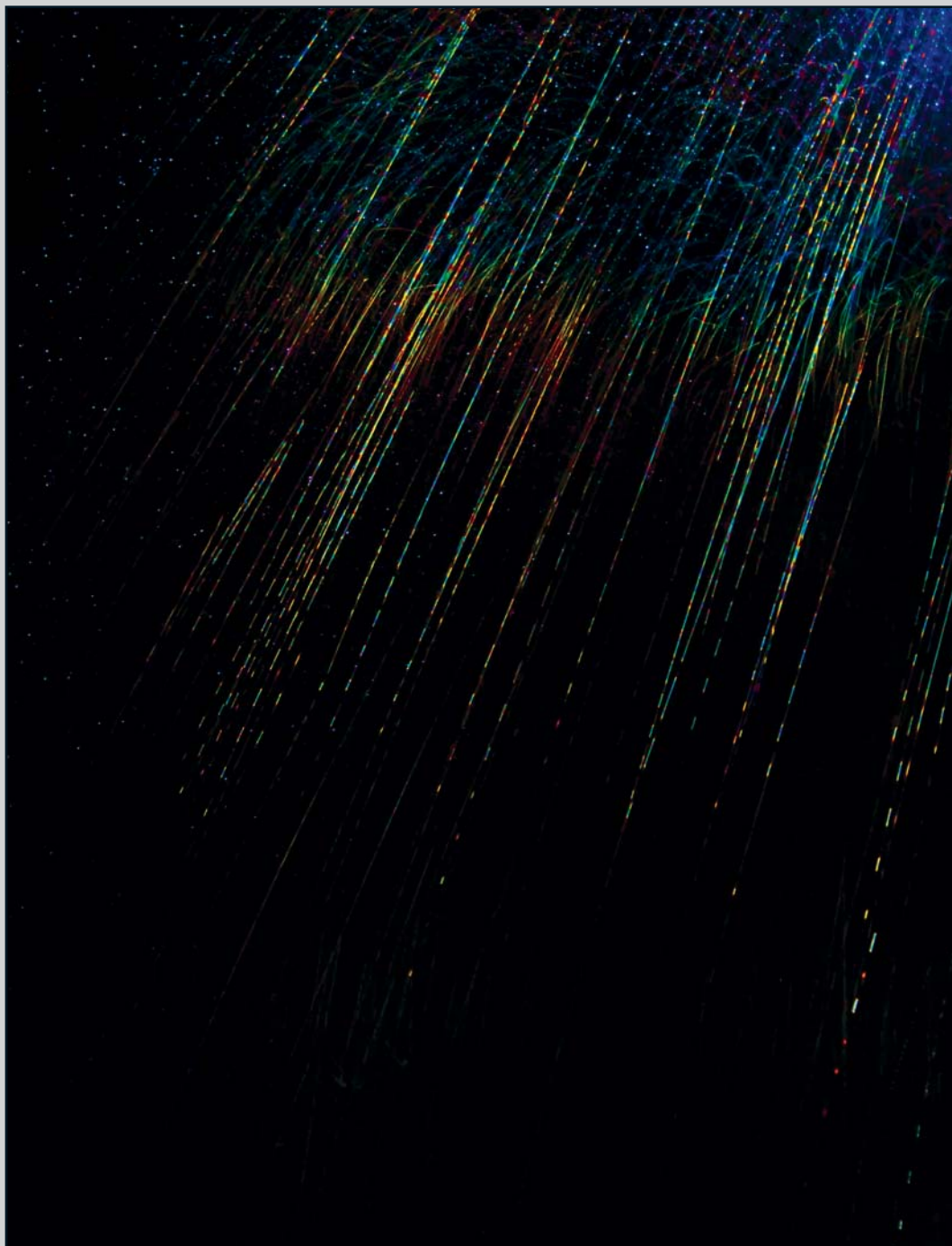


ПРИРОДА

5 12



В НОМЕРЕ:**3 Котляков В.М.****История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде**

Бурение глубокой скважины на российской антарктической станции Восток, начатое еще в 70-х годах XX в., завершилось. Уникальные данные, полученные при изучении ледяного керна, позволили проследить историю климата Земли за 420 тыс. лет.

10 Борисов Ю.М.**Горный Алтай — место взрывной эволюции В-хромосом**

Многолетнее изучение генетики популяции восточноазиатской мыши, обитающей в районе Телецкого озера, привело к замечательному открытию. У этого вида обнаружено быстрое и многократное увеличение числа В-хромосом, видимо, имеющее адаптивное значение.

20 Стерлядкин В.В.**Радужный танец дождевых капель**

Капли дождя при падении периодически меняют свою форму, и их треки на фотографиях переливаются всеми цветами радуги. Получающиеся картинки не просто красивы — они несут ценную информацию.

27 Ингель Л.Х., Петрова Л.И.**Тропические циклоны: новые идеи**

Предсказание перемещения тропических циклонов становятся все точнее и точнее, чего не скажешь о прогнозировании их интенсивности. В решении этой задачи может помочь изучение молниевой активности.

36 Алиева И.Б., Узбеков Р.Э.**Чьи у человека центриоли?**

Дефект одного-единственного белка, локализованного на едва ли не самой маленькой внутриклеточной структуре (центросоме), приводит к тяжелой патологии, передающейся по наследству.

43 Портнов А.М.**Рудный гигант в ледниковой полынне**

Железомарганцевые конкреции океана — уникальное порождение ледниковых периодов, отразившее такое сочетание условий, которого раньше в истории Земли не было.

49 Морозов Н.С.**Птицы в большом городе: как сохранить их разнообразие в лесопарках Москвы?****Лекторий****62 Гомазков О.А.****Нейротрофины: терапевтический потенциал****Вести из экспедиций****71 Медынцева А.А., Коваль В.Ю.****Новая надпись домонгольской эпохи с городища Ростиславль****Биография современника****74 Носкова Н.К.****«Заповедного не тронь!»
Ф.Р.Штильмарк: штрихи к биографии****Рецензии****80 Бялко А.В.****Физики о будущем: альтернативы
(на кн.: М.Каку. Физика будущего)****84****Новые книги****Встречи с забытым****85 Ковальзон В.М.****Забытый основатель биохимии и сомнологии****В конце номера****90 Глушков В.В.****Подвиг в арктических широтах**

CONTENTS:

3 **Kotlyakov V.M.** **Earth's Climate History Revealed from the Data of Deep Drilling in Antarctic**

Drilling of a deep borehole at Russian Antarctic station «Vostok», which started as early as 1970s, is accomplished. The unique data obtained from the study of ice cores, allows to follow the Earth's climate history for the last 420 thousand years.

10 **Borisov Yu.M.** **Altai Mountains: The Hot Spot of Explosive B-Chromosomes Evolution**

A long-term study an east-Asian mouse population in neighborhood of Teletzkoe Lake resulted in a remarkable discovery. A rapid and sharp increase of the average number of B-chromosomes with possible adaptive significance was found.

20 **Sterlyadkin V.V.** **Rainbow Dance of Raindrops**

During their downfall raindrops periodically change their form, and their tracks in photographs are shining all colors of rainbow. The resulting images are not only beautiful, they bear a valuable information.

27 **Ingel L.Kh., Petrova L.I.** **Tropical Cyclones: New Ideas**

Forecasts of the paths of tropical cyclones are becoming increasingly accurate, which can not be said about predictions of their strength. To solve this problem the study of thunderbolt activity can be helpful.

36 **Alieva I.B., Uzbekov R.E.** **Whose Centrioles Do Humans Have?**

A defect of a single protein localized in a possibly smallest endocellular structure (microcentrum) leads to a serious hereditary disease.

43 **Portnov A.M.** **Giant Ore Deposits in Ice Opening**

Manganese nodules found on ocean bottom are unique products of ice ages that reflect such combination of conditions which never arose before in the Earth history.

49 **Morozov N.S.** **Birds in Megalopolis: Is it Possible to Preserve their Diversity in Moscow Forest Parks?**

Lectures

62 **Gomazkov O.A.** **Neurotrophines: A Therapeutic Potential**

Notes from Expeditions

71 **Medyntzeva A.A., Koval V.Yu.** **A New Inscription of Pre-Mongolic Epoch from Rostislavl Site of Ancient Settlement**

Biography of Our Contemporary

74 **Noskova N.K.** **«Do Not Touch the Reserved!»** F.R.Shtilmark: Strokes to Biography

Book Reviews

80 **Byalko A.V.** **Physicists on Future: The Alternatives** (on a book: M.Kaku. Physics of the Future)

84 **New Books**

Encounters with Forgotten

85 **Kovalzon V.M.** **Forgotten Founder of Biochemistry and Somnology**

End of the Issue

90 **Glushkov V.V.** **Feat in High Latitudes**

История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде

В.М.Котляков

Бурение глубокой ледяной скважины на российской антарктической станции Восток, начатое еще в 1970-х годах, завершилось. 5 февраля 2012 г. буровой снаряд вошел в воду знаменитого оз. Восток — огромного водоема, лежащего подо льдом на глубине почти 4 км.

Это достижение по своему значению равносильно сведениям, получаемым учеными с поверхности Луны, а потому имеет глобальное значение. Но скважина на станции Восток уже принесла неоценимую информацию о прошлом климате Земли за 420 тыс. лет — базовые данные, дополненные в дальнейшем другими сведениями из Антарктического ледникового покрова, охватившими уже подавляющую часть всего плейстоцена. В этой статье я хочу кратко рассказать об истории проходки и исследованиях скважины на станции Восток и показать значение этих данных для понимания прошлых и современных изменений климата Земли.

Глубокая скважина на станции Восток

Первые глубокие скважины на ледниковых покровах Гренландии и Антарктиды появились еще в 1960-х годах, а на станции



Владимир Михайлович Котляков, академик, известный географ и гляциолог, директор Института географии РАН, почетный президент Русского географического общества. Неоднократный участник экспедиций в Арктику и Антарктиду, инициатор советско-французского проекта глубокого бурения на антарктической станции Восток.

Бэрд в Западной Антарктиде американцам удалось пробурить всю толщу ледникового покрова до контакта с подстилающими породами на глубине 2164 м. Но в то время геохимические и иные методы обработки ледяного керна еще не применялись и не было возможности детально анализировать на этой основе историю климата и окружающей среды. Такие методы были развиты чуть позже, их появление послужило толчком к бурению глубоких скважин в Антарктиде, число которых в настоящее время уже приближается к десяти (рис.1). Но все же первой ледниковой скважиной, пройденной до глубины более 3500 м, была и до сих пор остается скважина на российской станции Восток.

Станция Восток основана Второй континентальной антарктической экспедицией, уча-

стником которой был и я, в январе 1958 г. на высоте 3488 м над ур.м. На этой высоте расстилается безбрежная равнина с совершенно неземными природными условиями. Толщина ледникового покрова здесь 3740 м; верхние 120 м представляют собой снежно-фирновую толщу, а ниже залегает монолитный лед. Средняя годовая температура в районе станции -55.4°C ; здесь в начале 1960-х годов отмечена самая низкая температура на Земле -89.2°C , и она до сих пор считается рекордной.

Проект бурения скважины на станции Восток был начат Советской антарктической экспедицией в конце 1970-х годов. В начале 1980-х к нему присоединились французские ученые, а спустя еще 10 лет — американцы. Результаты исследований оказались настолько значительными, что они до сих пор при-

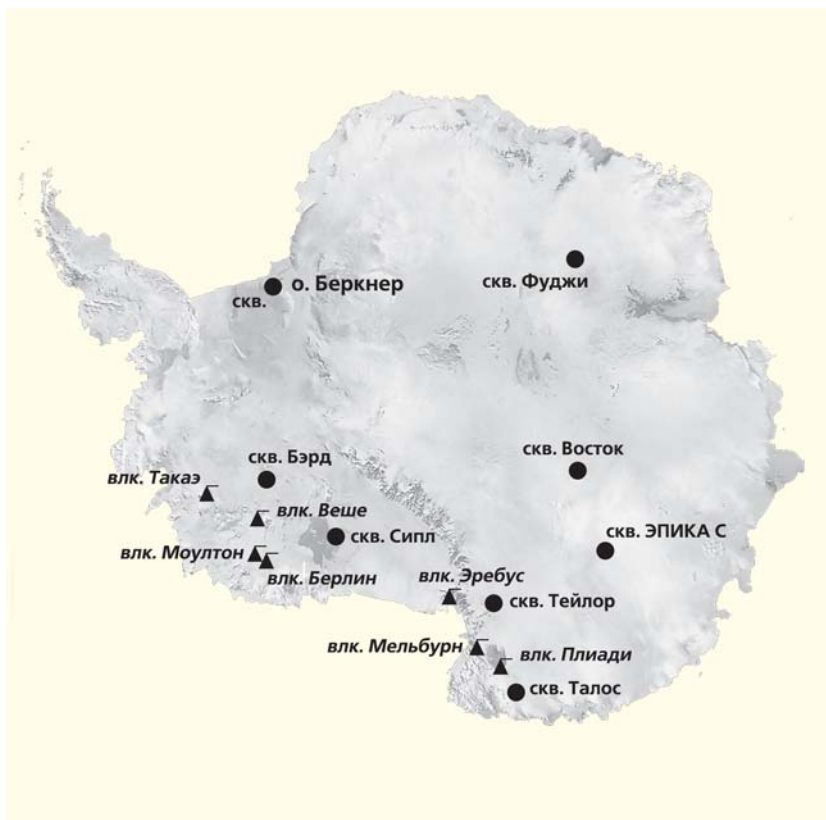


Рис.1. Глубокие скважины в антарктическом ледниковом покрове.

водятся во многих работах, принадлежащих перу и ученых, и политиков.

Глубокое бурение льда — чрезвычайно сложный процесс. Лед, как известно, очень пластичное вещество, и поэтому скважину нельзя оставлять незаполненной. При бурении приходится использовать специальные незамерзающие жидкости

с плотностью, равной плотности льда при его очень низкой температуре. Сложные условия бурения вызывали множество аварий, и лишь пятая по счету скважина почти достигла требуемой глубины. Бурение, продолжавшееся почти 30 лет, было остановлено в январе 1998 г. на глубине 3623 м, в 125 м над подошвой ледникового покрова.

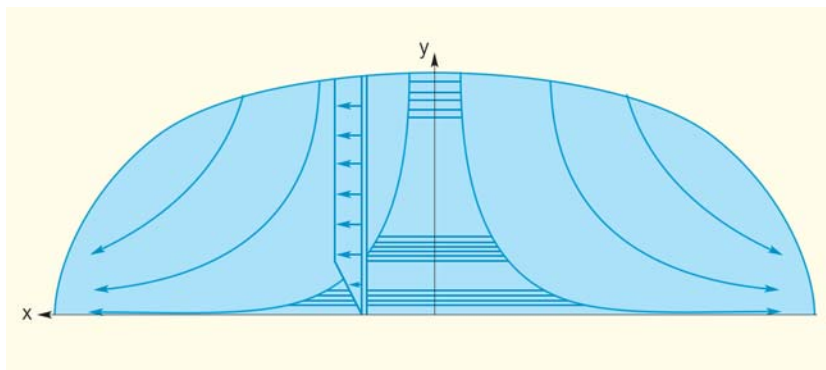


Рис.2. Схема растекания льда на ледниковом куполе. Показано утончение слоев льда с глубиной, стрелки указывают направление движения льда.

Произошло это из-за опасности проникновения бурового снаряда в подледное озеро и загрязнения уникальной водной толщи, возникшей, возможно, сотни тысяч или даже миллионы лет назад.

Ледяной керн, поднятый из скважины, представляет собой колонку льда диаметром около 10 см. Ее отдельные фрагменты (обычно длиной около 1 м) охватывают довольно протяженные временные отрезки — иногда более 100 лет. Такая высокая разрешающая способность ледовой скважины — результат уплотнения первоначально выпавшего снега на больших глубинах. Там годовичные слои превращаются в лед, растекаются и становятся очень тонкими (рис.2).

В соответствии с принятым соглашением каждый фрагмент ледяного керна распиливали на три части: для исследований в России, Франции и США. Хорошо упакованный керн содержится в специальных хранилищах и используется для лабораторных исследований.

Прошлая температура и парниковые газы

В образцах антарктического льда исследуются изотопный состав льда, примеси аэрозолей и самое уникальное, что возможно только во льду, — состав атмосферных газов.

Возраст льда рассчитывается на основе модели растекания, в которой используются три базовых предположения: 1) скорость аккумуляции в прошлом изменялась пропорционально давлению насыщенного водяного пара на высоте формирования осадков; 2) в течение всего рассматриваемого времени скорость аккумуляции между районами станции Восток и купола В, лежащего выше по течению льда, изменялась линейно; 3) лед в скважине на станции Восток на глубине 1534 м соответствует морской стадии 5.4

(110 тыс. лет назад), а на глубине 3254 м — стадии 11 (390 тыс. лет назад). Погрешность определения возраста льда по принятой методике составляет примерно 5–10 тыс. лет.

Для определения температуры прошлого в образцах льда исследуют содержание изотопов кислорода (^{18}O) и водорода (дейтерия — D). Изотопный состав льда зависит от многих факторов, главный из которых — температура атмосферы на верхней границе слоя инверсии, где образуются атмосферные осадки. Таким образом, чем больше ^{18}O и D мы обнаруживаем в пробе льда, тем выше была температура в момент выпадения осадков (снега) на поверхность ледникового щита (рис.3). В результате по изотопным данным мы получаем кривую изменения температуры за все исследуемое время. Глобальный характер установленных по керну со станции Восток климатических изменений подтверждается их сопоставлением с изотопными кривыми морских колонок, которые характеризуют изменения уровня Мирового океана.

Главное же, что удастся получить только из ледяного керна

и невозможно из морских осадков, — это состав парниковых газов в древней атмосфере, который мы можем сравнить с ходом температуры. Как воздух попадает в толщу льда? На поверхность ледника падает снег, который, постепенно опускаясь вниз под тяжестью новых порций снежных осадков, превращается в лед. Поры в рыхлом снегу, общавшиеся с атмосферой, на некоторой глубине в толще замирают. В образующихся внутри льда пузырьках и сохраняется древний воздух, который мы можем извлечь в лаборатории. Замыкание пор в условиях Центральной Антарктиды происходит на глубине около 100 м, примерно через 5 тыс. лет после отложения снега. Так, введя поправку на эти 5 тыс. лет, мы получаем графики изменения состава парниковых газов за все исследованное время.

На рис.4 приведены результаты сравнения хода кривых содержания основных парниковых газов — диоксида углерода (CO_2) и метана (CH_4) — с температурой на протяжении двух последних климатических циклов, т.е. за последние 250 тыс. лет. Прежде всего, хорошо видно,

что в определенные периоды времени температура резко возрастает, а затем относительно медленно снижается, и происходит это в самых разных масштабах времени — от столетий до тысяч и десятков тысяч лет. Здесь мы имеем дело, очевидно, с общим законом природы — цикличностью природных процессов, но причины подобных циклов еще требуют своего изучения.

