверхности, фотосфере, всего около 6 тыс. градусов, в хромо-

сфере она постепенно увеличивается с высотой до ~10 тыс. градусов, а в короне превышает миллион градусов. Поэтому Солнце является источником ультрафиолетовых (УФ) и рентгеновских лучей. Кроме того, раскаленная корона испускает быстрые потоки плазмы — солнечный ветер.

Излучение Солнца — главный источник энергии для земной атмосферы. Фотохимические процессы в ней особенно чувствительны к жесткому УФ-излучению, которое оказывает сильное ионизирующее воздействие. Поэтому, когда Земля была молодой, жизнь существовала только в океане. Позднее, примерно 400 млн лет назад, появился *озоновый слой*, поглощающий ионизирующее излучение, и жизнь вышла на сушу. С тех пор озоновый слой защищает нас и другие живые организмы на Земле от вредного и даже губительного воздействия УФ-радиации Солнца.

Магнитное поле Земли, ее *магнитосфера*, препятствует проникновению в земную атмосферу частиц солнечного ветра. Плазма солнечного ветра как бы обтекает магнитосферу. Однако когда его порывы взаимодействуют с магнитосферой, некоторое количество быстрых частиц все-таки высыпается вблизи магнитных полюсов Земли, порождая красочное и совершенно безвредное свечение атмосферы — полярные сияния.

Увы, гармонию наших отношений с Солнцем нарушают солнечные вспышки. Во время большой вспышки жесткое электромагнитное излучение Солнца увеличивается в тысячи раз. В этом спектральном интервале наше Солнце вспыхивает «ярче тысячи солнц». Уже через восемь минут после начала вспышки невидимые ультрафиолетовые, рентгеновские и гамма-лучи достигают орбиты Земли. Потоки заряженных частиц, ускоренных до гигантских энергий (в частности, протоны с энергиями до 10^{11} эВ), и ог-

ромные выбросы плазмы внезапно обрушиваются на межпланетное пространство.

Потоки частиц и излучения опасны для космонавтов. Кроме того, они могут повредить электронные приборы космических аппаратов, нарушить их работу. УФ- и рентгеновские лучи внезапно увеличивают ионизацию в верхних слоях атмосферы Земли, в ионосфере. Это может приводить к нарушениям радиосвязи, сбоям в работе радионавигационных приборов кораблей и самолетов, радиолокационных систем, длинных линий электроснабжения. Частицы высоких энергий, проникая в верхнюю атмосферу Земли, разрушают озоновый слой. Широкою дискуссии в наши дни вызывает вопрос о вероятной связи между активностью Солнца и климатом на Земле.

После больших вспышек ударные волны и выбросы солнечной плазмы вызывают сильные возмущения магнитосферы — магнитосферные бури. Не исключено, что возмущения магнитного поля на поверхности Земли могут влиять на живые организмы, на состояние биосферы Земли, хотя столь прямое воздействие солнечных вспышек кажется пренебрежимо малым по сравнению с другими факторами нашей повседневной жизни.

Итак, даже на Земле, а тем более в космосе, солнечные вспышки весьма опасны, и необходимо уметь заблаговременно их прогнозировать. Долгое время, почти независимо и практически безрезультатно, разрабатывались два подхода: синоптический и каузальный (причинный). Первый подход сходен с предсказаниями погоды. Он базируется на изучении морфологических особенностей предвспышечных ситуаций на Солнце. Второй подразумевает знание физического механизма вспышки и, соответственно, распознавание предвспышечной ситуации путем ее моделирования.

Что же такое вспышка на Солнце? Как и почему она возникает? Изучение физического механизма вспышек на основе теоретических исследований (аналитических и численных) и современных наблюдательных данных, получаемых на космических и наземных обсерваториях, — ключевая проблема современной физики Солнца, имеющая научное и прикладное значение [8].

Физика солнечных вспышек

Уже первые внеатмосферные наблюдения Солнца показали, что вспышки представляют собой именно корональное, а не хромосферное явление (т.е. явление на поверхности Солнца), как это предполагалось раньше. Объемный «организм» вспышки характеризуется наличием петлевых структур в короне. Особое внимание петлевые структуры привлекли к себе после измерений мягкого рентгеновского и УФ-излучения на орбитальной станции «Skylab» [9]. По своей форме вспышечные петли напоминают линии магнитного поля, что в дальнейшем было подтверждено расчетами магнитного поля в короне. Неугомонный характер вспышечного «организма» также был впервые обнаружен в наблюдениях, выполненных на «Skylab». Оказалось, что магнитные поля в короне быстро изменяют свою структуру во время вспышки [10].

Согласно современным многоволновым данным, источник энергии вспышки расположен над аркадой петель в короне, наблюдаемых в УФ-излучении (рис.4). Аркады опираются на хромосферные вспышечные ленты, которые расположены по разные стороны линии раздела полярности фотосферного магнитного поля. Очевидно, в будущем прогнозирование вспышек будет базироваться на объединении обоих методов, упомянутых выше, с учетом маг-

нитной природы вспышки и ее коронального происхождения.

Последующие исследования солнечных вспышек из космоса показали, что основная часть энергии большой вспышки выделяется не в виде оптического излучения, а в следующих трех формах [11]. Во-первых, миллиарды тонн солнечной плазмы (так называемые корональные выбросы массы) устремляются в межпланетное пространство со скоростями до тысячи км/с. Во-вторых, ускоренные до релятивистских скоростей (~300 тыс. км/с) заряженные частицы (электроны, протоны и ионы более тяжелых атомов) обгоняют корональные выбросы массы. В-третьих, и быстрее всего, жесткое электромагнитное излучение атакует межпланетное пространство и планеты. Таковы главные каналы выделения энергии из области вспышки на Солнце в межпланетное пространство.

Оптическое излучение вспышки, увы, — лишь вторичный эффект в хромосфере и фотосфере, вдали от источника энергии вспышки, в основаниях рентгеновских и УФ-петель. В связи с этим американский астрофизик Г.Зирин шуточно сравнивал H_{α} -ленты во вспышке (см. рис.2) с красным плащом, которым тореодор (вспышка на Солнце) дразнит быка (наблюдателя на Земле). Заметим, что сами петли и аркады петель тоже являются лишь следствием первичного энерговыделения вспышки в солнечной короне [12]. Корональные петли представляют собой трубки магнитного потока, заполняемые во время вспышки горячей плазмой.

Откуда и как черпает свою огромную энергию вспышка? Источник энергии вспышки — магнитное поле в атмосфере Солнца. Оно определяет морфологию и энергетику той активной области, где произойдет вспышка. Здесь энергия поля много больше, чем энергия

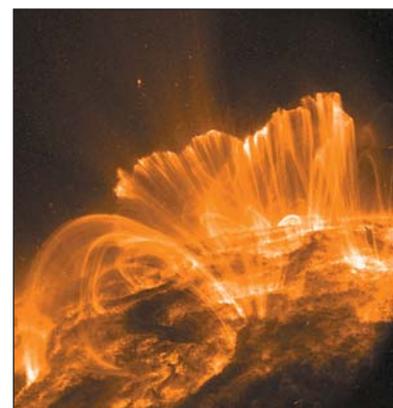


Рис.4. Вспышка 9 ноября 2000 г. Изображение в канале 171 Å получено при помощи УФ-телескопа на спутнике «TRACE». Хорошо видна череда арко-петель — аркада.

плазмы. Во время вспышки происходит превращение энергии поля в энергию частиц плазмы, «динамическая диссипация» магнитной энергии [13, 14]. Физический процесс, обеспечивающий такое превращение, называется *магнитным пересоединением*.

Как магнитное поле переключается

Рассмотрим простейший пример, который демонстрирует сущность явления. Поместим два прямых проводника на расстоянии $2l$ друг от друга. Пусть по каждому из них течет электрический ток I . Тогда магнитное поле этих токов образует три различных магнитных потока (рис.5,а). Два из них принадлежат соответственно верхнему и нижнему токам; каждый поток охватывает свой проводник. Они расположены внутри особой линии поля A_1 — сепаратрисы, — которая образует «восьмерку» с точкой пересечения типа буквы X (далее X-точкой). Третий поток расположен вне сепаратрисы; он принадлежит одновременно обоим токам. Зеленым цветом показана одна из линий поля общего магнитного потока двух токов.

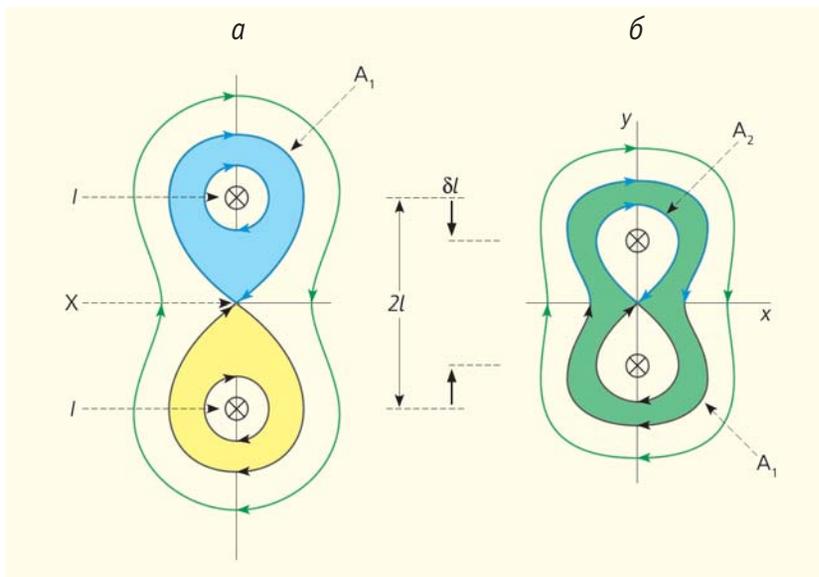


Рис.5. Магнитное поле двух параллельных токов: в начальный момент времени (а) и после того, как они сдвинуты на расстояние δl друг к другу (б). Так происходит пересоединение в вакууме.

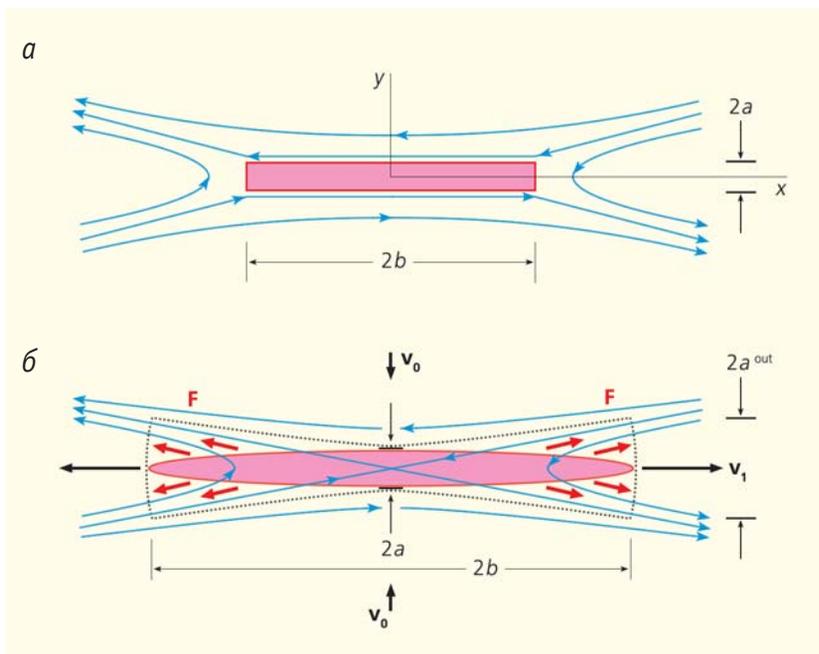


Рис.6. Два состояния токового слоя. Предвспышечный токовый слой экранирует взаимодействующие магнитные потоки противоположной направленности (а). Линии магнитного поля показаны синим цветом. $2a$ — толщина слоя, $2b$ — его ширина. «Сверхгорячий» турбулентный токовый слой обладает аномально низкой проводимостью (б). Это приводит к быстрому процессу магнитного пересоединения в слое во время вспышки: короткими толстыми стрелками v_0 показаны скорости втекания плазмы в слой, длинными стрелками v_1 — скорости вытекания. Красные стрелки F — мощные потоки тепла, «сверхгорячей» плазмы и ускоренных частиц вдоль линий магнитного поля. $2a^{out}$ — эффективная толщина слоя для потоков энергии и плазмы, вытекающих из него.

Если мы сместим проводники в направлении друг к другу на расстояние δl , то магнитные потоки частично перераспределятся, как это показано на рис.5,б. Собственные потоки каждого из токов уменьшатся на величину δA (на рис.5,а соответствующие части потока показаны синим и желтым цветом), а их общий поток увеличится на ту же величину (объединенный поток изображен зеленым цветом); сепаратрисой конечного состояния поля будет линия A_2 . Этот процесс и есть магнитное пересоединение. Он осуществляется следующим образом. Две линии поля подходят к X-точке сверху и снизу, сливаются в ней, образуя сепаратрису, разрываются и затем соединяются так, чтобы образовать новую линию поля, которая охватывает оба тока. Магнитное пересоединение меняет конфигурацию линий поля, точнее говоря, их топологию.

Так происходит пересоединение в вакууме. При всей его простоте пересоединение — реальный физический процесс, легко воспроизводимый в лаборатории. Пересоединение магнитного потока индуцирует электрическое поле E , которое можно измерить. Можно оценить его величину теоретически, разделив величину пересоединенного магнитного потока $\delta A = A_1 - A_2$ на характерное время δt процесса пересоединения, т.е. время движения проводников. В силу закона Фарадея индукционное электрическое поле E направлено перпендикулярно плоскости рисунка. Электрическое поле будет ускорять заряженную частицу, если мы поместим ее вблизи X-точки, точнее говоря, X-линии, совпадающей с осью z декартовой системы координат на рис. 5,б.

В отличие от вакуума плазма солнечной короны очень хорошо проводит электрический ток. Поэтому, как только появляется поле E , оно сразу же порождает ток, направленный тоже вдоль X-линии. Этот ток при-

обретает форму *токового слоя*, который в силу высокой проводимости плазмы в короне перед вспышкой «мешает процессу пересоединения». Подобно металлическому листу (рис.6,а), он экранирует верхний магнитный поток от нижнего. Это приводит к тому, что перед вспышкой вместо пересоединения происходит накопление избытка магнитной энергии, а именно магнитной энергии токового слоя.

Во время вспышки токовый слой становится турбулентным. Проводимость плазмы в нем падает из-за того, что ускоряемые электрическим полем частицы возбуждают в плазме волны и сами рассеиваются на них. При этом магнитное пересоединение в токовом слое происходит почти также быстро, как в вакууме (рис.6,б).

Скорость динамической диссипации магнитной энергии в турбулентном токовом слое очень велика. Она соответствует мощности энерговыделения во время импульсной фазы вспышки, для которой характерна наибольшая яркость в жестких рентгеновских лучах. Температура в таком слое достигает огромных значений, превышающих 100 млн градусов, поэтому его принято называть «сверхгорячим».

Токовый слой представляет собой магнито-плазменную структуру, как минимум двумерную и как правило двумасштабную. Пересоединяющий слой в принципе нельзя описать одномерной моделью, поскольку втекание плазмы в слой и вытекание ее из него осуществляются в ортогональных направлениях (рис.6,б).

Наличие двух масштабов означает, что обычно ширина слоя $2b$ много больше его толщины $2a$. Это важно, поскольку чем шире слой, тем большую энергию он может накопить перед вспышкой. Между тем малая толщина слоя отвечает за устойчивость токового слоя, за возбуждение в нем плазменной турбулентности, т.е. за начало

вспышки. Эти фундаментальные свойства токового слоя составляют основу модели солнечной вспышки [15]. Почему в атмосфере Солнца возникают взаимодействующие магнитные потоки? Как появляются токовые слои и происходит магнитное пересоединение на Солнце?

«Радуга» и «молнии» на Солнце

Наше Солнце — прекрасный генератор магнитных полей. Конвективные течения плазмы под его поверхностью создают переменные электрические токи. Магнитные поля этих токов «всплывают» на поверхность «порциями» — в виде трубок магнитного потока. Наиболее сильные магнитные поля появляются вместе с солнечными пятнами (рис.3) и образуют *активные области* на Солнце. Чаще всего активные области характеризуются двумя полюсами противоположной полярности (северной N и южной S), так называемыми биполярными центрами (рис.7). Полюса противоположной полярности соединяются в короне системой арок,

гораздо менее ярких, чем аркады вспышечных петель. Вершины арок медленно поднимаются.

Часто бывает так, что на фоне активной области возникает пара темных точек, которая быстро развивается в пару новых солнечных пятен. Магнитный поток новых пятен взаимодействует с магнитным потоком активной области, что сопровождается бурными процессами в хромосфере и короне, малыми и большими вспышками. Самые большие из них, например «Бастильская вспышка» 14 июля 2000 г. (рис.1, 2), происходят, как правило, в многополярных активных областях.

Первоначально появление вспышек в атмосфере Солнца мыслилось исключительно как результат всплывания нового магнитного потока из-под фотосферы в хромосферу и затем в корону. Легко представить себе новый магнитный поток в виде растущей пары солнечных пятен n и s. Новый поток поднимается с некоторой скоростью v и взаимодействует с магнитным потоком активной области, источниками которого являются пятна N и S, как это показано на схематическом рис.8.

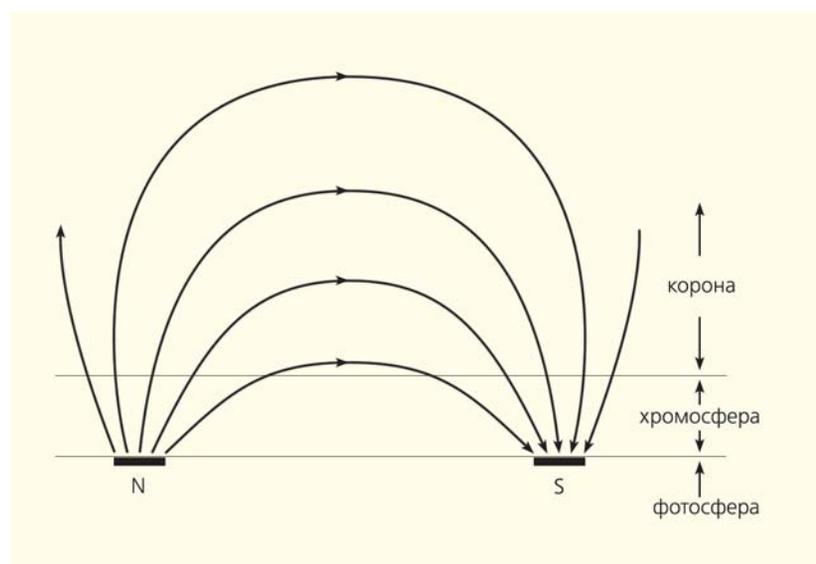


Рис.7. Простейшая модель активной области на Солнце. Два источника магнитного поля на фотосфере соединены между собой линиями поля в хромосфере и короне.

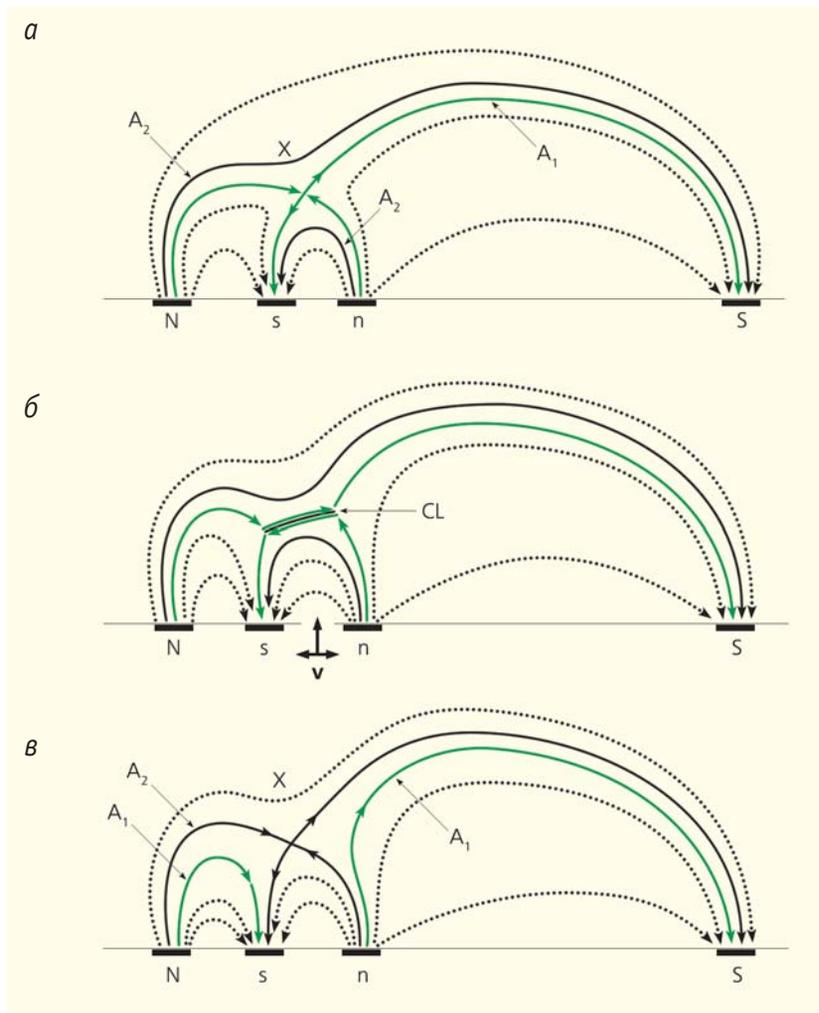


Рис.8. Взаимодействие «нового» (связанного с s, n) и «старого» (связанного с N, S) магнитных потоков в атмосфере Солнца. Три состояния магнитного поля: задолго до вспышки (a), непосредственно перед вспышкой (b), после вспышки (v). CL — токовый слой.

На рис.8 линия магнитного поля A_1 представляет собой сепаратрису поля в начальном состоянии, которая играет такую же роль, как и на рис.5, a . Линия поля A_2 — сепаратриса конечного состояния поля (по аналогии с рис.5, b), т.е. состояния поля после вспышки. Магнитный поток, ограниченный линиями поля A_1 и A_2 , будет пересоединен во время вспышки. Пересоединение «нового» и «старого» магнитных потоков происходит в точке X точно так, как это иллюстрируется рис.5, b . Однако из-за высокой проводимости плазмы в солнечной короне

сначала здесь образуется экранирующий токовый слой CL , показанный на рис.8, b . С ним связано накопление магнитной энергии перед вспышкой. В результате пересоединения произойдет вспышка — освобождение энергии. Такова простейшая модель солнечной вспышки.

На самом деле взаимодействие магнитных потоков в атмосфере Солнца — гораздо более общее явление. Так, вихревые течения плазмы в фотосфере приводят к появлению в короне особых линий магнитного поля, сепараторов. Сепаратор появляется над S-образным изгибом

фотосферной нейтральной линии (рис.9) подобно радуге над изгибом реки. Такие изгибы весьма характерны для магнитограмм больших вспышек.

По структуре поля сепаратор отличается от X-линии лишь тем, что содержит продольную, т.е. направленную вдоль сепаратора составляющую магнитного поля. Наличие продольного поля $B_{||}$, разумеется, не запрещает процесс пересоединения. Продольное поле присутствует внутри и вне формирующегося вдоль сепаратора токового слоя. Оно влияет на скорость пересоединения поперечных составляющих поля B_{\perp} и, следовательно, на мощность процесса преобразования энергии поля в кинетическую энергии частиц. Это позволяет лучше понять и точнее объяснить особенности выделения энергии в солнечной вспышке.

Резюмируя соответствующие исследования, можно сказать, что вспышка — это следствие быстрого магнитного пересоединения, которое подобно гигантской молнии вдоль радуги сепаратора. Оно связано с сильным электрическим полем E (больше $10-30$ В/см) в сверхгорячем (температура электронов больше 10^8 К) турбулентном токовом слое (рис.6, b), несущем огромный электрический ток ($\sim 10^{11}$ А). Таковы реальные условия в источнике энергии солнечной вспышки, точнее говоря, *первичном* источнике энергии вспышки. Затем эта энергия претерпевает несколько преобразований [12], прежде чем мы увидим вспышку в телескоп.

Наблюдаемая картина вспышки во всем ее многообразии и красоте — результат первичного выделения энергии в токовом слое [15]. Сначала эта энергия «выносятся» из токового слоя в атмосферу Солнца в виде течений плазмы, мощных потоков тепла (кинетической энергии хаотического движения электронов плазмы) и ускоренных частиц. Последующее взаимодействие этих потоков

энергии с атмосферой Солнца и определяет многообразие физических процессов, вызываемых вспышкой. Быстрые течения плазмы образуют корональные выбросы массы в межпланетное пространство. Ускоренные частицы (электроны, протоны, ионы) частично убегают вверх, в межпланетное пространство, частично захватываются магнитным полем активной области. Захваченные частицы вместе с потоками тепла из токового слоя устремляются вдоль пересоединенных линий магнитного поля вниз, в плотные слои атмосферы Солнца. Они быстро нагревают хромосферу по обе стороны от фотосферной нейтральной линии. Так образуются пары вспыхивающих лент, наблюдаемые в видимых хромосферных линиях и УФ-линиях переходного слоя между короной и хромосферой. Нагретые до высоких температур верхние слои хромосферы «испаряются» в корону. Эффект быстрого расширения нагретой хромосферной плазмы в корону хорошо виден в рентгеновских лучах. «Хромосферное испарение» (так называют это явление) вместе с плазмой, вытекающей из токового слоя, порождает аркады вспыхивающих петель.

Оптическое излучение вспышки — часть сложного гидродинамического отклика хромосферы и фотосферы на импульсный нагрев мощными пучками заряженных частиц, потоками тепла и жесткого электромагнитного излучения из испаряемой в корону высокотемпературной плазмы. К сожалению, пока еще нет однозначных предсказаний теории, относящихся к оптическому излучению. Слишком сложна физическая картина «отклика». Успехи достигнуты лишь на пути численного моделирования импульсного нагрева хромосферы электронными пучками. Компьютерные расчеты вскрыли специфические особенности импульсной фазы вспышки: формирование ударных и теп-

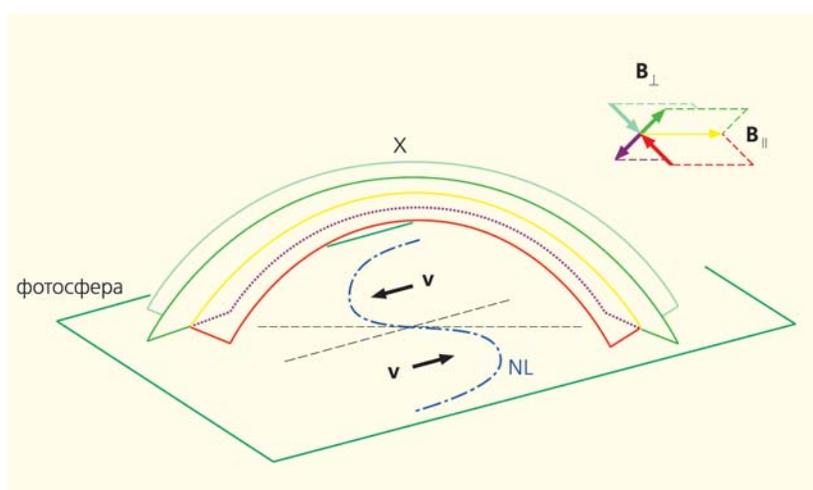


Рис.9. Вихревое течение со скоростью v в фотосфере деформирует нейтральную линию NL так, что она приобретает форму буквы S. Над S-образным изгибом этой линии появляется топологически особая линия магнитного поля, сепаратор X. В правом верхнем углу показана структура поля вблизи его вершины: B_{\perp} и B_{\parallel} — поперечная и продольная относительно сепаратора составляющие поля.

ловых волн большой амплитуды, отличие электронной температуры от ионной, мощное УФ-излучение в линиях переходного слоя. Однако в целом, даже в рамках столь ограниченной постановки задачи об отклике, предстоит еще много сделать, чтобы обеспечить сравнение результатов расчетов и наблюдений. Принципиально важно при этом следующее.

Космические наблюдения в сочетании с наземными наблюдениями в радио- и оптическом диапазоне дают всестороннюю информацию о проявлениях солнечной вспышки на всех уровнях в атмосфере Солнца. В итоге были найдены бесспорные подтверждения, например, для так называемой модели «толстой мишени» [16], которая объясняет всплески жесткого рентгеновского излучения как тормозное излучение ускоренных электронов в плотных слоях атмосферы Солнца.

Новые технологии в космических наблюдениях приводят к новым открытиям. Так, рентгеновский телескоп на спутнике «Yohkoh» (на японском языке «солнечный лучик») обнаружил

совершенно неожиданный эффект — жесткое рентгеновское излучение из солнечной короны. Оказалось, что это излучение порождается ускоренными электронами, захваченными в магнитные ловушки, которые связаны с процессом магнитного пересоединения в солнечных вспышках [15].

Как возникают солнечные космические лучи

Ускорение заряженных частиц до высоких энергий всегда считалось камнем преткновения теории солнечных вспышек. Особенно трудно было объяснить, как достигается максимальная энергия частиц. В рамках теории сверхгорячих токовых слоев [15] общее аналитическое решение релятивистского уравнения движения частицы в пересоединяющем токовом слое допускает устойчивое движение, при котором частица остается в слое достаточно долго, постепенно набирает энергию и покидает его только в результате ограниченности его размеров — длины и ширины. Найде-

ны условия устойчивости, соответствующие сильному электрическому полю E при наличии в токовом слое поперечной и продольной составляющих магнитного поля: V_{\perp} и V_{\parallel} , характерных для пересоединения на сепараторе.

Физический смысл этих условий прост. При их выполнении скорость частиц в плоскости слоя в направлении, перпендикулярном к электрическому полю, отлична от нуля, но значительно меньше продольной скорости. Кроме того, находясь в слое, частица совершает колебательные движения в поперечном направлении. Однако главный процесс, ускорение частиц до скорости порядка скорости света, происходит вдоль электрического поля.

Для интересующего нас случая магнитного пересоединения в сверхгорячем токовом

слое солнечной вспышки сравнение аналитических решений с результатами численного интегрирования исходных уравнений движения, усредненных по упомянутым выше колебаниям, подтверждает выводы, полученные аналитическим методом. Главный из них состоит в том, что рассчитываемый режим ускорения весьма эффективен — позволяет объяснить ускорение во вспышке солнечных космических лучей.

Характерно, что при ускорении электрическим полем частицы с зарядами разных знаков движутся в противоположных направлениях. Как следствие, положительные и отрицательные частицы покидают токовый слой вдоль различных линий магнитного поля. Этот вывод согласуется с наблюдениями спутника «RHESSI», которые показали, что источники жесткого

рентгеновского излучения, вызываемого ускоренными электронами, и источники гамма-излучения, связанного с ускоренными ионами, во вспышке 28 октября 2003 г. пространственно разделены (рис.10).

Применительно к этой гигантской вспышке был исследован вопрос о месте ускорения электронов и ионов. Была построена топологическая модель магнитного поля в активной области (рис.11), где произошла вспышка. Суть моделирования в том, что крупномасштабное магнитное поле активной области заменяется модельным, источники которого под фотосферой подбираются так, чтобы рассчитываемая магнитограмма фотосферного поля (зеленый фон с желтыми стрелками на рис.11) наилучшим образом соответствовала наблюдениям. Модель должна воспроизводить

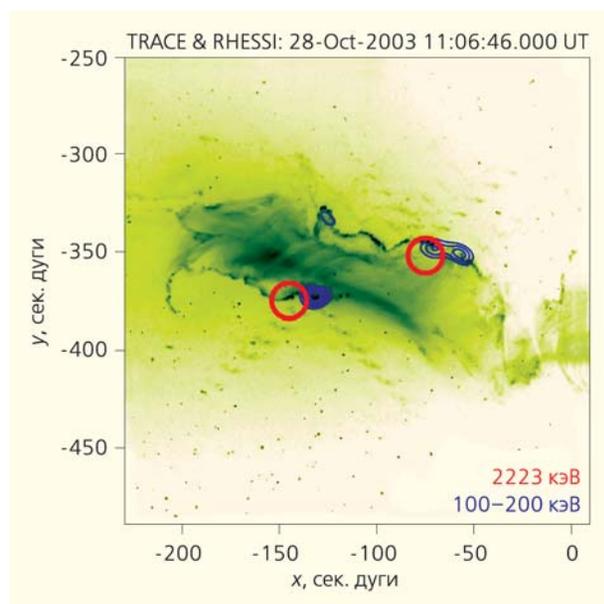


Рис.10. Гигантская (рентгеновский балл X17) вспышка 28 октября 2003 г. недалеко от центра солнечного диска (вид на вспышку сверху). Фоновое зеленое изображение демонстрирует аркаду петель, как они видны в канале 195 Å со спутника «TRACE». Синим и красным цветом показаны источники жесткого рентгеновского (100—200 кэВ) и гамма- (2223 кэВ) излучения, наблюдаемые со спутника «RHESSI».

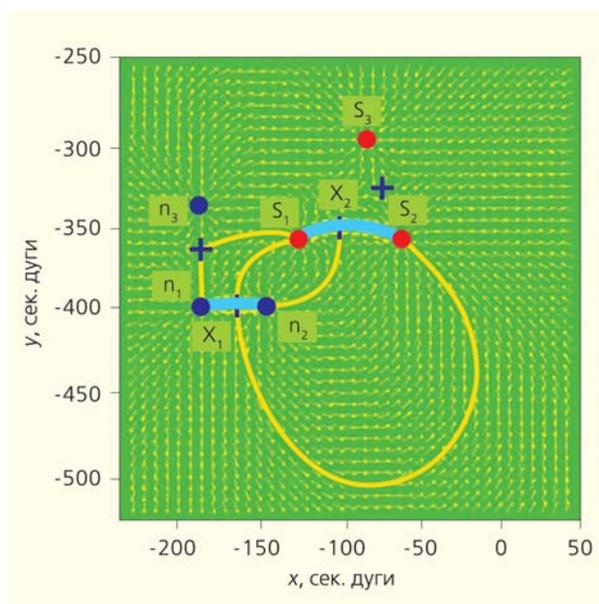


Рис.11. Расчет магнитного поля во вспышке 28 октября 2003 г., представленной на рис.9. n_1 , s_1 и т.д. — эффективные источники поля. Желтые стрелки указывают направление поля в плоскости источников (зеленый фон). Желтые сплошные линии — основания сепаратрисных поверхностей. Видно, что эти линии разделяют магнитные потоки, связывающие различные источники магнитного поля. X_1 и X_2 — нулевые точки поля, являющиеся основаниями сепаратора. Голубым цветом показаны участки вспышечных лент, вызванные пересоединением вблизи вершины сепаратора.

главные особенности фото-сферного поля: содержать наиболее существенные его источники (солнечные пятна и/или фоновые поля), воспроизводить форму границы областей различной магнитной полярности. Когда это удастся сделать, модель воспроизводит топологические особенности крупномасштабного поля в короне: сепаратрисные поверхности и линии

их пересечения — сепараторы. В данной активной области, как это часто бывает [15], сепараторов два. Сравнение рис.10 и 11 позволяет сделать вывод, что во вспышке 28 октября 2003 г. электроны и ионы действительно ускоряются одновременно в токовом слое вблизи вершины «главного» сепаратора. Он расположен в области наиболее сильных магнитных полей и представля-

ет собой линию поля в короне, соединяющую нулевые точки X_1 и X_2 под фотосферой.

В хромосферу ускоренные электроны и ионы вторгаются в существенно различных местах. Представленная здесь модель отражает общие физические свойства широкого класса больших солнечных вспышек, точнее говоря, самых больших вспышек на Солнце. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 04-02-16125а.

Литература

1. The Many Faces of the Sun / Eds K.T.Strong, J.L.Saba, B.M.Haisch, J.T.Schmelz. N.Y., 1998.
2. Gold T. Magnetic energy shedding in the solar atmosphere // Physics of Solar Flares. Ed. W.N. Hess. Washington, 1964. P.389—396.
3. Litvinenko Yu.E. // Solar Phys. 1994. V.151. P.195—198.
4. Somov B.V., Oreshina A.V., Oreshina I.V., Shakura N.I. // Adv. Space Res. 2003. V.32. P.1087—1096.
5. Smith H.J., Smith E.V. Solar Flares. N.Y., 1963.
6. Miroshnichenko L.I. Solar Cosmic Rays. Dordrecht, 2001.
7. Multi-Wavelength Investigations of Solar Activity / Eds A.V.Stepanov, E.E.Benevolenskaya, A.G.Kosovichev. Cambridge, 2004.
8. Space Weather, Research Towards Applications in Europe / Ed. J.Lilensten. Dordrecht, 2007.
9. Brueckner G.E. // Phil. Trans. Royal Soc. London. Series A. 1976. V.281. P.443—459.
10. Solar Flare / Ed. P.A.Sturrock. Boulder, 1979.
11. Eruptive Solar Flares / Eds Z.Svestka, B.V.Jackson, M.E.Machado. Berlin, 1992.
12. Somov B.V. Physical Processes in Solar Flares. Dordrecht, 1992.
13. Сыроватский С.И. // Астроном. журн. 1962. Т.39. С.987—989.
14. Сыроватский С.И. // ЖЭТФ. 1966. Т.50. С.1133—1147.
15. Somov B.V. Plasma Astrophysics. Part II. Reconnection and Flares. N.Y., 2006.
16. Сыроватский С.И., Шмелева О.П. // Астроном. Журн. 1972. Т.49. С.334—347.

В ЦЕРНе (Европейском центре ядерных исследований) завершается сооружение под землей, на 100-метровой глубине, крупнейшей и самой мощной в мире системы охлаждения. Этот гигантский холодильник предназначен для обеспечения работы при температуре 1.9 К (–271°C) 27-километрового нового ускорителя частиц — Large Hadron Collider. В системе охлаждения используется жидкий сверхтекучий гелий. При такой температуре ниобий-титановый сплав, применяемый для изго-

товления обмоток 1800 магнитов коллайдера, становится сверхпроводником, что позволяет магнитам создавать магнитное поле напряженностью 8.3 Тл, которое необходимо для отклонения пучков заряженных частиц, разгоняемых до скорости, близкой к скорости света.

Science et Vie. 2006. №1071. P.17 (Франция).

В конце 2006 г. швейцарский летчик И.Росси совершил полет с помощью аппарата

собственной конструкции — крыльев размахом в 3 м, изготовленных из легкого, но жесткого углепластика, под которыми на специальных подвесках установлены четыре реактивных двигателя, работающие на керосине. Современный Икар поднялся на 2500-метровую высоту и летал более 6 мин со скоростью 200 км/ч. В полете он маневрировал: сначала планировал, а затем взмыл вверх на 700 м со скоростью 20 км/ч.

Sciences et Avenir. 2007. №720. P.23 (Франция).

Космос

Репортаж из-под ледового купола



А.М.Сагалевич,

доктор технических наук,

заведующий Лабораторией глубоководных обитаемых аппаратов

Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН

Москва

Вести из экстремальной

К сегодняшнему дню более 400 (437) жителей нашей планеты летало в космос. Всего 13 человек побывало на Луне. Только два человека покорили максимальную глубину океана в Марианской впадине — около 11000 м. Но до сих пор никто не видел настоящего Северного полюса: дна океана под сплошным покровом льда. Никто не рискнул спуститься на дно северной вершины Земли на глубину 4300 м под ледяной купол толщиной 2—2.5 м. А мы рискнули и победили!

Да, это была победа. Победа человеческого разума, воли, смелости, дерзаний, стремлений постичь неизвестное, не покорявшееся никому прежде. Это был прыжок в неизведанное...

* * *

Никому ранее не приходило в голову совершить погружение под лед на дно Северного полюса. Основная причина тому — психологический фактор: ведь надо опуститься на глубину более 4 км! В настоящее время такие погружения человека возможны лишь в глубоководных обитаемых аппаратах (ГОО) — миниатюрных автономных, свободно передвигающихся под водой и базирующихся на судах обеспечения, которые доставляют их в район работ. Под лед ходили подводные лодки, перемещаясь над полюсом на глубине до 300 м. Однако у лодок совершенно другие возможности по сравнению с глубоководными обитаемыми аппаратами. В отличие от лодок, ГОО имеют ограниченный энергетический ресурс, небольшие скорости передвижения и автономность, а также весьма хрупкую конструкцию легкого корпуса, не предназначенного для контактов с ледовым покровом. На Северном полюсе в любое время года ледовый покров оценивается в 10 баллов по десятибалльной шкале. Единственная возможность для погружения ГОО в этом районе — найти естественную полынью либо сформировать полынью с помощью ледокола. И конечно, единственный способ вернуться со дна на борт судна — попасть в ту же полынью, из которой ушел под воду. Учитывая, что аппарат сносит течением в толще воды, а лед на

поверхности дрейфует, расстояние между аппаратом и полынью при погружении на большие глубины может достигать нескольких миль. При ограниченном энергоресурсе и небольшой скорости такое расстояние может оказаться для ГОО критическим: аппарат не сумеет догнать полынью даже при известном направлении на нее. Весьма проблематичен на полюсе и выбор правильного направления движения под водой, поскольку показания магнитных и гирокомпасов имеют существенные расхождения с истинными. Поэтому ученые и специалисты-подводники даже не думали о погружениях обитаемых аппаратов в Арктике, тем более на Северном полюсе, где толщина льда даже в летние месяцы достигает 2—2.5 м.

Как родилась идея

Идея погружения на Северном полюсе родилась в 1998 г. в беседе с моими иностранными коллегами, которые занимались организацией туристических рейсов на ледоколах в Арктику. Тогда обсуждался вопрос о перемещении аппаратов «Мир» на атомный ледокол и походе на нем к Северному полюсу. В начале 1999 г. я побывал в Мурманске и осмотрел атомный ледокол «Советский Союз». Ознакомление с ледоколом показало, что размещать аппараты там негде. Поэтому был осмотрен дизельный ледокол «Иван Папанин», на котором имелись краны соответствующей грузоподъемности и большой трюм, где вполне можно было разместить два аппарата «Мир» и оборудование для их обслуживания. Тогда и возникла идея использовать для организации погружений два судна — мощный атомный ледокол, прокладывающий путь в сплошном ледяном покрове, и судно, способное работать во льдах и выполнять роль носителя аппаратов. Предполагалось, что второе судно должно следовать за атомным ледоколом по проторенному во льдах пути.

Эта схема была принята как основная. В течение девяти лет шли поиски финансирования. Наряду с этим разрабатывалась методика обеспечения безопасности погружений аппаратов в ледо-

вой обстановке. Финансирование проекта предполагалось осуществлять главным образом за счет спонсоров, однако средств постоянно не хватало, и воплощение проекта откладывалось из года в год. Вторая проблема — занятость ледоколов: в летние месяцы они сдавались в аренду, и получить их на короткий период времени в июле—августе было практически невозможно.

Модернизация аппаратов «Мир» и разработка дополнительного оборудования для обеспечения безопасности погружений в ледовых условиях велись постоянно, хотя одновременно аппараты участвовали в других проектах (съемках глубоководных фильмов, научных исследованиях). За эти годы были разработаны дополнительный движительный комплекс, который предполагалось использовать в случае отказа работы основных движителей аппарата, и устанавливаемые на «Миры» гидроакустические системы поиска польных по излучателю, опускаемому с борта судна обеспечения. Была проведена также модернизация балластной системы аппаратов, чтобы обеспечить ее бесперебойную работу при минусовой температуре воды. Все эти новые разработки ждали своего часа — решения вопроса о проведении работ на Северном полюсе.

В 2003 г. проектом заинтересовался главный полярник России, вице-спикер Государственной думы А.Н.Чилингаров. Он занялся поисками финансирования. Во время нашей встречи проведение экспедиции было намечено на 2007 г., который номинировался как Международный полярный год.

В 2006 г. нам предложили в качестве судна-носителя аппаратов «Мир» использовать научно-экспедиционное судно «Академик Федоров»: оно имело два 50-тонных крана и большой трюм, в котором вполне могли разместиться аппараты «Мир-1 и -2». В марте 2007 г. у Чилингарова стали проводиться регулярные совещания по организации экспедиции с участием представителей Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, Института океанологии РАН и Ледокольной службы Мурманского пароходства. На совещаниях обсуждались организационные, технические и финансовые вопросы, а с апреля началась подготовка «Миров» к работам во льдах. Была предложена схема дооборудования «Академика Федорова» как судна-носителя. Сотрудники Лаборатории глубоководных обитаемых аппаратов Института океанологии работали и на судне «Академик Мстислав Келдыш» в Калининграде, где находились «Миры», и на «Академике Федорове» в Санкт-Петербурге.

В отсутствие бюджетного финансирования экспедицию предполагалось проводить на средства спонсоров, но этих средств было недостаточно. 10 июля 2007 г. «Академик Федоров» уже должен был выйти из Санкт-Петербурга, а в первых числах июля вопрос о проведении экспеди-

ции все еще висел на волоске. Здесь-то и сыграла свою роль предприимчивость Чилингарова: он предложил участвовать в погружении на Северном полюсе депутату Государственной думы В.С.Груздеву, который стал одним из спонсоров. Это был ключевой момент.

Пробное погружение

13 июля 2007 г. «Академик Мстислав Келдыш» и «Академик Федоров» встретились на рейде порта Балтийск. «Мир-1» и «Мир-2» спустили на воду с борта судна «Академик Мстислав Келдыш», отбуксировали к «Академику Федорову» и подняли на его борт с помощью 50-тонного крана. Вместе с аппаратами на борт «Академика Федорова» передали контейнер с сопутствующим оборудованием. «Миры» уютно разместились в трюме, где были установлены и агрегаты для обеспечения работоспособности аппаратов.

После принятия на борт аппаратов и их подводной команды «Академик Федоров» совершил переход в Мурманск, во время которого произво-



Передача аппарата «Мир-2» с научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш» на научно-экспедиционное судно «Академик Федоров» в Балтийском море.

Здесь и далее фото Ю.А.Володина



«Мир-1» и «Мир-2» в трюме судна «Академик Федоров».

дилось дооборудование трюма, лаборатории навигации и связи, продолжалась подготовка «Миров» к подледным погружениям. 22 июля 2007 г. «Академик Федоров» пришел в Мурманск. Там готовился к походу на Северный полюс атомный ледокол «Россия», который должен был прокладывать нам путь во льдах. Он вышел из Мурманска вечером 24 июля, «Академик Федоров» — на 12 ч позже. Встреча двух судов состоялась вблизи кромки льда, и далее они шли друг за другом до Северного полюса, а затем — обратно.

По пути на Северный полюс необходимо было сделать пробное погружение «Миров» с целью испытания вновь установленной на них аппаратуры и отработки выхода аппаратов в полынью из-под льда. Севернее Земли Франца-Иосифа, на 83° с.ш., нашли довольно большую полынь в сплошном ледовом покрове толщиной около 0,5 м. Размеры полыни — 150×80 м. «Академик Федоров» вошел в полынь, одним бортом прижался ко льду, освободив большую часть водного пространства для погружения глубоководных аппаратов.

Погружение началось в 10 ч утра 29 июля. Глубина в этом месте — 1300 м. В составе экипажа «Мира-1» — Анатолий Сагалевич (командир) и Игорь Пономарев (бортинженер), «Мира-2» — Евгений Черняев (командир) и Сергей Клепиков (бортинженер). Аппараты быстро ушли под воду с интервалом в 30 мин. Погружение до дна заняло около часа. Дно покрыто жидким пелитовым илом. Малейшее движение поднимает осадок вверх, создает облака мути. За иллюминаторами — видимость нулевая. Откачав водяной балласт и немного облегчив аппарат, выходим из клубов мути, садимся на дно и отбираем образцы осадка с помощью специальных геологических трубок. Затем берем пробы воды в 30-литровый батометр, на протяжении нескольких десятков метров прописываем довольно однообразную поверхность дна на видеомагнитофон. По пути

встречаем двух скатов длиной около 30 см, несколько миниатюрных креветок. Распространены офиуры размером 5–6 см, плотность их поселения достигает 2–3 экз./м². Встречаются галаттерии, бесстебельчатые лилии, актинии. Все животные небольших размеров, что, по-видимому, связано с дефицитом кислорода, поступление которого с поверхности лимитируется сплошным ледяным покровом. Несмотря на это, и здесь теплится жизнь. Конечно, не такая, что бушует на дне океана в горячих гидротермах, но весьма насыщенная и довольно разнообразная, судя по нашим очень коротким наблюдениям, продолжавшимся всего около 40 мин.

Итак, мы первые исследователи, которые увидели дно в этой точке планеты под сплошным ледяным покровом. Однако не нужно забывать о главной цели экспедиции. И при этом помнить, что лед на поверхности дрейфует, а с ним дрейфует и наша полынья. Надо успеть вовремя выйти на поверхность, не дав полынье уйти далеко от нас. Единственный ориентир, связывающий наш аппарат с поверхностью, — гидроакустический маяк, спущенный с борта «Академика Федорова» на глубину 100 м. Посылая кодовый запрос с «Миров», мы по ответу маяка измеряем расстояние до судна, но определить направление, по которому нам нужно двигаться, весьма проблематично, так как гирокомпасы и магнитные компасы в высоких широтах Арктики не работают. Единственный способ установить правильность выбранного направления — по сокращению расстояния до маяка. Монитор системы навигации, на котором отображается расстояние до маяка, показывает, что мы находимся в 1500 м от нашего судна. Откачиваем водяной балласт и всплываем до глубины 500 м. Эмпирически, опробуя разные направления, выбираем то, по которому уменьшается расстояние до маяка. Поднимаемся до глубины 100 м и продолжаем методические поиски, стараясь сократить дистанцию до минимальной. Всплываем еще выше: глубина 10 м... 5 м. Мы уже практически подо льдом. До маяка — 120 м. Учитывая, что он висит на глубине 100 м, мы где-то очень близко от полыни. Теперь нам может указать правильный путь видеочасть на корме аппарата, которая смотрит вверх. Игорь, не отрывая глаз от экрана монитора, комментирует ситуацию на поверхности: «Сплошной лед, немного светлее, но воды как будто не видно». Мы находимся в небольшой положительной плавучести, и я обеспечиваю основное движение аппарата, постоянно управляя главным движителем, а на боковых отжимаюсь ото льда вниз, отслеживая расстояние от него по эхолоту, направленному вверх.

Поиск чистой воды занимает уже около 40 мин. Мы движемся галсами, непрерывно определяя расстояние от маяка и не позволяя этому расстоянию превысить 200 м. Наконец картинка на мониторе начала светлеть, и вот я слышу голос Игоря: «Над

нами вода!». Перестаю отжиматься вниз и чувствую, что аппарат на поверхности. Сразу слышим тревожный, но очень решительный голос руководителя погружения Виктора Нищеты: «Продувайся!». Я немедленно начинаю продувать цистерны главного балласта — пластиковые емкости объемом 1,5 м³. Аппарат обнажает свою оранжевую палубу — мы всплыли и оказались в полынье, у самой кромки льда. Остальное — дело техники: движение ГОА под захват мощного крана, зацеп водоплаз, прыгнувшим на палубу «Мира-1» с надувной лодки «Зодиак», и подъем на борт «Академика Федорова». Второй аппарат проделал путь, аналогичный нашему, и всплыл на поверхность спустя час после нас.

Первая глубоководная операция обитаемых аппаратов подо льдом прошла успешно. Но главное дело, ради которого мы пришли сюда, — погружение в точку географического Северного полюса, — еще впереди.

Курс — на Северный полюс

30 июля вошли в район тяжелых льдов толщиной 1–2 м. Судно временами останавливается, не в силах преодолеть ледовый заслон, хотя путь уже проторен ледоколом. «Россия» время от времени возвращается, обкалывает лед и снова идет дальше. На палубе нашего судна находится вертолет, который периодически ведет ледовую разведку.

В нашем уютном трюме, ставшим как будто родным домом, постоянно кипит жизнь. Тщательно перебираются отдельные блоки и узлы, в правильности работы которых есть хотя бы тень сомнения. В нашем деле вообще нет мелочей, здесь все должно работать абсолютно надежно. Все члены подводной команды понимают, сколь высока степень риска и чего может стоить любая неисправность. Бывают такие ситуации в жизни, когда мобилизуется весь накопленный опыт, весь багаж знаний ради одного момента, к которому долго стремишься и который уже близок к воплощению в жизнь.

Осталось два дня до прихода в точку Северного полюса. 31 июля с ледокола «Россия» прилетает большая компания посмотреть аппараты «Мир». Среди них и участники погружений: Артур Чилингаров, Владимир Груздев и гражданин Швейцарии Фредерик Паулсен. Четвертый участник — гражданин Австралии Майк Макдауэлл — живет на нашем судне.

Провожу ознакомительную экскурсию на «Мире-1» для Груздева и Паулсена. Первый осматривает обитаемую сферу с интересом, задает вопросы. Второй смотрит с некоторой опаской, расспрашивает о квалификации пилота, задает вопросы о надежности аппаратов (он идет во втором, международном экипаже). Я его успокаиваю: мы — профессионалы и знаем, что делаем. Глаза

тепеют, тревога как будто исчезает. Тревога и некоторые сомнения есть и у меня, но я не имею права этого не только говорить, но и показывать. И эти сомнения и тревоги будут жить во мне до окончания подводной операции. Так устроен профессионал: когда операция началась, забываешь о сомнениях, все внимание сосредоточено на выполнении задачи, но тревога продолжает жить где-то в подсознании.

1 августа 2007 г. До Северного полюса 50 миль. «Россия» колет лед, выворачивая огромные голубые глыбы. Мы на судне видим лишь результаты адской работы ледокола. Наш «Федоров» наступает на глыбы и расталкивает их в стороны. Порой встречаются небольшие разводья, напоминающие маленькие пруды в степи. Они затянуты тонким слоем льда. Температура воздуха близка к нулю, температура воды на поверхности –3,5°C.

Собираемся с Чилингаровым и подводной командой для планирования действий на полигоне. Погружение намечаем на 8 ч утра 2 августа. Однако до этого необходимо найти полынью либо сделать ее с помощью ледокола. В это водное пространство предстоит войти судну обеспечения и закрепить на ледовых якорях левым бортом, освободив правый для операций с аппаратом «Мир» и другими приборами. До начала погружений сотрудники навигационной группы должны полететь на вертолете для расстановки гидроакустических маяков в отверстия, пробуренные во льду специальным электрическим буром. Четвертый маяк будет спущен с борта «Академика Федорова» — все это необходимо для обеспечения точной ориентации «Миров» подо льдом.

Выход в закрытый гидрокосмос

2 августа 2007 г. В 4 ч утра находим полынью размером примерно 100×50 м. В нее входит наше судно обеспечения, притирается левым бортом к кромке льда, врезаясь в лед носом. Для спускоподъемных операций с «Мирами» остается узкая полоска неправильной формы шириной 20–25 м. Навигаторы вылетают для расстановки гидроакустических маяков. Подводная команда собирается в трюме для подготовки глубоководных аппаратов к погружению. В 9 ч 20 мин экипаж «Мира-1» (командир Сагалевич, наблюдатели Чилингаров и Груздев) садится в аппарат. Тот спускается на воду и по команде руководителя погружения Виктора Нищеты уходит в глубину в небольшом водном пространстве, обрамленном неровным «ледяным берегом».

Погружаемся. Обстановка внутри обитаемой сферы нормальная. Мы с Артуром слегка подначиваем друг друга, что создает непринужденную обстановку. Владимир смотрит в иллюминатор. Я включил небольшой светильник, чтобы ему было видно обитателей глубин. За иллюминатором —



Экипажи аппаратов «Мир-1» (А.Чилингаров, А.Сагалевиц, В.Груздев) и «Мир-2» (Ф.Паулсен, Е.Черняев, М.Макдауэлл) перед погружением в точке географического Северного полюса.

очень мелкий планктон. Иногда встречаются желтее небольшие размеры. На глубине 800 м Владимир увидел кальмара, затем креветку, другую, третью. Все они очень маленьких размеров по сравнению с теми, которых мы обычно видим в океане. На глубине 2000 м включаю эхолот, его максимальный диапазон 1000 м. Монитор на глубине 3000 м отображает четкую отражающую границу, но она не такая плотная, как у обычной донной поверхности. Артур говорит: «Дно». «Нет, — возражаю я, — это, видимо, скачок плотности, поскольку отражение размазано». Навигационный дисплей дает четкую картинку с тремя маяками, судя по которым аппарат слегка сносит на северо-запад. На глубине 2500 м аппарат уже в 500 м от исходной точки погружения. По мере приближения к отметке 3000 м отражение на эхолоте становится все бледнее, а после ее прохождения вдруг перестают приниматься ответы от гидроакустических маяков. Мы остаемся без навигационных данных и дальше идем с надеждой, что нас несет не так сильно. В 11 ч 59 мин проходим глубину 4000 м, до дна остается 260. Включаем забортные светильники. И вот он, желанный миг: мы видим дно!

Впервые в истории человек увидел дно Северного Ледовитого океана в точке географического Северного полюса! Увы, ничего выдающегося: лишь желтовато-бурый осадок, ровный, без углублений и холмиков. Унылый ландшафт украшают колонии небольших белых актиний, плотность их поселений 1–2 экз./м². Втроем садимся перед телекамерой, и я сообщаю наверх: «12 часов 11 минут. Аппарат «Мир-1» сел на дно океана в точке географического Северного Полюса на глубине 4261 м. Благодаря всех участников этого исторического события».