Итоговые кривые, полученные по скважине на станции Восток, охватившие 420 тыс. лет и четыре климатических (ледниково-межледниковых) цикла, показаны на рис.5 [1]. Очевидная связь содержания основных парниковых газов с ходом температуры сохраняется во всех циклах. В межледниковья концентрация CO_2 во льду возрастает от 180 до 280–300 ppmv (объемных частей на миллион), а метана — от 320–350 до 650–670 ppbv (объемных частей на миллиард). Рост содержания CO_2 к межледниковым значениям идет очень быстро, а обратный переход к низким значениям ледниковой эпохи — гораздо медленнее, и на этом отрезке кривая носит «пилообразный»

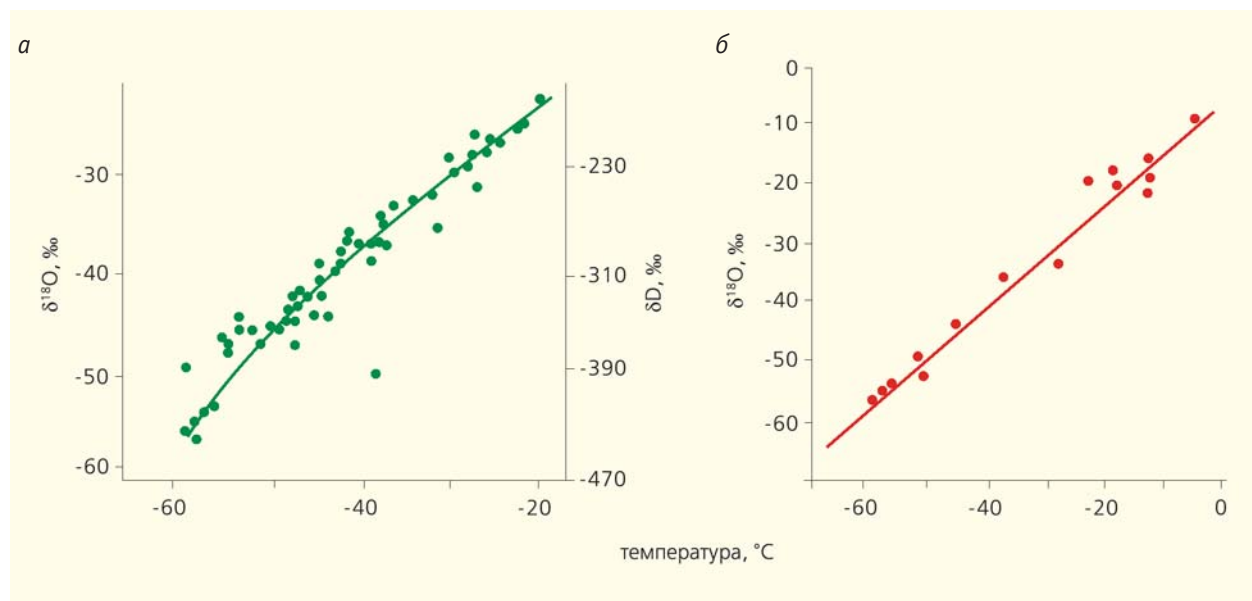
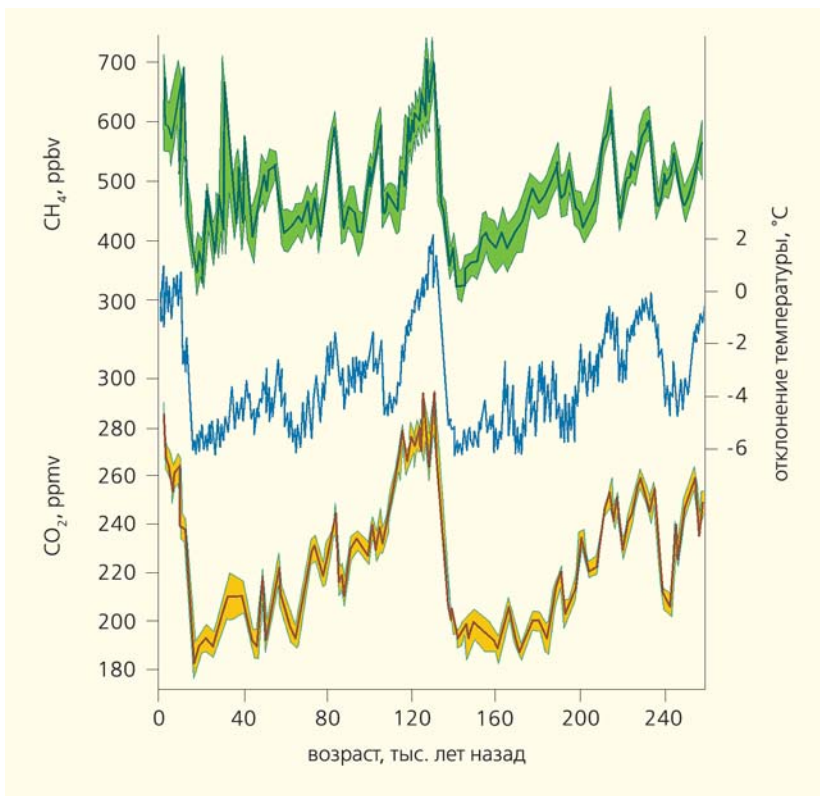


Рис.3. Зависимость содержания изотопов кислорода и водорода в снеге от средней годовой температуры воздуха в Антарктиде по измерениям: а — на траверсах, б — на научных станциях.



характер. Высокая корреляция содержания CO_2 и CH_4 и изотопной температуры свидетельствует о том, что парниковые газы, наряду с влиянием альбедо поверхности, могли вносить существенный вклад в усиление орбитального сигнала на протяжении всех исследованных циклов и таким образом оказывать влияние на изменение глобальной ледниково-межледниковой температуры.

Обычно полагают, что современный антропогенный рост содержания парниковых газов в атмосфере первичен, а сопутствующее потепление — следствие вызванного им парникового эффекта. Но можно сомневаться в однонаправленности этой связи. Наши данные подтверждают такие сомнения. Оказалось, что все четыре теплых периода в рядах станции Восток начинались с роста температуры. По крайней мере это относится к долгосрочным колебаниям, определяющим основной цикл чередования ледниковых и межлед-

Рис.4. Изменение температуры и содержания парниковых газов в ледяном керне из скважины в районе станции Восток за два климатических цикла (250 тыс. лет).

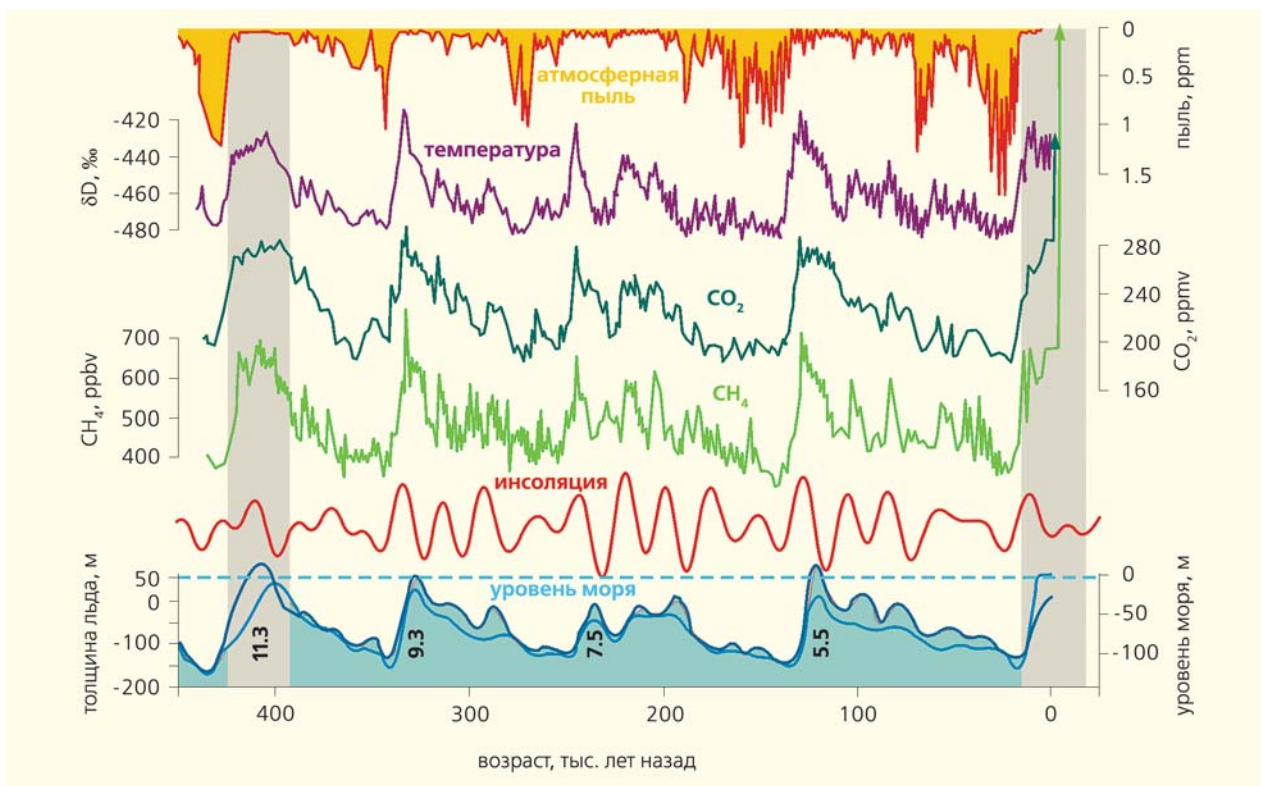


Рис.5. Изменения климата и состава атмосферы за последние 440 тыс. лет по данным керна из скважины со станции Восток.

никовых эпох. Рост концентрации парниковых газов всякий раз начинался позже, но и заканчивался тоже позже, чем потепление сменялось похолоданием. Установленные запаздывания на 2–3 тыс. лет больше, чем взаимная неточность временных шкал рядов. Таким образом, в масштабах основного ледникового цикла, как он четырежды отмечен в ледяном керне со станции Восток, изменения концентрации парниковых газов в критические моменты ледникового цикла следовали за изменениями температуры, а не предвещали их. Особо стоит подчеркнуть, что температура начинала убывать после достижения ею очень высокого значения, несмотря на то что концентрация парниковых газов все еще продолжала расти. Это обстоятельство ставит вопрос: не будем ли мы свидетелями похолодания в недалеком будущем, даже если антропогенная концентрация парниковых газов продолжит свой рост?

В последние годы ученые из ряда европейских стран пробурили глубокую скважину в Центральной Антарктиде на куполе С (см. рис.1). Несмотря на меньшую толщину льда, скважина здесь охватила не четыре, а восемь климатических циклов (рис.6). Данные по четырем последним из них по существу повторяли наши кривые со станции Восток.

Аэрозоли в ледниковом керне

Сводка данных, полученных по кернам из нашей скважины (см. рис.5), включает содержание во льду дейтерия, парниковых газов CO_2 и CH_4 и атмосферных аэрозолей (пыли). В ледниковые максимумы запыленность атмосферы, выраженная через количество осаждавшихся на поверхности ледникового щита континентальных микрочастиц, возрастала в 20–30 раз, при этом концентрация мор-

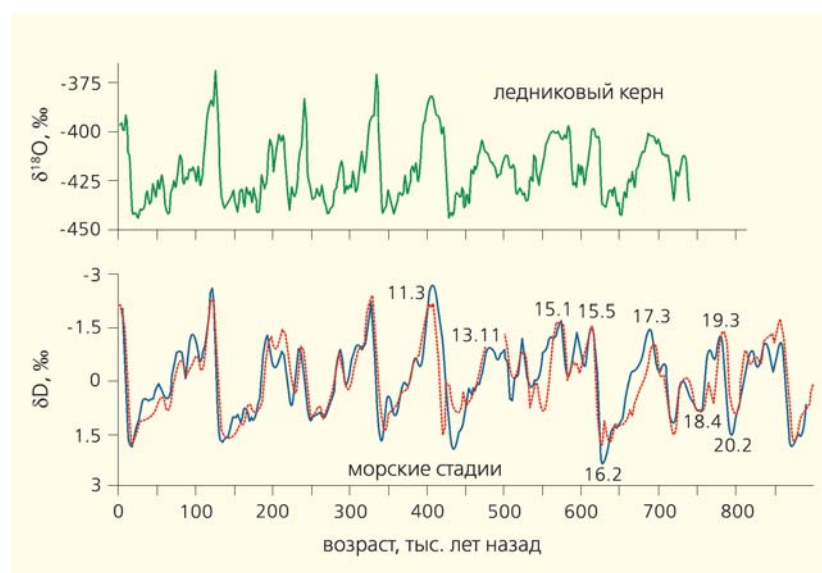


Рис.6. Изменения климата на Земле за семь климатических циклов, охвативших 750 тыс. лет.

ских аэрозолей во льду холодных эпох также была в три-четыре раза больше, чем в голоцене. В ледяном керне со станции Восток, по крайней мере на протяжении последнего ледникового максимума, обнаружены весьма крупные частицы пыли, что свидетельствует о большей турбулентности воздушных потоков в высоких широтах Южного полушария.

Данные о резко повышенном содержании пыли во льду ледниковых эпох подтверждают хорошо известную истину, что гляциальный климат характеризуется повышенной аридностью, интенсивным подъемом и переносом пыли в атмосферу. В это время уровень Мирового океана падал, значительные территории шельфа осушались и становились источником пыли. Пылевые частицы интенсивно разносились сильными ветрами, так как в холодные эпохи возрастала активность атмосферы, в частности межширотный перенос воздушных масс. Это приводило к существенному увеличению выпадающих атмосферных осадков в приполюсных районах и к возрастанию аккумуляции на полярных ледниковых покровах.

Аналогичный характер ледниковых циклов

Но вернемся к нашим данным по скважине на станции Восток. Во всех исследованных климатических циклах изменения температуры, оцененные по дейтериевым данным, были сходны между собой, хотя третий и четвертый циклы оказались короче двух последних. Несмотря на эти различия, для всех четырех климатических циклов была характерна одинаковая «пилообразная» последовательность теплых межледниковий (стадии 11.3, 9.3, 7.5 и 5.5 на рис.5), которые следовали за все более и более холодными межстадиальными событиями и заканчивались быстрым возвратом к следующему межледниковью.

Самая холодная часть каждой ледниковой эпохи проявлялась непосредственно перед ее окончанием (терминацией), за исключением третьего цикла. Причиной последнего может быть тот факт, что минимум инсоляции в июне на 65°с.ш. 225 тыс. лет назад был выше, чем в предыдущем цикле (280 тыс. лет назад), этим он отличается от трех других ледниковых эпох. Несмо-

тря на такое различие, минимальные температуры во всех четырех климатических циклах различаются всего на 1°C.

Представленные кривые содержания парниковых газов за 420 тыс. лет показывают, что в наши дни содержание CH_4 в атмосфере (1700 ppbv) вдвое больше, а содержание CO_2 (360 ppmv) — на 30% выше, чем они были на протяжении полумиллиона лет (см. рис.5). Вместе с тем уровни доиндустриального периода (соответственно около 280 ppmv и 650 ppbv) обнаружены во всех межледниковьях, а в стадиях 5.5, 9.3 и 11.3 значения диоксида углерода и метана были даже несколько выше, чем в доиндустриальную эпоху. Максимальная же температура голоцена (в том числе включая последнюю, промышленную эпоху) оказалась примерно на 1.5°C ниже максимальной температуры в предыдущие межледниковья. Получается, что антропогенное воздействие пока не оказывает заметного влияния на природные процессы. Природная машина работает по своим законам.

Изменения, происходящие в голоцене, имеют для нас особое значение, потому что это уже современная геологическая эпоха. Голоценовая история многих областей мира (и, возможно, наиболее детально — Восточно-Европейской равнины) очень хорошо изучена географическими методами (в частности, методом спорово-пыльцевого анализа). Известно, что голоцен стал самым длинным межледниковьем за последние 420 тыс. лет и длится уже более 11 тыс. лет, в то время как почти все предыдущие межледниковья продолжались всего 4–5 тыс. лет и сменялись относительно быстрым похолоданием, а затем медленным понижением температуры. Пик глобальной температуры голоцена был достигнут во время климатического оптимума 5.5–6 тыс. лет назад, после чего температура начала медленно снижаться.

Данные по скважине на станции Восток показывают, что предыдущие межледниковья (стадии 5.5 и 9.3) отличаются от голоцена, но похожи одно на другое по продолжительности, форме и амплитуде (подобные различия между межледниковыми стадиями могут вызываться разной конфигурацией земной орбиты в эти геологические времена). Похожим на голоцен по своей структуре оказалось самое дальнее от нас межледниковье — около 400 тыс. лет назад (стадия 11). Оно длилось, как и голоцен, более 10 тыс. лет, и прогноз будущих глобальных изменений в голоцене может строиться по его сценарию. При этом можно исходить из того, что концентрация диоксида углерода не превышает типичный для межледниковых периодов уровень; что не обнаружено признаков уменьшения мощности льда в центральных районах Восточной Антарктиды, и что межледниковый период, в котором мы живем, будет достаточно длинным.

Здесь стоит упомянуть и о важном результате, касающемся современного состояния антарктического ледникового покрова. Еще 50 лет назад, в своей первой книге, изданной в 1961 г., я показал на базе собранных в период Международного геофизического года материалов, что баланс массы льда в Восточной Антарктиде положительный [2]. Наши нынешние исследования [3] подтверждают этот вывод: на протяжении последних 50 лет масса льда в Антарктиде продолжает нарастать, что, очевидно, замедляет рост уровня Мирового океана.

Говоря о голоцене, мы приближаемся и к современной эпохе. Второе тысячелетие нашей эры — время преимущественно похолодания; температура на земном шаре была относительно низкой с 1100 по 1850 г., когда на Земле господствовал так называемый малый ледниковый период. На многих картинах фламандских мастеров XVI—XVII вв. за-

печатлены скованные льдом каналы в Голландии и любимая забава фламандцев — катание на коньках. С середины XIX в. глобальная температура стала повышаться, начался период глобального потепления.

Но и в эпоху потепления сохраняются природные циклы температуры, примером чего служат два периода заметного похолодания, в 10–20-х и 70–80-х годах прошлого столетия. На них отреагировали горные ледники в большинстве районов мира. В Швейцарии, где ведутся самые детальные наблюдения за их размерами, в эти годы более половины ледников наступало; их продвижения отмечены на Кавказе, в горах Северной Америки и других районах.