«Мир-2» придет на дно 50 минутами позже. Его датчик глубины покажет величину 4302 м. Перед

экспедицией оба измерительных комплекса аппаратов «Мир» были откалиброваны, нами были получены соответствующие сертификаты. Однако практически в одной и той же точке на ровном рельефе данные отличаются на 40 м! Каким измерениям верить? Мы приняли глубину 4300 м. В пользу этого решения сработали наши погружения в Норвежском море на подводную лодку «Комсомолец». Мы неоднократно опускались туда и точно знаем глубину, на которой находится лодка, — 1700 м. Первые погружения 16 августа 2007 г. отметили разницу в показаниях датчиков: «Мир-1» — 1660 м, «Мир-2» — 1700 м. Датчик глубины на «Мире-2» был откалиброван более точно, и, значит, наше решение о принятии глубины 4300 м было правильным.

«Мир-1», хотя и мягко сел на дно, поднял довольно сильную муть, коснувшись осадка. Выйдя из мути на движителях и остановив аппарат, я взял в манипулятор небольшой цилиндр из нержавеющей стали и аккуратно поставил его на дно. Цилиндр наполовину ушел в мягкий осадок. В цилиндре — обращение к грядущим поколениям людей, которые, возможно, когда-нибудь опустятся на дно Северного полюса, увидят этот цилиндр и прочтут содержащееся в нем послание.

В этой же точке я отобрал пробы осадка, затем, взяв в манипулятор сачок, аккуратно соскреб верхний слой, захватив по пути маленькую белую актинию с торчащими, словно иголки, щупальцами. Отбирая осадок сачком, снова поднял муть. Артур торопит: «Быстрее ставь флаг и быстрее наверх, а то польня уплывет». Но ведь нельзя же ставить флаг в мути. Необходимо выйти из нее, ведь историческое событие нужно и сфотографировать, и записать на видео. Маневрируя аппаратом, выходим в чистую воду, останавливаемся. Беру флаг в манипулятор, обрываю хомуты, которыми он прикреплен к бункеру аппарата, выдвигаю



Российский флаг, изготовленный на авиационно-космическом предприятии «Факел» в Калининграде. На подставке выбиты названия основных организаций, принимавших участие в проведении экспедиции: Институт океанологии РАН, Институт Арктики и Антарктики Гидромета и НО «Полярный фонд», а также фамилии двух пилотов ГОА «Мир» — Сагалевич, Черняев.

манипулятор вперед. Сейчас флаг виден отлично. Мы его снимаем на видео, фотографируем.

Конструкция флага, красивая и изящная, состоит из трех частей: массивной подставки в виде полусферы и шпиль, которые выполнены из титана, и самого флага, изготовленного из акрилового стекла. Акрил держит давление и не меняет своей структуры, титан не корродирует в морской воде — ведь флаг должен стоять вечно.

Погружение под хрустальный купол льда можно сравнить с полетом на Луну или с первым выходом человека в открытый космос. Я назвал эту операцию выходом в закрытый гидрокосмос. Когда над головой открытая вода, знаешь, что в критической ситуации есть несколько способов всплытия на поверхность океана. Когда аппарат на поверхности, его непременно найдут: судно оборудовано специальной радиопоисковой системой, а аппарат — радиомаяками. В нашем случае аварийные ситуации должны быть исключены: простое всплытие ничего не даст, ибо аппарат окажется под ледяной крышей. Здесь необходимо

точно выйти в пространство открытой воды размером около 1000 м². Вот и думаешь: вряд ли в ближайшее время кто-нибудь повторит наш подвиг...

Я бережно ставлю флаг на дно и отпускаю кисть манипулятора. Основание наполовину уходит в мягкий осадок, а шпиль с флагом гордо возвышается над дном. Мы испытываем гордость за свою страну. Мы горды тем, что сумели сделать это великое дело. Артур Чилингаров произносит торжественные слова перед камерой.

...Мы находимся на дне уже полтора часа, не зная, на какое расстояние отдрейфовала наша полынья. Программа погружения выполнена, и конечно же, нас одолевает неимоверное желание побыстрее найти полынью и вернуться к людям. Сбрасываю маневровые грузы, чтобы облегчить аппарат и пойти наверх. Обычно для всплытия мы просто откачиваем воду из балластных сфер. Но теперь для погружений было решено использовать в качестве балласта антифриз, смешанный с водой, чтобы предотвратить замерзание очень



Артур Чилингаров и Анатолий Сагалевич внутри обитаемой сферы аппарата «Мир-1».

узких каналов в клапанах, через которые откачивается водяной балласт. Кроме того, при погружении под лед мы решили использовать дополнительные железные грузы, чтобы сэкономить энергию аккумуляторов, которая нам необходима при поисках полыньи. Аппарат закачался, но остался на грунте. Откачиваю водяной балласт. В 13 ч 42 мин «Мир-1» оторвался от грунта и пошел наверх. Продолжаю откачку, ускоряюсь. «Мир-2» пока работает на дне, выполняя научную программу.

В 14 ч 35 мин проходим глубину 3000 м, где находится слой скачка плотности, — появляются дальности до маяков: сначала до первого, затем до второго и, наконец, до третьего. Компьютер сразу вычислил наше местоположение: аппарат находится примерно в 1300 м от «Академика Федорова». В 14 ч 45 мин по гидроакустической связи

приходит сообщение, что экипаж Международной космической станции (МКС) наблюдает из космоса за операцией на Северном полюсе, восхищается мужеством участников погружения. Командир станции передает персональный привет командиру «Мира-1» Сагалевичу. Потрясающе! Практически прямая связь космоса и гидрокосмоса под ледяным покровом. В свою очередь передаю привет и пожелание удачи командиру и экипажу МКС.

Определяем свое местоположение по трем маякам. На глубине 1500 м решаем двигаться в сторону «Академика Федорова». Согласно нашей координатной сетке на компьютере, нам нужно двигаться на юго-восток курсом 120°. Однако, основываясь на опыте пробных погружений, мы знаем, что на полюсе к показаниям нашего гирокомпаса нужно делать поправку около 130—150°. Исходя из этого, начинаю движение курсом 300° и вижу, что расстояние до маяков сокращается. Значит, мы на правильном пути. Вот уже мы приближаемся ко второму маяку. Всплываю до 1000 м, затем продолжаю движение тем же курсом. Теперь уже расстояние до второго маяка увеличивается, а до первого сокращается. Остро необходим четвертый маяк, который нужно опустить с борта судна «Академик Федоров». Прошу это сделать по подводной связи. Приходит сообщение, что маяк опущен на глубину 100 м, но на запросы с «Мира-1» он не отвечает. Всплываю до 340 м. Получаю первую дистанцию до четвертого маяка — 290 м. Учтивая, что маяк висит на глубине 100 м, мы довольно близко от «Академика Федорова». Прошу опустить кабель со светильниками с борта судна. Конечно, в океане такой мощный свет видно далеко — метров с 60—80 при хорошей прозрачности воды, но это в темноте, а сейчас на 100 м глубины светло почти как на поверхности. Именно на эту глубину должны быть опущены светильники. «Мир-1» уже на глубине 60 м. От четвертого маяка



Аппарат «Мир-1» всплывает подо льдом.



Подъем подводного обитаемого аппарата «Мир-2» на борт «Академика Федорова» после погружения.



С победой!

ответа нет. Связь очень неразборчива, ухудшается с каждой минутой. По-видимому, сильно мешают шумы судна, тем более, что как раз в районе спуска с борта судна гидрофонов связи постоянно работает боковое подруливающее устройство, струей отгоняющее льды от судна. Всплываю до 10 м глубины. Пытаюсь понять картинку, отображающуюся на дисплее локатора. Похоже на сплошной лед с небольшими разрывами, а впереди как будто бы «Академик Федоров». Смотрю постоянно на монитор кормовой видеокамеры, которая обращена вверх. Иду на глубине 5—6 м. Володя Груздев помогает советами, глядя на монитор кормовой камеры. «Света стало больше, — говорит он — вроде над нами чистая вода». Я тихонько толкаюсь вверх боковыми движителями, развернутыми вертикально. Слегка коснулись льда, но до конца не всплыли. Нас увидели с «Федорова». Следует серия непонятных, порой противоречащих друг другу команд. Я уже понял, где находится аппарат по отношению к судну. Заглубляюсь и прохожу вперед курсом 290°. Кормовая камера показывает, что мы под винтами «Федорова». Они ясно видны на мониторе. Разворачиваюсь через левый борт и иду в сторону полыньи. Аппарат выносит на поверхность. Нас видят с судна. Опять команды, которые противоречат одна другой. В результате аппарат неожиданно бросает вправо и снова загоняет под лед. Я не понял, что произошло. Как выяс-

нилось позже, мы попали в сильную струю подруливающего устройства.

В результате длительных «рысканий» подо льдом в поисках чистой воды над головой мы всплыли в полынье в 18 ч 05 мин. Прошло 55 мин с момента нашего первого появления на поверхности в небольшом водном пространстве за кормой «Федорова». Продуваю цистерны главного балласта сжатым воздухом, аппарат выходит на высокую ватерлинию. Теперь мы почти уже дома! Виктор Нищета командует, куда вести аппарат, для того чтобы он оказался под гаком крана. Следует зацеп, аппарат поднимают и ставят на крышку трюма. Открываю люк и вижу голубое небо. Это самый прекрасный момент — голубое небо в люке символизирует возвращение к людям, к друзьям, к близким...

Осталось дожждаться второго аппарата. Он уже на подходе к поверхности, связи с ним нет. Евгений Черняев тоже «побродил» вокруг «Федорова» около 50 мин. И наконец всплыл в полынье, рядом с бортом судна.

Нет ничего лучше этого момента! Ради этого стоит жить, ради этого стоит погружаться вновь. Но, пожалуй, из всего обилия погружений, в которых я участвовал, это было самым сложным и самым драматичным — никогда еще не было небольшой «форточкой» над головой вместо необъятной поверхности океана. ■

База данных и модели глубинного строения осадочных бассейнов Земли

А.Г.Родников, Н.А.Сергеева, Л.П.Забаринская

Современный этап развития наук о Земле характеризуется особым вниманием к исследованию глубинного строения планеты, вызванным необходимостью решения теоретических проблем геодинамики, эффективного прогнозирования скрытых на глубине полезных ископаемых, изучению глобальных причин образования осадочных бассейнов, содержащих нефтяные и газовые месторождения.

Мы рассмотрим разрабатываемую базу геолого-геофизических данных, использование которых позволяет построить модели глубинного строения осадочных бассейнов, построим такую модель для региона Охотского моря и проследим эволюцию развития осадочных бассейнов на примере впадин Северо-Китайской равнины, где проводились обширные геолого-геофизические работы.

Район исследования

Район исследования представляет собой тектонически активную переходную зону от азиатского континента к Тихому океану. В различных ее областях непрерывно происходят землетрясения и вулканические извержения. Земная кора разбита на отдельные плиты, движущиеся в различных направлениях.



Александр Георгиевич Родников, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Геофизического центра РАН. Область научных интересов — глубинное строение активных континентальных окраин. Руководитель международного проекта «Геотраверс».



Наталья Александровна Сергеева, кандидат физико-математических наук, руководитель отдела того же центра. Специалист в области физики Земли. Участник создания базы данных по Спитакскому землетрясению 1988 г. на оптическом диске.



Людмила Павловна Забаринская, геофизик, старший научный сотрудник того же центра. Специалист в области комплексной интерпретации геолого-геофизической информации для построения глубинных моделей литосферы. Участвовала в создании системы доступа к информационным ресурсам Мирового центра данных по физике твердой Земли.

щиеся относительно друг друга со средней скоростью 2–10 см/год, некоторые из них погружаются под другие, что приводит к катастрофическим землетрясениям, сопровождающимся цунами, и извержениям вулканов. В окраинных морях и в островных дугах развиты осадочные бассейны, содержащие многочисленные месторождения углеводородов. В этой переходной зоне в рамках международного проекта «Геотраверс», разработанного в Геофизическом центре РАН, совместно с японскими и китайскими учеными проводились фундаментальные геолого-геофизические исследования земной коры и верхней мантии. На их основе была составлена Информационная база данных геолого-геофизических параметров литосферы зоны перехода от азиатского континента к Тихому океану по геотраверсам, пересекающим регионы Охотского, Японского и Филиппинского морей. Протяженность геотраверсов — несколько тысяч километров. Глубина — 100–200 км (рис.1).

База данных

База данных состоит из векторной части, которая включает переведенные в цифровой вид первичные данные по исследуемому району, имеющие координатную привязку; растровой части, включающей отсканированные графические изображения карт и разрезов, и текстовой части, состоящей из гипертекстовых документов, содержащих описание геолого-геофизических параметров осадочных бассейнов, их модели и обширную библиографию.

Доступ к базе обеспечен с помощью обычного гипертекстового HTML-интерфейса.

При подготовке базы проводилась трудоемкая работа по переводу части данных в электронную форму — набивка числовых массивов, оцифровка

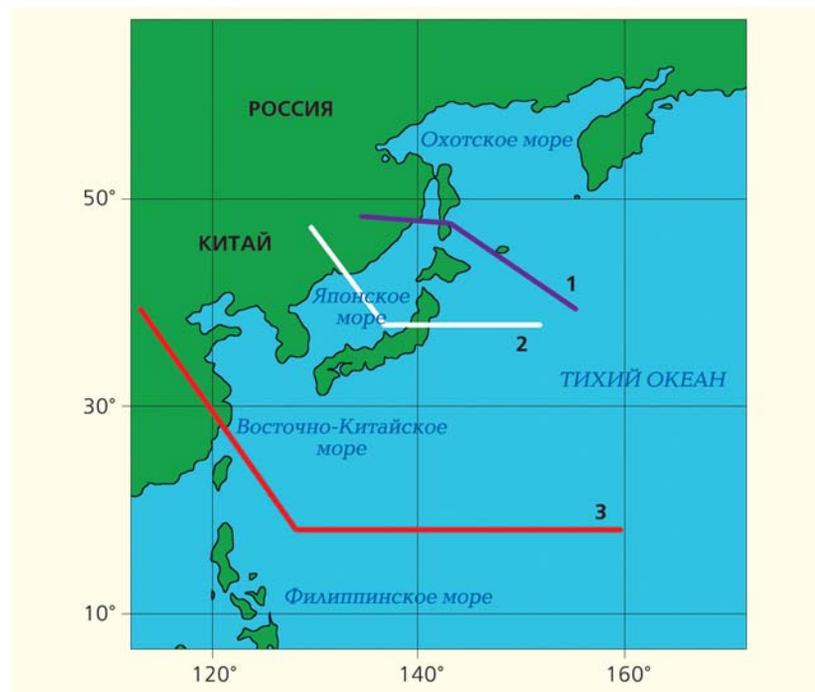


Рис.1. Схема расположения геотраверсов регионов: 1 — Охотского моря, 2 — Японского моря, 3 — Филиппинского моря.

карт и других графических изображений.

В конечном итоге в базу вошли, помимо глубинных геолого-геофизических разрезов литосферы и сопровождающих их геологических, гравиметрических, батиметрических и магнитных карт, первичные геологические и геофизические данные, результаты батиметрических измерений, гравиметрической и магнитной съемки, измерений теплового потока, глубинного сейсмического зондирования, томографических исследований, сведения о землетрясениях и результаты изучения тонкой структуры сейсмофокальной зоны, отдельные данные о химическом составе пород и их возрасте, результаты глубоководного бурения и драгирования.

Организован свободный доступ к этой базе в Интернете на сайте Геофизического центра РАН: http://www.wdcb.ru/sep/sedimentary_basins/index.ru.html

Созданная база удобна для длительного хранения накопленных оригинальных материа-

лов, позволяет легко добавлять новые данные и делает их доступными для использования в научных исследованиях. Обработанный большой объем геологических и геофизических данных для огромного региона переходной зоны от азиатского континента к Тихому океану и были выделены осадочные бассейны регионов Охотского, Японского и Филиппинского морей.

Литосфера Охотского моря

На главной интернет-странице проекта (рис.2) содержатся общие сведения. Далее можно перейти на страницы, посвященные отдельным осадочным бассейнам. Познакомившись с геолого-геофизическими характеристиками и моделями строения литосферы, воспользуемся меню в виде раскрывающегося списка и перейдем к включенным в базу данным, их описанию и библиографии.

Регион Охотского моря образует литосферную плиту, рас-



Рис.2. Главная страница информационной базы геолого-геофизических параметров литосферы окраинных и внутренних морей.

положенную между Северо-Американской, Евразийской и Тихоокеанской плитами. Ее границей со стороны Тихого океана является Курило-Камчатский глубоководный желоб, а с кон-

тинентальной стороны — глубинные разломы, простирающиеся вдоль Сахалина (рис.3).

Морские геофизические исследования, проведенные в этом районе, включают батиметриче-

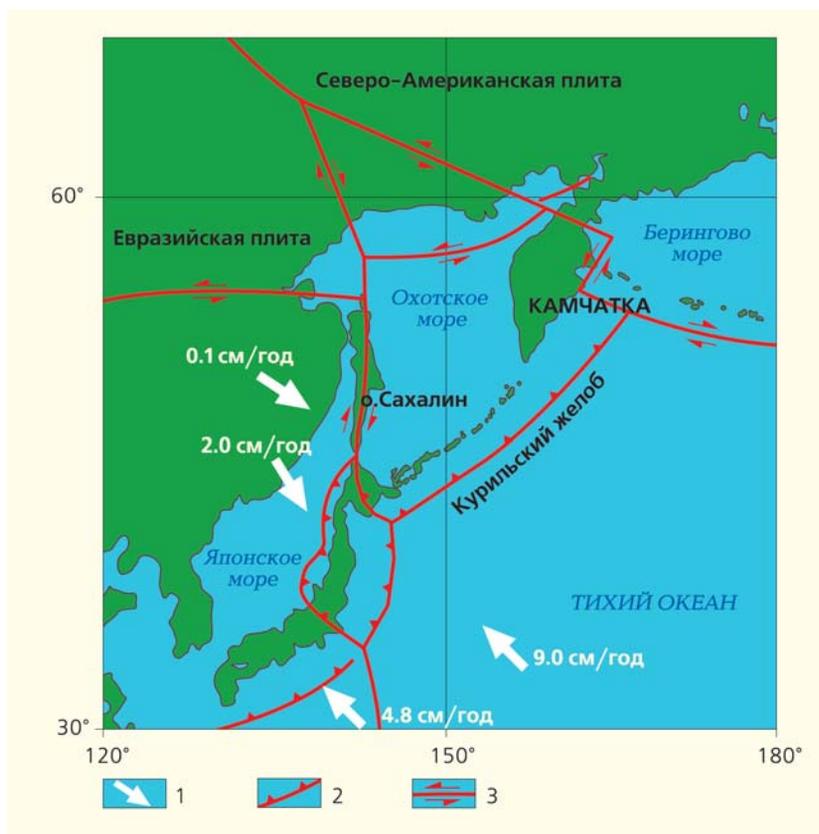


Рис.3. Схема расположения плит в регионе Охотского моря. 1 — скорость смещения плит по данным глобальной системы позиционирования, 2 — зона субдукции, 3 — разломы.

ские, магнитометрические, гравиметрические и сейсмические данные, собранные в экспедициях научно-исследовательских судов начиная с 1953 г. Рейсы выполнялись океанографическими институтами и государственными агентствами различных стран.

Батиметрические данные (рис.4) выбраны из глобального каталога сведений о рельефе поверхности Земли «ETOPO-5», подготовленного в Национальном центре геофизических данных США. Каталог содержит значения глубин моря и высот суши для каждых 5 минут (1/12 градуса).

Следующая страница — **сейсмологическая**. На ней представлены описание данных и схема их пространственного и глубинного распределения. Пространственное распределение эпицентров землетрясений построено по каталогу, составленному из ежегодников «Землетрясения в СССР в 1962 г. ... 1991 г.», «Землетрясения Северной Евразии в 1992 г. ... 1995 г.» и каталога Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США с 1966 по 2005 г.

Наиболее высокая сейсмическая активность Охотоморской плиты наблюдается в районе Курильской островной дуги. В этом месте Тихоокеанская плита погружается под континент, образуя сейсмофокальную зону, которая прослеживается до глубины 700 км. На западе Охотоморская плита ограничена глубинными разломами, землетрясения там локализируются в основном в коре.

Проведена новая интерпретация 15 профилей глубинного сейсмического зондирования земной коры в Охотском море длиной от 250 до 750 км. На построенных сейсмических разрезах и на скоростных картах показано строение земной коры, выделены блоки погружающихся в недра Земли плит и останцы зон субдукции, рифтовые структуры в глубоководных кот-

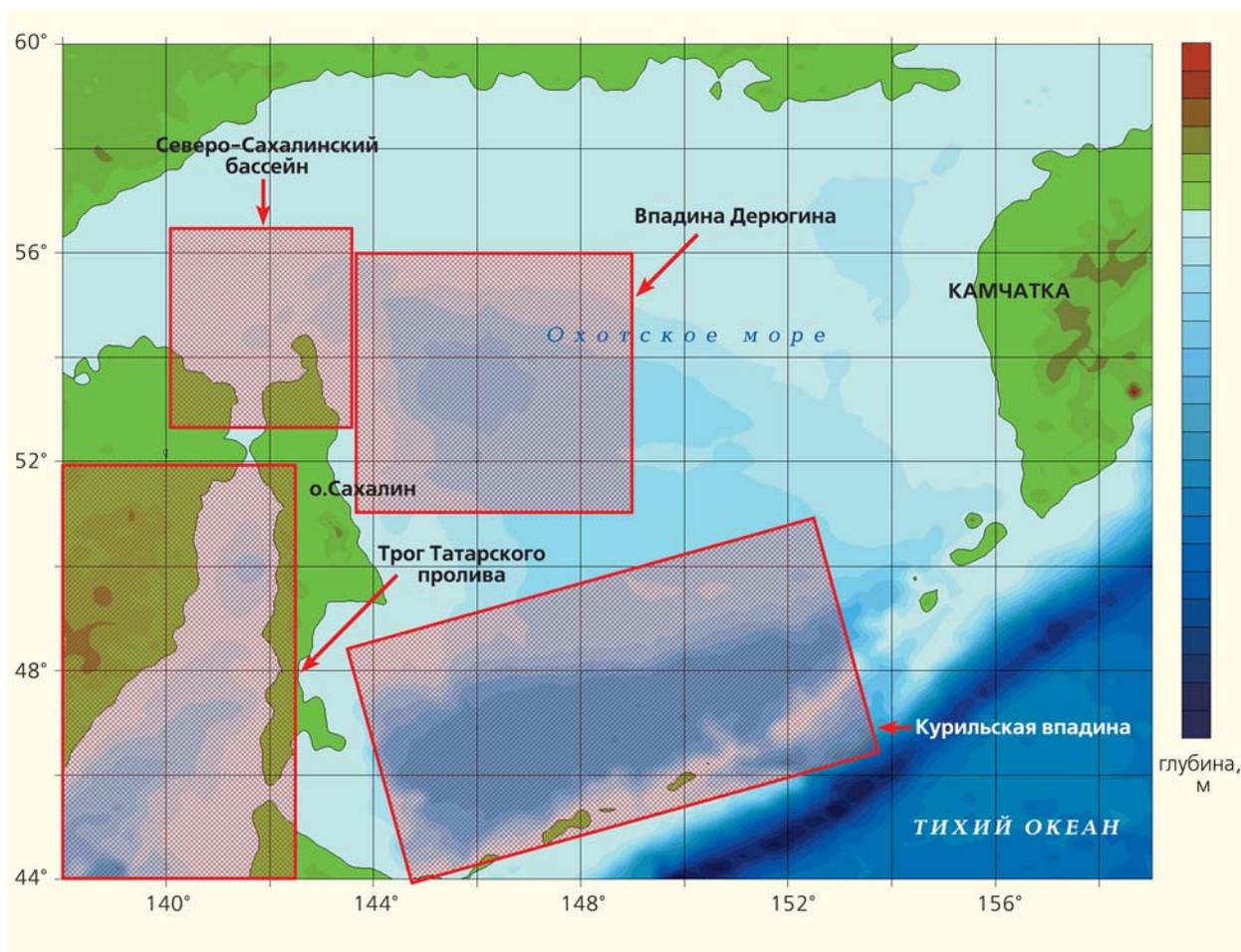


Рис.4. Батиметрическая схема Охотского моря с расположением осадочных бассейнов.

ловинах, система пологих и крутых разломов, с которыми обычно связаны очаги землетрясений.

Данные по **тепловому потоку** выбраны из глобального каталога (рис.5). Тепловой поток высок в пределах глубоководных котловин и трогов окраинных морей и относительно низок в континентальных структурах Дальнего Востока и прикурильской части Тихого океана. Его вариации в пределах Сихотэ-Алиня составляют всего 39–56 мВт/м², в прикурильской части Тихого океана средние значения теплового потока равны 52 мВт/м². Наиболее низкие значения, достигающие 22 мВт/м², наблюдаются в Курило-Камчатском глубоководном желобе. Средние значения теплового

потока для Курильской островной дуги составляют 118 мВт/м², наиболее высокие значения отмечаются в западной части — до 790 мВт/м². Средние значения теплового потока в пределах Сахалина составляют 76 мВт/м². Высокий тепловой поток установлен в Татарском проливе (123–132 мВт/м²), во впадине Дерюгина (где он достигает 200 мВт/м²) и в Курильской котловине (346–354 мВт/м²). По значениям теплового потока рассчитаны глубинные температуры в земной коре и верхней мантии. На основе этих данных в сочетании с сейсмологическими наблюдениями в верхней мантии выделена астеносфера с астеносферными диапирами, содержащими магматические очаги с мантийными флюидами.

Гравитационное поле характеризуется резко контрастным строением в районе современной зоны субдукции и относительно плавными изменениями в других областях. Довольно информативны в тектоническом отношении аномальные гравитационные карты, отражающие глубинное строение региона. На основе гравитационных данных строятся плотностные модели коры, выделяются участки с пониженной плотностью вещества, характерной для осадочных бассейнов. Сравнение местоположения этих участков с тектоникой региона и с данными глубинного строения позволяет их интерпретировать как зоны частичного плавления вещества в верхней мантии, приводящие

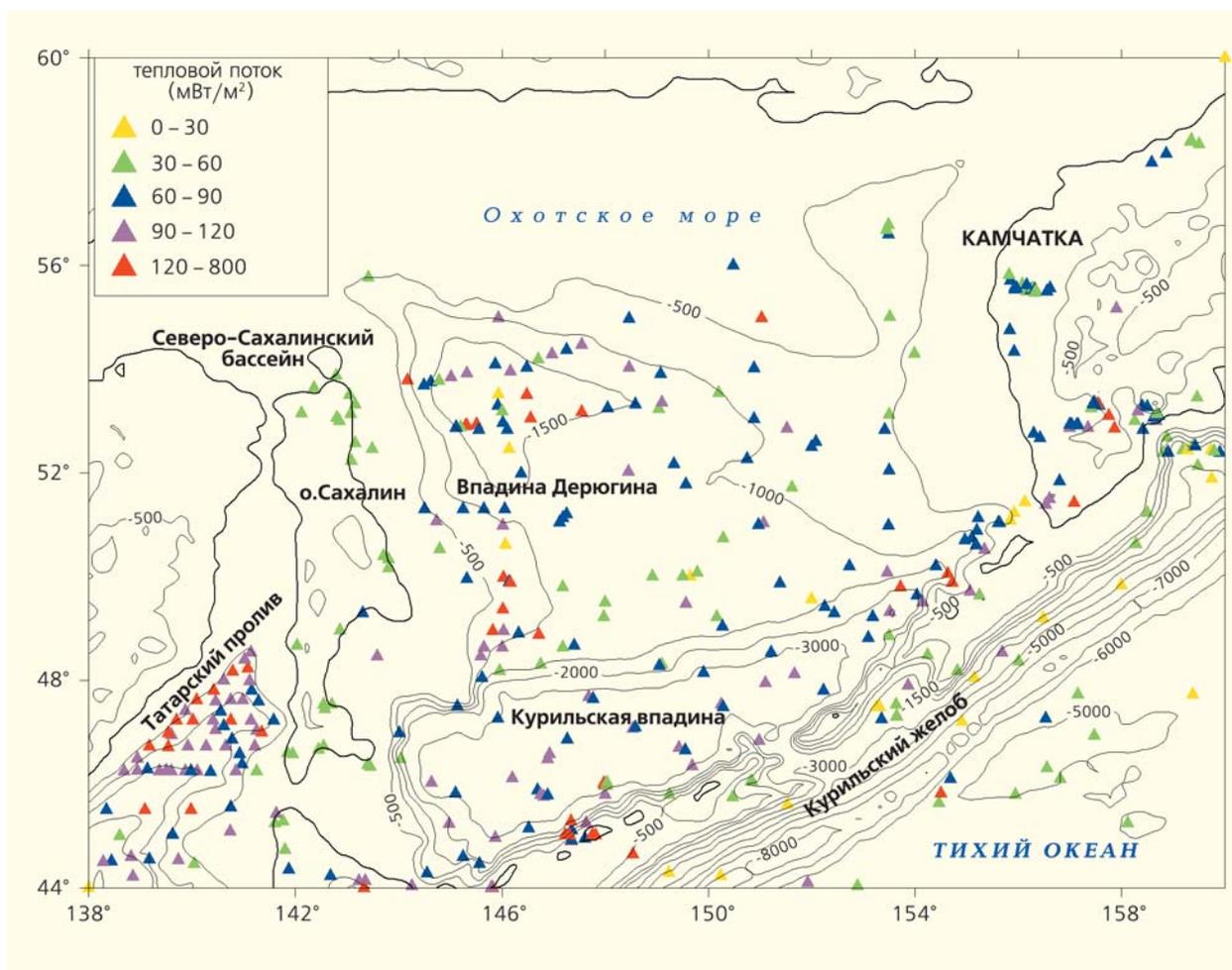


Рис.5. Пространственное распределение пунктов измерения теплового потока (мВт/м²) в регионе Охотского моря.

го к формированию магматических очагов.

Геологические данные включают обобщенный материал о стратиграфическом и литолого-стратиграфическом расчленении осадочной толщи бассейнов седиментации, о свойствах пород, сейсмостратиграфической интерпретации региональных сейсмических профилей, а также разрезы и корреляционные схемы по отдельным скважинам и регионам.

Глубинное строение впадин Охотского моря

Следующим этапом стала работа по комплексной интерпретации геолого-геофизических

данных для создания моделей глубинного строения литосферы осадочных бассейнов.

Геотраверс региона Охотского моря, построенный по геолого-геофизическим данным, пересекает Сихотэ-Алинь, Татарский пролив, Сахалин, Курильскую впадину, Курильскую островную дугу и мезозойскую плиту Северо-Западной котловины Тихого океана. Протяженность геотраверса 2000 км, глубина до 80 км (рис.6). Толщина земной коры меняется от 35–40 км под Сахалином и Курильскими о-вами до 8–10 км под Курильской котловиной. Осадочный чехол заполняет отдельные впадины, глубина которых достигает 12 км. Астеносфера в верхней мантии выделена в основном по

геотермическим данным. Под астеносферой понимается слой верхней мантии, в котором вещество находится при температуре, близкой к температуре плавления. В определенных условиях здесь возникают магматические очаги. За верхнюю поверхность астеносферы принят слой с температурой 1000–1200°C — температурой частичного плавления ультраосновных пород верхней мантии с учетом влияния глубинных флюидов. Оказалось, что осадочные впадины расположены над астеносферными диапирами расплавленной магмы, по-видимому, определившими их формирование. Геотраверс пересекает три осадочные впадины: трог Татарского пролива, Курильскую впа-

дину и междуговой прогиб Курильской островной дуги.

Татарский пролив сложен мощной толщей (до 8–10 км) мезозойско-кайнозойских осадочных образований. Он представляет собой рифт шириной около 50 км и глубиной 4 км. Поверхность Мохо расположена на глубине около 30 км. Формирование рифтовой структуры связано с апвеллингом астеносферы. Здесь открыто Изыльметьевское газовое месторождение. Осадочному прогибу Татарского пролива соответствует поднятие горячего астеносферного диапира, обусловившего расколы земной коры, образование рифтовых структур, магматическую активность и прогрев осадочной толщи. Астеносферный диапир мог быть дополнительным источником углеводородов и флюидных потоков, обеспечивающих активную гидротермальную деятельность.

Курильская котловина относится к задуговым впадинам. Толщина коры составляет 8–10 км, из которых 4 км приходится на вулканогенно-осадочные породы позднемелового возраста, залегающие на фундаменте. Ниже прослеживается слой океанической коры толщиной до 5 км. Образование котловины, как и всех задуговых бассейнов, связано с формированием рифтов. Следы их выражены в резко расчлененном рельефе фундамента, обычно наблюдаемом на сейсмических профилях. Высокие значения теплового потока служили основанием при выделении в центральной части котловины осевой зоны спрединга, ниже которой находится астеносферный диапир.

Междуговой прогиб расположен между внешним и внутренним хребтами Курильской островной дуги и отделен от них системой разломов. Шири-

на прогиба 45–60 км. Заполнен он неогеновыми и четвертичными туфогенно-осадочными образованиями, в осевой зоне мощностью более 3 км. Толщина коры под прогибом уменьшается до 20 км.

Северо-Западная котловина Тихого океана, имеющая самую древнюю кору (около 150 млн лет), по результатам бурения с научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер», покрыта сплошным осадочным чехлом средней мощности 300–400 м. Он сложен диатомовыми и радиоляриевыми илами и слоистыми глинами, обогащенными пеплом позднемиоценового-четвертичного возраста. Этот комплекс залегает на цеолитовых пелагических глинах, глинистых наноилах и кремнистых породах. Ниже, на глубине 211 м (по данным бурения), обнаружены меловые цеолитовые глины с прослоями кремнистых сланцев и известняков. На глубине

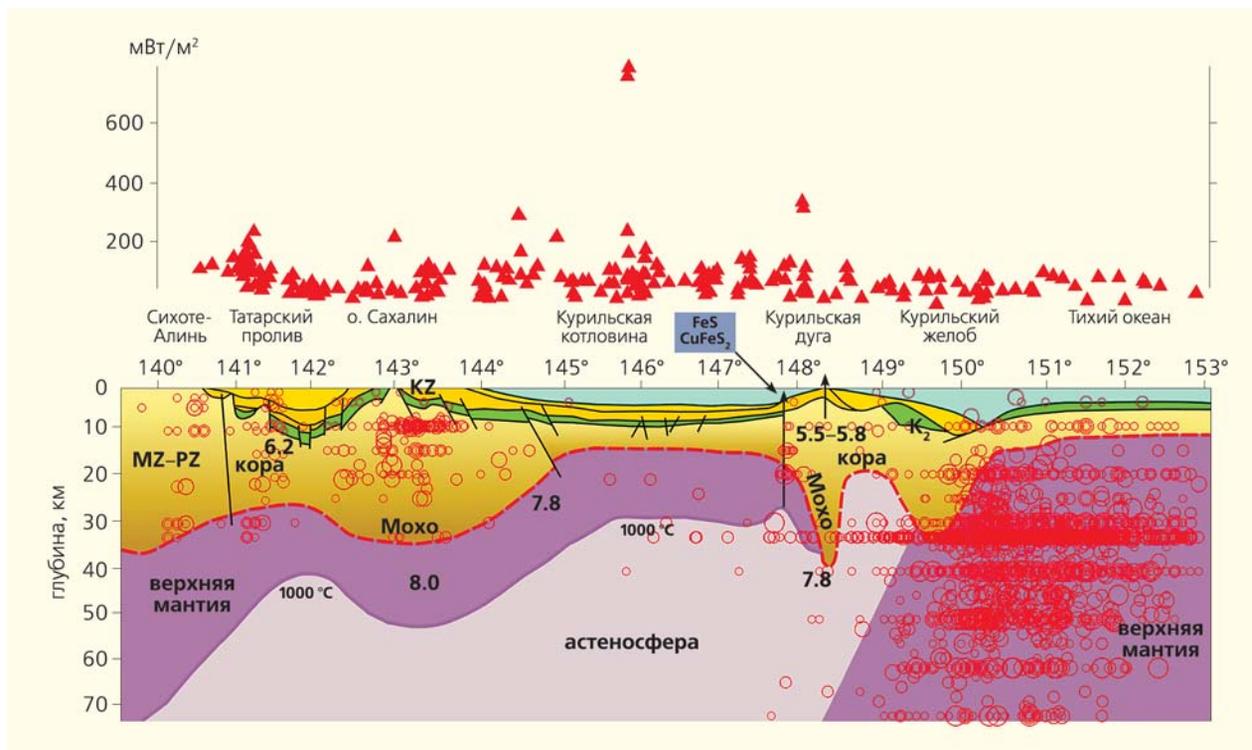


Рис.6. Геотраверс региона Охотского моря. Вверху — распределение измеренных значений теплового потока ($\text{мВт}/\text{м}^2$) вдоль профиля. Цифрами (от 5.5 до 8.0) показаны скорости продольных волн; кружками — очаги землетрясений; сиреновой линией — глубинные температуры по геотермическим данным (1000°C); вертикальными черными линиями — разломы; треугольниками — вулканы Курильской островной дуги.

около 300 м осадочные отложения подстилаются лавами древних базальтов. Толщина коры составляет примерно 6–8 км.

Верхняя мантия под Охотским морем характеризуется как горизонтальными, так и значительными вертикальными неоднородностями. По сравнению с Тихим океаном она разуплотнена. По данным сейсмической томографии, здесь отмечаются пониженные значения сейсмических скоростей. На основе электромагнитных исследова-

ний в Курильской котловине в интервале глубин 30–65 км выделен слой с высокой удельной проводимостью, природа которого связывается с частичным плавлением. Его распространение ограничивается пределами котловины. Полученные результаты согласуются с глубинными температурами в верхней мантии, сейсмическими исследованиями и другими геофизическими данными.

Под зонами современного вулканизма Курильской остров-

ной дуги выявлена низкоскоростная область, уходящая наклонно в направлении континента до глубин 150–250 км. В ней возникают локальные магматические очаги, питающие многочисленные вулканы. Глубинные температуры в основании коры варьируют от 100°C в Тихом океане до 1000°C под Татарским проливом. Под Курильской котловиной с тонкой корой они достигают 800°C. Глубина до кровли области частичного плавления (отождествляемой с астено-

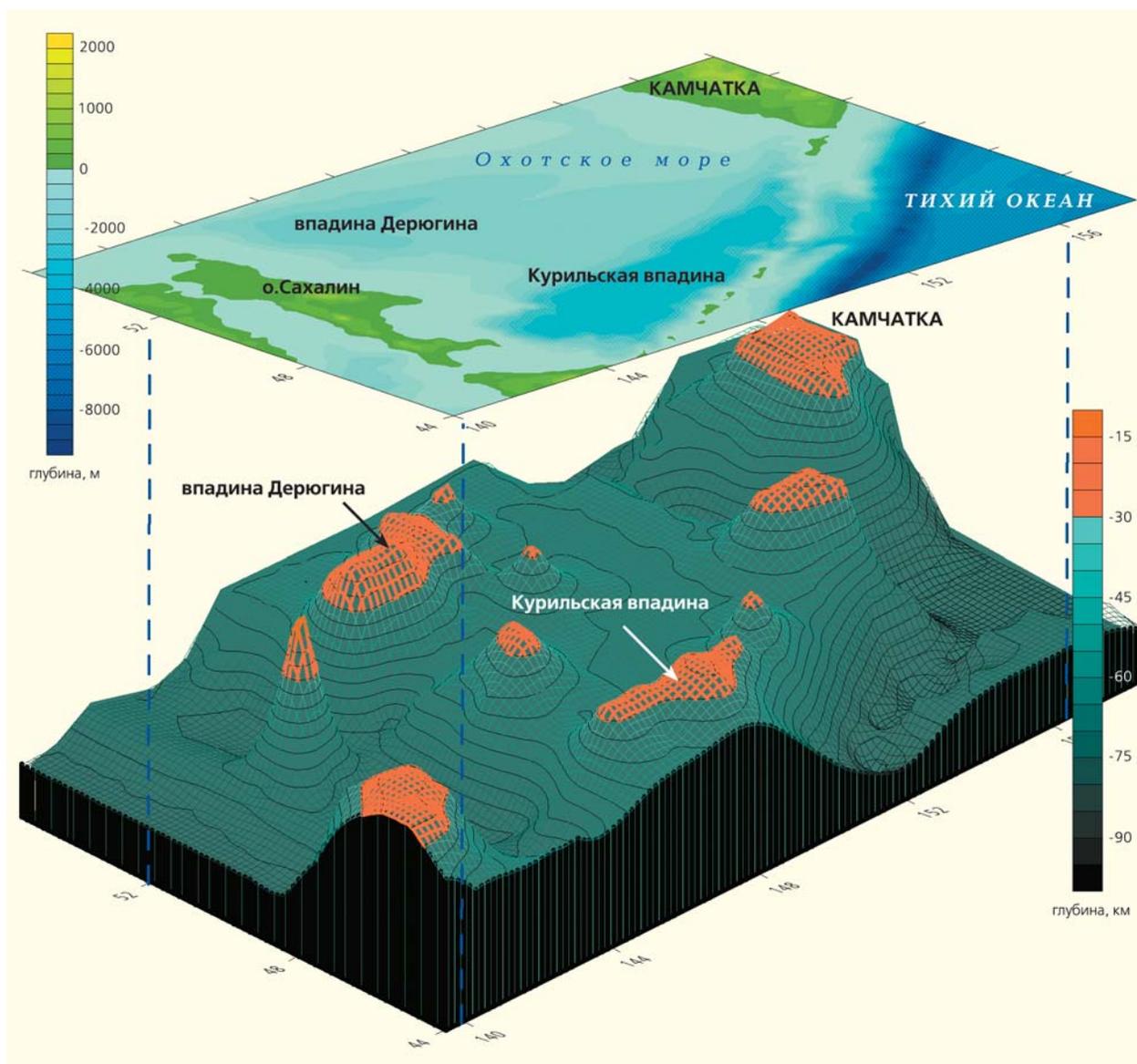


Рис. 7. Модель глубинного строения осадочных впадин в Охотском море. Вверху — батиметрия; внизу — астеносфера, расположенная на глубине примерно 70 км. Красным показаны очаги магмообразования. От астеносферы отходят астеносферные диапиры, над которыми расположены осадочные бассейны.

сферным слоем в верхней мантии) колеблется от 15—25 км под глубоководными впадинами до 100 км под Северо-Западной котловиной Тихого океана.

На рис.7 приведена объемная модель глубинного строения литосферы Охотского моря. Вверху показан рельеф дна Охотского моря с отдельными осадочными впадинами, внизу — поверхность астеносферы, содержащая магматические очаги. Астеносфера в верхней мантии в Охотском море располагается на глубине 50—70 км. От нее отходят диапиры частичного плавления вещества, которые достигают глубины 20—30 км под осадочным трогом Татарского пролива, впадиной Дерюгина и Курильской котловиной и создают активный тектонический режим, проявляющийся в вулканической, сейсмической и гидротермальной деятельности. Под Северо-Сахалинской осадочной впадиной, содержащей почти все нефтегазовые месторождения Сахалина, астеносфера расположена на глубине около 70 км. Над астеносферными диапирами в осадочном чехле в Татарском проливе и впадине Дерюгина зафиксированы залежи углеводородов, а в Курильской котловине на вершинах подводных вулканов установлена сульфидная минерализация. Мантийные флюиды астеносферных диапиров определяют геодинамическое развитие осадочных бассейнов и формирование в них углеводородных залежей.

Эволюция осадочных бассейнов

Большой объем данных, полученный по проекту «Геотраверс», дал возможность проследить развитие осадочных бассейнов в связи с процессами, протекающими в верхней мантии (в частности, в астеносфере). Наиболее полно геолого-геофизические работы были выполнены на Северо-Китайской равнине, составляющей

часть древней Китайско-Корейской платформы, кратонизация которой завершилась 1700—1900 млн лет назад. Древняя докембрийская платформа в кайнозой испытала тектоническую активизацию. Несколько эпох растяжения привели к формированию внутренних грабенов, содержащих нефтеносные отложения. Выделяются три этапа магматической деятельности, характеризующиеся палеогеновыми базальтами, представленными толеитами, неогеновыми щелочными оливиновыми базальтами, близкими по составу континентальным толеитам, и четвертичными эффузивами, сложными пересыщенными щелочными базальтами.

Система грабенов, контролирующая базальты, в глубинном строении выражена сокращением мощности коры и литосферы, высоким тепловым потоком и локализацией сейсмичности.

60 млн лет назад (в палеогене) на поверхность изливалась толеитовая магма, астеносфера располагалась на глубине около 50 км. В то время сформировались основные грабеновые структуры Северо-Китайской

равнины. В неогеновый период (20 млн лет назад) толеитовая магма сменилась магмой оливиновых базальтов, астеносферный диапир опустился на глубину примерно 70 км. В четвертичный период оливиновые базальты сменились щелочными, слагающими отдельные вулканические конусы, а очаги магмообразования погрузились на глубину около 100 км. Сейсмические данные свидетельствуют о разуплотнении мантии под корой платформы. Наиболее низкие скорости обнаружены на глубине около 100 км, т.е. на уровне выплавления щелочных базальтов. Рассматривая геодинамическое развитие осадочных бассейнов в связи с процессами, протекающими в мантии, можно выделить этапы, во время которых происходило формирование углеводородов. В данном случае это неогеновый период, когда после подъема астеносферного диапира, содержащего горячие флюиды, произошло формирование грабеновых структур, заполненных осадками.

На рис.8 можно видеть корреляцию между составом и воз-

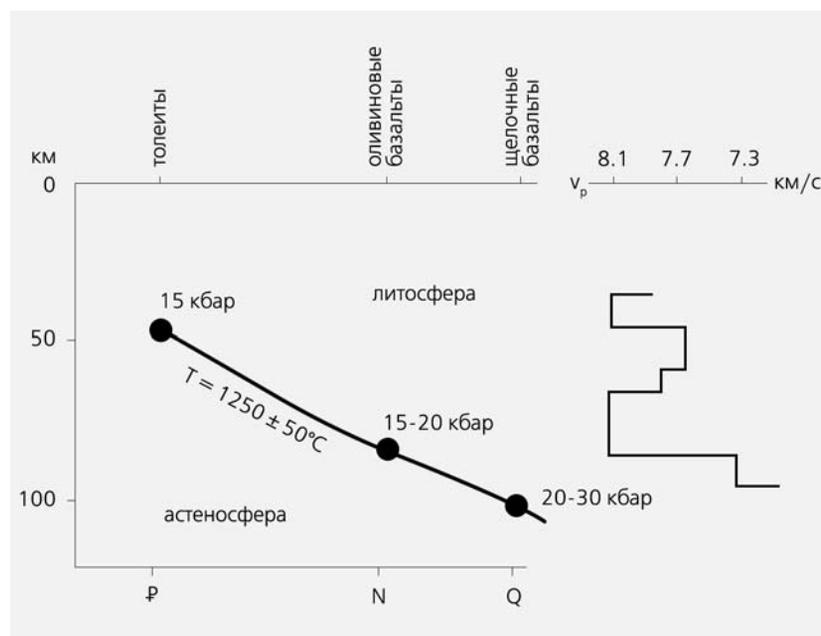


Рис.8. Связь между составом и возрастом извержения магмы и строением недр Земли. Температура плавления базальтов составляет 1250°C.

растом образования базальтов и строением верхней мантии и изменением состояния астеносферы под осадочными бассейнами в Северо-Китайской равнине. График показывает остывание литосферы со временем. За 60 млн лет горячая астеносфера опустилась с глубины 50 км до 100 км.

Состав мантийных флюидов, играющих важную роль в формировании углеводородных залежей, определен на основании газогеохимических съемок в молодых рифтовых структурах и изучения газовых включений в породах верхней мантии из кимберлитовых трубок. Так, в подводных срединноокеанических хребтах и рифтах окраинных морей обнаружено высокое содержание гелия, водорода, метана и углекислого газа. Изучение состава жидких и газовых включений в алмазах и в породах кимберлитовых трубок, помимо выше указанных газов, показало значительное количество жидких углеводородов. В состав мантийных флюидов также входят фтор, хлор, селен, мышьяк, иридий, ртуть, сурьма и др. По данным

А.Ф.Грачева (Институт физики Земли), 1 млн км³ лавы содержит не менее 10¹⁴ т метана и столько же углекислого газа. Российские ученые И.Д.Рябчиков и Л.Н.Когарко и австрийский исследователь Т.Нтафлос показали, что при извержении базальтовых лав Сибирской трапповой провинции (образовавшейся примерно 230 млн лет назад) в течение 1 млн лет выделилось свыше 10¹³ т углекислого газа. Выделение такой массы углекислого газа за геологически короткий промежуток времени послужило реальной причиной катастрофических глобальных изменений на границе пермского и триасового периодов.

* * *

Таким образом, исследование глубинного строения недр Земли под осадочными впадинами, содержащими нефть и газ, дает возможность разработать еще один подход к прогнозированию перспектив нефтегазоносности, выявлению эпох наивысших темпов дегазации астеносферных диапиров и изучению геодинамической эволюции процессов под осадочными впадинами.

Создана информационная база, представляющая собой набор геолого-геофизических данных о литосфере осадочных бассейнов, на основе которой построены модели глубинного строения земной коры и верхней мантии. Подобные модели могут быть полезными для выявления перспективных объектов на нефть и газ, особенно на больших глубинах. Формирование осадочных бассейнов часто связано с современными и древними субдукционными зонами. Для них характерны: рифтовые структуры или спрединговые центры в основании; активный магматизм в начальной стадии образования; гидротермальные процессы, ответственные за формирование сульфидов; высокая плотность теплового потока, обусловленная подъемом астеносферы к земной коре; локализация астеносферных диапиров под корой в верхней мантии, представляющих собой каналы, по которым горячие мантийные флюиды проникают в осадочные бассейны, и являющихся дополнительным источником углеводородов. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 01-05-64400 и 04-07-90194.

Американские метеорологи из университетов штатов Юта и Вашингтон, изучавшие изменения средней температуры тропосферы по спутниковым данным за последние 27 лет, пришли к выводу, что воздушные потоки на высотах около 10 км, имеющие скорость до 320 км/ч и охватывающие весь земной шар, сместились в субтропической области примерно на 1° широты (около 100 км) по направлению к полюсам. Исследователи опасаются, что эта тенденция продолжится, и тогда пустыни субтропичес-

кой зоны нашей планеты (такие, как Мохаве на юго-западе США, Калахари и Сахара в Африке) начнут наступать на окружающие их плодородные районы.

Science et Vie. 2006. №1067. P.27 (Франция).

Самая крупная из морских черепах, зеленая, или иначе — суповая (*Chelonia mydas*), каждые четыре года проплывает тысячи километров, чтобы вернуться для откладки яиц на один и тот же пляж, при этом

ориентируется она по магнитному полю Земли. Недавно специалисты Центра функциональной и эволюционной экологии в Монпелье (Франция) экспериментально подтвердили такую навигационную способность черепах: дезориентированные магнитом, помещенным на их голову, зеленые черепахи потратили значительно больше времени для отыскания места своих обычных кладок на пляжах.

Sciences et Avenir. 2007. №721. P.32 (Франция).

Предугадавший вирусную природу рака

К 150-летию со дня рождения В.В.Подвысоцкого

Все в этом человеке с первого же знакомства обыкновенно всем нравилось: его увлекающийся ум, его добрая улыбка, его тихие речи, самая манера держать себя с посторонним человеком; словом, вы сейчас же, с первого раза, подпадали под обаяние доброй и мягкой души.

В.Омелянский

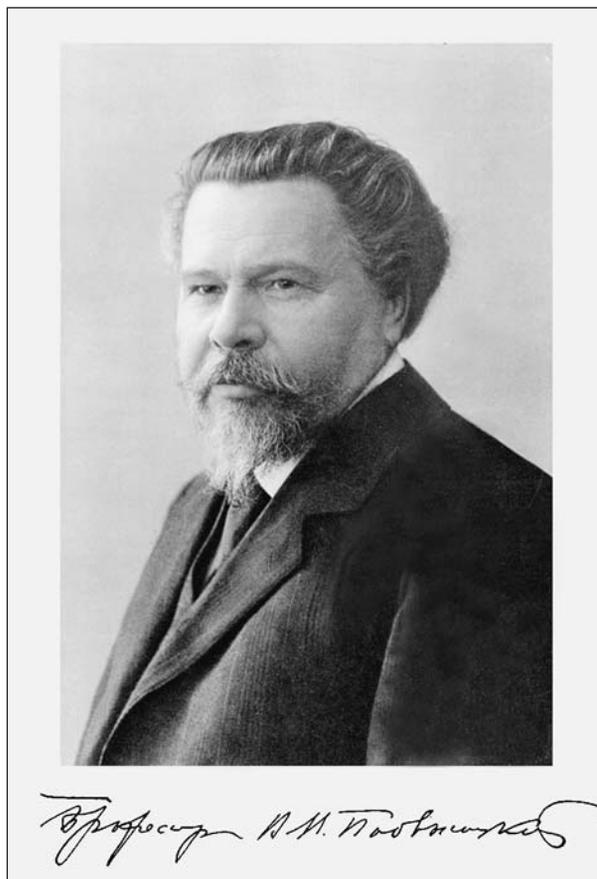
Ю.П.Голиков,
кандидат биологических наук
Институт экспериментальной медицины РАМН
Санкт-Петербург

Юность

У известного профессора фармакологии Казанского университета Валерьяна Осиповича Подвысоцкого (1822—1892) и его жены Наталии Николаевны Величко было четыре сына: Николай, Максимилиан, Александр и младший Владимир. Отец, выпускник юридического факультета Харьковского университета, выйдя на пенсию статским советником в 50 лет, поступил на медицинский факультет Тартуского университета в 1872 г. и окончил его.

Владимир родился 24 мая 1857 г. в с.Максимовка Борзинского уезда Черниговской губернии. Начальное образование получил в классической коллегии (гимназии) Женевы, затем с золотой медалью окончил гимназию в Житомире (1877). В гимназии много и отлично рисовал и за свои рисунки имел похвальный отзыв Императорской академии художеств. Далее он окончил медицинский факультет Киевского университета и выдержал выпускные экзамены Военно-медицинской академии (ВМА) в Санкт-Петербурге. Там же успешно сдал докторантские экзамены и получил звание «лекаря с отличием» (1884). Принимал участие в так называемом драгомановском движении, сторонники которого ратовали за культурную автономию Украины.

В студенческие годы, не довольствуясь знаниями, получаемыми на лекциях, и владея основными европейскими языками, он знакомился с зарубежной литературой по патологической анатомии, а также перевел «Историю европейской философии» М.Вебера, «О разделении труда в природе»



Владимир Валерьянович Подвысоцкий (1857—1913).

О.Гексли, «О раке с клинической точки зрения» Нисбаума. Составил монографию «Кефир (*Бродило и лечебный напиток из коровьего молока*)» и выполнил первую исследовательскую работу на кафедре патологической анатомии у профессора Г.Н.Минха. Эта работа была посвящена тончайшему строению поджелудочной железы (1882). Одновременно студент Подвысоцкий занимался на кафедре гистологии у профессора П.И.Перемяжко.

1 июля 1885 г. Владимир Валерьянович уехал стажироваться за границу. В Тюбингене он занимался у Э.Циглера общей и экспериментальной патологией, у П.Грютцнера — физиологией и у К.Хуфнера — физиологической химией.

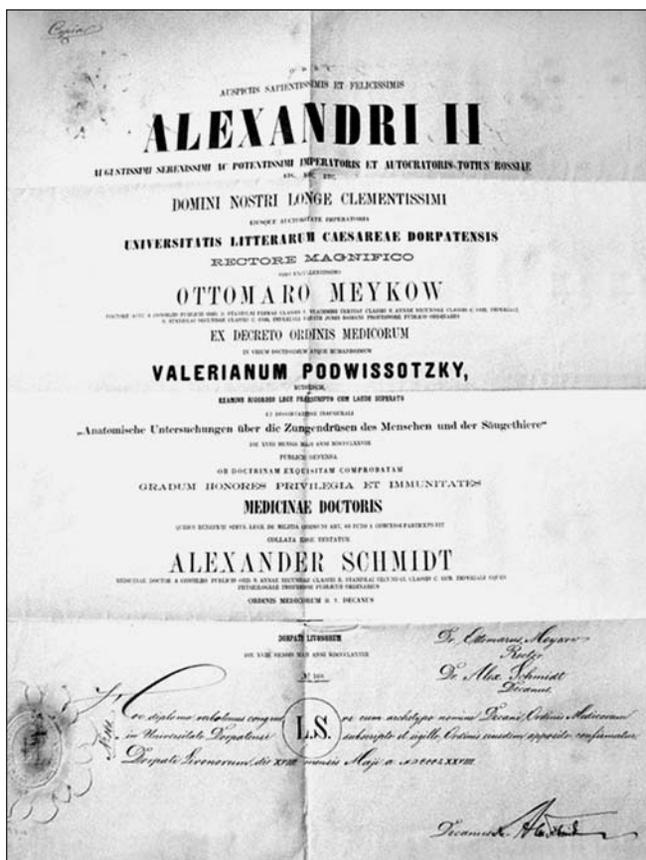
Воспользовавшись каникулами в университетах Германии, осенью 1886 г. Владимир приехал в Россию и 21 октября в Киеве защитил диссертацию на степень доктора медицины по теме «Возрождение печеночной ткани». В своем труде он доказывал, что печени в значительной степени присуща регенерация и что после ее повреждения происходит восстановление путем прямого деления эпителия желчных протоков и при содействии окружающих эти протоки печеночных клеток. После защиты диссертации он прочитал две пробные лекции на кафедре общей и эксперимен-

тальной патологии ВМА у профессора В.В.Пашутина и получил звание приват-доцента. Далее он продолжил стажировку в Мюнхене у Х.Цимсена по клинической медицине, у О.Боллингера по патологии, в Париже у Л.Пастера по бактериологии и у А.Корниля по патологии.