Итак, весь комплекс данных по ледяному керну из скважин на станции Восток и куполе С свидетельствует, что на протяжении последних 800 тыс. лет климат испытывал постоянные колебания, амплитуда которых не выходила за пределы стабильных границ климатической изменчивости. Наблюдаемая в ледяном керне устойчивая связь между изменениями температуры воздуха, вариациями содержания парниковых газов в атмосфере и колебаниями уровня моря (которые соответствует изменениям объемов материкового льда) подтверждает определенную роль парниковых газов в усилении периодических колебаний климата, первоначально вызванных изменениями орбитальных параметров Земли, т.е. изменениями инсоляции.

Подледное озеро в районе станции Восток

В заключение несколько слов о подледном озере Восток*, названном так по имени российской станции, оказавшейся как

* Этому уникальному озеру посвящен ряд публикаций в «Природе» (2000. №2. С.61; 2006. №9. С.45; 2007. №6. С.36).

раз над его северной оконечностью. Существование этого озера было предсказано советскими учеными еще в 1960-х годах, а открыто оно было всего несколько десятилетий назад. На космических снимках хорошо видна обширная выположенная поверхность ледникового покрова в центральной части Восточной Антарктиды, под которой и находится озеро (рис.7). Его длина 230 км, ширина до 50 км, площадь поверхности около 10 тыс. км². Мощность льда над озером составляет 3700–4200 м, толщина слоя воды — до 500 м, возможная мощность осадков на дне озера 100–200 м; температура таяния донного льда на границе с водой от –2.4 до –3.15°С. Лед в районе озера движется со скоростью 3 м/год, ледниковый щит над озером находится в состоянии гидростатического равновесия.

Озеро Восток, скорее всего, изолировано от внешнего мира в течение миллиона лет, а может, и дольше. Расчеты показывают, что термические условия в разных частях озера не одинаковы, и это вызывает внутренние течения и активный энергообмен. Изо льда, тающего на поверхности озера, в воду постоянно поступает некоторое количество воздуха, попавшего в лед из атмосферы сотни тысяч и миллионы лет назад. В этих

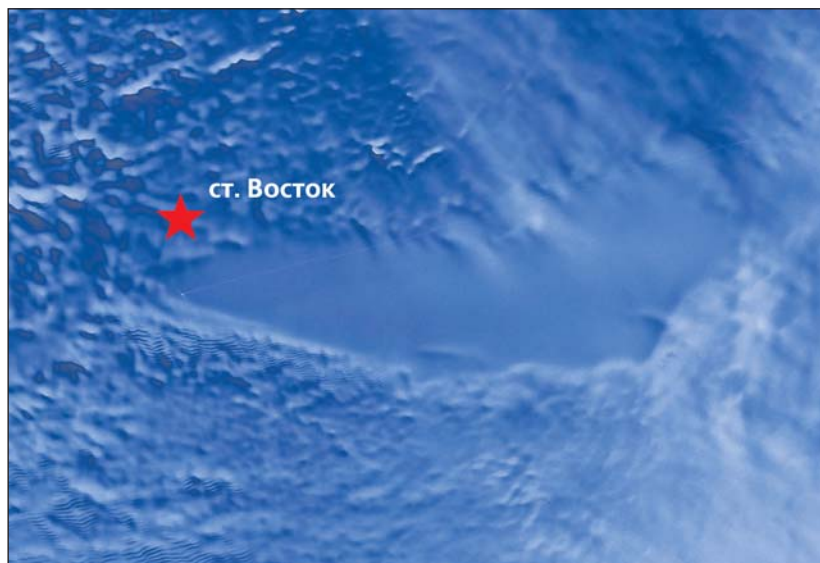


Рис.7. Подледное озеро Восток на снимке из космоса.

условиях в озере может обитать микрофауна и микрофлора, что представляет исключительный научный интерес.

Значение подледного озера Восток особенно выросло, когда на спутнике Юпитера, носящем название Европа, был открыт гигантский водный резервуар, изолированный лежащим сверху многокилометровым слоем льда. Дело в том, что, как полагают специалисты, ядро Европы из-за гравитационных эффектов самого Юпитера и двух других его спутников — Ио и Ганимеда — сильно раскалено,

в то время как ее внешняя поверхность охлаждена до –170°С. В таких условиях и образовался огромный панцирь льда, прикрывающий гигантское подледное озеро или море. Следовательно, антарктическое озеро Восток представляет собой земной аналог того, что можно встретить на других планетах. Поэтому так важно исследовать воду этого озера и его донные осадки.

Время для исследования озера Восток наконец пришло, и в этом огромное достижение российской науки. ■

Литература

1. *Petit J.P., Jouzel J., Raynaud D. et al.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica // *Nature*. 1999. V.399. P.429–436.
2. *Котляков В.М.* Снежный покров Антарктиды и его роль в современном оледенении материка. М., 1961.
3. *Котляков В.М., Москалевский М.Ю., Васильев Л.Н.* Изменения баланса массы антарктического ледникового покрова за 50 лет // *Доклады Академии наук*. 2011. Т.438. №2. С.263–266.

Горный Алтай — место взрывной эволюции В-хромосом

В силу ожидаемого ускорения микроэволюционных преобразований популяций животных, растений и микроорганизмов в условиях усиливающегося антропогенного давления на окружающую среду эволюционная теория неожиданно может стать прикладной областью.

Васильев, Большаков, 1994 г.

Ю.М.Борисов

По разнообразию ландшафта, богатству растительного и животного мира трудно найти на Земле что-либо подобное Горному Алтаю. Здесь произрастают удивительные растения; леса, горы и пустыни населены многочисленными видами насекомых, птиц, а также мелкими и крупными млекопитающими. Мне как биологу-генетику, изучающему эволюцию хромосом мелких млекопитающих в природных популяциях, посчастливилось работать в этих местах на протяжении 30 лет.

Грызуны как передовой отряд эволюции

В последние годы на ряде объектов живой природы в результате техногенного воздействия обнаружено значительное ускорение темпов эволюции. Особенно хорошо это просматривается на примере мелких млекопитающих, ведь у них хромосомные преобразования генома происходят в 10 раз быстрее, чем у крупных. Грызуны, обладающие непродолжительным жизненным циклом, служат хорошими модельными объектами для изучения эколого-эволюционных процессов и могут быть полезными при выявлении действия как техно-



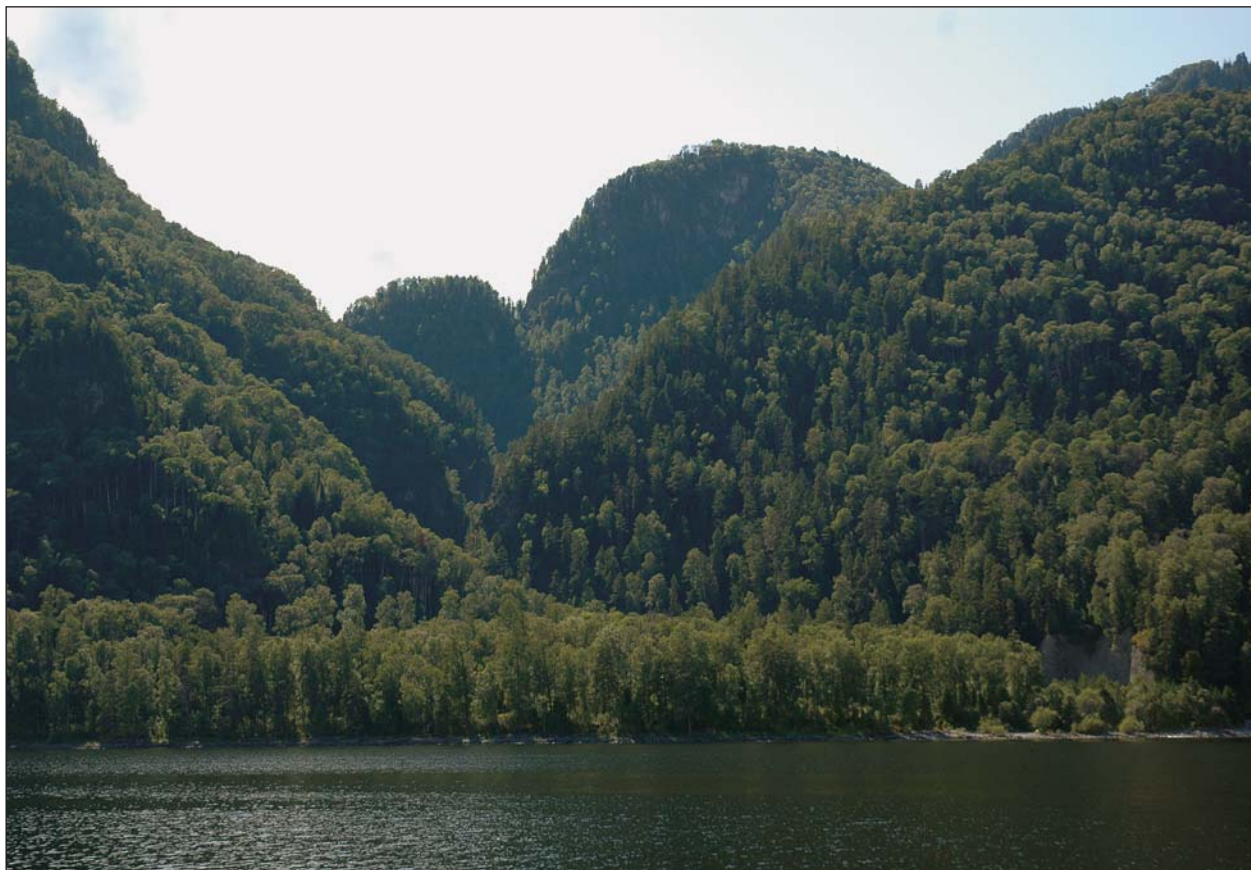
Юрий Михайлович Борисов, доктор биологических наук, генетик, ведущий научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН (Москва). Область научных интересов — эволюционная биология, популяционная генетика и цитогенетика млекопитающих и растений, структурная организация специализированных участков А- и В-хромосом. Автор «Природы» с 1974 г.

генного, так и других видов загрязнения на последующие поколения людей.

На Горном Алтае обитает 17 видов грызунов, у которых хромосомные наборы хорошо изучены. У одного из этих видов, восточноазиатской мыши, обнаружены специализированные структуры хромосомного набора — В-хромосомы. Помимо обязательных 48 А-хромосом (основного набора) в геноме мыши с побережья Телецкого озера имеются и 1—10 добавочных В-хромосом. Они выявлены у различных видов эукариот и считаются одним из самых загадочных элементов кариотипов. При избытке ДНК в А-геноме наличие еще В-хромосом (наследуемых не по Менделю, а случайно) не укладывается в рамки классической генетики.

Следует отметить, что в результате наличия и вариабель-

ности В-хромосом, негомолотичных и поэтому, как правило, не подверженных мейотической селекции, характерной для А-хромосом, открываются новые возможности при эволюции кариотипа. В них могут накапливаться новые элементы генома, которые служат источником новых регуляторных последовательностей в геномах и даже новых генов. Для В-хромосом свойственна огромная гетерогенность их молекулярного состава, в основном состоящего из разнообразных классов высокоповторяющихся последовательностей ДНК. Функции этой ДНК до конца не определены. При этом в В-хромосомах выявлены кластеры как активных, так и неактивных генов рибосомной РНК. Эти гены начинают производить массу своих копий при стрессовых воздействиях на организм. За по-



Мышиные берега Телецкого озера.

Здесь и далее фото автора (исключение специально помечено)

следние полвека предложено множество версий о происхождении В-хромосом и их генетическом влиянии на А-геном того или иного вида. При существующем парадоксе избыточности ДНК А-хромосом, необходимой для кодирования белковых молекул, еще более загадочно наличие у многих организмов (1800 видов животных и растений) дополнительных В-хромосом [1].

Известно, что среди млекопитающих В-хромосомы чаще всего встречаются у грызунов (50 видов) — как правило, у видов, отличающихся высокими темпами хромосомной эволюции и населяющих обширные ареалы. Это как бы передовой отряд эволюции млекопитающих. В частности, к одному из них относится группа мышевидных грызунов рода лесных мышей *Apodemus*. У шести видов

этого рода выявлены В-хромосомы, которые, согласно нашим данным, имеют независимое происхождение. Однако способность нести В-хромосомы эти виды унаследовали от общего предка. Вероятно, что В-хро-

мосомы разных видов — это сборная группа, в которую входят хромосомы различного происхождения и состава, по-разному проявляющие себя в геноме и имеющие различное значение для эволюции вида.



Восточноазиатская мышь — герой наших исследований.

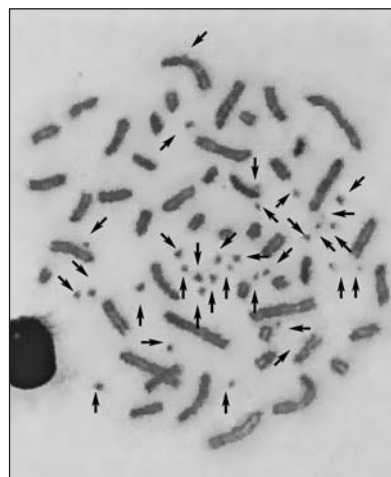
Популяционное многообразие В-хромосом

Среди 70 видов млекопитающих, имеющих В-хромосомы, особое место по количеству и изменчивости занимает восточноазиатская (корейская) мышь *Apodemus peninsulae*. Почти все особи этого вида, населяющие обширную часть Евразии, содержат от 1 до 30 В-хромосом с разнообразными морфотипами: от первичных точечных микро- до макро-В-хромосом, размер которых сопоставим с самой большой А-хромосомой [2]. У восточноазиатской мыши можно выделить несколько классов В-хромосом, различных по размеру и морфологии: от 1–30 мелких точечных микро- до 1–3 крупных двуплечих макро-В-хромосом. У других видов в основном наблюдаются 1–3 В-хромосомы, и при этом они встречаются только у редких особей популяции [1].

Самым большим разнообразием морфотипов В-хромосом и их численностью отличаются сибирские популяции, при этом каждая из них имеет свой вари-

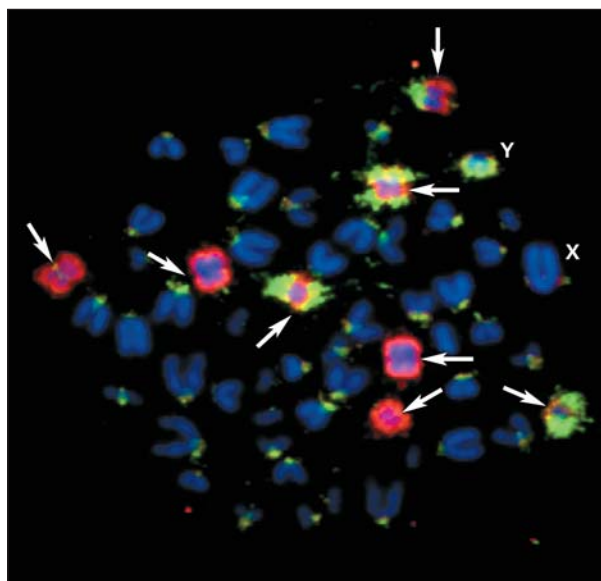
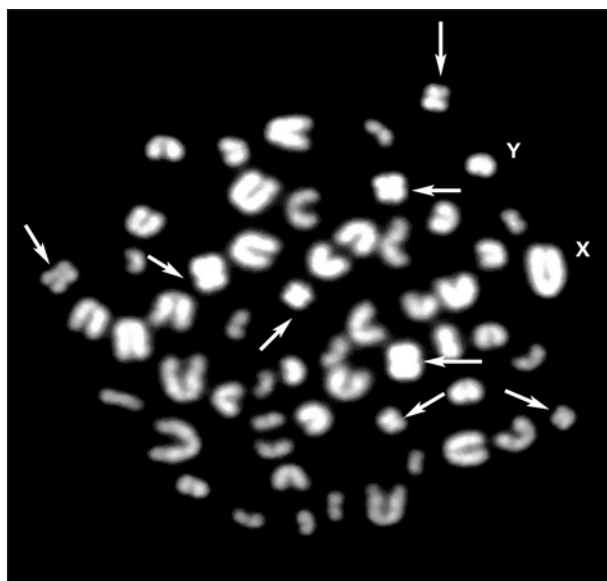
ант популяционной системы В-хромосом [2]. Так, у мышей, отловленных в среднем течении Енисея и в 85 км ниже по течению от Железногорского горнохимического комбината, обнаружены только микро-В-хромосомы, насчитывающие до 26–30 у отдельных особей [3]. Возможно, такая уникальная для вида популяция появилась благодаря воздействию радиационного загрязнения поймы Енисея (район сброса радиоактивных отходов). В этих условиях у мышей должна возрасти частота мутаций в А-хромосомах (точнее, разрывы нити ДНК в горячих точках), что приведет к образованию новых микро-В-хромосом и к росту их числа в популяции [4]. Видимо, в изученной нами популяции мышей с левого берега Енисея микро-В-хромосомы постоянно возникают *de novo* и быстро накапливаются до критического числа — порядка 30. Появление микрохромосом мы наблюдали в популяции северного и южного побережья Телецкого озера.

С другой стороны, в микро-В-хромосомах мышей Сибири



Метафазная пластинка хромосом мыши *A. peninsulae* с 30 микро-В-хромосомами (указаны стрелками).

были выявлены ранее неизвестные неконденсированные повторы ДНК. Возможно, внедрение таких повторов в микро-В-хромосомы останавливает их реорганизацию в макро-В-хромосомы и способствует накоплению в популяции [5]. Наряду с крайними вариантами (только микро- или только макро-В-хромосомы) в этих популяциях



Последовательное окрашивание метафазной пластинки лесной мыши с восемью В-хромосомами (указаны стрелками): слева — красителем DAPI (инвертированное изображение); справа — флуоресцентная *in situ* гибридизация различных ДНК-проб В-хромосом (красный и зеленый сигналы). Выявление неконденсированной ДНК на В-хромосомах (зеленый сигнал на теломерных районах трех В-хромосом).

Фото Т.В.Карамышевой

чаще встречаются комбинации как 1–10 макро-, так и 1–12 микро- в различных сочетаниях (1–24). У мышей обнаружено множество индивидуальных вариантов системы В-хромосом, возникших благодаря различному сочетанию в кариотипе пяти морфотипов — микро-, мелких акроцентрических и трех морфотипов двуплечих В-хромосом разного размера [6].

С помощью дифференциальной G- и C-окраски хромосом, а также методом FISH (флуоресцентной *in situ* гибридизации ДНК) продемонстрирована неоднородность В-хромосом, относящихся к одному и тому же морфотипу. При C-окраске некодирующих гетерохроматических участков показано, что В-хромосомы восточноазиатской мыши имеют сложную структуру. Выявлена также индивидуальность вариантов В-хромосом сибирских популяций и их гипервариабельность по составу ДНК. Но при всем таком разнообразии в каждой популяции существуют определенные рамки этих комбинаций по числу, по морфотипу В-хромосом и составу их ДНК [2, 4].