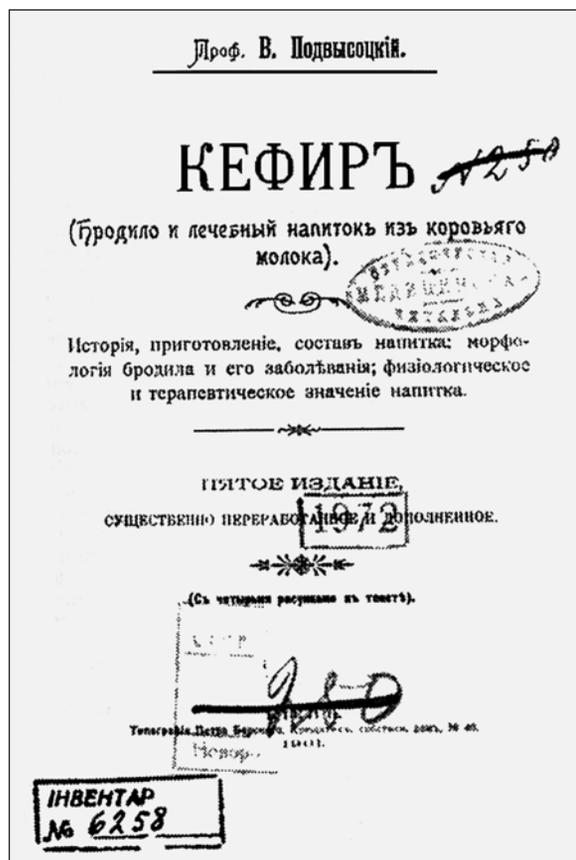
Профессор университетов Киева и Одессы

Получив в заведование кафедру общей и экспериментальной патологии медицинского факультета в Киевском университете (1887), Подвысоцкий становится блестящим лектором, ведет научную работу (в его кафедральной лаборатории много студентов). С 1890 г. он глава учреждений Красного Креста в Киеве (заведует лечебницей и курсами Мариинской общины сестер милосердия), занимается частной практикой.

Среди множества его пациентов в это время была и старшая сестра принца А.П.Ольденбургского, великая княгиня Александра, которую он консультировал по поводу травмы позвоночника. Она проживала в Киеве, и тогда-то, видимо, и произошло знакомство принца и профессора. А возможна и иная версия. Принц познакомился



Объявление о защите докторской диссертации Валерьяном Осиповичем Подвысоцким (отцом В.В.Подвысоцкого).



Титул 5-го издания первой книги студента Владимира Подвысоцкого.



В.В.Подвысоцкий, профессор
Университета св.Владимира в Киеве.



В лаборатории с коллегами и студентами.

с ним как куратор деятельности общин сестер милосердия.

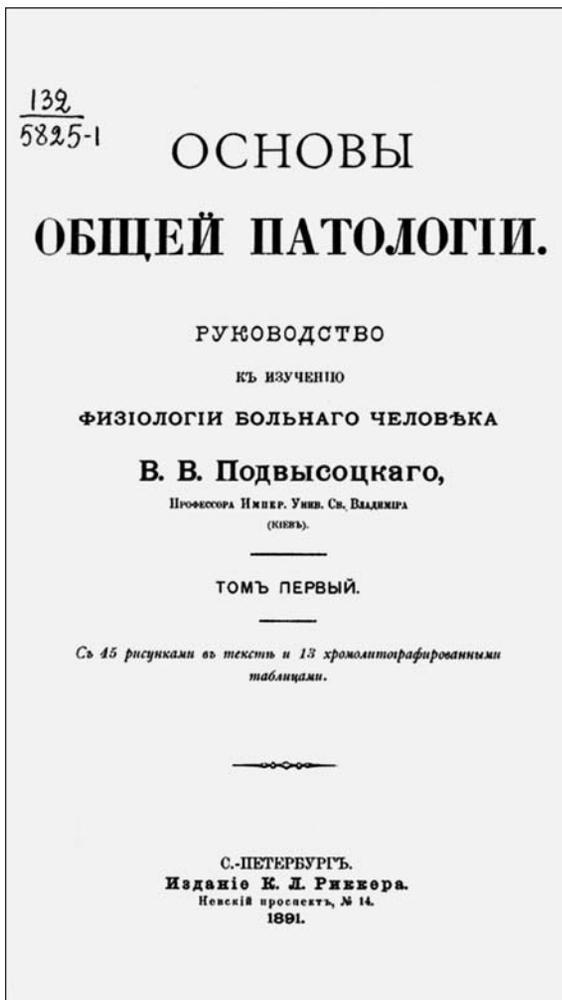
В 1887 г. Владимир Валерьянович обнаружил в куриных яйцах микроорганизм *Coccidium oviforme*, паразитирующий нередко в кишечнике кур, и ему удалось доказать присутствие этого микроорганизма в клетках печени некоторых людей, погибших от самых различных причин. Это наблюдение устанавливало существование в организме человека живых микроорганизмов и сыграло свою роль в развитии учения о микропаразитарном происхождении злокачественных опухолей. Подвысоцкий не считал, что данный микроорганизм вызывает развитие злокачественных новообразований, но его находка доказывала, что простейшие микропаразиты встречаются как в клетках нормальных органов, так и в blastomach человека. Значение этих наблюдений состоит в том, что они направляли мысль исследователей по пути дальнейшего изучения этиологического значения живых экзогенных паразитов в опухолевом процессе. Эти работы Подвысоцкого стали первыми из цикла его трудов по изучению роли простейших в развитии злокачественных новообразований у человека. Далее эта проблема преобладала в его исследованиях, проводившихся в Институте экспериментальной медицины.

В результате анализа материалов, полученных на кафедре Киевского университета в 1891 г., выходит в свет его капитальный труд «Основы общей и экспериментальной патологии. Руководство к изучению больного человека», иллюстрированный прекрасными цветными рисунками автора. Это руководство было настольной книгой для нескольких поколений отечественных врачей и выдержало в России четыре переиздания. Оно было переведено на 17 языков.

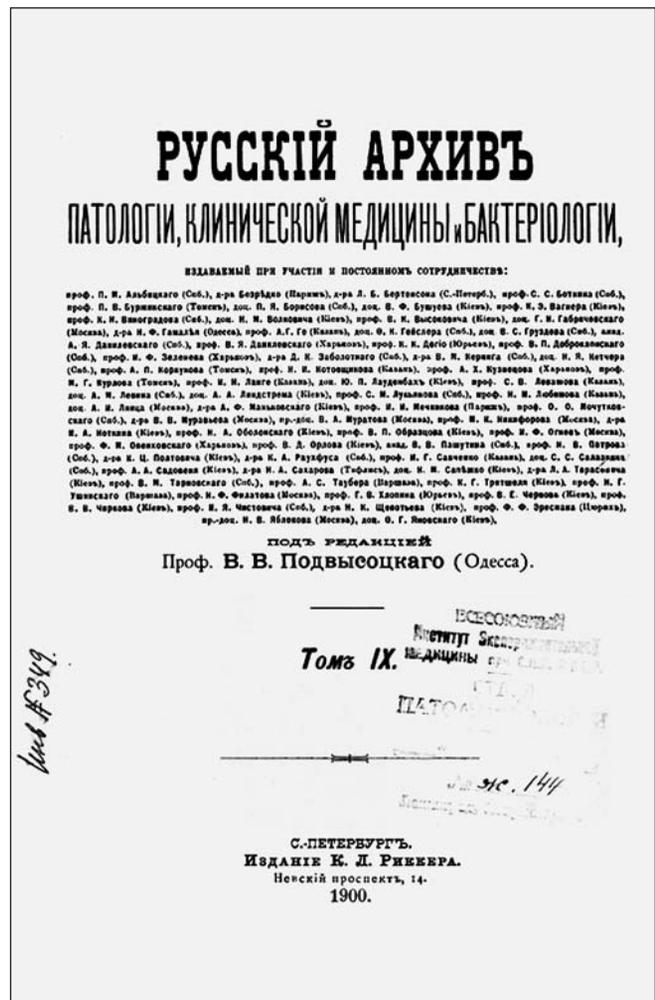
В 1894 г. была напечатана диссертационная работа ученика Подвысоцкого И.Г.Савченко «Споровиковые чужеродные в злокачественных опухолях», в которой автор сообщает о результатах исследования 59 случаев злокачественных новообразований различной локализации. По данным автора, он в большинстве случаев обнаруживал микропаразитов в клетках злокачественных новообразований. Подвысоцкий, развивая представление о причинной роли микропаразитов из класса споровиковых в возникновении опухолей, вместе с тем решительно отрицал роль дрожжей в их образовании — вопреки взгляду, получившему известное распространение среди онкологов во второй половине 1890-х.

В 1895—1902 гг. Подвысоцкий редактирует в Киеве и печатает в столице журнал «Русский архив патологии, клинической медицины и бактериологии» при финансовой поддержке фирмы «К.Л.Риккерт». По мнению современников, это издание было выдающимся явлением русской врачебной печати. Кроме оригинальных статей в нем печатались интересные обзоры по различным вопросам как практической, так и теоретической медицины. Многие публикации готовил сам Подвысоцкий. Но журнал оказался убыточным, и его закрыли.

В 1887 г. Подвысоцкого избирают членом-корреспондентом Парижского анатомического общества, в следующем году Петербургская академия наук присуждает ему премию К.Бэра, а через 10 лет конференция ВМА — премию Юшенова. Подвысоцкий единолично или при участии своих учеников Д.К.Заболотного, А.Ф.Маньковского, Л.А.Тарасевича, В.А.Таранухина разрабатывал различные разделы общей патологии. Владимира Валерьяновича интересовали регенерация тканей



Классический труд Подвысоцкого «Основы общей патологии».



Титульная страница «Русского архива патологии».



Одесса. Медицинский факультет Новороссийского университета.

Клиника Института
экспериментальной медицины.



органов, кариокинез, онкологическая этиология, кокцидоз, виды перерождения клеток и т.д.

В 1900—1905 гг. Подвысоцкого назначили деканом медицинского факультета и заведующим кафедрой общей и экспериментальной патологии Новороссийского университета (Одесса), где для факультета под его наблюдением был выстроен специальный медицинский городок. Ему удалось убедить министра финансов С.Ю.Витте в необходимости дополнительных средств для завершения работ. Ныне на кафедре Подвысоцкого сохраняется его мемориальный кабинет.

Директор ИИЭМ

По приглашению принца А.П.Ольденбургского 23 июля 1905 г. Подвысоцкий возглавил Императорский институт экспериментальной медицины, первый в России научно-исследовательский центр, созданный по проекту и на средства его высочества, знаменитого мецената. Одновременно Владимир Валерьянович стал заведовать Отделом общей патологии и был назначен действительным членом Совета ИИЭМ. При этом он оставался в 1902—1913 гг. соредактором журнала «Русский врач» и стал главным редактором журнала ИИЭМ «Архив биологических наук». Его помощниками в отделе были В.Н.Клименко и Ю.А.Грожан. При отделе также организуется патологический кабинет, который возглавляет Е.С.Лондон, ученик Подвысоцкого.

Продолжая начатые в Киеве исследования, Владимир Валерьянович, оказавшись в ИИЭМ, основные научные интересы сосредоточил на изучении экспериментальной патологии, этиологии злокачественных опухолей и их химиотерапии, а также на определении механизмов резистентности организма в норме и при патологии. Он указывал, что дальнейшие исследования по изучению микропаразитов в злокачественных опухо-

лях должны быть направлены по пути изучения главным образом мелких микропаразитов (имеются в виду вирусы. — Ю.Г.), а не крупных кокцидиоподобных форм или грегаринообразных чужеродных, как это имело место ранее. Он прямо заявлял, что скептицизм, проявленный по отношению к паразитарной теории опухолей, был порожден грубым смешением продуктов дегенерации опухолевых клеток с паразитами.

На основе анализа публикаций на рубеже 20-го столетия, посвященных этиологии онкологических заболеваний, можно предположить, что впервые мысль о вирусном происхождении злокачественных опухолей еще в 1905 г. начал развивать именно Подвысоцкий. То, что именно вирусы он имел в виду, подтверждает данное им определение этих паразитов как «бесконечно малых ультрамикроскопических образований».

Теперь коснемся его деятельности как директора и председателя Совета ИИЭМ. Приведем несколько примеров из жизни института.

29 марта 1906 г. Подвысоцкий вел заседание Совета, на котором В.М.Бехтерев сообщил, что Международная ассоциация академий планирует организацию сети психоневрологических институтов в различных странах и обратилась в Академию наук и к нему лично с просьбой организовать Психоневрологический институт в Санкт-Петербурге. Бехтерев просил принца Ольденбургского, попечителя ИИЭМ, содействовать организации такого научно-исследовательского учреждения, где были бы представлены различные разделы невропатологии, психопатологии и экспериментальной психологии, включая проблемы внушения и гипноза. В первую очередь по предложению Бехтерева должны быть организованы как ядро будущего института лаборатории невропатологии и экспериментальной психологии, временно на правах Отдела ИИЭМ. Попечитель просил членов Совета обсудить сообщение. И.П.Павлов, не имея принципиальных возражений, вы-

сказал опасение, что «приведенная программа исследований по психоневрологии представляется чересчур большой по своим размерам и непосильной для психоневрологического отдела как части ИИЭМ; для выполнения такой программы нужно основание вполне самостоятельного учреждения». Подвысоцкий, поддержав Павлова, сказал, что при существующем бюджете устройство психоневрологического отдела в настоящее время нереально. Совет вынес решение рекомендовать Бехтереву направить письменное изложение своего предложения императору.

В 1906 г. закончили постройку и ввели в эксплуатацию Клинику кожных болезней им. В.К. Свиягина и А.К. Чекалевой. При ней была организована Лаборатория сифилидологии во главе с Д.К. Заболотным. Клиника располагалась на берегу Большой Невки. Создание клиники и лаборатории было своеобразным актом восстановления одного из первых научно-практических направлений Института, где в 1891—1994 существовал Отдел сифилидологии (заведующий — Э.-Л.Ф. Шперк, он же первый директор ИИЭМ), реорганизованный С.М. Лукьяновым (вторым директором) в Отдел общей патологии.

Директор ИИЭМ Подвысоцкий вместе с попечителем принцем Ольденбургским принимали непосредственное участие в торжественном открытии этой клиники, состоявшемся 21 декабря 1906 г. Оно было омрачено убийством почетного гостя — петербургского градоначальника генерал-майора В.Ф. фон дер Лауница. Присутствовало около 200 гостей. Заблаговременно были разосланы частью именные пригласительные билеты, а частью без указания имени. Гости стали прибывать в начале десятого утра. Осмотрев клинику, они поднялись на 4-й этаж в больничную (домовую) церковь. После торжественной службы и освящения клиники участники церемонии стали спускаться на 3-й этаж, где были сервированы столы для праздничного обеда. Первыми шли церковные певчие, за ними принцесса Е.М. Ольденбургская (супруга А.П. Ольденбургского) со статским советником Н.К. Свиягиным, который стал членом-сотрудником ИИЭМ в связи с тем, что выделил около 400 тыс. руб. на строительство и оборудование клиники — второго практически отделения ИИЭМ. Затем следовали градоначальник фон дер Лауниц с принцем, за ними камергер Вуич, адъютант принца капитан Воршев и Подвысоцкий. Далее — члены Совета ИИЭМ и иные гости.

На площадке 4-го этажа стоял молодой блондин в безукоризненной фрачной паре, которого все признали за одного из приглашенных. Глядя на благообразное лицо с голубыми глазами, трудно было заподозрить, что оно принадлежит убийце. Когда Вуич и Воршев миновали его, он внезапно выхватил браунинг и, из-за их спины, произвел один за другим три выстрела в градоначальника, уже спустившегося на несколько ступенек.

Генерал вскрикнул и после третьего выстрела осел на ступеньках лестницы, скончавшись через несколько минут. Капитан и камергер мгновенно обернулись назад, Вуич схватил стрелявшего за горло, а Воршев, выхватив шашку, стал рубить ею убийцу. Террорист все-таки продолжал стрелять, но, к счастью, ни в кого больше не попал. Местный полицейский пристав, подполковник Корчак, видя, что убийца продолжает стрелять, схватил его правую руку, поднял кверху и одновременно из собственного револьвера произвел в него два смертельных выстрела. Лестница обгадилась кровью двух убитых — градоначальника и террориста. При осмотре трупа убийцы оказалось, что ему было нанесено семь ран шашкой в голову и три огнестрельных. При анализе вынутых пуль выяснилось, что выстрелы в грудь и живот произведены из револьвера подполковника, а в голову — из браунинга самого убийцы, т.е. он действовал как смертник.

Через два дня голову террориста, законсервированную в банке, выставили в вестибюле главного здания ИИЭМ для опознания, но это не дало результатов. Лишь спустя 20 лет Борис Савинков, член ЦК партии эсеров (который вместе с Евно Азефом руководил «боевой группой»), в «Записках террориста» раскрыл его фамилию — Кудрявцев и подпольную кличку — Адмирал.

Вот так. Одни жертвовали средства на развитие науки, другие — на терроризм. Только каким-то чудом пуля террориста не угодила ни в принца



Княгиня Ольга, греческая королева, у выхода из Института экспериментальной медицины.

Ольденбургского, ни в Подвысоцкого, которые были рядом с градоначальником.

22 февраля 1907 г. директор ИИЭМ профессор Подвысоцкий предложил на обсуждение Совета текст «Положения о премии М.В.Ненцкого», выработанный им совместно с Н.О.Зиббер-Шумовой. Он также сказал, что, имея для этих целей капитал в 5000 руб., уже можно ежегодно выдавать проценты с него в виде премии практикантам. Первую премию присудили практиканту Отдела химии А.С.Станишевскому.

С 29 июля по 25 сентября того же года Подвысоцкий принимал участие в работе Международных конгрессов по гигиене и туберкулезу. В 1908 г. он делал доклад на Самарском областном поволжском противохолерном съезде, участвовал в международной противораковой конференции (Берлин), а с 18 августа по 23 сентября присутствовал на съезде естествоиспытателей (Кельн). В том же году он организует Общество борьбы с раковыми заболеваниями и становится его председателем.

В 1909 г. в Отделе были организованы трехмесячные курсы для 150 врачей по бактериологии и этиологии холеры. Тогда же Подвысоцкий представлял Россию на международном врачебном съезде в Будапеште. В том же году было отпраздновано 25-летие его научно-педагогической и общественной деятельности. И начиная с того же 1909 г. И.И.Мечников прямо использует термин «вирусы» при обсуждении причин развития злокачественных опухолей.

Отметим, что еще в начале XX в., следовательно, задолго до работ иных ученых, Подвысоцкий предпринял ряд исследований по химиотерапии раковых опухолей. Для чего он использовал соли мышьяка и иодистых щелочей, а также высказал предположение о целебном действии лучей радия для больных, страдающих онкологическими заболеваниями. Он считал, что химиотерапевтические препараты должны усиливать в организме болезненные процессы, направленные на борьбу со злокачественными новообразованиями. Следовательно, в начале XX в. учение о вирусной природе злокачественных опухолей первыми начали развивать В.В.Подвысоцкий и И.И.Мечников, высказав предположение о «невидимых» в обычные микроскопы экзогенных микропаразитах как причине возникновения опухолей.

Подвысоцкий занимался многими вопросами, связанными с различными видами патологии, не признавая «науки для науки» и стремясь как можно шире использовать научный потенциал своего отдела и института. По его инициативе в ИИЭМ было организовано обучение на нескольких холерных курсах и был прочитан первый санитарно-бактериологический курс для врачей. Директору удалось удешевить производство в институте лечебных сывороток и противохолерных вакцин.



Илья Ильич Мечников.

В книге почетных посетителей Особой лаборатории по производству противобубонных препаратов ИИЭМ имеется автограф Подвысоцкого, который посетил ее 3 мая 1909 г. (Л.15, об.). Это посещение, вероятно, было вызвано предстоящим визитом Мечникова, который прибыл в столицу 14 мая 1909 г. В тот же день в зале Дворянского собрания научная общественность приветствовала второго в России лауреата Нобелевской премии. Председателем собрания был первый лауреат — И.П.Павлов. На следующий день гость посетил Женский медицинский институт и его Бактериологическую лабораторию, которой руководил Д.К.Заболотный. 21 мая в первой половине дня Мечников побывал в Лаборатории сифилитологии ИИЭМ, а после обеда гостя приветствовало в зале Думы Санкт-Петербурга Общество народного здоровья (председатель его принц Ольденбургский). Затем Мечников посетил форт «Император Александр I» (Чумной форт), расположенный в полутора километрах от Кронштадта, и расписался в книге почетных посетителей Особой лаборатории по производству противобубонных препаратов ИИЭМ.

Через несколько лет Подвысоцкий блестяще организовал Русский отдел Международной гигиенической выставки в Дрездене (1910—1911), который привлек всеобщее внимание и стал украшением выставки. Сохранившиеся материалы свидетельствуют, что свою экспозицию предста-



Русский павильон в Дрездене. 1911 г.

вили Институт экспериментальной медицины и Военно-медицинская академия.

Подвысоцкий привез с выставки из Дрездена майоликовый портал (работы П.Ваулина), который и теперь украшает вход в научную библиотеку Института. В знак уважения к заслугам его избрали ординарным почетным членом Королевского Института экспериментальной терапии во Франкфурте-на-Майне (1911).

8 февраля 1912 г. на заседании Совета ИИЭМ Подвысоцкий сообщил, что весной предполагается начать постройку отдельного здания физиологической лаборатории на средства, пожертвованные Обществом им.Х.С.Леденцова. Его возведут на лужайке между корпусами Отделов химии и физиологии и соединят крытым переходом со зданием Отдела физиологии. Когда строительство было завершено (1913), здание стали называть Башней молчания, потому что в нем располагались восемь специальных камер для изучения условных рефлексов у собак. Как директор Владимир Валерьянович контролировал работы по сооружению здания научной библиотеки Института. На ее фасаде под окнами трех этажей были выбиты на камне фамилии знаменитых врачей и биологов. Впервые по предложению Подвысоцкого это было сделано в Одессе на здании медицинского факультета.

В 1912 г. Подвысоцкий как генеральный комиссар начал заниматься организацией Всероссийской выставки по гигиене, покровителем которой был принц Ольденбургский. Выставка открылась, и в павильоне Санкт-Петербурга были представлены отделы ИИЭМ. Многие сотрудники института за показанные работы были награждены почетными дипломами и медалями. Материалы этой выставки в дальнейшем послужили основой для организации в нашем городе Музея гигиены на Итальянской улице, 25.

Диплом Всероссийской выставки по гигиене. 1913 г.



Переутомление в связи с ответственностью и гигантским трудом по организации выставки, а также сильная простуда — Владимир Валерьянович застудился, осматривая территорию выставки в начале января 1913 г., — привели к его преждевременной кончине 22 января 1913 г.

Своего директора в последний путь провожал весь ИИЭМ, и в прощальном слове, произнесенном при выносе его тела, И.П.Павлов сказал: «Вооруженный современными способами исследования, литературно образованный, увлекающийся и увлекающий других, он, естественно, сделался здесь центром научной школы, где царил богатое воодушевление и откуда впоследствии вышли видные деятели медицинской науки». Далее Павлов особо отметил его «Основы общей патологии», говоря, что «о достоинстве этого руководства достаточно свидетельствует то, что оно выдержало несколько русских изданий, и было переведено на многие иностранные языки.

Таким образом, Подвысоцкий явился учителем большого числа поколений врачей не только отечественных, но и иноземных. Его научные труды,

труды его учеников и это руководство составляют его научный памятник».

Видимо, следуя традиции, Владимир Валерьянович завещал литературу по медицине и биологии из своего книжного собрания библиотеке Института. Его родственники передали более 400 книг (не считая брошюр). Для этой коллекции был изготовлен специальный шкаф.

Научная школа Подвысоцкого стала складываться еще в Киевском и Новороссийском университетах и окончательно оформилась в стенах ИИЭМ, где одновременно с ним работали и его бывшие студенты. Из его учеников наиболее известны А.А.Богомолец, Д.К.Заболотный, И.Г.Савченко, В.Н.Клименко, А.Ф.Маньковский, И.И.Статке-

вич, В.А.Таранухин и Л.А.Тарасевич, возглавившие как теоретические кафедры учебных медицинских институтов, так и клиники, а первые двое стали академиками.

Уместно отметить, что Л.А.Тарасевич в 1913 г. стал, наряду с Л.В.Писаржевским, главным редактором «Природы» и, естественно, поместил на ее страницах проникновенный некролог своему учителю (1913. №2). «На бедной ниве русской жизни, — писал Лев Александрович, — не часты талантливые, энергичные и жизнедеятельные люди, умеющие работать и других побудить к работе, способные заражать своей энергией и бодростью. Владимир Валерьянович был одним из таких людей». ■

Литература

Ручковский В.С. Роль отечественных ученых в развитии экспериментальной онкологии. Киев, 1953.

Клименко В.Н. Профессор Владимир Валерианович Подвысоцкий. Биографический очерк // АБН. 1913. Т.18. №1—2.

Голиков Ю.П., Мазинг Ю.А. От директора к директору (1890—2000) // Институт экспериментальной медицины на рубеже тысячелетий. Достижения в области экспериментальной биологии и медицины. СПб., 2000.

Васильев К.Г., Запорожан В.Н., Занчевская Т.А. Владимир Валерианович Подвысоцкий. Одесса, 2003.

Специалисты из Лондонского зоологического общества (Великобритания) утверждают, что у плотоядных млекопитающих существует предел массы тела и он равен 1 т. Крупные хищники питаются животными, сопоставимыми с ними по размеру, поэтому охота требует существенных энергетических затрат, и чем больше масса хищника, тем сложнее ему добыть себе пропитание. Таким образом, по мнению исследователей, получило объяснение вымирание в ходе эволюции гигантских плотоядных животных.

Science et Vie. 2007. №1074. P.18 (Франция).

По данным биолога К.Стивенса (C.Stevens; Университет провинции Альберта, Канада), построенные бобрами плотины приносят большую пользу земноводным: образующиеся за-

пруды представляют собой идеальное убежище для головастиков, поскольку воды там более теплые, обогащены кислородом, а рыбы-хищники заходят туда нечасто. В результате в таких водоемах по сравнению с теми, где бобров нет, обитает в 5.7 раза больше лесных лягушек (*Rana sylvatica*), в 29 раз — западноамериканских жаб (*Bufo boreas*), в 24 раза — подвида трехполосной квакши *Pseudacrus triseriata maculate*.

Science et Vie. 2007. №1074. P.29 (Франция).

Скандинавские авиалинии (SAS) стали первой в мире авиакомпанией, чьи самолеты освоили так называемые экологические приземления — по сравнению с обычными они менее шумные и не столь сильно загрязняют окружающую среду. Лайнеры снижаются поэтапно,

с использованием новейших технологий для посекундного расчета времени приземления, что требует тесного взаимодействия между пилотами и диспетчерами. При такой посадке удается сократить потребление керосина примерно на 100 кг, выбросы CO₂ и NO уменьшаются на ~300 и 1.1 кг соответственно.

Sciences et Avenir. 2007. №722. P.32 (Франция).

В Экваториальной Африке за период между 2001 и 2005 гг. от вируса Эбола погибло около 5 тыс. горилл. По сведениям приматолога М.Бермехо (M.Bermejo; Барселонский университет, Испания), уровень смертности в наблюдаемых группах превышает 90%.

Science et Vie. 2007. №1073. P.28 (Франция).

Новости науки

Астрономия

Кольцо из темной материи

Группа астрономов из Университета Дж.Хопкинса (США) представила наиболее надежные на сегодняшний день доказательства реальности темного вещества, полученные с помощью космического телескопа «Hubble». Дж.Джи (J.Jee) и его коллегам удалось не просто построить карту распределения темной материи в скоплении галактик Cl 0024+1652, но и показать, что ее распределение существенно отличается от распределения «обычного» вещества¹. Построить такую карту непросто именно потому, что вещество — темное, т.е. само не светится. О его существовании говорит только оказываемое им гравитационное воздействие на свет других источников.

Скопление Cl 0024+1652 удалено от нас на 5 млрд св. лет, но и за ним расположено еще очень много звездных систем. Проходя через темное вещество скопления ZwCl 0024+1652, свет фоновых галактик «преломляется» из-за эффекта гравитационного линзирования, и потому их очертания искажаются, вытягиваясь в волокна и дуги. Анализируя эти искажения, астрономы восстанавливают свойства гравитационной линзы, т.е. массу темного вещества и его распределение.

В скоплении Cl 0024+17 это распределение оказалось весьма примечательным: карта темной материи представляет собой кольцо радиусом около 75 угловых секунд (2 млн св. лет). «Впервые уви-

¹ См. также: Трехмерное распределение темного вещества // Природа. 2007. №8. С.81.