При, казалось бы, случайном наследовании этих индивидуальных и «эгоистичных» В-хромосом, имеющих, по мнению биологов, у некоторых видов паразитическую природу, хаоса в создании популяционных вариантов системы В-хромосом не происходит. В природных популяциях восточноазиатской мыши обнаружены определенные закономерности устойчивого поддержания на протяжении многих лет конкретных вариантов системы В-хромосом. В частности, используя макро- и микро-В-хромосомы как маркер, нам удалось выявить в Забайкальском регионе пять географических популяций *A. peninsulae* и показать их устойчивость по морфотипам В-хромосом в пространстве и времени. Но, оказывается, есть и исключение, удивительное и до конца не понятое явление.

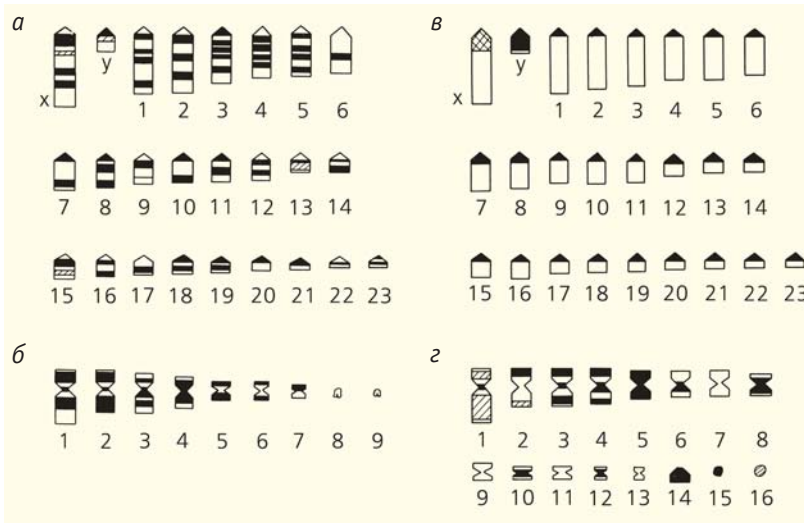


Схема окраски основного набора А-хромосом (а, в) и В-хромосом (б, г) мыши *A. peninsulae* при G-окраске (а, б) и при C-окраске (в, г). Варианты В-хромосом от разных мышей при G-окраске (б) и 16 вариантов В-хромосом при C-окраске (г).

Взрывной рост числа В-хромосом

Благодаря многолетним исследованиям на территории Телецкого научного стационара Института систематики и экологии животных СО РАН нам удалось открыть в популяции восточноазиатской мыши *новое микроэволюционное явление*: за короткий исторический период в 22 года (1980–2002) там произошло быстрое и многократное увеличение среднего числа В-хромосом, видимо, имевшее адаптивное значение [7].

Это явление, как оказалось, представлено во времени двумя основными фазами. В первой, продолжавшейся с 1980 по 2002 г., начался быстрый многократный рост числа двуплечих макро-В-хромосом. Во второй (2002–2011) установился новый высокий уровень средних чисел В-хромосом.

В начале исследований (1980) среднее число двуплечих макро-В-хромосом составило 2,3 — при варьировании чисел В-хромосом от 1 до 4. Мы предположили, что зарегистрировали широко распространенные циклические процессы, сопровождающиеся подъемом числа

В-хромосом, с последующим их спадом (возможно, связанными с численностью популяции). Конечно, даже для В-хромосом популяционный рост их числа в два раза — явление необычное. Известен только единственный случай, когда за 10 лет у одного из видов рыб число В-хромосом увеличилось на 20%. Наш случай исключительный.

При последующем обследовании мышей в окрестностях пос. Артыбаш в 2002 г. мы обнаружили, что среднее число В-хромосом увеличилось до 6,5. Значит, за достаточно короткий период времени (1980–2002), сопоставимый со сменой 10 поколений мышей, впервые был зарегистрирован феноменальный — почти трехкратный — рост числа В-хромосом в этой популяции [8]. Это уже заставляло задуматься. И так мы думали еще четыре года, занимаясь при этом вопросами микроэволюции хромосом других видов млекопитающих.

Через четыре года, в 2006 г., мы возобновили обследование этой популяции и обнаружили, что среднее число В-хромосом у мышей осталось прежним — 6,5, как и в 2002 г. Видимо, это было неслучайное явление.



Места отлова восточноазиатских мышей: на южном побережье Телецкого озера и в долине р.Чулышман.

В 2008 г. среднее число В-хромосом в этой популяции составило 7.1. В 2009 г. численность популяции мышей Горного Алтая значительно сократилась, и нам отловить их не удалось. Вообще отлов восточноазиатских мышей по разным причинам очень затруднен. Можно ставить на ночь целую линию живоловок (по 20–50 штук на протяжении 100–250 м), а поймать только полевков и бурозубок. Поселения лесных мышей располагаются пятнами, и их еще надо найти.

Через год нам повезло — в 2010 году мы отловили необходимый минимум — 11 мышей. Даже после значительного спада численности в 2009 г. и прохождения популяции через «бутылочное горлышко», среднее число В-хромосом в этой популяции снова, как и в 2002 и 2006 гг., равнялось 6.5. Значит, после 2002 г. рост числа В-хромосом в этой популяции практически остановился. Как оказалось, за последние десять лет среднее число В-хромосом стабилизировалось на новом повышенном уровне. Вариабельность В-хромосом установилась на новом уровне — 4–10 В-хромосом. Данные за 2011 г. подтвердили версию о такой стабилизации: среднее число В-хромосом для 16 мышей, отловленных в этой популяции, было равно 6.6.

Таким образом, при всей исключительности взрывной эволюции числа В-хромосом, произошедшей за 22 года в этой популяции, в последующем система В-хромосом вышла на новый, повышенный и при этом устойчивый уровень.

Следует отметить, что в этой популяции до 1990 г. увеличивалось число только макро-В-хромосом. Микро-В-хромосомы (наряду с макро-) мы впервые обнаружили только в 2002 г., когда среднее число В-хромосом стабилизировалось. В последующие годы (2006 и 2008) при практически стабильном среднем числе В-хромосом рост

№	Пол	Вариант системы В-хромосом	В-хр.	№	Пол	Вариант системы В-хромосом	В-хр.
1	♂	x	1	1	♂	Xx	2
2	♂	xx	2	2	♂	Xx•	3
3	♂	xx	2	3	♂	Xxxx•	5
4	♂	xx	2	4	♀	XXXXxx	5
5	♂	xx	2	5	♂	XXXX•	5
6	♂	xx	2	6	♂	XXxΛ•	5
7	♂	Xx	2	7	♀	XXXXΛ•	6
8	♀	xxx	3	8	♀	XXXXxxx••	7
9	♀	xxx	3	9	♂	XXXXxxΛ	7
10	♀	XXXX	4	10	♀	XXXXxxx	7
1980. Среднее число В-хромосом			2.3	11	♀	XXXXxxx	7
				12	♀	XXXXxxx•	8
				13	♀	XXXXxxxΛ	8
				14	♂	XXXXxxΛ•	8
				15	♂	XXXXxxΛΛ	8
				16	♀	XXXXxxΛ•	9
				17	♀	XXXXxxΛxxΛ	10
				2006. Среднее число В-хромосом		6.5	

Популяционные системы макро- и микро-В-хромосом *Apodemus peninsulae* из окрестностей пос.Артыбаш (Горный Алтай) в 1980 и 2006 гг.

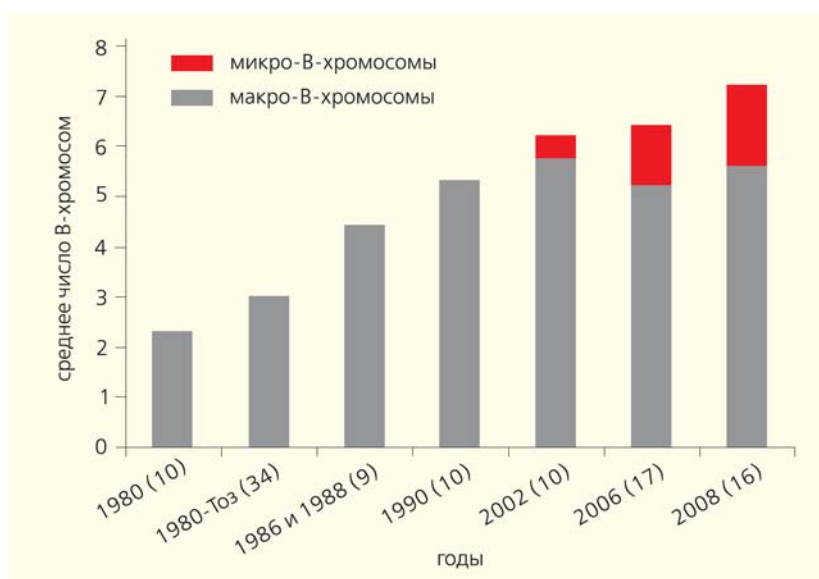


Диаграмма роста индекса среднего числа В-хромосом в популяции восточноазиатской мыши Горного Алтая (окрестности пос.Артыбаш) за 1980—2008 гг., регистрация появления микро-В-хромосом в 2002 г. и их сохранение в 2006 и 2008 гг. (красный цвет). По оси ординат — среднее число В-хромосом (I–III и IV–V классы В-хромосом), по оси абсцисс — годы отлова мышей, в скобках — число особей.

числа микро-В-хромосом продолжился. Видимо, это связано с динамикой образования микро-В-хромосом и их реорганизацией в макро-В-хромосомы. Ранее при локализации повторов ДНК с помощью метода FISH обнаружили, что микро-В-хромосомы — это производные фрагментов прицентромерных районов А-хромосом. Возможно, в годы появления и роста числа микро-В-хромосом увеличивается частота разрывов А-хромосом в горячих точках. На последующих этапах микро-В-хромосомы не успевают преобразоваться в макро-В-хромосомы. В обследуемой популяции мы не встретили мышей с числом В-хромосом выше, чем 10. Это критическое число для мышей с побережья Телецкого озера. Следует отметить, что в каждой сибирской популяции этого вида мыши поддерживается определенное критическое число микро- и макро-В-хромосом [2].

В-хромосомы — мусор или резерв эволюции?

Мобильная смена числа и морфотипов В-хромосом, произошедшая за 30 лет в одной из популяций восточноазиатской мыши Горного Алтая, позволяет по-новому осмыслить роль В-хромосом в микроэволюции вида и подтверждает их значимость для работы генома. Обнаруженные в этой популяции новые эколого-эволюционные процессы уникальны для данного вида и для других видов млекопитающих. В других популяциях восточноазиатской мыши в ее обширном ареале подобных явлений в динамике В-хромосом не отмечено [7]. С другой стороны, вполне возможно, что появление В-хромосом у деревьев ели (*Picea obovata* и *Picea glauca*), произрастающих в крупных промышленных центрах (Красноярске и Воронеже), происходит в результате мутаций А-хромосом при воздействии на растительность выбросов пред-

приятый и влиянии выхлопных газов автомобилей [9].

Движущей силой распространения большинства В-хромосом служит селекция особей, имеющих их, по способности давать потомство. При этом В-хромосомы не должны оказывать значительного отрицательного воздействия на А-геном, а при положительном влиянии вероятность передачи В-хромосом в поколениях возрастает.

В-хромосомы имеют собственные механизмы увеличения численности: их нерасхождение при мейотических делениях и попадание только в одну из клеток; собственные генетические эффекты, усиливающие рекомбинацию, подавляющие конъюгацию, влияющие на частоту образования хиазм при обмене участками хромосом и ведущие к элиминации хромосом. Благодаря этим эффектам В-хромосомы служат источником генетических новшеств, позволяют организму справляться с новыми условиями среды, не изменяя своего основного набора. Варибельность добавочных В-хромосом, по-видимому, способствуют выживанию особи в необычных и экстремальных для нее условиях.

Благодаря варибельности В-хромосом эволюционный путь кариотипа становится независимым от мейоза и потому более многообразным. Для В-хромосом, как правило, не имеющих гомологичной пары, нет ограничений при мейотических делениях клетки, свойственных парным диплоидным А-хромосомам. За счет нейтрального накопления в В-хромосомах мутаций и их возможных потенциальных перемещений в А-хромосомы разнообразие генома может увеличиться, при его преобразовании — ускориться, и, как следствие, пластичность и устойчивость генома возрастает.

Следует отметить, что функциональная значимость варибельности гетерохроматических участков А- и В-хромосом в целом пока не определена.

При этом существует довольно много примеров, показывающих разнообразные эффекты влияния В-хромосом на фенотип своего носителя. Их наличие или отсутствие, несомненно, сказывается на работе генома. Но каковы механизмы этих процессов? О них известно очень мало. В основном имеются лишь предположения. Мы еще очень далеки от решения этой загадки, сложность которой пока многих отпугивает. В настоящее время подготовлены новые, молекулярные, методы для решения этой глобальной задачи. Идет своего рода международная гонка вооружений в области знаний о структуре и функции В-хромосом.

В-хромосомы служат источником новых регуляторных последовательностей ДНК и даже новых генов — на начальном этапе в виде нефункциональных псевдогенов. Действительно, такой псевдоген, относящийся к онкогену С-KIT, обнаружили в В-хромосомах енотовидной собаки и лисицы [10]. Кроме того, в В-хромосомах найдены скопления сегментных дупликаций (копий ДНК, перенесенных с одного участка генома в другой). Известно, что в таких областях могут формироваться новые кодирующие последовательности, подверженные селективному отбору. Дополнительные копии генов способны усиливать иммунный ответ и реакцию на стрессы.

Для расшифровки нестандартных (специализированных) участков генома необходимы особые подходы. Тут есть определенные трудности, до конца не решенные, а природа неизвестного сразу обрастает спекуляциями. Так, в авторитетном журнале «Nature» один автор утверждает, что избыточная ДНК — мусор, а другой, не менее именитый, приводит факты о ее огромной роли в эволюции. Попробуем и мы разобраться в этом, хотя вопросов здесь пока больше, чем ответов. Большой фактический материал сви-

детельствует, что избыточная ДНК играет огромную роль в регуляции работы кодирующих генов, В-хромосомы — частный случай variability гетерохроматических участков, только протекающей вне основного А-генома.

Что запускает взрывную эволюцию В-хромосом

Очень трудно вычлнить единственный фактор, послуживший пусковым механизмом геномных мутаций в В-хромосомах восточноазиатской мыши Горного Алтая. *Это, должен быть, какой-то новый для региона фактор.* Видимо, его проявление каким-то образом связано с периодом взрывной эволюции В-хромосом. Может, это результат вирусной пандемии? Например, внедрения в геном мыши вируса клещевого энцефалита? Но штамм клещевого энцефалита дальневосточного субтипа имеет более сильные проявления, чем сибирский субтип. Многие факты свидетельствуют против вирусной гипотезы пусковых механизмов в преобразованиях В-хромосом.

Может, это влияние перемещающихся по геному мобильных элементов транспозонов? Но что их заставило активизировать свое перемещение по геному? Стресс? Достоверно об этом неизвестно. Откуда такой всплеск эволюции В-хромосом за время жизни небольшого числа поколений мышей? Какие внешние факторы могли способствовать росту числа и изменчивости морфотипов В-хромосом? Какие новые факторы способны приводить к подобной реорганизации генома за короткий период времени?

Есть одна особенность обследованных нами районов. Дело в том, что Горный Алтай в течение длительного времени служит местом, куда падают ступени ракет. В район падения 326, частично покрывающий Алтайский государственный заповед-

ник и прилегающий к исследуемой территории, к 2006 г. было сброшено 618 ракетных ступеней, в каждой из которых оставалось до 800 кг «знаменитого» гептила (НДМГ). Этот компонент высокотоксичного ракетного топлива относится к отравляющим веществам 1-го класса опасности. Так, Л.Е.Панин и А.Ю.Перова в лабораторных опытах обнаружили, что у новорожденных крысят гептил вызывает иммунодефицит и дистрофические изменения в печени, а также повреждает эритроцитарные мембраны [11].

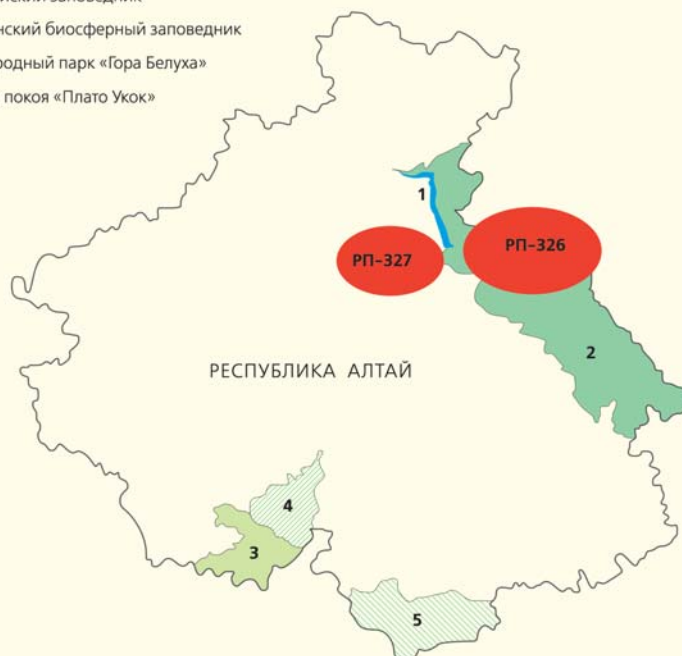
При окислении кислородом воздуха гептил превращается в сильнейший мутаген — метилдiazгидроксид, сохраняющийся в почве неопределенно долго. Его производные имеют свойство накапливаться в растительном покрове, основном питательном ресурсе полевых и мышей. По данным зоологов из



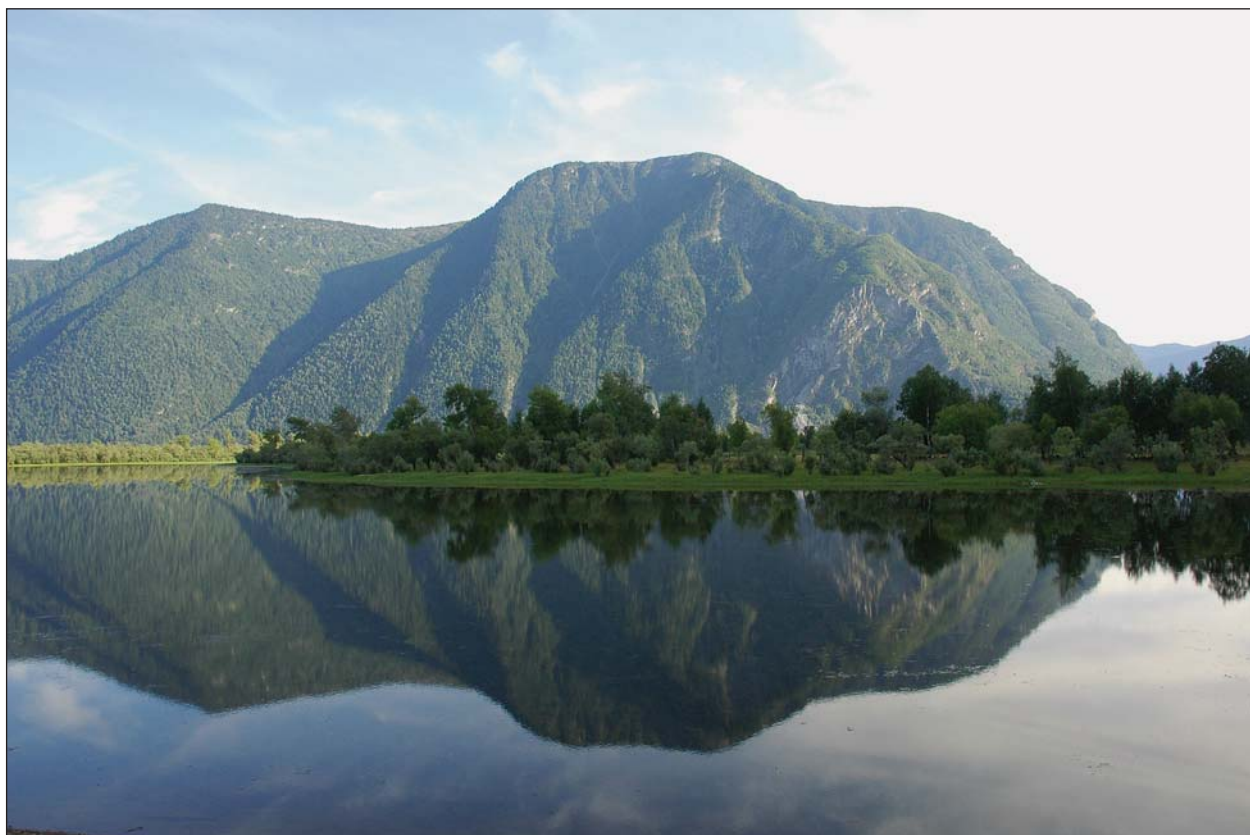
Метафазная пластинка мыши *A. peninsulae* из окрестностей пос.Артыбаш с 10 макро-В-хромосомами (2006).