дев это кольцо, я очень расстроился, так как решил, что у нас в расчетах какая-то ошибка, — рассказывает Джи. — Даже многократно повторив все вычисления, я все еще не верил этому результату. Много я видел скоплений, но ни в одном из них не было ничего подобного». Точнее, некий разницей в распределении темной материи уже был однажды установлен: с помощью совместных наблюдений на телескопе «Hubble» и космической рентгеновской обсерватории «Chandra» было обнаружено, что в скоплении 1E 0657-56 распределение темной материи смещено относительно горячего газа, но совпадает с распределением галактик. Новый пример куда более экстремален: в нем темная материя существенно «сдвинута» как относительно газа, так и относительно галактик. Это весьма ценный результат, поскольку позволяет изучить, чем динамические свойства темного вещества отличаются от аналогичных свойств «нормального» вещества.

По всей видимости, в далеком прошлом (примерно 1—2 млрд лет назад) эти различия проявились при столкновении двух скоплений галактик, «итоном» чего стало нынешнее скопление Cl 0024+1652. На то, что такое столкновение имело место, указывает трехмерная пространственная и кинематическая структура скопления, исследованная в 2002 г. О.Чоске (O.Czoske; Боннский университет, Германия). В ней четко выделяются два ядра — центры столкнувшихся некогда скоплений. Астрономам повезло в том, что столкновение происходило вдоль луча зрения. Компьютерное моделирование показало, что при «ударе» двух скоплений друг о друга тем-

ное вещество сначала падает к центру объединенной системы, а затем «отскакивает» обратно и образует тор вокруг оси столкновения галактик. Именно поэтому распределение темной материи и выглядит как кольцо. В случае скопления 1E 0657-56 мы, по-видимому, наблюдаем такое же столкновение, но перпендикулярно его оси и в несколько более раннюю эпоху.

The Astrophysical Journal. 2007. V.661. P.728 (США).

Планетология

Есть ли жизнь на Энцеладе и сколько длится день на Сатурне?

С тех самых пор, как межпланетный зонд «Voyager-2» передал на Землю первые снимки белоснежной поверхности Энцелада, ученые заподозрили, что в природе этого спутника Сатурна есть что-то необычное. Подозрение подтвердилось в 2005 г., когда с борта другого космического аппарата — «Cassini» — вблизи южного полюса Энцелада были обнаружены грандиозные гейзеры, состоящие из водяного пара и кристалликов льда². Где на крохотном ледяном шаре диаметром всего 500 км может скрываться источник тепла, питающий энергией эти мощные выбросы?

Согласно модели эволюции недр Энцелада, разработанной в Лаборатории реактивного движения НАСА Дж.Кастилло (J.Castillo) и ее коллегам, начальный импульс разогреву спутника был дан быстрым распадом радиоактивных элементов вскоре после его образования. Ученые предпо-

² Сурдин В.Г. Вода на Энцеладе, спутнике Сатурна // Природа. 2006. №7. С.79—81.

лагают, что в то время Энцелад представлял собой шар из смеси льда и камней, но среди прочего в его состав входили радиоактивные изотопы алюминия и железа. Эти изотопы распались в первые несколько миллионов лет жизни спутника, выделив огромное количество тепла, благодаря которому на Энцеладе произошла дифференциация — разделение на каменное ядро и ледяную мантию.

На протяжении последующих миллиардов лет ядро и мантия продолжали слегка подогреваться остаточной радиоактивностью и приливными силами со стороны Сатурна. Но основные черты химического (в том числе молекулярного) состава недр Энцелада обусловлены именно эпохой первоначального разогрева. На это указывает анализ химического состава гейзеров, выполненный Д.Матсоном (D.Matson; Лаборатория реактивного движения НАСА, США) и его коллегами¹. Хотя гейзеры в основном состоят из водяного пара, однако по данным масс-спектрометра, установленного на «Cassini», в них имеется небольшая примесь других молекул: метана, углекислого газа, пропана, ацетилена и т.д. Наиболее удивительным оказалось наличие в гейзерах молекулярного азота, которого в исходном составе Энцелада не должно было быть. Авторы работы считают, что молекулы азота являются продуктом распада аммиака в ядре спутника. Но для этого требуются температуры до 800 К (точное значение зависит от минерального состава ядра). Ни приливы, ни остаточная радиоактивность такую температуру обеспечить не в состоянии. Зато ее объясняет гипотеза о «горячем прошлом» Энцелада. Важно отметить, что в подобных условиях эффективно синтезируются и простейшие органические молекулы. Это может означать, что в системе Сатурна Энцелад является потенциальной колыбелью жизни, подобно Европе в системе Юпитера.

К сожалению, гейзеры Энцелада, проясняя ситуацию с недрами

спутника, запутывают поиски ответа на вопрос, кажущийся существенно более простым. Удивительно, но астрономы до сих пор не знают, сколько длится день на Сатурне. Поскольку планета-гигант состоит главным образом из газа, по наблюдениям поверхности определить трудно. На протяжении долгого времени астрономы полагались в этом отношении на наблюдения магнитного поля планеты, считая, что период обращения магнитосферы совпадает с периодом обращения самого Сатурна.

Хотя этот метод прекрасно работал в случае других планет-гигантов, однако относительно Сатурна его эффективность изначально вселяла некоторые подозрения. Во-первых, вариации радиоизлучения планеты больше похожи не на переменность, связанную с вращением асимметричного источника, а на реальные пульсации. Во-вторых, со времен пролета аппаратов «Voyager» в 1980-х годах «сутки» на Сатурне стали длиннее на 6–8 мин, составив почти 10 ч 47 мин.

Результаты изучения системы Сатурна с борта исследовательского зонда «Cassini» показали, что путаницу вносят те же самые гейзеры на Энцеладе. Выброшенные ими частицы постепенно окружают Сатурн, ионизируются и образуют вокруг экватора планеты горячий плазменный диск. Данные о движении этой плазмы в ближайших окрестностях Сатурна, полученные с помощью «Cassini», показывают, что оно синхронизовано с теми самыми колебаниями в радиоизлучении планеты, которые раньше приписывались ее вращению. Но в процессе взаимодействия диска с магнитными силовыми линиями его вращение затормаживается, и потому период вращения диска оказывается длиннее собственно периода вращения планеты, который в этих обстоятельствах, увы, неизвестен. Таким образом, то, что до сих пор считалось сатурнианскими сутками, на самом деле есть просто период вращения плазменного диска. «Никто не

предполагал, что крохотная луна настолько сильно влияет на радиометод, который годами использовался для определения длительности суток на Сатурне», — отметил Д.Гарнетт (D.Gurnett), ведущий исследователь эксперимента по измерению скорости вращения Сатурна на аппарате «Cassini»².

Причины увеличения периода обращения диска пока непонятны. Либо гейзеры на Энцеладе сейчас активнее, чем в 1980-х годах, либо замедление плазменного диска как-то связано с сезонными изменениями на Сатурне, полный год которого длится больше 29 земных лет.

Естественно предположить, считает Гарнетт, что во время большой активности гейзеров частицы сильнее тормозят магнитное поле, в результате чего период вращения магнитосферы увеличивается, когда же гейзеры менее активны, они меньше тормозят магнитное поле и, следовательно, сокращается его отставание от самой планеты. До сих пор существование четкой связи между радиоизлучением, магнитным полем и вращением планеты считалось само собой разумеющимся, — отмечает М.Догерти (M.Dougherty, Империял-колледж, Лондон, Великобритания), однако Сатурн доказывает, что ученым еще есть над чем подумать.

© **Вибе Д.З.**,
доктор физико-математических наук
Москва

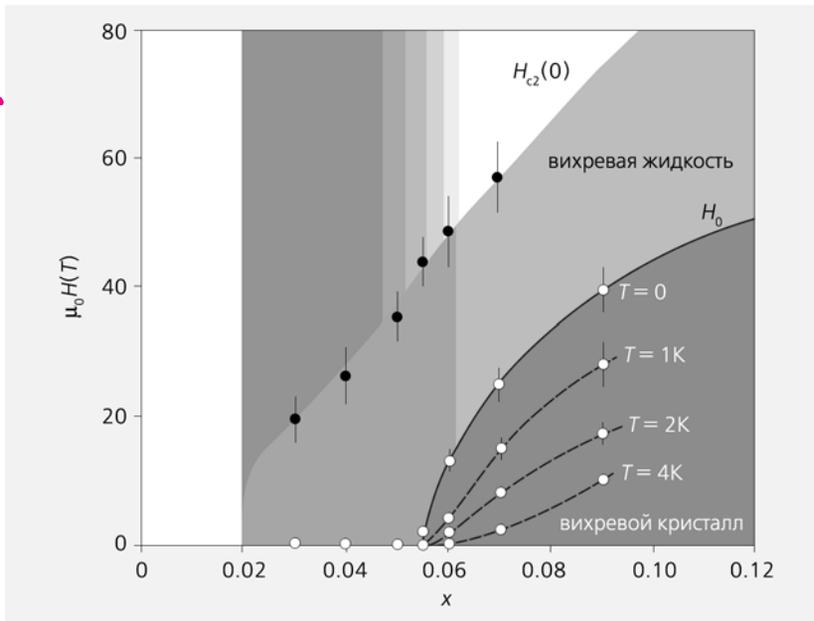
Физика

Как разрушается сверхпроводимость

Для понимания необычных свойств и природы высокотемпературной сверхпроводимости очень важны исследования образцов с низкой концентрацией носителей. Вблизи критической концентрации дырок x_c , при которой сверхпроводимость исчезает, на фазовой диаграмме соседствуют три фазы: сверхпроводящая, анти-

¹ Icarus. 2007. V.187. №2. P.569.

² Science. 2007. V.316. №5823. P.442.



Фазовая диаграмма ВТСП $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ в координатах x, H при различных температурах. $H_{c2}(0)$ – верхнее критическое поле при $T = 0$.

ферромагнитная и псевдощелевая (в последнем случае число электронов на поверхности Ферми резко уменьшается). До сих пор непонятно, как именно разрушается сверхпроводимость в области x_c : исчезает ли конденсат куперовских пар внезапно, либо его фазовая когерентность нарушается спонтанно возникающими вихрями? Экспериментальных данных о намагниченности высокотемпературных сверхпроводников в этой области фазовой диаграммы ($x \approx x_c, T \rightarrow 0$) на сегодняшний день очень мало.

Группа американских и японских физиков представила результаты детального исследования намагниченности монокристаллов $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ с $x = 0.03 \div 0.09$ при $T \geq 0.35$ К и $H \leq 55$ Тл. Построив фазовую диаграмму при $T \rightarrow 0$ в координатах x, H , по виду границы $H_0(x)$ фазы вихревой жидкости (а именно — исходя из ее отрицательной кривизны и почти вертикального наклона при $x \approx x_c = 0.055$) исследователи сделали два вывода: во-первых, при $T \rightarrow 0, H \rightarrow 0$ и $x = x_c$ имеется квантовая критическая точка; во-вторых, сверхпроводимость при $x = x_c$ разрушается из-за спонтанного появления вих-

рей/антивихрей, возникающих вследствие локализации носителей и сильных флуктуаций фазы¹.
http://perst.iissph.kiae.ru/Inform/perst/7_09/index.htm

Электроника

Кремниевая спинтроника

Развитие спинтроники — новой области электроники, в которой информацию хранят и переносят не заряды, а магнитные моменты или спины, — во многом тормозится из-за отсутствия подходящих полупроводниковых материалов, таких же распространенных и недорогих, как основа обычной электроники — кремний. Если для изготовления магнитных жестких дисков и магнитной памяти вполне подходят наноструктуры из ферромагнитных металлов, то перепрограммируемые логические спинтронные устройства пока существуют лишь на бумаге. Кремний и здесь мог бы оказаться вне конкуренции благодаря слабому спин-орбитальному рассеянию и отсутствию пьезоэлектрических эффектов. Однако до недавнего

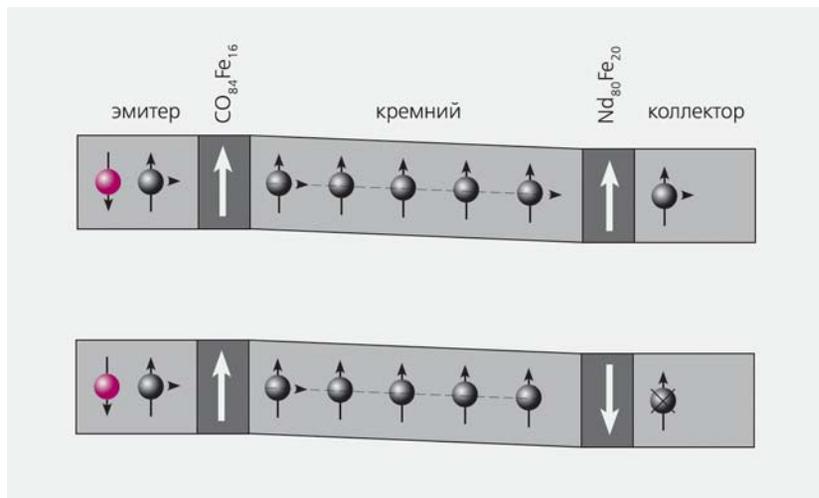
времени никому не удавалось доказать возможность создания в кремнии спин-поляризованного тока, поскольку оптической спиновой инжекции (за счет облучения спин-поляризованным светом) препятствуют особенности электронной зонной структуры кремния (это полупроводник с непрямыми межзонными переходами), а электрическая инжекция спинов затруднена из-за формирования на границе раздела с ферромагнетиком барьера Шоттки. Кроме того, отсутствовала надежная методика регистрации спинового тока в кремнии.

Американские специалисты из Университета штата Делавер добились существенного успеха в этой области, создав так называемый спиновый клапан². Для инжекции спин-поляризованных электронов в слой нелегированного кремния толщиной 10 мкм они нанесли на одну сторону этого слоя первый спиновый фильтр — ферромагнитную пленку $Co_{84}Fe_{16}$. Второй фильтр — пленку $Nd_{80}Fe_{20}$, расположенную с другой стороны слоя, использовали для доказательства наличия в кремнии спинового тока. Резкое изменение силы тока I_c в коллекторе при изменении взаимной ориентации намагниченности $Co_{84}Fe_{16}$ и $Nd_{80}Fe_{20}$ указывало на то, что ток действительно переносят поляризованные по спину электроны (эксперимент проводили при температуре 85 К — достаточно низкой, чтобы вклад в I_c от термических электронов был несущественным). Еще одно убедительное свидетельство этого факта — периодическая зависимость I_c от магнитного поля, объясняемая прецессией спинов в процессе движения электронов от эмиттера к коллектору. Оценка времени переворота электронного спина дала ≈ 1 нс, что несколько больше среднего времени движения электронов через слой кремния (около 0.5 нс).

Теперь на повестке дня — проведение экспериментов при комнатной температуре. Необходимо также существенно увеличить си-

¹ Li L. et al. // Nature Physics. 2007. V.3. P.311–314.

² Appelbaum I. et al. // Nature. 2007. V.447. P.295–298.



Принцип действия спинового клапана. Если направления намагниченности двух ферромагнитных спиновых фильтров совпадают, то электроны с соответствующей проекцией спина попадают из эмиттера сначала в кремний, а затем в коллектор (вверху), а если противоположны, то до коллектора электроны не доходят (внизу).

лу спин-поляризованного тока (т.е. фактически — повысить эффективность прохождения электронов через спиновый фильтр). Этого можно попробовать добиться, например, заменив обычный ферромагнетик на ферромагнитный полупроводник или используя оксидный туннельный барьер между кремнием и ферромагнетиком¹. Кроме того, исследователи собираются выяснить, к чему приведет легирование кремния донорными или акцепторными примесями. Ну и, конечно, требуются новые идеи о конкретных практических приложениях спинового транспорта в кремнии.

<http://perst.issp.ras.ru>
(2007. Т.14. Вып.10).

Химия. Технология

Прочность жгутов нанотрубок повышается скручиванием

Углеродные нанотрубки отличаются рекордно высокими механическими характеристиками. Так, модуль Юнга однослойной трубки в десятки раз превышает соответствующий показатель самых проч-

¹ Zutic I, Fabian J. // Nature. 2007. V.447. P.268—269.

ных стальных нитей и тросов. Однако перспективы создания сверхпрочных гибких материалов на основе нанотрубок пока не воплотились в реальность: при переходе от индивидуальной трубки к макроскопическому материалу, содержащему большое количество таких объектов, прочность снижается². И модуль Юнга жгутов, состоящих из нескольких сотен однослойных трубок, уже в несколько раз ниже, чем у тех же самых стальных тросов. Это обусловлено тем, что между соседними нанотрубками силы взаимодействия существенно (на один-два порядка) слабее, чем между соседними атомами углерода, принадлежащими одной нанотрубке. В результате механическая нагрузка, прилагаемая к определенным нанотрубкам, остальным передается плохо. Таким образом, растяжение жгута под действием механической нагрузки обусловлено не столько растяжением входящих в его структуру индивидуальных трубок, сколько их движением в материале друг относительно друга.

Недавно китайские специалисты разработали эффективный способ повышения прочности нитей,

² Пряжа из многослойных нанотрубок // Природа. 2006. №2. С.82—83.

состоящих из большого числа индивидуальных однослойных трубок³, которые были синтезированы путем пиролиза ферроцена при температуре 1200°C. Исходные образцы, имеющие структуру пленки, сворачивали с помощью специального моторчика в жгуты диаметром около 15 мкм и длиной 8 см. Жгуты закручивали на 10, 30, 50 или 70 оборотов (это приводило к некоторому — не более чем на 7% — их укорачиванию и существенному — до трехкратному — повышению плотности) и измеряли их прочность на разрыв. Выяснилось, что этот показатель с увеличением числа витков линейно возрастает, увеличиваясь шестикратно при скручивании на 70 оборотов, но затем (при числе витков больше 100) существенно снижается (это связано с нарушением прямолинейной формы жгута).

http://perst.issp.kiae.ru/Inform/perst/7_09/index.htm

Биология

Быстрая реверсия естественного отбора

Дать количественную и временную оценку естественного отбора удастся далеко не всегда. Но группе американских зоологов во главе с Дж.Б.Лососом (J.V.Losos; Гарвардский университет) это удалось сделать в течение полевого эксперимента, длившегося всего один год. Более того, за этот период исследователи проследили изменение направления отбора на прямо противоположное. Уникальный случай в полевых экспериментах по изучению эволюции животных!

Объектом исследования стала небольшая ящерица — анолис (*Anolis sagrei*). Этот вид широко распространен на Багамах. Здесь на многочисленных островках у анолиса практически нет наземных врагов, и он ведет полудревесный образ жизни, активно перемещаясь как по поверхности земли, так и по стволам различных растений.

³ Cheng T.-W., Hsu W.-K. // Appl. Phys. Lett. 2007. V.90. P.123102—123104.

Эксперимент, проведенный американскими герпетологами, заключался в том, что на нескольких островках была вселена крупная хищная ящерица *Leiocephalus carinatus*; эта наземная игуана представляет серьезную опасность для анолиса. Перед вселением хищника на шести экспериментальных и на шести контрольных островках анолисов отловили, измерили пропорции их тела, индивидуально поместили и выпустили на месте поимки. Затем в течение года следили за судьбой помеченных особей и статистически оценивали связь их выживаемости с индивидуальными внешнеморфологическими особенностями. Регистрировали также микробиотическую приуроченность ящериц — была ли особь встречена на земле или на дереве, в последнем случае — на какой высоте и какого диаметра был ствол.

Как и предполагалось, появление наземного хищника привело к изменению повадок анолисов — переход на полностью древесный образ жизни. При этом они постепенно стали держаться все выше и выше, ну а естественный отбор благоприятствовал тем особям, которые справлялись с этой задачей лучше других.

Самое же интересное заключалось в том, что в первые полгода эксперимента лучше выживали анолисы с относительно длинными конечностями, но затем вектор давления отбора диаметрально изменился и более высокие шансы на выживание оказались у экземпляров с относительно короткими лапами. Объяснение феномена совсем простое. Вначале появление наземного врага способствовало выживанию тех особей, которые могли от него быстрее убежать по земле или быстрее вскарабкаться на толстое основание ствола. Естественно, среди выживших оказалась относительно больше длинноногих бегунов. Но затем давлению хищников вынуждает анолисов взбираться на большую высоту и лазать по тонким вершинам стволов. А вот здесь уже преимущество получили особи с цепкими относительно короткими конечностями.

Таим образом, зафиксирована явная реверсия действия отбора.

Результаты этого уникального микроэволюционного эксперимента совпадают и с данными макроэволюционного анализа, показавшего, что в эволюции карибских анолисов четыре раза независимо формировались коротконогие формы, специализированные к жизни в кронах деревьев.

Science. 2006. V.314. №5802. P.1111 (США).

Нейрохимия

Апоптоз нейронов

Сейчас уже установлено, что апоптоз вовлечен в работу зрелого мозга. Но точно не известно, проявляется ли действие запрограммированной смерти клеток в механизмах поведения и памяти, в обеспечении нейропластичности. Причины тому — не только высокая стоимость экспериментов, но и неоднозначная трактовка уже имеющихся результатов.

Два года назад сотрудники НИИ нормальной физиологии им.П.К.Анохина выявили, что при выработке оборонительного поведения у половозрелых крыс изменяется «фоновый» уровень биохимических маркеров апоптоза (активность фермента каспазы-3 и фрагментация ДНК) в мозжечке, гиппокампе, гипоталамусе и префронтальной коре. Теперь специалисты из этого же института исследовали участие апоптоза в других видах поведения и обучения крыс.

В одной группе самцов (линии Вистар) восемь недель обучали пользоваться специальным диском, с помощью которого появлялась поилка с водой в манипуляторном боксе, куда они должны были попасть из «жилого» бокса и, напившись, снова вернуться в него. Доступ к пище был свободным, а напиться крысы могли, лишь воспользовавшись диском. В другой группе «контрольные» крысы получали воду в поилке только раз в сутки, а в третьей «интактные» животные пили и ели по потребностям.

Выяснилось, что в мозжечке обученных и контрольных крыс активность каспазы-3 в три-четыре раза ниже, чем у «интактных» животных, а в гиппокампе — в два раза. В гипоталамусе и коре мозга изменения произошли только у обученных животных, причем в первом случае активность каспазы в три раза усилилась, во втором — во столько же уменьшилась.

Показателем распада ДНК служит образование фрагментов: длинных (больше 4 тыс. пар оснований), отражающих интенсивность начальных этапов деградации, и коротких (200—600 пар), которые характеризуют ее конечные стадии.

В мозжечке контрольных и обученных крыс выявлено более чем двукратное возрастание количества коротких фрагментов и трехкратное снижение длинных. В коре мозга коротких фрагментов стало меньше в 2 раза, к тому же только у обученных животных, а длинных — почти в 4 раза. Менялся уровень тех и других фрагментов и в прочих исследованных структурах мозга (только в гипоталамусе обученных крыс содержание длинных фрагментов не менялось).

У двух групп крыс — с выработанными питьевыми навыками и живших в режиме ограниченного доступа к воде — сформировались, считают авторы, новые виды поведения. Исходя из полученных результатов, авторы пытаются объяснить, почему два фактора — активность каспазы-3 и фрагментация ДНК — одного и того же процесса иногда разнонаправлены. Так, в гипоталамусе животных второй группы (т.е. контрольной) по сравнению с «интактными» снижено количество длинных фрагментов ДНК без значимых изменений других показателей апоптоза. Видимо, формирование этого вида поведения сопровождается подавлением независимых от каспазы-3 путей апоптоза. У обученных крыс, напротив, каспаза-3 умеренно активируется и одновременно увеличивается количество коротких фрагментов. Это свидетельствует о другом механизме суицида (в том

же отделе мозга) — обусловленном активностью каспаз.

Авторы делают вывод, что при формировании разных навыков активность процессов, вызывающих запрограммированную смерть нейронов, снижается в наиболее пластичных мозговых структурах — гиппокампе и коре.

Нейрохимия. 2006. Т.23. №3. С.173—178 (Россия).

Медицина

Глипролины с множеством функций

Глипролины — это ди- и трипептиды, содержащие аминокислоты глицин (Gly) и пролин (Pro) или его гидроксиформу (Hyp):

Gly-Pro, Pro-Gly,
Hyp-Gly, Gly-Hyp,
Pro-Gly-Pro,
Gly-Pro-Hyp,
Gly-Pro-Glu и т.д.

Основные источники таких пептидов — белки соединительной ткани, коллаген и эластин. Глипролины проявляют целый комплекс активностей. Например:

Gly-Pro, Pro-Gly,
Hyp-Gly, Gly-Hyp,

Pro-Gly-Pro, Hyp-Gly-Pro способны тормозить свертывание крови и дегрануляцию тучных клеток, могут защищать слизистую оболочку желудка; они обладают также некоторым нейропротекторным свойством¹.

Предполагают, что рецепторы глипролинов идентичны тромбоцитарным рецепторам коллагена, индуцирующего агрегацию тромбоцитов. Значит, действие коллагена и глипролинов прямо противоположно. Видимо, эти пептиды блокируют коллагеновые рецепторы и тем самым подавляют, а не вызывают образование тромбов.

Сейчас известны свойства некоторых родственных глипролинам регуляторных трипептидов, которые могут найти применение в медицине. Особое внимание привлекает Gly-Pro-Glu как нейропротектор, который проявляет лечебное действие при гипоксии

¹ Ашмарин И.П. Нейрохимия. 2007. Т.24. №1. С.5—7.

ческих и ишемических повреждениях мозга. Этот трипептид образуется из инсулинового ростового фактора, в котором присутствует в N-концевом участке молекулы. Gly-Pro-Glu, преодолевая гематоэнцефалический барьер, тормозит апоптоз нейронов, повышает выживаемость астроцитов и пролиферацию клеток глии в гиппокампе.

Еще один из трипептидов — Gly-Pro-Arg — способен предотвращать гибель нейронов гиппокампа под влиянием β-амилоида, образующегося в тканях мозга при болезни Альцгеймера.

Некоторые трипептиды, такие как Gly-Pro-Leu и Leu-Gly-Pro из кожи некоторых рыб (сайды, скумбрии), обладают свойством подавлять активность ангиотензин-1-превращающего фермента, который относится к ведущим индукторам гипертонии.

Неглубокая модификация одного из глипролинов придает ему неожиданное новое свойство. Так, если в Gly-Pro-Gly введена аминокислотная группа, измененный трипептид Gly-Pro-Gly-NH₂ участвует в работе высокоселективной системы, которая подавляет развитие ретровирусов, в частности вируса иммунодефицита человека. Правда, пока неясно, как может образоваться в организме модифицированный трипептид.

Каждый из регуляторных трипептидов выполняет в организме много функций, но пока не все свойства выяснены. Однако очевидно, что глипролиновые трипептиды могут стать лекарственными средствами от разных болезней. Некоторые из таких регуляторных пептидов уже проходят предклинические испытания.

© **Белянова Л.П.**,

кандидат химических наук
Москва

Организация науки. География

Арктика в Колонном зале

21 июня 2007 г. в Колонном зале Дома Союзов состоялось празднование Дня Арктики, проводив-

шееся в рамках МПГ — Международного полярного года 2007—2008. Приуроченное к нескольким знаменательным событиям в истории исследований северной полярной шапки планеты (например, к окончанию работы знаменитой дрейфующей станции Северный полюс-1), это празднование предназначалось в основном для ветеранов-полярников, участников многочисленных арктических экспедиций в советское время, а также для тех, кто работает в полярных широтах и ныне. Весомым дополнением к состоявшейся конференции, на которой выступили члены Государственной думы РФ (А.Н.Чилингаров), сотрудники Роскомгидромета (А.И.Бедрицкий), Российской академии наук (В.М.Котляков), а также руководители северных регионов России, стали представленные на плакатах результаты исследований академических институтов, осуществлявшихся в рамках программы МПГ.

Институт географии РАН привел данные, демонстрирующие тенденции к сокращению оледенения в Арктике. За последние 50 лет ледники на северных архипелагах сократились на 725 км² (375.4 — на Земле Франца-Иосифа, 284.2 — на Новой Земле и 65.4 — на Северной Земле), что равно убыли всей площади оледенения на 1.3%.

Наибольший размах отступления ледников отмечается на Новой Земле (в среднем — 1.5 км, максимум — 5.56 км). Ледник Шокальского на этом архипелаге за 50 лет стал тоньше на 50 м; по данным наземного радиозондирования, максимальная толщина льда на леднике превышает 400 м, составляя в среднем 280 м; минимальные отметки ложа опускаются на 212 м ниже уровня моря. С учетом скорости движения ледника поток льда оценивается на этом участке в 57.6 млн м³/год, а айсберговый сток — в 32 млн т/год.

Приводится и такая любопытная информация: впервые в Арктике, на Шпицбергене, в результате радиолокационных исследований на ледниковом плато Амундсена выявлены плоские участки

ложа с придонными скоплениями воды, похожими на подледниковые озера в Антарктиде.