Томского университета, у красных полевок (*Clethrionomus rutilus*, Pall.) из окрестностей пос.Артыбаш ярко выражены патологические процессы в дыхательной системе и печени [12].

- 1 Телецкое озеро
- 2 Алтайский заповедник
- 3 Катунский биосферный заповедник
- 4 Природный парк «Гора Белуха»
- 5 Зона покоя «Плато Укок»



Расчетные районы падения (РП) вторых ступеней ракет (РП-326 и -327) в районе Телецкого озера.



Районы падения ступеней космических ракет, запускаемых с космодрома Байконур: РП-326 (вверху) и РП-327 (внизу).

Биологи Казахского университета в эксперименте показали, что гептил при затравке крыс вызывает в клетках костного мозга в два раза больше хромосомных aberrаций по сравнению с контролем [13]. При обследовании населения Мезенского р-на (места падения ступеней ракет с космодрома Плесецк) архангельские медики установили, что у местных жителей количество онкологических заболеваний увеличено в три раза [14].

Результаты этих исследований говорят о необходимости изучения процессов, происходящих в районах падения ступеней ракет. Оценка состояния популяций мышевидных грызунов может служить хорошим критерием техногенных воздействий.

Мы предполагаем, что в целом варианты системы В-хромосом мышей исследованных популяций восточноазиатской мыши по всему ее ареалу на протяжении длительного времени, по-видимому, остаются

относительно стабильными, а их изменчивость регулируется гомеостатическими процессами. При нарушении этих процессов, в частности в результате воздействия возмущающих факторов, цикличность подъема и спада числа В-хромосом по годам может быть нарушена. Такой феномен, сопровождающийся необычным ростом числа В-хромосом у восточноазиатских мышей, мы, вероятно, и наблюдаем на побережье Телецкого озера (Республика Алтай). ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-04-01390-а и 11-04-11513-с.

Литература

1. *Camacho J.P.M., Sharbel T.F., Beukeboom L.W.* В chromosome evolution // Phil. Trans. R. Soc. Lond. 2000. V.355. P.163—178.
2. *Борисов Ю.М.* Система В-хромосом восточноазиатской мыши как интегрирующий и дифференцирующий признак популяций // Доклады АН СССР. 1986. Т.288. Т.3. С.720—724.
3. *Борисов Ю.М., Афанасьев А.Г., Лебедев Т.Т., Бочкарев М.Н.* Множество микро-В-хромосом в сибирской популяции мышей *Apodemus peninsulae* ($2n = 48 + 12 - 30$ В-хромосом) // Генетика. 2010. Т.46. №6. С.798—804.
4. *Рубцов Н.Б., Борисов Ю.М., Карамышева Т.В., Бочкарев М.Н.* Механизмы возникновения и эволюции В-хромосом у восточноазиатских лесных мышей (*Apodemus peninsulae*) // Генетика. 2009. Т.45. №4. С.445—455.
5. *Rubtsov N.B., Karamysheva T.V., Andreenkova O.V. et al.* Comparative analysis of micro and macro В chromosomes of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* (Rodentia, Murinae) performed by chromosome microdissection and FISH // Cytogenet Genome Res. 2004. V.106. P.289—294.
6. *Борисов Ю.М., Бочкарев М.Н.* Разнообразие и индивидуальность В-хромосом мышей *Apodemus peninsulae* // Генетика. 2008. Т.44. №12. С.1660—1667.
7. *Борисов Ю.М.* Процесс увеличения числа и вариантов системы В-хромосом мышей *Apodemus peninsulae* в популяции Горного Алтая за 26-летний период // Генетика. 2008. Т.44. №9. С.1227—1237.
8. *Борисов Ю.М., Бочкарев М.Н., Карамышева Т.В. и др.* Феномен увеличения числа В-хромосом у восточноазиатских мышей *Apodemus peninsulae* (Mammalia, Rodentia) в популяции Горного Алтая // Доклады РАН. 2007. Т.412. №1. С.126—128.
9. *Borisov Yu.M., Muratova E.N.* Population Mobility of Animal and Plant В-Chromosomes in Regions Subject to Technogenic Impact // Journal of Siberian Federal University. Biology 2. 2010. V.3. P.146—158.
10. *Graphodatsky A.S., Kukekova A.V., Yudkin D.V. et al.* The proto-oncogene C-KIT maps to canid В-chromosomes // Chromosome Reserch. 2005.V.13. №2. P.113—122.
11. *Панин Л.Е., Перова А.Ю.* Медико-социальные и экологические проблемы использования ракет на жидком топливе (гептил) // Бюллетень СО РАМН. 2006. Т.119. №1. С.124—131.
12. *Москвитина Н.С., Кохонов Е.В., Падеров Ю.М.* Состояние популяций животных (красная полевка, *Clethrionomys rutilus*, Pall.) как показатель загрязнения среды некоторых районов Горного Алтая // Популяционная экология животных. Материалы Международной конференции «Проблемы популяционной экологии животных». Томск, 2006. С.319—321.
13. *Колумбаева С.Ж., Шалахметова Т.М., Бегимбетова Д.А. и др.* Мутагенное действие компонента ракетного топлива несимметричного диметилгидразина на крыс разного возраста // Генетика. 2007. Т.43. №6. С.742—746.
14. *Сидоров П.И., Совершаева С.Л., Скребицова Н.В.* Основы системного мониторинга на территориях влияния ракетно-космической деятельности // Экология человека. 2006. №5. С.12—16.

Радужный танец дождевых капель

В.В.Стерлядкин

Чем пристальней мы вглядываемся в природу, тем больше наше удивление от красоты и непредсказуемости открывающегося мира. Подтверждением тому может служить простая капля воды. На рис.1 представлены фотографии обычного дождя, который раскрасил ночное небо цветными гирляндами. Мои друзья в попытках отгадать, что изображено на этих фотографиях, метались от следов летающих тарелок до новогоднего салюта. Никому и в голову не приходило, что это простые капли воды.

Дождь в роли фото модели

Фотографирование дождевых капель проводилось в ночное время по схеме, представленной на рис.2. Снизу дождь подсвечивался белым светом постоянной интенсивности, штатив фотоаппарата располагался на расстоянии 2–3 м от луча, а рассеянный каплями свет регистрировался в диапазоне углов рассеяния Θ от 125 до 150°. Дополнительно дождевые капли освещались сбоку стробоскопом, который оставлял метки на каждом треке, что позволяло определять скорость движения каплей и частоту их колебаний [1].

Полная картина дождя при такой подсветке и открывании затвора фотоаппарата на 0.8 с показана на рис.3. Слева указа-



Виктор Вячеславович Стерлядкин, доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики Московского государственного университета приборостроения и информатики. Область научных интересов — оптика атмосферы, обратные задачи радиофизики и радарной метеорологии. Автор нового научного направления — доплеровская томография.

ны углы рассеяния Θ . В средней части кадра (при $137 < \Theta < 139^\circ$) видны тонкие цветные линии, составленные мелкими каплями диаметром 0.6–1.2 мм. Именно они создают радугу, которую все так любят наблюдать после дождя.

Более крупные капли на фотографии оставили длинные яркие прерывистые линии, расцвеченные «всеми цветами радуги». Это образное выражение к описанному явлению имеет абсолютно буквальное отношение (как мы помним из школьного курса физики, разложение белого света в спектр происходит благодаря зависимости показателя преломления среды от длины волны). Оказывается, «цветомзыка» каплей объясняется двумя фактами. Первый — капли дождя во время падения периодически меняют свою форму, вибрируют; второй — вибрация капли приводит к периодичес-

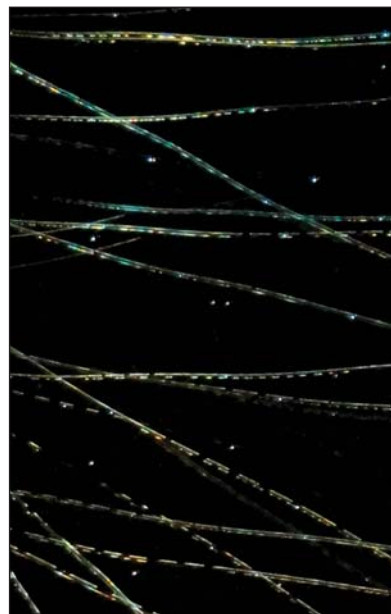


Рис.1. На снимке, с большим увеличением, зарегистрирован сильный горизонтальный порыв ветра. Каждая капля оставляла двойной след при движении.

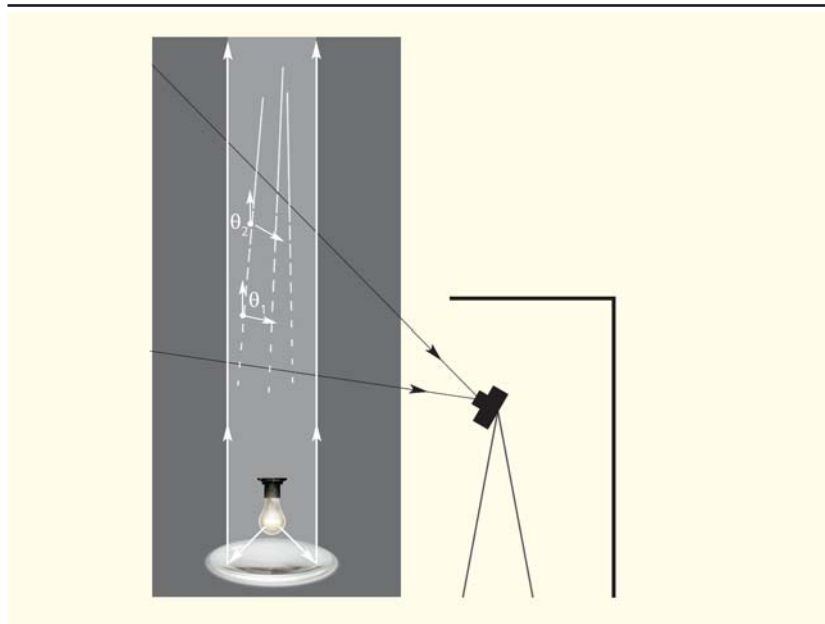


Рис.2. Схема ночного фотографирования дождевых капель, подсвеченных снизу стабильным белым светом. Чем выше капля, тем больше угол рассеяния Θ .

кому угловому сдвигу радуги, спектр которой очень чувствителен к деформации капли [1]. В результате преломленные лучи радуги образуют цветные прерывистые треки на фотографи-

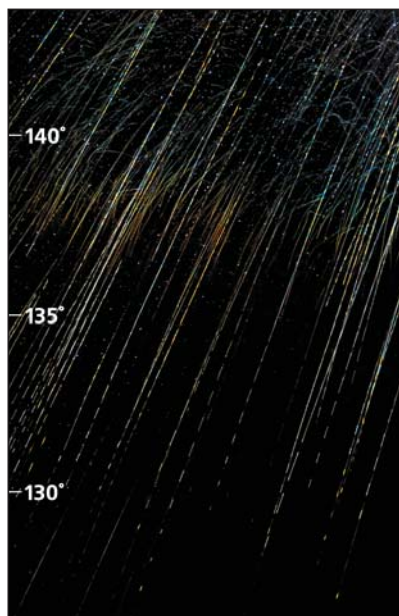


Рис.3. Фотография дождя при небольшом увеличении и выдержке 0.8 с. В диапазоне 137—139° мелкие капли формируют радугу, а крупные за счет вибрации создают прерывистые треки.

ях. Наши измерения показали, что в дождях осциллируют практически все капли, размер которых превышает 0.9 мм. По-видимому, более мелкие капли также колеблются, но из-за дифракции света на частицах малых размеров эти колебания очень трудно зарегистрировать. Механизм возбуждения колебаний дождевых капель до сих пор не вполне понятен. Возможными причинами могут быть турбулентность воздушных потоков, порывы ветра, столкновения и слияние капель (коагуляция), разрушение крупных капель при падении. Не исключается механизм возбуждения автоколебаний за счет периодического воздействия на каплю собственного турбулентного следа. Вполне возможно, что в реальности задействованы все перечисленные механизмы.

На рис.4 треки мелких и более крупных капель показаны с большим увеличением. Капля, отмеченная на рис.4 цифрой 1, очень мала и имеет диаметр около 0.8 мм. По мере ее падения угол рассеяния Θ между направлением падающего света

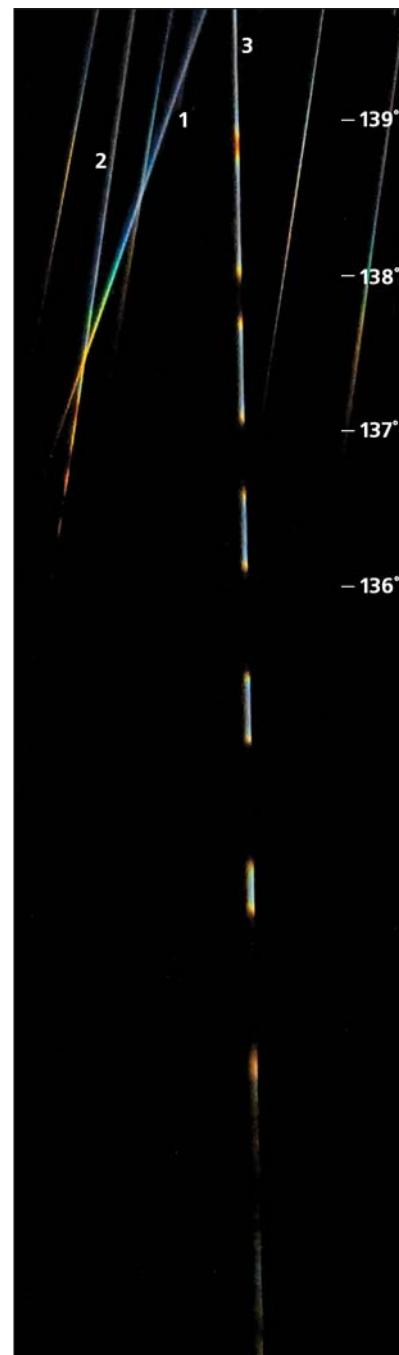


Рис.4. Небольшой участок кадра при сильном увеличении. Мелкая капля 1 почти сферическая и не вибрирует, ее цвет меняется по мере падения вместе с углом рассеяния; капля 2 чуть больше, поэтому немного сплющивается, ее радуга чуть-чуть сдвигается вниз и дополнительно прерывается за счет небольшой вибрации; капля 3 (диаметром около 2.3 мм) кроме сплющивания испытывает вертикальные колебания с амплитудой $\Delta D/D = 0.01$.

и направлением регистрируемого, рассеянного, света уменьшался со 140 до 136° , при этом выше радуги, при $\Theta = 140^\circ$, каждая маленькая капля имела белый цвет, затем, при $\Theta = 139^\circ$, начиналась синяя часть радуги, плавно переходящая в зеленую при 138° и затем в красную при 137° . Далее, при $\Theta = 136^\circ$, свеченные капли исчезало. Такая картина соответствует радугам, образованным идеально сферическими каплями. Множество подобных капелек и создают красивые дуги после дождя. Соседний трек 2 на той же фотографии образован при падении более крупной капли диаметром около 1.2 мм. Видно, что все цвета у этого трека сместились ниже к меньшим углам. Это связано с тем, что при падении капель в воздухе капли диаметром более 1 мм начинают сплющиваться в вертикальном направлении, а это сдвигает угловое положение радуги к меньшим углам. Интересно, что след в нижней части начинает прерываться. Такое поведение вызвано периодическим изменением формы капель при падении —

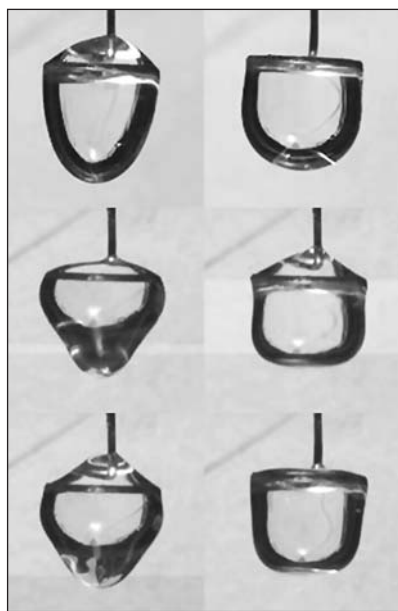


Рис.5. Форма капли при возбуждении осесимметричных мод колебаний (слева). Капли с правых фотографий находятся в противофазе.