Специалисты института географии РАН проследили картину деградации ледников Полярного Урала за последние 50 лет, установив, что в недалеком будущем они могут перестать существовать вообще.

В целом отступление ледников приняло в минувшее столетие катастрофические масштабы. Например, в Альпах ледники на исходе XX в. были меньше, чем когда-либо за последние 1200 лет; в тропиках ледники (Келькайя) исчезают с площадей, которые были покрыты льдом в среднем голоцене (5.2—4.8 тыс. лет назад); беспрецедентно в масштабах последних 11 тыс. лет отступление ледников Килиманджаро.

Результаты экспериментов подтверждают предположение, что к середине XXI в. значительно возрастут региональные аномалии снежного покрова в Европе. Экстремумы же температур и осадков в Арктике к началу XXI в. уменьшаются.

В фойе Колонного зала были представлены также результаты исследования арктических биоценозов (Институт географии РАН), реконструкция последних этапов эволюции покровного и горного оледенений Хибин (Геологический институт Кольского научного центра РАН), геологических событий в Арктике в позднем триасе, юре и раннем мелу (Геологический институт РАН) и др. Геофизический центр РАН представил данные об информационном обеспечении геофизических исследований в рамках МПГ 2007—2008.

Помимо памятной медали и красочной брошюры о МПГ, каждый участник празднования получил в подарок две прекрасно изданные книги из серии «Библиотека МПГ»: «Взлеты и падения папанинской четверки» Ю.К.Бурлакова (М., 2007) и переизданную книгу воспоминаний штурмана В.И.Альбанова, уцелевшего участника пропавшей экспедиции Г.М.Брусилова на «Св. Анне» 1914 г., — «На юг, к Земле Франца-Иосифа!».

На протяжении МПГ 2007—2008 должны выйти в свет еще несколько книг: это дневники именитых полярников, художественные произведения, связанные с Арктикой, исследования исторического плана.

© Зубрева М.Ю.
Москва

Гидрофизика

Влияние льда на динамику озер

И.В.Стурова (Институт гидродинамики Сибирского отделения РАН) изучала влияние ледяного покрова на колебания жидкости в замкнутом бассейне, применяя гидродинамическое моделирование. Эти колебания (сейши) в двумерном бассейне постоянной глубины при наличии льда исследовались в рамках теории длинных волн. Были определены собственные частоты и собственные функции сейш при различных условиях на краях льда. Автором решена задача о вынужденных колебаниях воды и льда под действием движущегося возмущения атмосферного давления — циклона. Для реальных параметров озерного льда влияние циклона сказывается только при наличии берегового припая. Установлено, как изменяются напряжение изгиба льда и условия взлома припая.

Намечены возможности учета реальной топографии дна, неравномерности толщины льда, а также вероятности образования постоянных ледовых трещин на Байкале, Ладоге и других озерах.

Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2007. Т.43. №1. С.128—135 (Россия).

Гидрология

Вентиляция вод Охотского моря

Мониторинг океанографических условий показывает, что в Охотском море на протяжении летнего сезона существенную роль играет вентиляция водных масс. Она вызывается их статиче-

ской неустойчивостью на границе мелководного шельфа и континентального склона. Хотя контрасты плотности вод мелководья и открытого моря сохраняются круглогодично, однако летом проникновение вод происходит по всей их толще, а зимой — только у дна.

Эти наблюдения вела группа сотрудников Тихоокеанского института ДВО РАН (В.А.Соснин, П.Я.Тищенко, А.Н.Салюк) и германского Института Вегенера (Н.Бибоу) в ходе реализации совместного российско-германского проекта (1998—2005). Океанологические съемки осуществлялись в летний период как в одной точке, так и по широкому пространству.

Исследователи пришли к выводу, что процесс вентиляции вод стимулируется гравитационными волнами и течениями, проходящими поперек континентального склона северо-восточной части о.Сахалин. Дополнительным фактором попадания шельфовых вод в промежуточные слои и возбуждения процесса вентиляции служат приливы суточного периода.

Метеорология и гидрология. 2007. №1. С.75—79 (Россия).

Археология

Смоленск — главный город кривичей

Смоленск — один из древнейших городов Руси; с территорией, на которой он расположен, связаны многие проблемы становления Древнерусского государства. О.М.Олейников (Институт археологии РАН) изучает историю происхождения Смоленска, для полного раскрытия которой наиболее важно обнаружить те поселения, которые относятся ко времени первого упоминания этого города в летописи.

Район, где находится Смоленск, по природным условиям наиболее благоприятный на большом отрезке течения Днепра. Здесь значительно расширяется пойма реки с ее прекрасными луговыми угодьями и достаточно плодородными аллювиальными

почвами. Около Смоленска в Днепр впадают речки с хорошими долинами; одна из них имеет красноречивое название — Городянка и Смолигов ручей. Уже в 1-м тысячелетии н.э. на этом месте возникло несколько укрепленных поселений, контролировавших броды через реку. Первый брод находился между устьями речки Ильинской и Смолигова ручья, второй — между устьями речек Городянки и Чуриловки.

Первое упоминание о Смоленске как городе племени кривичей содержится в древнейшей, недатированной части Повести временных лет: «Кривичи же сядят на верх Волги и на верх Днепра, их же град есть Смоленск» (Полное собрание русских летописей. Т.2. 1962. Стб.7). Устюжская (Архангелогородская) летопись под 862—863 гг. о Смоленске сообщает, что этот «град велик и мног людьми». В 882 г. Олег захватил Смоленск и даже посадил там «муж свой» (Повесть временных лет. 1950. Т.1. С.20).

Вопрос о местоположении Смоленска IX—X вв. остается дискуссионным. Одни исследователи считают, что Смоленск первоначально располагался ниже по течению Днепра, в Гнездово; по мнению других исследователей, он всегда находился на месте современного города, но ранние его слои пока еще не выявлены. Разобраться в этом вопросе помогает изучение климатической ситуации 1-го — начала 2-го тысячелетия н.э. и ландшафтная приуроченность памятников культуры длинных курганов, оставленных кривичами.

С середины IX в. по середину X в. на этой территории отмечается очень теплый и умеренно влажный период. В это время носители культуры длинных курганов начали расселяться на восток и частично на запад по нескольким направлениям, которые позднее станут основными сухопутными дорогами в Смоленской, Тверской и Новгородской областях. На главных переправах через реки возникали довольно большие поселения, одним из них и был Смо-

ленск, державший под контролем переправу через Днепр на значительном отрезке его течения. Учитывая, что поселения в тот период располагались на надпойменных террасах благодаря низкому стоянию грунтовых вод и слабым разливам, первое смоленское поселение следует искать на правом берегу Днепра между ручьями Шкляный и Криповешский. Здесь расположена широкая ровная надпойменная терраса, закрытая с востока, севера и запада горами высотой более 70 м, а с юга — Днепром. Плато прорезают четыре ручья, имеется два брода через Днепр, т.е. с хозяйственной и военной точек зрения это отличное место. Здесь и следует искать древний Смоленск.

Культурный слой Заднепровского района Смоленска достигает 10 м. В самых мощных его напластованиях, между ручьями Ильинским и Городянкой, найдены лепная VIII—IX вв. и раннекургановая керамика X—XI вв., а также накладки и украшения, характерные для IX — начала XI в. На территории Смоленска пока не обнаружены курганные могильники конца 1-го тысячелетия н.э., но могильники кривичей располагались «на путях» вдали от поселения, о чем свидетельствуют летописи. Вокруг Смоленска на основных дорогах находятся десятки курганных групп конца 1-го тысячелетия н.э. Все это говорит о возникновении в VIII—IX вв. крупного поселенческого центра кривичей в месте пересечения главных сухопутных дорог. Позднее, когда в 15 км вниз по Днепру стал действовать путь «из варяг в греки», появилось другое обширное поселение — Гнездово, которое можно охарактеризовать как полиэтничное военизированное аграрно-торгово-ремесленное образование. В X в. оба эти крупных поселения сосуществовали вместе; видимо, Гнездово было торгово-ремесленным «пригородом» Смоленска со своим административным управлением.

В период начавшейся консолидации древнерусского государства, усилившейся при Святославе

Игоревиче и его сыне Владимире, феодализации крестьянства и последовавшем затем оседании на землю представителей дружинного сословия, происходит смена местной племенной элиты сыновьями великого князя, которые поселились в древних племенных центрах (в конце X в. Владимир Святославович поставил наместником в Смоленске своего сына Станислава, правившего там более 40 лет).

Археологические исследования, проведенные в Смоленске за последние годы, показали, что площадь культурного слоя, содержащего находки конца X — первой половины XI в., превышает 200 га — это подтверждает гипотезу о массовом перемещении народа из Гнездова и южных районов Руси в Смоленск во время правления Станислава Владимировича.

В ранний период своего существования Смоленск, видимо, состоял из нескольких поселений с усадебной застройкой. Дальнейшее изучение культурного слоя города вкуче с данными предшествующих исследований позволяют определить места, где эти поселения следует искать. В первую очередь это устья ручьев Ильинский и Городянка в Заднепровье (на это указывают местные ландшафтные особенности, мощность культурного слоя и топографическое название ручья — Городянка). Другие поселения вероятны в устьях ручьев на левобережье: в устье Рачевки обнаружены дирхемы (арабские старинные серебряные монеты), в устье Смолигова ручья — лепная керамика. Исходя из расположения вероятных мест заселения Смоленска в IX—X вв., можно предположить, что на Соборной горе находилось одно из святилищ кривичей (здесь найдены лепная керамика, характерная для культуры длинных курганов, и обломки дирхема).

Древнерусский город в контексте этнокультурных, политических и поселенческих структур. Полевой историко-археологический семинар. Старая Рязань, 17—19 июля 2007 г. Тезисы докладов. С.14—18.

Рецензии Ноосфера в Дурновском переулке

Г.П.Аксенов,

кандидат географических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

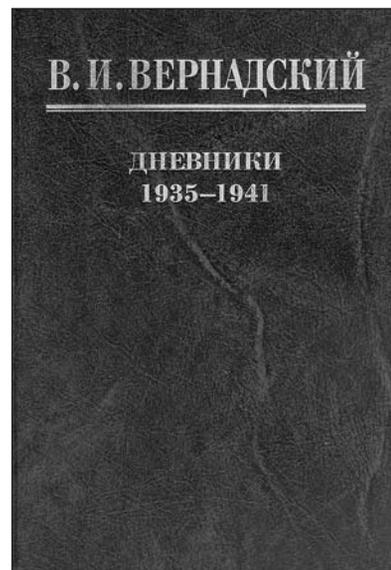
Два вышедших тома на самом деле — уже пятая и шестая книжки дневников, если не считать многочисленных случайных и отрывочных публикаций. Научное и систематическое издание началось на Украине, когда в двух книгах были опубликованы считавшиеся утраченными дневники ученого за 1917—1921 гг. [1]. Затем вышли два тома записей до 1934 г. [2]. Ныне редактор и постоянный составитель четырех последних книг доктор геолого-минералогических наук В.П.Волков работает над рукописями последних лет жизни ученого. А там дело пойдет, без сомнения, и до дневников дореволюционных лет, которые В.И.Вернадский, хотя и нерегулярно, но вел с 14-летнего возраста. Итого будет, вероятно, не менее 10 томов.

Трудно припомнить в русской культуре подобное явление обширного корпуса личных записей, такую широчайшую и яркую картину жизни. Тем более что ее дает ученый большого масштаба, живший в эпоху, невероятно насыщенную общественными, мировыми и государственными событиями.

В предвоенное время Вернадский занимает своеобразную и наиболее удобную позицию — с максимально возможными для советских условий свободой и информированностью. Он один из старейших по избранию (1906) и авторитетных, с мировым именем академиков, среди его друзей такие

же «зубры» — С.А.Чаплыгин, Н.Д.Зелинский. Не занимая официальных государственных постов, они по своему статусу находятся очень близко к властям, ощущают их ежедневную суету и пульс жизни страны. Несмотря на идущий восьмой десяток лет, Владимир Иванович в чрезвычайно активной жизненной форме. Реализуя свою главную концепцию — идею геологической вечности жизни, он создает в эти годы наиболее крупные, пионерские, обобщающие труды, описывающие природу с биосферной точки зрения. С переездом Академии наук в Москву в 1935 г. он поселился в тихом Дурновском переулке возле Собачьей площадки и продолжал руководить переместившейся сюда Биогеохимической лабораторией и оставшимся в Ленинграде Радиевым институтом.

Дневники его отражают уникальный период, когда русская наука находится в фазе явного и заметного творческого подъема, можно даже сказать — пика продуктивности, и при этом срачивается с государством со всеми сомнительными плюсами и несомненными минусами такого сплетения. Эти годы — загадка и парадокс для историков отечественной науки. Во-первых, именно тогда проявились следствия ее невероятного предреволюционного взлета, потому что вошли в зрелую пору свершений крупнейшие умы и таланты, получившие великолепное образование в русских университетах и, как правило, — высшую квалификацию в евро-



Вернадский В.И. ДНЕВНИКИ, 1935—1941: В 2 т. / Сост. В.П.Волков.

М.: Наука, 2006. Т.1: 1935—1938. 444 с.; Т.2: 1939—1941. 295 с.

пейских научных центрах. Идут последние годы их связи с мировой научной элитой. В 1935—1936 г. Вернадский совершает свои последние европейские командировки.

Во-вторых, подъем науки совпал с большевистской политикой ее возвеличивания (во главе с учением марксизма-ленинизма), как непосредственной силы построения небывалого общества. В середине 20-х были преодолены попытки леваков закрыть Академию наук как «рассадник буржуазной науки», она стала главным штабом, и под руководством старорежимных академиков начали создаваться все новые и новые институты, обеспечивавшие научный контроль над громадной территорией страны.

Но, в-третьих, неуклонный рост сопровождался столь же неуклонным и все усиливающимся с 1929 г. контролем за развитием науки и за учеными, дошедшим до прямого террора. Репрессии, нищенское и выборочное финансирование, режимы секретности и тайной слежки, путаница и бестолковщина партийного руководства, гибельное для науки содержательное планирование, понуждающее к показухе и обману — все это появилось тоже в середине 30-х годов. Ломая судьбы, опускается железный занавес, сказавшийся прежде всего на обмене научной информацией.

С дневниками Вернадского мы попадаем внутрь всей новой сложнейшей механики и начинаем в ней разбираться. Нам помогает автор записей, который обладает не только мудростью, но и гигантским жизненным и научным опытом. Он как последний из могокан старой русской интеллигенции сохраняет неизменное и точнейшее нравственное чувство в измененных условиях, когда все вещи перестали называться своими именами, когда слова и дела окончательно разошлись. Многие умы морально запутались в те годы, но Владимир Иванович

сохраняет трезвую способность отличать добро от зла.

Скорее всего, именно поэтому в Дурновском переулке как будто сосредоточилась научная жизнь того времени, во всяком случае ее отделов наук о Земле, но не только. Читая текст, мы постепенно обнаруживаем, что вокруг Вернадского создается своеобразный неформальный научный центр наиболее талантливого и делового ученого контингента. Старый ученый представляет для огромного числа коллег и нравственную опору, и мэтра, и собеседника, который всегда наведет на нужную мысль, и руководителя новых создающихся направлений, и защитника перед лицом гонителей. Недаром в апреле 1936 г. сидевший в Соловках отец Павел Флоренский писал пришедшему тогда в БИОГЕЛ сыну Кириллу: «Видел ли ты В.И.? Было бы важно, чтобы ты его видел иногда хоть на несколько минут, все получишь какое-нибудь впечатление, которое потом оформится и даст плоды» [3]. Это точно выраженное нашим великим философом и ученым чувство осознанно и неосознанно влекло множество людей в особнячок на Дурновском.

Посетители — и не по одному иногда, приходят практически ежедневно. Вот выборка из записей, например, января 1938 г.:

1 января: были заместитель по лаборатории (будущий преемник и академик) А.П.Виноградов и геохимик Б.В.Перфильев. Решали вопрос о выращивании ферробактерий и диатомовых на опытной станции в Старой Руссе. *«Добывались чуть не 10 лет»*, — записывает Вернадский.

4 января: снова Виноградов и сотрудник лаборатории В.И.Баранов — прорабатывали тезисы конференции по микроэлементам. *«Сговорились»*. В этот день Владимир Иванович отмечает, что начал работать систематически над книгой «Научная мысль как планетное явление». (Но не «Химическое строение

биосферы Земли», как сказано в комментарии. Эта книга начала создаваться немного позже, в 1940 г.)

5 января: был близкий друг филолог и историк Д.И.Шаховской. Говорили о прошлом, об их *братстве*.

8 января: были историки академик Д.М.Петрушевский, А.И.Яковлев и исключенный из академии М.Н.Сперанский. Решали вопрос о восстановлении его в Академии наук.

9 января: был директор Минералогического музея В.И.Крыжановский. Разговор об олове. Затем *«Катя Ильинская [свояченица сына. — ГА.] — ожидает взрыва религиозного гонения. Все верующие сейчас чувствуют дамоклов меч произвола. Живут с покорностью. Священники сообщают ГПУ признания на исповеди»*.

12 января: геолог О.Ф.Григорьев. Речь шла об объединенном геологическом институте.

13 января: минералог П.М.Мурзаев из Воронежа. Говорили о преподании минералогии в только еще складывающемся коллективе Воронежского университета. Затем экономист украинский академик Л.Н.Яснопольский и микробиолог С.Ф.Дмитриев. Об арестах на Украине. *«Все же научная работа не замирает, хотя сильно пострадала, но национальное ее выражение совершенно сдвлено»*. Вечером пришел Н.Д.Зелинский. *«Научный интересный разговор. О химических регуляторах жизненных явлений. Меня интересует здесь вопрос о химических функциях»*.

14 января: приходил академик П.П.Лазарев. Рассказывал о травле, ведущейся в отношении его. *«Лазарев подал записку в ЦИК. Чувствует себя нервно и отвратительно. Да еще болезнь»*.

16 января: утром были петрограф В.Н.Лодочников и Виноградов. *«Лодочников говорит, что встретил Рейнгардта после нескольких месяцев заключения. Предлагали признаться»*,

но в чем неизвестно, что он сам знает в чем. Это первый случай выпуска, о котором слышу».

17 января: была вдова почвовед А.Ф.Лебедева, преподаватель музыки Е.А.Лебедева. Рассказывала о хлопотах об арестованном сыне-студенте Николае [к тому времени уже расстрелянном. — Г.А.].

18 января: был А.Е.Ферсман. «С плохой оловорудной программой и о Геологическом институте».

19 января: был физик Н.П.Кастерин, известный противник теории относительности. «Против него большая статья в «Известиях Отделения физических наук», по его мнению — резкая и с передержками». Вечером — академик А.М.Архангельский. «С ним интересный разговор о форме исполнения нелепого распоряжения Совнаркома».

20 января: был геохимик исследователь метеоритов Л.А.Кулик. Об одном типе метеоритов.

22 января: снова Кулик, разрабатывали положение о метеоритном комитете при Академии наук. Через три месяца он был создан.

23 января: вечером физико-химик П.А.Ребиндер с женой. «Очень интересен по мысли. Идет новыми путями, прокладывая их в практику. <...> Р. добивается отделения от В.А.Кистяковского [директора Института физической химии. — Г.А.]. По видимому, два молодых талантливых (Б.В.Дерягин и Ребиндер) посажены под эгиду больного трусливого старика, ответственного за институт».

25 января: были из Института истории науки Б.Г.Кузнецов и П.Д.Дузь. «Настаивали на том, чтобы я стал во главе. Решительно отказался, но помочь всячески готов. Придется ехать в Президиум. Они говорят, что иначе их кроют». Институт действительно закрыли, потому что его директором был Н.И.Бухарин, процесс над которым тогда только начинался. Но хлопоты Вернадского не пропали даром, сразу после

войны институт вновь открыли. Приходил сотрудник лаборатории (вскоре арестованный) В.А.Зильберминц. С ним разговор о его работе — химические элементы в углях.

26 января: геохимик Я.Д.Готман. Разговор о примесях в минералах группы олова. «Хорошее впечатление». Днем старый коллега геолог С.П.Попов из Воронежа. «Мрачно смотрит — и не внешне — на будущее».

27 января: заместитель по Радиевому институту будущий академик В.Г.Хлопин и Виноградов. Говорили о необходимости решения через Совнарком давно назревшего вопроса о передаче Радиевского института в систему Академии наук.

30 января: вечером пришли С.Ю.Липшиц и В.А.Дейнега, работники Московского общества испытателей природы. В МОИПе — проверка, и они боятся, что могут отнять библиотеку старейшего, существующего с 1805 г., общества. Затем историк А.И.Яковлев — о продолжении дела по восстановлению академика М.Н.Сперанского.

31 января: днем Хлопин и радиолог И.Е.Старик. «С ними о делах Радиевского института и об организации Комитета о геологическом времени. Состав и темы». Вечером биолог Г.Ф.Гаузе. «Интересный разговор о правизне и левизне. <...> Очень интересный и выдающийся человек. Что-то загадочное. Очень знает себе цену — хорошо это для него. К моему удивлению — Пастер прав: левизна основных для жизни соединений».

И так ежедневно вплоть до отъезда Вернадского с началом войны в эвакуацию в Боровое, а последний том и доведен до этого момента. А кроме того, разумеется, Владимир Иванович сам посещает частным образом других, того же Зелинского или Ферсмана, ходит на заседания в Президиум академии или ее отделений и не обязательно только своих физико-математических наук. Например, 28 марта поехал на за-

седание Отделения общественных наук, потому что нужно было поговорить с историком Б.Д.Грековым и президентом В.Л.Комаровым о воссоздании Института истории науки и техники. Редко, но регулярно появляется в своей лаборатории в Старомонетном переулке, в здании нынешнего ИГЕМА. Кроме всего прочего, ведет телефонные переговоры, которые тоже фиксирует в дневниках. Таким образом, круг его общения только в ученой среде совершенно необъятный.

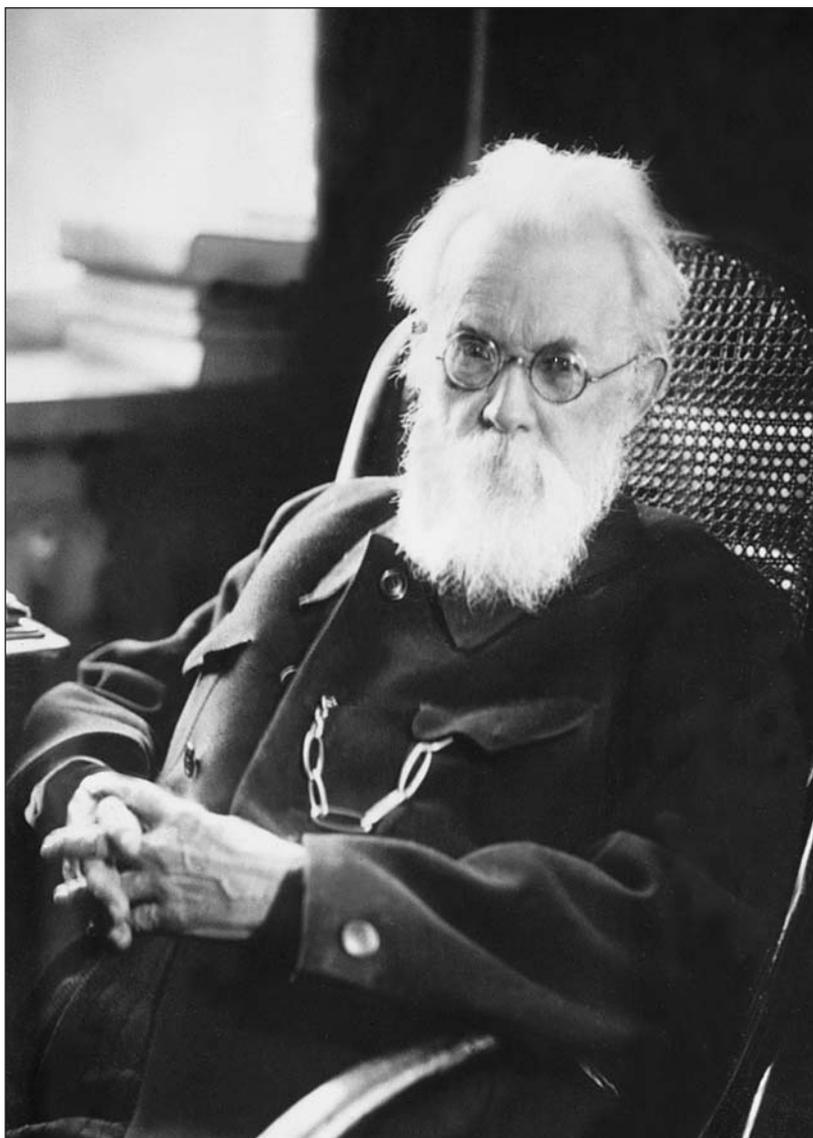
Сам список имен поразит воображение каждого: в первом томе — около трех тысяч. Если исключить упоминаемых ученых и философов предшествующих веков, начиная с античности, вненаучных знакомых и родственников, политиков того времени, писателей и других современников, то останется громадное количество действующих лиц в стране и за рубежом. Фактически вся научная элита 30-х годов связана как-то с Вернадским, а некоторые регулярно посещают его домашний кабинет. Следовательно, он был сведущ в специальности каждого. Недаром же Вернадского называют энциклопедистом — мы видим, что такое это звание на практике. Трудно даже перечислить количество ученых тем, организационных вопросов и перспективных исследований, которые инициировались, задумывались, решались в Дурновском переулке. Мы видим, как завязываются новые направления всех без исключения естественных наук, а иногда — в связи, например, с Институтом истории науки и техники — и общественных, потому что и эти его усилия не пропали даром. Институт был воссоздан, правда, уже после его смерти — в 1946 г.

И это не считая собственной научной работы. Как раз в течение 1938 г. Владимир Иванович ежедневно работал над своей самой обобщающей работой «Научная мысль как планетное явление», в которой разработа-

на ноосферная концепция истории человечества, объединяющая деятельность людей с геологической историей. К концу года он ее написал, но не мог предлагать в печать по цензурным соображениям.

Естественно, сквозная тема дневников этих лет — террор. Приходится жить прямо внутри всей атмосферы насилия и репрессий. В связи с арестами близких и дальних знакомых Вернадский вникает во все подробности, анализирует, от кого зависят судьбы людей и страны в целом: «4.I. 1938... Две взаимно несогласованные инстанции — вернее, четыре: 1) Сталин, 2) Центр. Ком. Партии, 3) Управление Молотова — правительство Союза, 4) Ежов и НКВД. Насколько Сталин объединяет? Сейчас впервые страдают от грубого и жестокого произвола партийцы еще больше чем страна. Миллионы арестованных на этой почве. Как всегда, масса преступлений и ненужные никому страдания» (Т.І. С.179).

При чтении возникает ощущение, что он пытается дать максимально возможную картину: положение в центре, на Украине, в местах лишения свободы, записывает буквально каждый случай, о котором ему становится известно, даже о незнакомых лично людях. Тут проявляется какой-то неожиданный инстинкт: оставить память о любом человеке. Его внимание привлекают не только аресты в ученой среде; сообщает, например, о рабском труде на великих стройках; о священниках, которые исчезают без всякого следа, как в средневековой Венеции. Он пытается оценить, сколько же людей находится в лагерях. 5 января 1938 г. записывает: «Миллионы заключенных — даровой труд, играющий очень заметную роль в государственном хозяйстве». (Т.І. С.180). В письме Вышинскому об арестованной своей секретарше, выдержку из которого сообщает в примечаниях публикатор, В.И. напрямую го-



1940-е годы.

ворит о следствиях террора с непосредственным его организатором: «По-видимому, мы имеем здесь явный случай действия, не оправдываемого действительностью, количество которых неизбежно увеличивается, согласно непреложным статистическим законам в массовых случаях арестов и высылки, которые мы переживаем в настоящее время» (Т.І. С.219).

Из таких записей и видно, что Вернадский — один из немногих, кто называет насилие своим именем, не принимая навязываемые властью правила иг-

ры насчет заговоров, вредителей, предателей и прочих *врагов народа*. И — никакого эзопова языка. Обо всем Вернадский пишет открытым текстом, прекрасно сознавая, что во время арестов и обысков прежде всего изымают рукописи. Но благодаря верной позиции в его доме и создается тот нравственный центр и опора для гонимых, которые сюда стремятся. Масса людей приходят за поддержкой и в расчете, что Владимир Иванович будет хлопотать и защищать. Каждый такой случай находит отражение в дневниках.

Мы сталкиваемся с совершенно удивительным сюжетом для советского времени — с неизменной, привычной для Вернадского и максимально возможной благотворительностью. В годы, когда все замерли, старались тихо пережить несчастья, и во всяком случае не общаться с «врагами народа», он поддерживал их не только морально, но и материально. «5 сент. 1937. Арестована по ложному доносу мой личный секретарь Елизавета Павловна Супрунова. <...> Обвинение связано с мезью прежнего квартиранта. Попытались заманить и меня. Писал об этом в НКВД. Совершенно невинный человек — один из миллионов. <...> В одном из мест, куда она [дочь Е.П.Супруновой Зиночка. — Г.А.] обращалась, ей указали, что она посылает много книг (моих) за границу. В связи с этим подал заявление следователю. Я взял содержание дочери — Зиночки Супруновой — на свой счет: 300 руб. в месяц (то, что получала мать). (IX 1940)» (Т. II. С. 158). Он обращается к властям: «7. II. 1938. Письмо Вышинскому об Елизавете Павловне» (Т. I. С. 218). И в конце концов добивается того, что Супрунову перевели из лагеря под Биробиджаном в Кинешму, но все же в ссылку. Здесь она и умерла в военные годы.

28 июля 1938 г. на Владимира Ивановича обрушилось сильное горе: арестован ближайший и самый дорогой друг еще со студенческих лет Д.И. Шаховской. Теперь Вернадский не просто пишет заявления, он добивается личного свидания с А.Я. Вышинским. 21 декабря 1938 г.: «Вчера был у Вышинского о Мите. Ждал (с извинениями, что так пришлось) подчеркнуто любезно. <...> В комнате портреты: при входе направо Ленин, Сталин, Молотов, налево — Каганович, Ворошилов, Ежов (sic!). Дело Дм. Ив. при нем. У него только начало. Основание для ареста было — конечно, надо проверить [чувствуется прямая речь прокурора. — Г.А.] — но се-

рьезные показания ряда лиц, м.б. неверные... Обещал следить за этим делом и смягчить, если будет осужден (сам это заявил)... обещал держать в курсе дела. Был любезен до конца. Боюсь, что будет об остатках Национального Центра [процесс над организацией либеральной интеллигенции в 1918 г. в Москве, в которой Шаховской состоял. — Г.А.]. <...> Я видел раньше Вышинского издали и раз (до последнего процесса) вблизи. Меня поразило изменение — там (на сессии по Руставели) это был светски яркий не больной человек — тут старик живой, но явно болезненный — плата истории» (Т. I. С. 378).

Он организует письмо от Академии в защиту Шаховского через депутата артиста МХАТ И.М. Москвина. Но все оказалось напрасно, друг исчез «без права переписки». В 1940 г., презрев этот зловещий рефрен, Вернадский послал на имя Берии для Шаховского письмо и свои две брошюры. «11 мая посланный от Берии вернул мне брошюры, сообщив, что Д.И. умер и чтобы я подготовил жену Д.И. <...> Били, мучили его физически или нет? Я не уверен» (Т. II. С. 141). Как теперь стало известно, Дмитрия Ивановича «судили» еще 14 марта 1939 г., перед тем действительно мучив, допрашивая 78-летнего старика сутки напролет «конвейером», и сразу же после приговора расстреляли в подвале Лубянки. Зато Вернадский узнал о мужественном поведении князя Шаховского: по словам того же Вышинского, на суде тот вел себя «дерзко».

Были десятки его сотрудников (геохимики А.М. Симорин, Б.К. Бруновский, В.А. Зильберминц), других работников Академии, о которых он хлопотал, просил, требовал в зависимости от инстанции. То были непрерывные и систематические усилия. Из записей видно, что Вернадский, оказывается, организовывал и коллективные письма академиков в защиту арестован-

ных. Так оберегли от *общих работ* сидевшего на Колыме минералога А.К. Болдырева и того перевели на работу по специальности, отстояли от ареста академика математики Н.Н. Лузина, когда против него началась травля в «Правде», которая обычно известно чем кончалась. Его открытая позиция сопротивления и спасения психологически объясняет и его собственную неприкосновенность, несмотря на массу материала, копившегося против него в недрах Лубянки. Он ни разу не поклонился властям ни в работах, ни в письмах, ни в дневниках. Тщательно следил, чтобы его имя не появилось в письмах осуждения *врагов народа*. 13 марта 1938 г. записывает: «Как-то звонили от Комарова — хотели, чтобы я подписался под заявлением академиков — я лежал, не мог подойти к телефону и сказал, что не зная что — не подписываю. Боялся, что вставят. <...> Но нет («Известия»). Для меня неприемлемо всякое убийство, и смертная казнь в том числе — твердо и непреклонно» (Т. I. С. 254). Днем раньше в газете появилось письмо за подписями 17 академиков под заголовком «Шайке фашистских бандитов не должно быть пощады». Среди них, к сожалению, было немало старых друзей Владимира Ивановича.

Научная жизнь в эпоху террора. Кто же делает положительную работу жизни? Вернадский с его историческим чутьем дает ответ: только вот эта гонимая и униженная интеллигенция. 30 июня 1938 г. в санатории Узкое записывает: «За этот промежуток [времени] все углубляется грозное разьедание государственного механизма. Продолжается самопоедание коммунистов и выдвижение новых людей без традиций, желающих власти и земных благ для себя — среди них не видно прочных людей. Серо. Выдвинутая молодежь в Академии ниже среднего. Постоянные аресты разрушают жизнь. Серьезно говорят и дума-

ют, что ценность государства разрушена в НКВД, например, Магнитогорск. А все же жизнь идет, и стихийный процесс, мне кажется (или хочется думать?) — положительный. Главная работа в тех, которые в положении рабов, это чувствующих — спецсильных, интеллигенции под кнутом и страхом и недоумением» (Т.І. С.329). В дневниках, как и в своих работах, Вернадский оценивает действительность по главным им выработанным критериям: исторический процесс есть восхождение творческой личности и проявление научной мысли. При постоянно понижающемся уровне ума и морали власти решают все только образованные

люди — своими талантами и умениями. Вот почему дневники Вернадского есть точное и неискаженное отражение действительности, том числе и такой «зазеркальной», вывернутой, как 1935—1941 гг.

Комментарии в дневниках едва ли не больше основного текста. И это совершенно оправдано, потому что записи тесные, отрывочные, краткие (много оставалось за кадром) и без разъяснений были бы совершенно непонятными. Да и количество имен, как уже говорилось, необъятное, и каждого надо было найти. Тем более что после инсульта 1937 г. почерк Вернадского сильно испортился, собирать его — трудно.

Без личного энтузиазма такие усилия никому не под силу. Вот почему нельзя не отметить громадный по объему и кропотливый труд составителя В.П.Волкова. Казалось бы, при таком обилии материала неизбежны ошибки, но их практически нет. Указанная выше неточность — редчайшая в двух томах. Комментарии — добротны.

А вот то, что в издательстве «Наука» понимают значение таких текстов, не скажешь. Во-первых, есть купюры (убраны нелицеприятные оценки некоторых ученых), а во-вторых, ничтожен тираж. Первый том выпущен в количестве 420 экземпляров, второй — 520!? Тут останавливаться в недоумении. ■

Литература

1. Аксенов Г.П. Пиковые переживания. — Вернадский. Дневники 1917—1921 гг. / Под ред. К.М.Сытника, Б.В.Левшина. Сост.: С.Н.Киржаев, А.В.Мемелов, В.С.Неаполитанская, М.С.Сорокина. Киев, 1994—1997. Т.1. Октябрь 1917 — январь 1920; Т.2. Январь 1920 — март 1921 // Природа. 1999. №6. С.114 — 117.
2. Вернадский В.И. Дневники: Март 1921 — август 1925 / Сост. В.П.Волков. М., 1998;
Вернадский В.И. Дневники: 1926—1934 / Сост. В.П.Волков. М., 2001.
3. Аксенов Г.П. Вернадский. М., 2001.

Ихтиология

ЭКОЛОГИЯ РЫБ ОБЬ-ИРТЫШСКОГО БАССЕЙНА. Науч. ред. Д.С.Павлов, А.Д.Мочек. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 596 с.

Изучение экологии столь масштабных природных систем, как Обь-Иртышский бассейн — фундаментальная многоплановая проблема. Результаты таких исследований составляют основу рациональных решений в области природопользования на национальном уровне. Весь природный комплекс Обь-Иртышского бассейна, оценка потенциала его минеральных, энергетических и биологических ресурсов имеет для Российской Федерации особую важность.

География работ, представленных в монографии, охватывает горные истоки Алтая; реки, озера, степи и тайгу Западной Сибири; магистральные водотоки и озерно-болотные системы тундры; эстуарии и опресненные акватории Обской и Тазовской губ Карского моря. Обсуждаются закономерности организации водных экосистем региона, структуры и функционирования сообществ гидробионтов.

Основная часть книги посвящена проблемам рыбного хозяйства и охраны окружающей среды, обсуждению статуса биологических ресурсов крупнейшего водного бассейна континентальной части России. Рассматриваются природные условия Обь-Иртышского

бассейна: климат, физико-химические параметры водоемов, состав и сезонная динамика сообществ гидробионтов. Выполнен таксономический, зоогеографический и палеонтологический анализ ихтиофауны региона; приводятся материалы по истории ихтиологии и рыбных промыслов. Сделан вывод о крайне напряженном состоянии ресурсной базы бассейна, вызванном хищнической промысловой нагрузкой на ценные популяции рыб и загрязнением основных водоемов, к числу наиболее опасных отнесены техногенные радионуклиды. Отражены результаты исследований паразитофауны рыб. Особое внимание уделено описторхозу — заболеванию, крупнейший очаг которого

расположен на территории Западной Сибири.

Работа написана ведущими специалистами Российской академии наук, государственных университетов Западной Сибири, рыбохозяйственных научно-исследовательских центров региона.

Морская геология

Е.С.Базилевская. ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ РУД ОКЕАНА. Отв. ред. И.Ф.Габлина. М.: Наука, 2007. 189 с. (Из сер. «Труды Геологического института».)

Известно, что в Fe-Mn отложениях сконцентрированы огромные количества Cu, Ni, Co, Zn, Pb и других металлов, придающих им высокую экономическую ценность. Однако несмотря на тысячи существующих публикаций, откуда берутся эти металлы, как образуются железо-марганцевые конкреции и корки, что служит источником поставки главных рудообразующих металлов (Mn и Fe), какая геологическая история океанского рудогенеза и ряд других проблем не имеют пока однозначного ответа.

Попытка приблизиться к решению этих вопросов и есть цель книги, в которой использованы оригинальные материалы, полученные автором в ряде морских экспедиций в Тихом и Атлантическом океанах. Большой фактический материал по Fe-Mn коркам Атлантики был собран соавтором отдельных статей С.Г.Сколотневым.

Особенность данной работы заключается в углубленном и разностороннем исследовании марганцевой составляющей окисных руд — главной рудообразующей фазы.

Издание представляет интерес для океанологов, морских геологов, литологов, геохимиков, специалистов в области геологии рудных месторождений.

История науки

В.И.Альбанов. НА ЮГ, К ЗЕМЛЕ ФРАНЦА-ИОСИФА! М.: Европейские издания, 2007. 243 с.

Библиотека Международного полярного года (2007—2008) пополнилась переизданием дневников В.И.Альбанова (1881—1919), штурмана русской арктической экспедиции (1912—1914) под руководством Г.Л.Брусилова на судне «Св.Анна». И не случайно. Валериан Альбанов — единственный, не считая матроса Конрада, уцелевший член этой полярной экспедиции. Покинув борт затонувшего во льдах судна, он во главе отряда из десяти человек устремился к Земле Франца-Иосифа, чтобы попытаться найти людей и организовать помощь оставшимся. Шансов не было никаких, но пассивно ожидать смерти на борту судна Альбанов не мог. Ему необыкновенно повезло: потеряв во льдах своих спутников, он столкнулся на мысе Флора с возвращающейся на материк экспедицией Г.Я.Седова и присоединился к ней.

Это один из самых пронзительных эпизодов из истории Арктики. Прочитав книгу, понимаешь, почему россияне во все века стремились на Север. Альбанов сохранил выписки из судового журнала пропавшей без вести экспедиции, которые положены в основу книги.

История науки

Г.П.Аксенов. В.И.ВЕРНАДСКИЙ О ПРИРОДЕ ВРЕМЕНИ И ПРОСТРАНСТВА: Историко-научное исследование. М.: ИИЕиТ им. С.И.Вавилова РАН, 2006. 392 с.

Вышло первое систематическое исследование, посвященное полной истории решения В.И.Вернадским (1863—1945) проблемы природы времени и пространства.

С самых первых шагов в науке эта тема волновала ученого, он связывал ее с самыми фундаментальными вопросами естествознания. Но только после создания учения о биосфере Вернадский получил правильную, как он считал, перспективу для описания времени, потому что основой учения стало понятие о геологической вечности биосферы или о бесконечности ее во времени. В 1929 г. Вернадский создает понятие и термин биологическое время и в течение двух лет вплотную и усиленно разрабатывает основные описывающие его эмпирические обобщения и наблюдательные факты. В 30-е годы созданное им учение о биологическом необратимом и диссимметрическом времени-пространстве позволяет ему реформировать понятие о геологическом времени, о месте жизни в научной картине мира, создать опорные черты нового естествознания.

Исследование основано как на опубликованных, так и не опубликованных при жизни произведениях ученого. В силу сложившихся особых социальных условий все они стали печататься только в 1965—1980 гг. В книге использованы многочисленные и разнообразные источники: неопубликованные заметки Вернадского разных лет, его дневники и письма, в которых отразилась история решения проблемы природы времени. В монографии показан широкий исторический фон научной революции начала XX в., в частности, создание новой физики и теории относительности, в тесной связи с которыми Вернадский решал проблему времени. Жесткие идеологические притеснения и цензура, в условиях которых пришлось работать ученому, в большей степени затруднили распространение его идей.

Музей истории Земли

*Сделать известным то, что изучено,
и изучить то, что не изучено.*

В.И.Вернадский. 1915 г.

Г.Б.Наумов,

доктор геолого-минералогических наук

*Государственный геологический музей им.В.И.Вернадского РАН
Москва*

История Государственного геологического музея им.В.И.Вернадского наглядно отразилась в его собрании. Она извилиста и поучительна.

В 1739—1740 гг. М.В.Ломоносов изучал минералогию и основы горного дела в Германии на действующих копиях Рудных гор, классических трудах Агриколы и коллекциях Фрайбергской горной академии. Здесь он понял, что учить надо «не токмо по книгам, но и по натурным предметам». Эти мысли, изложенные им И.И.Шувалову, вошли в Устав Императорского московского университета.

Университет был учрежден 12 января 1755 г., а уже 17 февраля сыновья уральского заводчика Акинфия Демидова Прокофий, Григорий и Никита дарят новорожденному музею «минеральный кабинет Генкеля», купленный их отцом во Фрайберге, и на котором учился Ломоносов, пополнив его образцами уральских и сибирских руд [1].

Дар оказался символическим, положив начало серии новых дарений, объединяя минеральные богатства Европы и Азии, связав культуру, науку, образование и просвещение.

Собрание было выставлено для обозрения в библиотеке «аптекарского дома» (на Красной площади на месте современного Исторического музея), там размещался медицинский факультет, где читались все естественные дисциплины. В 1763 г. собрание было отделено от библиотеки и передано в ве-

дение первого профессора химии и минералогии, доктора медицины И.Х. Керштенса для использования при обучении студентов. Согласно положению, каждый «доктор и профессор должен на лекциях показывать разные роды минералов, трав и животных».

В 1770 г. была создана кафедра естественной истории и земледелия, профессор которой М.И.Афонин составил «полный перечень» всех предметов.

В 1778 г. П.Г.Демидов пожертвовал свою коллекцию и «сохраненный капитал» в 100 тыс. руб. для содержания кабинета. Кафедра получила название «Демидовской». Собрание быстро расширялось, и уже в 1791 г. был создан музей натуральной истории. Он расположился в средней части главного здания университета на Моховой улице. В центре находились столы с минералами и окаменелостями, а по стенам, в стеклянных шкафах были выставлены чучела и скелеты. В 1803 г. музей открылся для посетителей и стал первым публичным музеем Москвы.

XVIII век — век Просветительства, и благородный вклад Демидовых положил начало целой серии дарений многочисленных меценатов самых разных слоев общества. Среди них коллекции титулярного советника Старикова, князя А.А.Урусова, Э.Г.Лаксмана, первого президента Российской академии наук Е.Р.Дашковой. На деньги Александра I (50 тыс. голландских гульденов) В.М.Севергин приобретает прекрасное минералогическое собрание князей Яблоновских из дворца в Семя-



Акинфий Никитич Демидов.

тичах. Музей натуральной истории был перемещен в главное здание на Моховой и занял в Актовом зале 220 м², а в 1805 г. переведен в левую половину бельэтажа площадью 1000 м².

Директором музея назначен Фишер фон Вальдгейм, который в 1806 г. издал «Описание Московского университетского и Демидовского музеев», за что получил от его императорского величества бриллиантовый перстень. Более мелкие дарения следовали одно за другим [2, 3].

Представитель следующего поколения Демидовых Павел Григорьевич в письме на имя министра народного просвещения писал: «Просвещение есть первая степень благосостояния государства» (марта 21 дня 1803 г.). Императорский московский университет получил от него в дар кабинет естественной истории, библиотеку,



Сыновья. Прокофий и Никита Демидовы.



Директор музея Фишер фон Вальдгейм. 1806 г.

собрание медалей и древностей стоимостью 250 тыс. руб. и 100 тыс. от процентов с этой суммы на содержание студентов и «одного из лучших профессоров натуральной истории и минералогии» [4].

Постепенно все в большей степени стали оправдываться слова Петра Великого, сказанные им в 1725 г. графу П.М.Апраксину: «надлежит стараться находить славу государству через науки и искусства» [5].

Большая часть поступлений в музейные коллекции погибла в московском пожаре 1812 года.

Однако уже в 1813 г. Николай Никитич Демидов передает музею новый дар: 6 тыс. образцов минералов, раковин, чучел и крупных экспонатов. В конце 1814 г. в здании на Большой Никитской восстанавливается Музей натуральной истории. Быстро пополняясь за счет новых дарений меценатов, приобретения отечественных и зарубежных коллекций, путем обмена и собственных сборов он быстро входит в число ведущих музеев Европы, выполняя прогрессивные функции образования и просвещения.

Надо отметить, что с самого момента своего создания Музей натуральной истории Московского университета существенно отличался от Кунсткамеры, заложенной в 1716 г. Если там по указу Петра собирали необычные («куриозные») творения природы, то московский музей наряду с уникальными предметами должен был хранить «типические» предметы, необходимые для процесса обучения.

Новый этап начался для музея со второй половины XIX в., когда на фоне развития естественных наук меняется понимание его функций. В музее активно работают выдающиеся ученые: В.О.Ковалевский (палеонтолог, эволюционист, которого

Ч.Дарвин назвал «лучшим палеонтологом своего времени»), А.П.Павлов (основатель московской научной геологической школы, автор понятия «антропогенная эра»). Здесь 20 лет (до 1911 г.) проработал В.И.Вернадский: «Неожиданно жизнь придала очень своеобразный облик Минералогическому кабинету. Из «учебного кабинета пособий» для преподавания в университете он, по существу, превратился в исследовательский институт такого типа, какого не было ни в одном из университетских уставов, какой никем не предполагается. Только благодаря существованию хорошей лаборатории явилась для меня возможность быстро наладить в кабинете настоящее преподавание и организовать научную работу» [6].

Постепенно музей становится крупнейшим архивом первоисточников геологического знания, сохраняющим для новых поколений коллекции по изученным и порой уже исчезнувшим геологическим объектам. Здесь наиболее полная коллекция уральских малахитов, пополнявшаяся на протяжении всего периода их добычи; сохраняются илы Аральского моря, собранные академиком Л.С.Бергом в начале века, коллекция пород Новой Земли, фиксирующая первичную естественную радиоактивность этого региона до начала его использования как атомного полигона. В собрании музея хранятся образцы, взятые на месторождениях, отработанных еще в прошлом веке. Человек быстро осваивает и видоизменяет природу, в которой он живет. Он становится «геологической силой», как говорил Вернадский, и сохранение материальных представителей исчезающих геологических объектов приобретает первостепенное научное и практическое значение.

Расширяется и география коллекционного материала. В музее путем дарений, покупки и обмена сосредотачиваются

образцы минералов, пород, руд и ископаемых остатков организмов со всех континентов мира, предметно представляющие историю развития геологического знания всего земного шара [7].

Фонды музея, его образовательная и научная деятельность настоятельно требуют соответствующих помещений, и в связи с 200-летним юбилеем Ломоносова подается прошение о выделении из государственной казны средств на строительство нового музейного здания. Деньги были получены. Задание на проектирование составляли Вернадский и Павлов. Место для здания определили между университетом и храмом Св.Георгия на Красной горке. Место достаточно узкое, и архитекторы А.С.Гребенщиков, а затем Р.И.Клейн вписали в него музей своеобразным образом, перпендикулярно к красной линии на Моховой улице, с небольшой зеленой зоной перед фасадом, выходящим в проезд.

Строительство нового здания совпало с трудным периодом первой мировой войны и революции. Тем не менее в 1918 г. музей начинает осваивать новые помещения, разворачивая научную, образовательную и просветительскую деятельность.

Начало 20-го столетия ознаменовалось быстрым развитием технического прогресса, потребовавшего освоения огромных количеств сырьевых ресурсов. Новая эпоха и новые требования отражаются и на музеях. Британский музей отводит значительную часть своих экспозиций теме полезных ископаемых. Сложнее оказалась судьба московского музея. Потребность страны в кадрах «разведчиков недр» решается за счет истории. Здание музея передается новому учебному геологоразведочному институту (МГРИ), а коллекции объединяются с коллекциями горной академии, передаются профилирующим кафедрам и систематизируются в соответствии с учебными планами.

На их базе начинается интенсивная подготовка инженерных кадров разведчиков недр. Здесь работают многие крупные ученые страны. Однако в соответствии с поставленными задачами институт концентрирует внимание на обучении. Экспозиционные залы преобразуются в аудитории и кабинеты, уникальные коллекции оказываются недоступными для активного использования. Публичная и научная деятельность отходит на второй план.

Тем не менее именно в этот период шла интенсивная разведка многих отечественных месторождений полезных ископаемых, и коллекции музея продолжали пополняться новым фондовым материалом, собранным не только сотрудниками музея, но и студентами института.

В конце 1987 г., после переезда МГРИ в новое здание, появилась возможность восстановления музея. Правительственным постановлением был воссоздан единый Государственный геологический музей. Одновременно ему было присвоено имя Вернадского как символ целостного подхода к природным процессам, объединяющего косное, живое и социальное, развивающееся на нашей планете, в ее биосфере.

В наше время возрождение Музея истории Земли приобретает особое значение. Без комплексного, «синтетического подхода», как говорил Вернадский, без целостного понимания процессов, происходящих на Земле, их взаимосвязи, в сочетании с геологической деятельностью человека невозможно решение актуальных проблем, рационального природопользования, экологии, проблем устойчивого развития цивилизации, гармонии социального, живого и косного. «Синтетическое изучение объектов природы — ее естественных тел и ее самой как «целого» — неизбежно вскрывает черты строения, упускаемые при аналитическом подходе к ним, и дает но-



П.Г.Демидов
(внук Акинфия Демидова).



Архитектор Р.И.Клейн.

вое». Говоря об особенностях научной методологии, он подчеркивал, что «рост научного знания XX века быстро стирает грани между отдельными науками. Мы все больше специализируемся не по наукам, а по проблемам. Это позволяет, с одной стороны, чрезвычайно углубиться в изучаемое явление, а с другой расширить охват его со всех точек зрения» [8].

Эти идеи Вернадского музей пытается отразить в своих экспозициях, строя их не по достаточно скучному для посетителя систематическому, а по сценар-



Музею присвоено имя В.И.Вернадского. 1987 г.



Экспозиция «Мир минералов».

ному принципу, позволяющему с помощью музейных предметов создать образы геологических объектов и процессов.

В выставочных залах музея экспонаты сгруппированы тоже не по дисциплинам, а по темам. В экспозиции «Мир минералов» раскрываются разделы: минерал и его свойства, знаменитые местонахождения минералов России, камень в культуре человечества. Здесь же представлены основные группы минералов, установлена компьютерная информационная система, позволяющая найти интересующий

минерал, узнать его свойства и витрину, где он помещен в экспозиции.

Специальный зал посвящен геосферам и происходящим в них геологическим процессам. В отдельных экспозициях развернуты темы: геология и экология московского региона, геологическая кунсткамера и исторические коллекции (из собрания VIII—XIX вв.).

Но экспозиция — только надводная часть музейного айсберга. Ядром любого музея является его собрание. Огромные ценности хранят музейные фонды, на-

считывающие более 300 тыс. предметов. Многие из них вообще не представляют интереса для экспозиции, но они бесценны для науки.

Предметы и коллекции естественнонаучных музеев являются не только памятниками культуры, но одновременно еще и памятниками природы, сохраняющими вещественные следы событий многовековой естественной истории нашей планеты и отдельных ее живых и косных объектов.

В этом отношении предметы естественнонаучных музеев являются одновременно объектами науки, составляют вещественный архив памятников природы, извлеченных из своей первоначальной среды и используемых в научных исследованиях. Некоторые из них вовсе не предназначены для экспонирования, но имеют высокую ценность для науки. Другие приобретают экспозиционную значимость только после глубокого научного изучения. Например, образец древнейшей породы или породы и рудные образования Кольской сверхглубокой скважины. Но в любом случае фонды естественнонаучных музеев нередко служили объектом ученых-естественников. Напомним, что Дарвин широко использовал данные палеонтологии, а открытие алмазов в лампроитах* Австралии заставило еще раз пересмотреть коллекции этих пород во всех музеях мира.

Как памятник природы музейный предмет наряду с уже полученными ранее данными, внесенными в его паспорт, содержит и потенциально новую информацию, которая может быть из него извлечена при использовании новых методов исследования, при возникновении иных задач и даже при появлении новых аспектов изучения природы. Здесь полезно вспомнить слова Г.Гейне о том, что «каждый век,

* Лампроит (от греческого «лампрос» — сверкать) — интрузивная горная порода щелочного ряда из семейства ультраосновных.

приобретая новые идеи, приобретает и новые глаза».

Не вдаваясь детально в эту тему, отметим, что геологический музей весьма важен для развития культуры научной работы большой группы естествоиспытателей и инженеров, связанных с проблемами рационального природопользования и устойчивого развития цивилизации.

Не случайно под руководством Министерства природных ресурсов с 1993 г. формируется Государственный банк цифровой геологической информации о недрах России (ГБЦГИ), включающий и материалы, хранящиеся в музеях. Значение этих данных трудно переоценить, поскольку сбор таких коллекций — дело дорогостоящее (экспедиции, буровые скважины, горные выработки), а подчас и не возобновляемое (исчезающие при-

родные объекты, биологические виды и т.д.).

Сейчас в Музее работают один академик РАН, 10 докторов и 22 кандидата наук.

Настало время перехода от идеи «покорения природы» к новой политике «рационального природопользования», и геологические музеи должны сыграть в этом процессе далеко не последнюю роль. Они призваны принять самое активное участие в научной работе, процессах обучения, просвещения и популяризации современного знания о природе, и, более того, показать взаимодействие ее живого и косного (неживого) вещества.

С учетом реалий современной России с ее многообразным сырьевым потенциалом, роль геологии в рациональном освоении минеральных богатств страны приобретает особое зна-

чение. И это не только поиски сырья, но и их комплексное освоение, развитие новых экологически безопасных технологий, все многогранные аспекты проблемы устойчивого развития цивилизации.

Закончить хотелось бы словами Вернадского: «Постепенно все больше и больше начинает проявляться перед нами картина будущего. Под влиянием... демократизации жизни начинает выдвигаться другая форма будущей жизни человечества — организация учащегося народа. Здесь мы видим форму организации производительную, дающую не только охрану культуры и национального существования, но творящую эту культуру, кующую национальную силу. Учащийся народ — основа широкого и мирного развития человечества» [9]. ■

Литература

1. Назаревский С.В. Благотворительная деятельность рода Демидовых // Правительственный Вестник. 1893. №84—85.
2. Брюшкова Л.П., Наумов Г.Б., Черненко В.В. Некоторые даты становления ГГМ // Геологический музей. М., 1994.
3. Соловьев Ю.Я., Бессуднова З.А., Пржедецкая Л.Т. // Мир камня. 1995. №7—8. С.12—17.
4. Русский биографический словарь. СПб., 1897—1910.
5. Ключевский В.О. Исторические портреты М., 1990.
6. Арх. РАН. Ф.518. Оп.1. Д.301.
7. История геологических наук в Московском университете. М., 1962.
8. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. Кн.2. М., 1977. С.54.
9. Вернадский В.И. // Вестник воспитания. 1913. №6. С.1—17; Вестн. высш. шк. 1988. №3. С.57—63.

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь
Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
С.В.ЧУДОВ

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
В.А.ЕРМОЛАЕВА
М.В.КУТКИНА

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.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-24-56
E-mail: priroda@naukaran.ru

Подписано в печать 14.09.2007
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 604
Набрано и сверстано в редакции

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