их вибрацией. Особенно четко вибрация проявилась на соседнем треке 3, который оставила капля диаметром около 2.3 мм. Здесь радуга разорвана на кусочки, которые окрашены во все цвета только на краях каждой световой полосы. Отметим, что длина полосок по мере падения уменьшается, а при угле около 132° они исчезают совсем.

Давайте разберемся в происходящем более подробно. О форме, которую могут приобретать капли при свободном падении, в журнале «Природа» уже сообщалось [2]. Учитывая давность публикации, коротко повторим некоторые факты, дополним их новыми и более подробно остановимся на их физическом объяснении.

На рис.5 представлены мгновенные фотографии формы капель при возбуждении первых трех осесимметричных типов колебаний. О возможности колебаний свободных капель известно со времен Дж.Рэля [3], однако до наших экспериментов [4] эти колебания никто визуально не наблюдал. В лабораторных условиях капли воды были подвешены на смачиваемом колечке из тонкой проволоки, которое могло колебаться в вертикальном направлении с заданной частотой и амплитудой. При совпадении частоты перемещения колечка с собственной частотой колебания капли возникало резонансное увеличение амплитуды колебаний. Верхняя пара фотографий отвечает основной моде колебаний, при которой капля имеет то сплюснутую, то вытянутую форму. Именно такой тип колебаний преимущественно возникает при падении дождевых капель в атмосфере. Частота колебаний на основной моде зависит от размера капель и понижается от 340 Гц для капель диаметром 1 мм до 70 Гц у капель размером в 3 мм. Следующая мода колебаний соответствует форме капли в виде равнобедренного треугольника, вершина которого поочередно направлена то вверх, то вниз.

Частота этой моды вдвое больше первой гармоники. Третья мода характеризуется превращением ромба в квадрат и обратно и имеет почти утроенную частоту. Теоретически этот ряд колебаний бесконечен, однако для дождевых капель возбуждение высоких мод колебаний, по-видимому, маловероятно.

Следующим шагом при исследовании свойств вибрирующих капель было изучение их оптических свойств. Ожидалось, что вибрация капель приведет к модуляции рассеянного оптического излучения в масштабе, сравнимом с изменением сечения капель, т.е. на уровне в несколько процентов. Однако здесь нас ожидал сюрприз. Оказалось, что в некоторых направлениях рассеяния глубина амплитудной модуляции составляла не проценты, даже не десятки процентов: переменная составляющая превышала постоянную часть в десятки раз! Это свойство выразилось в том факте, что деформацию капель в 4 мкм, которую трудно зарегистрировать даже на микроскопе, можно было наблюдать с расстояния 4 м! Данное необычное явление было названо аномально высокой модуляцией света, рассеянного осциллирующими каплями [1]. Расчеты показали, что оно связано с высокой изменчивостью углового положения радуг при деформации капель. В частности, при относительном изменении диаметра капель $\Delta D/D$ всего на 1% угловое положение радуг смещалось почти на 3° , что составляет весьма заметную величину [5]. Картина рассеяния строилась в приближении геометрической оптики. Форма капель и ее изменение во времени задавались аналитически в виде эллипсоида вращения с периодическим изменяющимся эксцентриситетом. Для падающих лучей определялись направления нормали к поверхности капель в точке падения луча, углы падения, отражения, преломления. По формулам Френеля проводился расчет энергии

в каждом луче с учетом поляризации света и телесного угла, в котором распространялся каждый луч. Аналогичные вычисления выполнялись для каждого взаимодействия лучей с границей раздела капли. В результате суммирования всех лучей (как правило, вполне достаточно учесть четыре луча, так как они дают 99.7% всего рассеянного потока) рассчитывалась индикатриса рассеяния осциллирующих капель и положение радуг.

От восхищения к пониманию

На рис.6 показано, как преломляются лучи света в капле и как формируется радуга при освещении белым светом снизу. При первом взаимодействии падающих лучей с границей образуется отраженный луч 1, его интенсивность невелика и составляет 4–6% от падающего излучения. Остальная часть (96–94%) падающего потока преломляется, входит в каплю и частично выходит при втором взаимодействии с границей, образуя производный луч 2. Отраженный при втором взаимодействии луч остается внутри капли и при третьем взаимодействии вновь частично выходит из капли. Именно этим лучом 3 и создаются радуги первого порядка. Существуют радуги второго, третьего и более высоких порядков, которые формируются четвертым, пятым и т.д. лучами, однако обычно они имеют очень слабую интенсивность. Разделение белого света в капле происходит, как уже упоминалось, за счет дисперсии — различных показателей преломления воды для разных длин волн. У радуги первого порядка это угловое разделение составляет около 2°: 139° у синего света и 137° у красного. На рисунке мы изобразили радугу первого порядка в виде набора ярких лучиков: красного, зеленого и синего. В действительности эти цвета плавно переходят друг в друга, поэтому

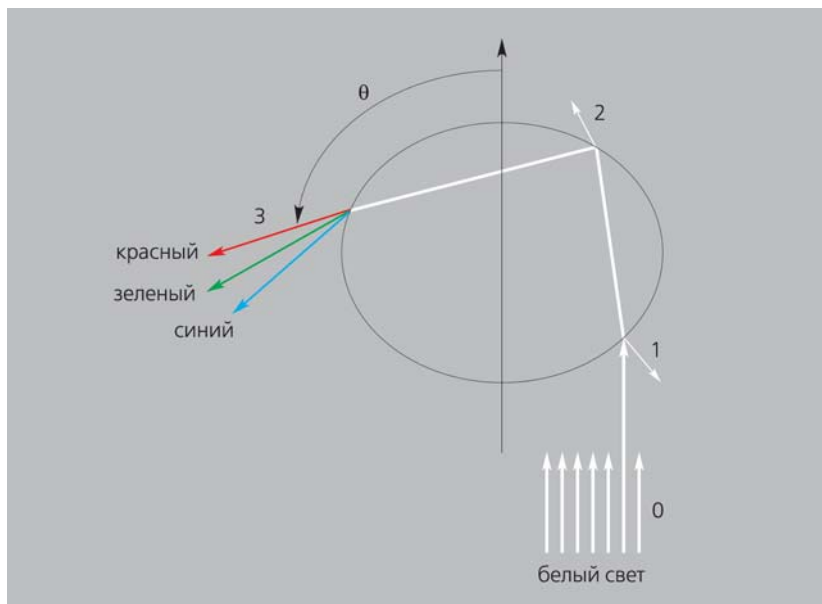


Рис.6. Радугу можно представить как набор ярких разноцветных лучиков, которые рассеиваются каплей в различных направлениях. При сплющивании капли угол радуги уменьшается, лучики смещаются вверх, а при вытягивании капли лучи радуги смещаются вниз.

данное представление носит условный характер.

Насколько яркими по интенсивности оказываются радуги первого порядка, можно представить из рис.7, на котором

показана интенсивность рассеянного света в зависимости от угла рассеяния (индикатриса). Например, красный луч при угле рассеяния 137° примерно в 30 раз ярче, чем свет, приходя-

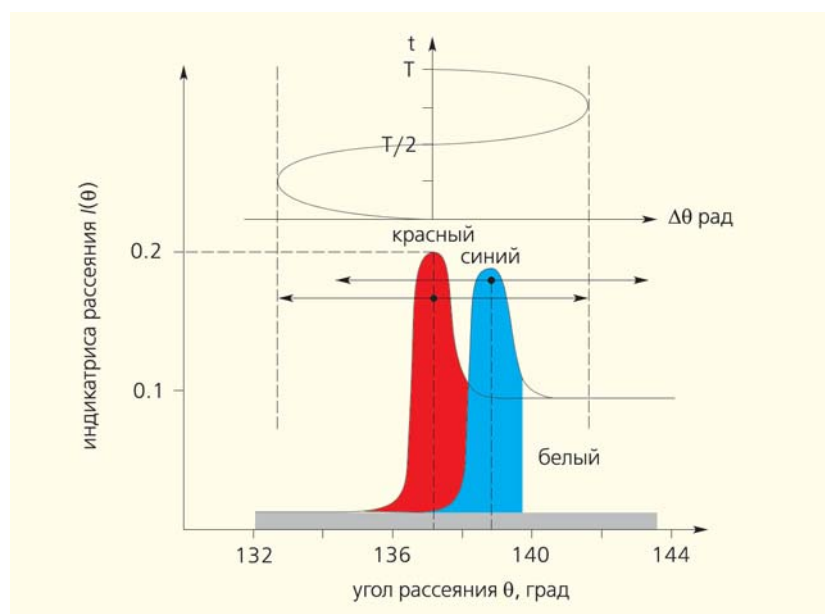


Рис.7. Радуга представляет собой яркие цветные максимумы, угловое положение которых различно у красного и синего света. При вибрации капли радуги периодически смещаются по углам по закону синуса с амплитудой, показанной стрелками [7].

ций от капли при углах, меньших 136° . Рисунок 7 объясняет, почему красный свет в радуге самый яркий: он почти не смешивается с зеленым и синим светом. А вот к зеленому и синему максимумам добавляются другие цвета, поэтому они не так ярко выражены в радуге. Этот график хорошо иллюстрирует фотографии на рис.4. Если капля мала (трек 1) и не вибрирует, при падении угол наблюдения уменьшается, и мы проходим по графику справа налево, смещаясь последовательно от белого цвета к синему, зеленому, красному, который при 136° почти полно-

стью исчезает. Другая ситуация возникает при вибрации капли. На рис.7 вибрация приводит к периодическому смещению максимумов влево-вправо, как показано в верхней части графика с помощью синусоиды. (Амплитуда колебаний на рисунке составляет около 4.5° , что соответствует периодической деформации диаметра капли в горизонтальном сечении на 1.5%.) Из графика на рис.7 можно понять, что будет видеть наблюдатель, если посмотрит на такую каплю при различных углах рассеяния. Если угол наблюдения находится меньше 132° , то даже при макси-

мальном отклонении радуги вниз она не достигает этого угла, капля остается темной. При угле наблюдения 133° (см. рис.7) только начало красной радуги при отклонении на всю амплитуду вниз достигает этого угла и наблюдатель увидит короткие красные вспышки. Форма и цветность этих вспышек показана на рис.8,а. При совсем небольшом увеличении угла наблюдений — до 133.5° — уже весь красный максимум достигнет угла наблюдения и красная вспышка будет иметь максимальную амплитуду (рис.8,б). Если наблюдатель будет смотреть под все большим углом, он в конце концов увидит все максимумы радуги: сформируется яркий отрезок трека, края которого окрашены в цвета радуги, а средняя часть — в белый цвет, (рис.8,в). Чем больше угол наблюдения, тем длиннее яркий отрезок, а при угле выше 140° яркие отрезки сливаются, образуя сплошную линию, которая становится в основном белой с небольшой цветной модуляцией. Именно такую картину мы последовательно видим на фотографии рис.4, где нижняя часть трека 3 представляет собой короткую красную вспышку, а по мере увеличения высоты и угла наблюдений вспышки удлиняются и сливаются вместе в верхней части указанного трека. Отметим, что на эту картину накладывается некоторое смещение радуги за счет средней деформации капли во время падения. Регистрируя угловое положение последней вспышки и угол слияния вспышек в сплошной след, можно получить информацию и о средней форме капли, и об амплитуде ее колебаний. Дополнительное использование стробоскопа позволяет точно определять частоту колебаний каждой капли, а по ней вычислять их объем и размер. Таким образом, из трека можно извлечь полные сведения о всех зарегистрированных каплях. Эта информация очень важна для физики осадков и для расчетов рассеяния радиоволн в дождях.

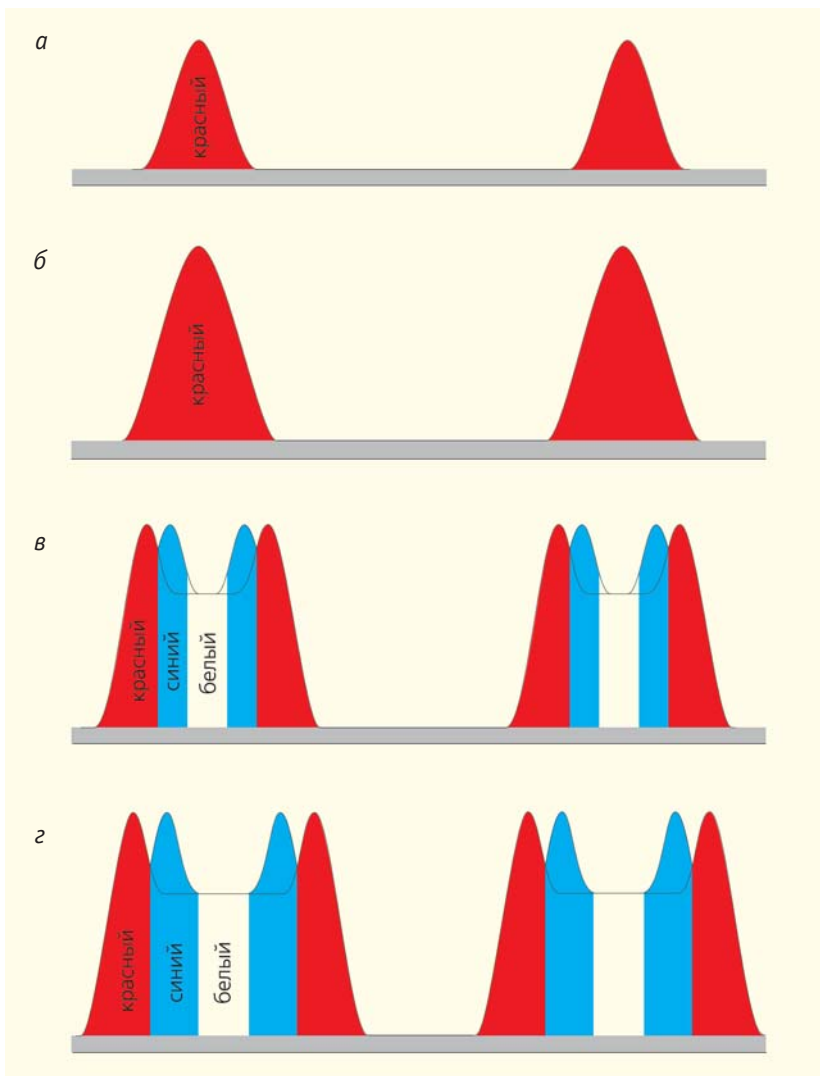


Рис.8. Изменение формы и окраски импульсов, которые формирует вибрирующая капля при увеличении угла наблюдений: $\Theta = 133^\circ$ (а), $\Theta = 133.5^\circ$ (б), $\Theta = 136^\circ$ (в), $\Theta = 138^\circ$ (г). Смещение по графику 7 слева направо.

Немного интриги

Однако «дьявол кроется в деталях». Далеко не все треки, зарегистрированные на фотографиях, имеют такую структуру. Многие, особенно крупные, капли формируют треки другой формы, давая яркую модуляцию выше радуги при углах $140\text{--}150^\circ$. Природа, как всегда, оказалась богаче тех простых моделей, которыми мы хотели бы ее описать. Дело в том, что расчет поведения радуг пока удалось выполнить только для капель, имеющих форму эллипсоида вращения [5]. В первом приближении то вытянутым, то сплюснутым эллипсоидом можно описать основную моду колебаний капле и среднюю деформацию капли во время падения в атмосфере. Но такое приближение не совсем точное. Чем крупнее капля дождя, тем сильнее ее средняя форма отличается от эллипсоида. Крупные капли, как показали исследования американских авторов [8], становятся плоскими снизу и округлыми сверху (рис.9). Как ведут себя радуги при такой форме капле, пока вычислить не удалось. Кроме того, у сплюсненной капли даже на основной частоте могут возбуждаться не только вертикальные моды колебаний, но и наклонные и горизонтальные моды, не говоря уж о второй и более высоких гармониках, которые показаны на рис.5. Самой сложной для расчетов становится ситуация, при которой у одной капли возникает целый набор различных мод колебаний. Поэтому загадочность простой капли воды раскрыта далеко не полностью и, по-видимому, нам открылась лишь небольшая часть ее красоты.

Впрочем, характер двойных треков на рис.1 можно объяснить довольно просто. Как мы уже отмечали, при рассеянии света на капле из нее выходят не один, а несколько лучей, которые мы называем производными лучами. На рис.9 показаны три вида таких лучей, распрост-

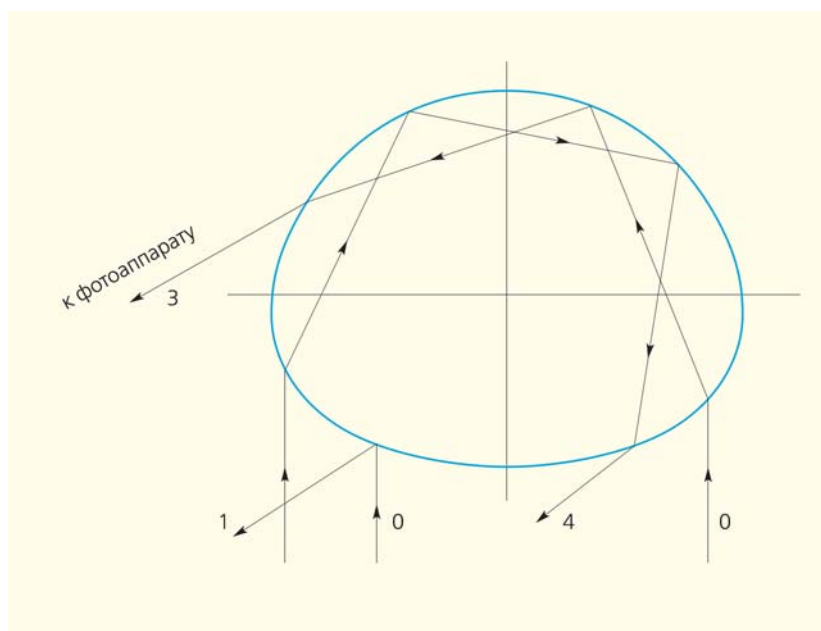


Рис.9. Форма падающих капель диаметром более 1.5 мм отличается от сферической. К наблюдателю одновременно распространяются несколько производных лучей, претерпевших отражение и преломление внутри капли. Луч 3 формирует радугу первого порядка, а луч 4 — второго.

раняющихся от капли к наблюдателю при вертикальной подсветке снизу. При вертикальном падении и подсветке снизу вверх следы от всех выходящих лучей накладываются друг на друга, создавая единый трек. Другая ситуация возникает при боковом движении капле. При этом треки от разных частей капли разделяются в пространстве, создавая двойной или тройной мультитрек [8]. В настоящее время мы не способны полностью расшифровать картину осцилляций капле на рис.1, можем только указать частоты колебаний и размеры капле. Возможно, более полные лабораторные эксперименты и расчеты позволят решить эту задачу.

На первый взгляд проведенные исследования могут показаться любопытными, но не очень востребованными. Но это не совсем так. Прежде всего, средняя форма и вибрация капле — определяющий фактор для работы поляризационных радаров в метеорологии. Без этих данных нельзя распозна-

вать опасные явления, град, угрозу обледенения самолетов, прогнозировать осадки. Более того, вибрация капле регистрируется дистанционно — по модуляции рассеянного излучения. Поскольку частота вибрации зависит от размера частиц, по спектру модуляции можно на расстоянии определять микроструктуру дождей, что увеличивает точность метеорологических измерений в радарной метеорологии.

Отметим интересные особенности любимых с детства радуг, которые прямо связаны с описанными в настоящей статье свойствами дождевых капле. Во-первых, во время дождя, даже если есть солнце, радуги почти не видно, а красивые дуги обычно наблюдаются после дождя. Это связано с тем, что крупные капли размывают радугу как за счет вибрации, так и за счет смещения угла радуги при их средней деформации (см. рис.2). Лишь сферические мелкие капли, которые еще не успели упасть на землю после дождя, дают красочные радуги.



Рис.10. Радуги наиболее ярки у самой земли. Чем выше дуга, тем сильнее размываются цвета у радуги. В левой части снимка можно заметить и радугу второго порядка. (Фотография любезно предоставлена сотрудником нашего университета В.Матвеевым.)

Во-вторых, радуга не одинаково красочна в различных ее частях. На фотографии рис.10 отчетливо видно, что самая яркая и четкая радуга наблюдается у самой земли, а чем выше ее дуга, тем сильнее размытие цветов. Данное свойство обусловлено тем, что верхняя часть радуги формируется вертикальным сечением капель, а в этом сечении наблюдается самое большое отклонение от окружности. Чем ближе капли к земле,

тем более округлым становится сечение капель, в котором образуется радуга, и тем меньше ее угловое смещение и размытие. Идеально четкие радуги у земли будут наблюдаться при почти горизонтальном положении солнца, однако в этом случае начинает сказываться изменение цвета светила при закате или восходе. При закатном солнце преобладают красные цвета, и четкость синего цвета в радуге уменьшается.

В заключение можно предложить читателям самим провести небольшой эксперимент по регистрации вибрации капель и наблюдению аномально высокой модуляции рассеянного света. Для этого можно даже не выходить из дома. Нужно включить душ, выключить в ванной свет и подсветить падающие капли фонариком либо сверху, либо снизу. Наблюдать вспышки капель следует под углом 30–60°, глядя вслед лучу. ■

Литература

1. *Стерлядкин В.В.* Натурные измерения колебаний капель осадков // Известия АН СССР. Сер. Физ. атм. и океана. 1988. Т.24. №6. С.613–621.
2. *Стерлядкин В.В.* Неожиданные свойства дождевых капель // Природа. 1989. №3. С.64–65.
3. *Рэлей Дж.* Теория звука. М., 1944. Т.2. С.369–365.
4. *Стерлядкин В.В.* Измерение резонансных свойств вибрирующих капель // Известия АН СССР. Сер. Физ. атм. и океана. 1982. Т.18. №1. С.98–101.
5. *Стерлядкин В.В.* Индикатрисы рассеяния эллипсоидальных капель воды // Оптика и спектроскопия. 1990. Т.69. Вып.6. С.1357–1362.
6. *Beard K.V., Brongi V.N., Thurai M.* A new understanding of raindrop shape // Atmospheric Research. 2010. V.97. №4. P.396–415.
7. *Стерлядкин В.В.* Рассеяние света дождевыми каплями // Оптика атмосферы и океана. 2000. Т.13. №5. С.534–538.
8. *Стерлядкин В.В.* Регистрация треков аномально высокой модуляции света в дождях // Оптика атмосферы и океана. В печати.

Тропические циклоны: НОВЫЕ ИДЕИ

Л.Х.Ингель, Л.И.Петрова

Тропические циклоны относятся к числу наиболее масштабных стихийных бедствий. Один только циклон в Бангладеш (1970) привел к гибели нескольких сотен тысяч человек. Главные «поражающие факторы» этой грозной стихии — обильные осадки (иногда свыше 500 мм/сут) и связанные с ними наводнения, сильный ветер в центральной части циклона, штормовые нагоны воды на побережье, приводящие к разрушениям сооружений и затоплению низменных областей суши. Основные потери в Северном полушарии несут США, страны Центральной Америки и Карибского региона, Дальнего Востока, Юго-Восточной Азии и Индостана; страдают также российский Дальний Восток, торговый, рыболовный и военноморской флот. Среднегодовой ущерб, причиняемый циклонами в глобальном масштабе, увеличился с 3–4 млрд долл. в 1960-х годах до 20–30 млрд долл. в начале 90-х. Так, в 80-х годах убытки от тайфунов на нашем Дальнем Востоке достигали сотен миллионов рублей в год, а урон от урагана «Эндрю» (1992) в США (штаты Флорида, Луизиана) превысил 25 млрд долл. Неудивительно, что изучению тропических циклонов уделяется очень большое внимание в США и ряде других стран. В нашей стране тропическая метеорология не столь приоритетный



Лев Ханаанович Ингель, доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института экспериментальной метеорологии ФГБУ «НПО «Тайфун»». Область научных интересов — геофизическая гидродинамика, опасные гидрометеорологические явления, активные воздействия на атмосферные процессы, сейсмические проявления гидрометеорологических процессов.



Любовь Ильинична Петрова, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник того же института. Занимается тропической метеорологией, конвекцией в атмосфере.

раздел науки, особенно в трудных условиях последних двух десятилетий. Тем более важно не терять из вида новые идеи и современные достижения в этой области.

Разрушительные вихри

Тропические циклоны — гигантские атмосферные вихри со скоростями ветра до нескольких сотен километров в час [1, 2], рис.1. Они отличаются от хорошо знакомых нам цик-

лонов умеренных широт несколько меньшими горизонтальными размерами, но гораздо большей интенсивностью (скоростью ветра, горизонтальными перепадами давления, количеством осадков). В Тихоокеанском регионе их принято называть тайфунами, а в Атлантике — ураганами. Тропический циклон представляет собой чрезвычайно мощную и весьма стабильную «тепловую машину», работающую за счет энергии фазовых переходов — конденсации водяного пара. По-



Рис.1. Циклон Катарина, наблюдавшийся 26 марта 2004 г. на юге Атлантического океана около Бразилии.

Фото Международной космической станции NASA

следний стекается в область пониженного давления в центральной части вихря с огромных площадей над теплым океаном и конденсируется при охлаждении воздуха, связанном с его подъемом. Сопровождающее конденсацию в центральной области тепловыделение поддерживает там пониженное давление (нагрев уменьшает вес столба воздуха). Горизонтальные градиенты давления, в свою очередь, способствуют сильным ветрам. Баланс сил (градиента давления, кориолисовых и центробежных) заставляет воздух

двигаться преимущественно вокруг центра циклона — возникают тангенциальные ветры. Но торможение движения вблизи земной поверхности (из-за турбулентного трения в пограничном слое) приводит к нарушению упомянутого баланса в пользу сил градиента давления, направленных от периферии к центру. Связанный с этим радиальный «вток» приносит с периферии водяной пар и угловой момент, осуществляя тем самым положительную обратную связь. Конечно, надо иметь в виду, что вышеизложенное —

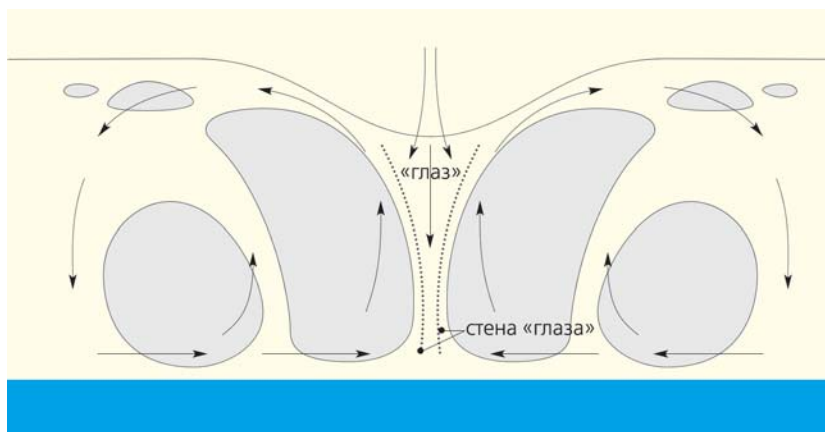


Рис.2. Схематическое изображение структуры тропического циклона.

лишь крайне упрощенная схема динамики циклона, вообще говоря, весьма сложной. Типичная структура тропического циклона схематически изображена на рис.2; ее отличительные черты просматриваются и на фотографии рис.1: сам вихрь; глаз — относительно небольшая область в центральной части вихря со слабыми ветрами, практически свободная от облаков; «стена» (внешняя граница) глаза, где ветер и облачность, напротив, наиболее интенсивны.

Теоретические и натурные исследования тропических циклонов, численное и лабораторное моделирование происходящих в них процессов развиваются широким фронтом в течение многих десятилетий. На этом пути достигнут значительный прогресс. Для уменьшения сопутствующего ущерба основные усилия обычно направлены на совершенствование прогнозов перемещения вихрей, их интенсивности и количества выпадающих осадков, а также на улучшение систем оповещения и предупреждения населения. В течение ряда лет в США активно разрабатывалась идея активных воздействий на циклоны [3]. Этому был посвящен специальный большой проект «Stormfury» (что дословно переводится как «Ярость шторма»). Но хотя этот проект был доведен до стадии натуральных экспериментов, убедительных свидетельств плодотворности этого пути получено не было.

К настоящему времени накоплен огромный объем знаний, относящихся к циклонам. Прежде чем излагать новые подходы и идеи, было бы более последовательным обстоятельно остановиться на ранее достигнутых результатах. Климатология, динамика, зарождение, перемещение тропических циклонов — каждой из этих тем можно посвятить отдельную содержательную статью. Но «лучшее — враг хорошего», и, пользуясь тем, что общие сведения изложены в обширной и доступ-

ной литературе (см., например, [1, 2] и библиографию к этим источникам), мы ограничимся здесь лишь рассказом об отдельных направлениях, возникших в самое последнее время.

Молнии предупреждают...

Хотя предсказывать перемещение тропических циклонов постепенно удастся все точнее и точнее, прогноз их интенсивности за последние два десятилетия улучшился лишь незначительно. Особенно плохо прогнозируются резкие изменения интенсивности. Причины состоят в исключительной сложности физической картины формирования и эволюции циклона, в которых взаимодействуют процессы разных масштабов: от микроскопических до глобальных. Даже самые подробные численные модели не в состоянии описать в явном виде все существенные детали турбулентного и радиационного обмена в атмосфере, ее взаимодействия с «взволнованной» поверхностью океана, микрофизики облаков и прочее.

В последние годы возникло предположение, все более подтверждающееся, что изменения молниевой активности в облачных системах тропических циклонов могут нести содержательную информацию о предстоящих изменениях их интенсивности и структуры (см., напр., [4–12]). Это дает дополнительные ресурсы для продвижения в решении столь сложной задачи прогнозов. Дело, видимо, в том, что интенсивность циклона, как и процессы электризации в его облачных системах, существенно зависят от интенсивности конвективных движений в облаках. Но для этих зависимостей характерны различные временные масштабы.

Облачные системы циклона в большой степени обязаны своим происхождением конвекции (конденсации водяного пара при подъеме воздуха в конвек-

тивных ячейках). От конвекции сильно зависит микрофизическая структура облаков, определяющая разделение электрических зарядов и молниевую активность, — наличие переохлажденной воды, замерзших капель, ледяных кристаллов, снежной крупы. По современным представлениям, заряд частиц и капель в облаках происходит при температурах ниже -17°C , когда столкновения ледяных кристаллов и снежной крупы происходят в присутствии переохлажденных капель. Поэтому, чтобы «запустить» электрические разряды (вспышки молний), значительное число переохлажденных капель должно подняться на высоту, превышающую 5–6 км, где наблюдаются такие температуры. Появление/интенсификация молний указывает на значительные изменения в динамике и микрофизике облаков: усиление восходящих движений, увеличение содержания льда и переохлажденной воды на больших высотах. Интенсификация облачной деятельности приводит (с некоторым запаздыванием) и к усилению циклона в целом, поскольку фазовые переходы в облаках служат основным источником его энергии. Это запаздывание и позволяет, как можно предположить, использовать вариации молниевой активности для прогноза интенсивности циклона.

В работах [7, 8] проанализировано радиальное распределение молний в ураганах, достигших побережья США, на основе данных американской Национальной сети мониторинга молний. Эта система регистрирует молниевые вспышки облако—поверхность. Найдены три зоны, различающиеся по электрическим характеристикам: внутреннее ядро со слабым максимумом плотности вспышек; район с хорошо выраженным минимумом плотности вспышек — протяженностью 80–100 км вне первой зоны; район внешних облачных полос, в котором имеется значительный максимум плот-

ности вспышек — в пределах кольца радиусом 200–300 км вокруг центра циклона. Дальнейшие исследования молний в тропических циклонах над Атлантикой и восточной частью Тихого океана в основном подтвердили эти сведения.

Авторы [8] связывают слабую молниевую активность в окрестности стены глаза (во второй из упомянутых зон) с нехваткой переохлажденной воды и, соответственно, малой интенсивностью разделения зарядов. Это может объясняться недостаточной интенсивностью восходящих движений (иногда незначительно превышающих 5 м/с) и низкой концентрацией аэрозоля, необходимого для формирования переохлажденных капель. Обе причины ведут к тому, что осадки формируются ниже уровня нулевой изотермы. Недостаточная интенсивность восходящих движений не позволяет зависеть снежной крупы — ключевому фактору электризации. Причина интенсивных молниевых вспышек на периферии циклона (третья зона) в работах [7, 8] не была уверенно определена. Детальные численные эксперименты [9] позволяют утверждать, что условия, которые способствуют усилению молниевой активности, создает континентальный аэрозоль (формирующийся над сушей и существенно отличающийся некоторыми важными свойствами от морского), проникающий в облака на периферии циклона.

Выполненные к настоящему времени исследования уже дают основания говорить о возможности улучшить прогнозы тенденций развития циклонов, используя сведения о молниевой активности. Так, отмечается, что присутствие молний в штормах, пересекающих побережье Западной Африки, может быть предвестником формирования циклонов в ближайшие часы [6]. Наличие и интенсификация молний в стене глаза могут служить предиктором ускорения развития вихря [5, 10]. Еще один

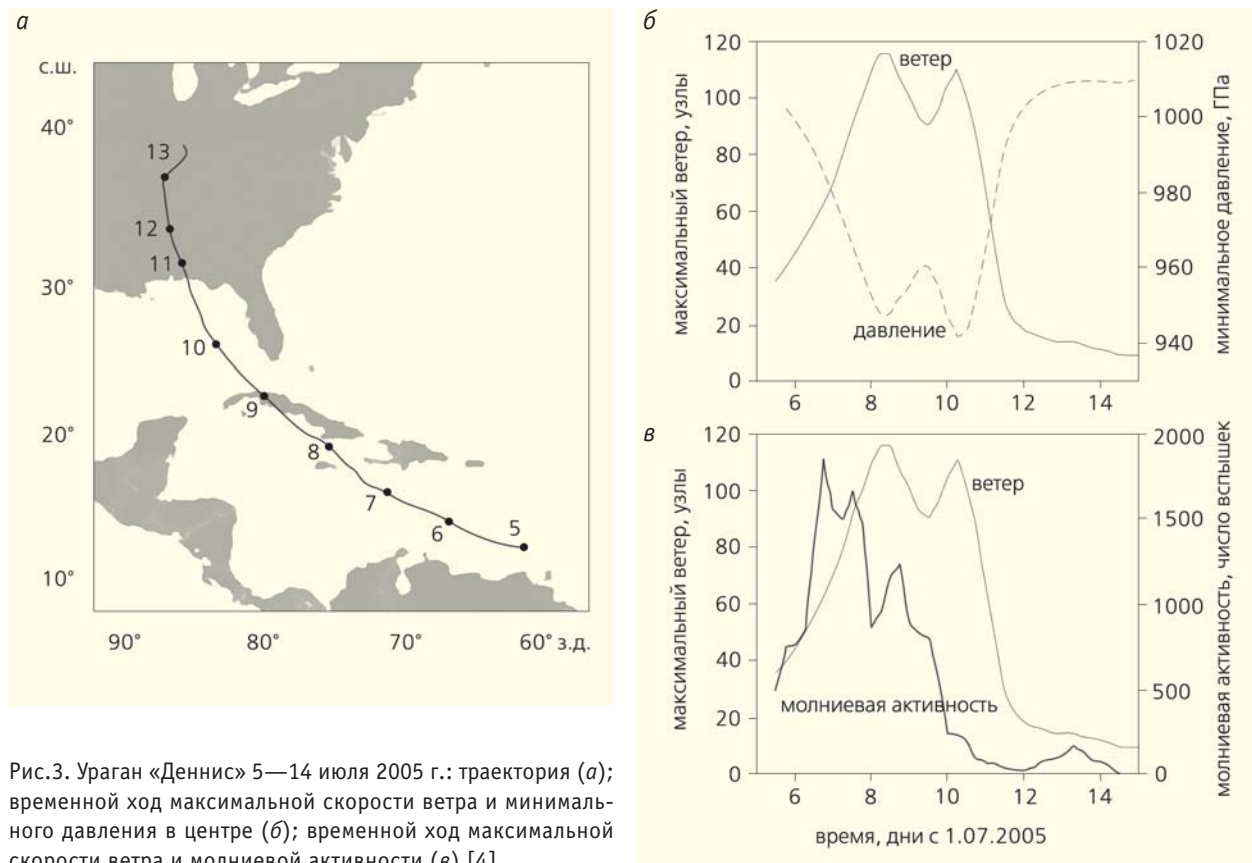


Рис.3. Ураган «Деннис» 5—14 июля 2005 г.: траектория (а); временной ход максимальной скорости ветра и минимального давления в центре (б); временной ход максимальной скорости ветра и молниевой активности (в) [4].

признак усиления циклона получен в работе [10]: чем ближе молнии к центру, тем оно более вероятно.

Особо следует отметить работу [4], в которой выполнен анализ изменения максимальной скорости ветра (v_{\max}) и общей частоты молний во время жизни 58 ураганов с $v_{\max} \geq 114$ узлов за три года (2005—2007) в различных районах их формирования. Для каждого циклона в течение его жизненного цикла рассматривались траектория, минимальное давление в центре, v_{\max} и молниевая активность. Пример анализа, проведенного для каждого из ураганов, показан на рис.3 для урагана «Деннис» (2005).

Молниевая активность оценивалась по данным Всемирной сети регистрации молний как частота вспышек в течение каждых 6 ч в квадрате $10^\circ \times 10^\circ$ с центром в глазе циклона. Авторы [4] установили, что частота молний

и максимальная скорость ветра имеют высокую взаимосвязь (средний коэффициент корреляции 0.82, рис.4), но временные сдвиги между максимумами этих характеристик в разных ураганах могут существенно различаться (см. рис.3 в цитируемой работе). Причем в наибольшем числе (около 20%) из рассмотренных случаев максимум молниевой активности наблюдался в среднем за время порядка суток (точнее, за 30 ч) до достижения максимума скорости ветра. Из рассмотренных 58 ураганов только в двух не наблюдалось заметной связи между максимальной скоростью ветра и молниевой активностью.

Несмотря на приведенные в работе [4] высокие значения коэффициентов корреляции между интенсивностью циклонов и частотой молниевых разрядов, пока не представляется возможным сформулировать сколько-нибудь универсальные

количественные связи, чтобы четко формализовать прогноз. Необходимы данные о молниевой активности с большим разрешением по пространству и времени (число станций Всемирной сети постоянно возрастает), а также регистрация и учет всех разрядов (т.е. и разрядов между облаками, а не только облако—поверхность). В то же время можно уверенно утверждать, что информация о молниевой активности в циклоне уже сейчас может быть использована в режиме online для уточнения дальнейшей тенденции изменения их интенсивности. Это наглядно иллюстрирует, например, рис.5, заимствованный из электронной публикации [12] Лос-Аламосской национальной лаборатории США, где ведутся интенсивные исследования в данной области. Из рис.5 видно также, что при выходе циклона на сушу наблюдается усиление молниевой ак-

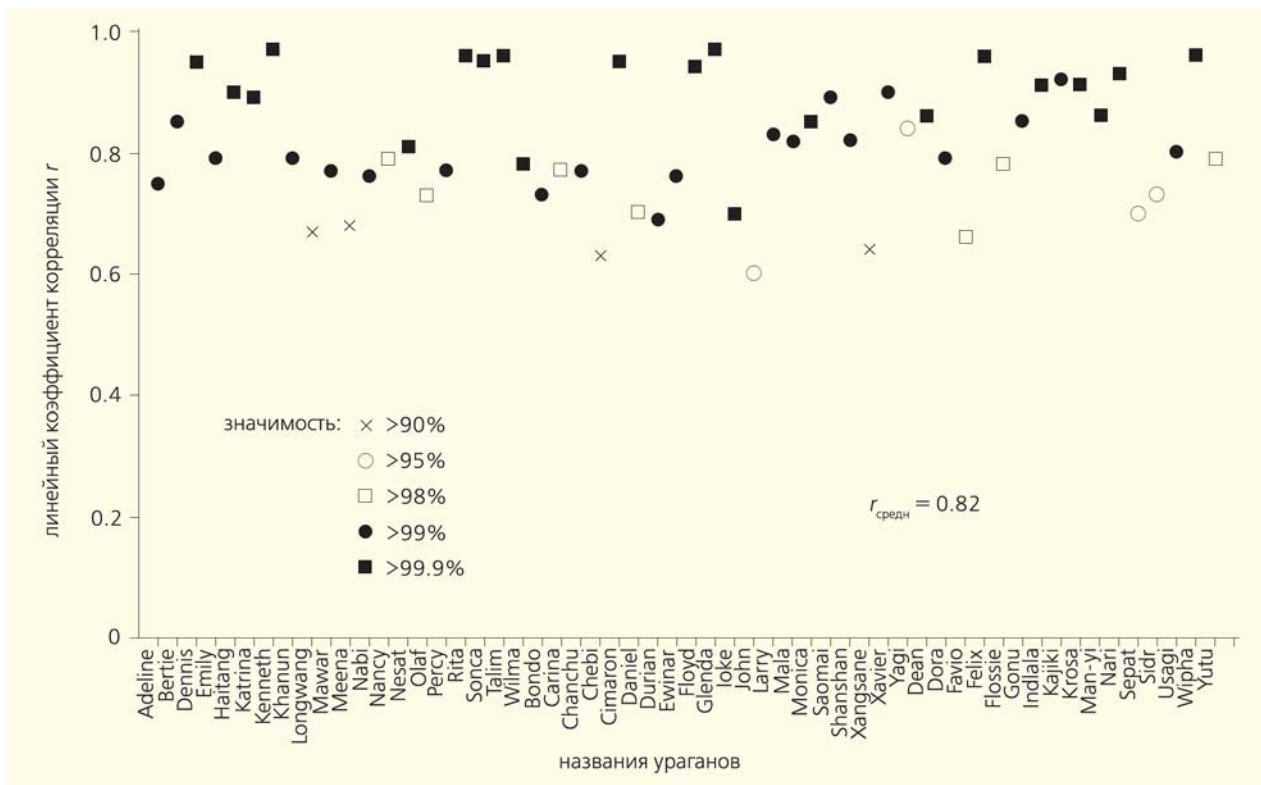


Рис.4. Коэффициенты корреляции (r) между максимальной скоростью ветра и молниевой активностью согласно [4]. Каждая точка — один ураган, а различные символы — уровень статистической значимости для конкретного урагана.

тивности. Это, как уже указывалось выше, может быть связано с поступлением на периферию урагана континентального аэрозоля, способствующего усилению конвекции в этой зоне. Отметим, что в [12] представлена широкая программа экспериментальных исследований. Так, в 2008 г. в Мексиканском заливе были установлены специальные разработанные двухполосные датчики, позволяющие существенно повысить информативность данных о молниевой активности: классифицировать типы молний, фиксировать момент разряда, его высоту и распространение. Предприняты также определенные шаги по включению модуля, описывающего молниевую активность (как дополнительную информацию о микрофизике облаков), в схемы расчетов численных моделей циклона. Следует пояснить, что к настоящему времени разработаны весьма детальные

и сложные численные модели тропических циклонов. Такие модели содержат взаимодействующие между собой блоки (модули), описывающие крупномасштабную динамику циклонов, микрофизику облаков, конвекцию, радиационный обмен, турбулентность и т.д. Дополнительный модуль, учитывающий молниевую активность, в перспективе, вероятно, улучшит возможности прогнозов.

Планируемая установка регистрирующих молнии датчиков на следующем поколении геостационарных спутников [4] позволит получать информацию о молниевых разрядах практически во всех циклонах.

Зависимость от аэрозолей

В последние годы началась интенсивная разработка идеи о существенном влиянии на тропические циклоны природных

и антропогенных аэрозолей. Одно из первоначальных свидетельств в ее пользу связано с влиянием аэрозолей на грозовую активность (молнии) в облачных системах циклонов. Из лабораторных экспериментов известно, что механизм разделения зарядов — соударение ледяных кристаллов с ледяными частицами большей плотности (градом, ледяной крупой) — эффективнее работает в присутствии переохлажденной воды, при наличии значительного количества водяных капель. Ввиду различия скоростей седиментации кристаллов, с одной стороны, и упомянутых частиц — с другой, происходит дальнейшее разделение зарядов и накопление разности потенциалов, приводящее к возникновению молний. В ряде недавних исследований показано, что благоприятные для интенсификации молний условия могут создаваться при росте concentra-

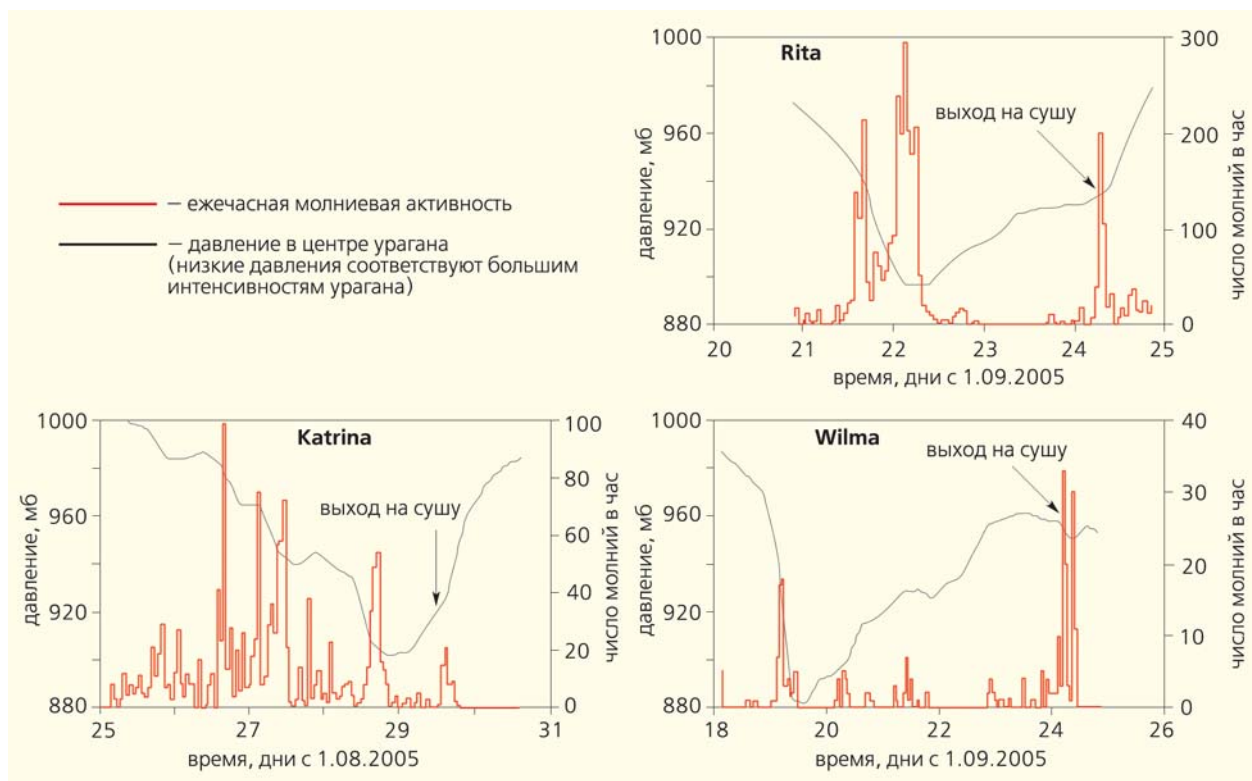


Рис.5. Молниевая активность в стене глаза трех ураганов в периоды интенсификации и их выхода на сушу по данным Лос-Аламосской лаборатории [12]. Использованы аббревиатуры LASA — LANL’s Sferic Array, LANL — Los Alamos National Laboratory.

ции аэрозоля. Возрастание концентрации аэрозоля способствует подъему значительного количества мелких переохлажденных капель на большие высоты. Там они сосуществуют с ледяными кристаллами, градом, ледяной крупой и благоприятствуют пространственному разделению зарядов на ледяных частицах. Влияние континентального аэрозоля на молниевую активность тропического урагана «Катрина» (2005), детальнее, чем на рис.5, просматривается, например, на рис.6, основанном на данных [5], которые были дополнительно обработаны авторами [9].

В работе [9] подробно проанализирована возможная связь молниевой активности на периферии циклона с влиянием мелкодисперсного континентального аэрозоля, сказывающегося на микрофизике и динамике периферийных облачных систем. Использованы весьма совершенные

численные модели, в которых с предельно возможной в настоящее время детальностью описывается крайне сложная микрофизика облаков (взаимодействие водяного пара, капель, ледяных частиц, упомянутых аэрозолей). Оказалось, что воздействие континентального аэрозоля на облака, сформировавшиеся над морем, резко увеличивает количество переохлажденной воды и ледяных частиц и сильно интенсифицирует вертикальные движения. Итогом становятся интенсивные соударения и разделение зарядов. В этой работе были выполнены обширные численные эксперименты с моделированием выхода циклона на сушу на основе современной модели WRF (Weather Research and Forecasting — Исследование и прогноз погоды). Несколько слов об этой модели. Это свободно доступная в Интернете сложная программа, разработ-

ки которой (большой международный коллектив) попытались учесть максимум современных достижений в области физико-математического моделирования метеорологических явлений. Она включает множество унифицированных блоков, комбинируя которые и меняя значения параметров, можно описывать явления разной природы и самых разных масштабов и использовать обширный арсенал современных параметризаций (упрощений, допущений, гипотез), без которых невозможно обойтись при моделировании бесконечно сложных атмосферных явлений. Детальность описания (разрешение модели, шаг сетки) можно менять в зависимости от потребностей решаемой задачи и имеющихся вычислительных ресурсов. В данном случае, например, шаг горизонтальной сетки составлял 3 км — неплохой показатель для современ-

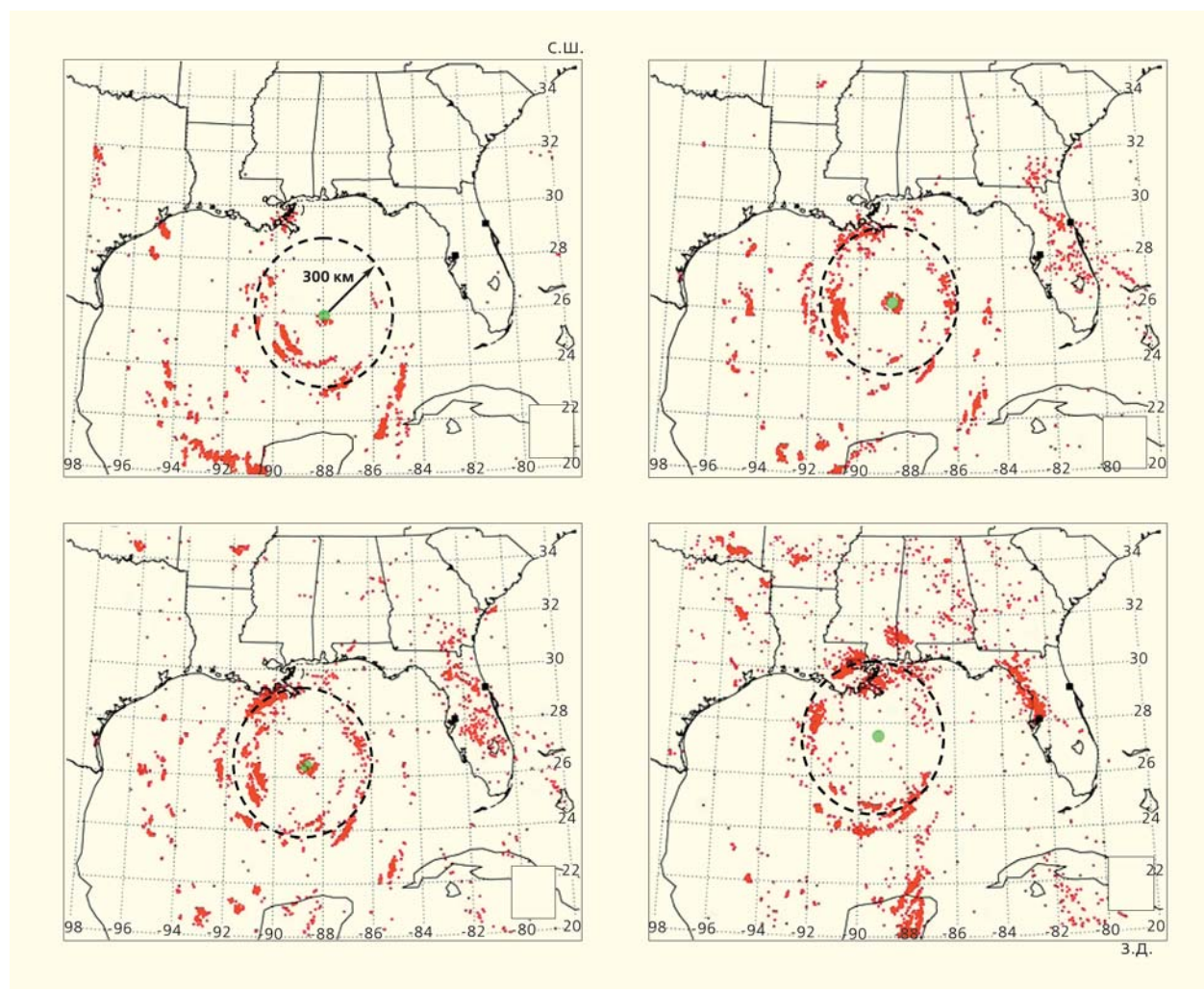


Рис.6. Молниевая активность в урагане «Катрина» в различные моменты времени [5, 9]. Зелеными точками обозначено местоположение центра циклона, красными — места, где наблюдались молнии. Штриховые окружности вокруг центра вихря имеют радиус 300 км. Особенности локализации областей молниевой активности и их эволюции говорят о существенном влиянии аэрозолей, вовлекаемых с континента циркуляцией циклона. Молнии возникают в основном в круговой зоне с радиусом, равным расстоянию от центра циклона до суши, а также в массе континентального воздуха, внедрившегося с суши на море. В этих зонах повышено содержание континентального аэрозоля.

ных моделей подобных процессов. В упомянутой работе сделаны выводы, что наблюдаемые изменения молниевой активности могут быть связаны с воздействием континентального аэрозоля, и, что еще важнее, под влиянием аэрозолей усиливаются облака на радиусах 250—300 км. Последнее приводит к уменьшению интенсивности конвекции в центральной части циклона и к некоторому его ослаблению. Меняется также пространственное распределение осадков.

Новые возможности для искусственных воздействий?

Итак, численное моделирование, выполненное на передовом уровне, показало, что аэрозоли в принципе могут приводить к ослаблению тропических циклонов. Причем речь идет не о дорогостоящем йодистом серебре, которое в свое время пытались использовать для этой цели [3], а об обыкновенном загрязненном воздухе или пыли, выносимой из пус-

тынь. Использование этого нового ресурса для активных воздействий выглядит весьма заманчивым — ведь обсуждавшиеся и разрабатывавшиеся ранее подходы к управлению циклонами (наиболее известен упоминавшийся многолетний американский проект «Stormfury») пока не привели к заметному успеху.

Идея нового подхода к активному воздействию на циклоны, который кажется более технологичным, чем другие, активно подхвачена в самые послед-

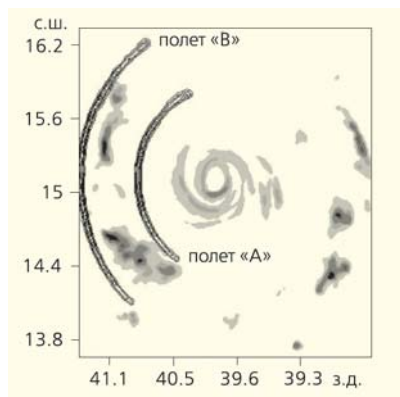


Рис.7. Траектории «виртуальных полетов», эффекты которых моделируются в [16] (темные контуры). В случаях комбинированных траекторий самолет сначала двигался на север по траектории «А», затем на юг по траектории «В». Нанесены также области заметной конвективной активности (высокого уровня влажности облаков).

ние годы. Агентство по национальной безопасности США в 2009–2010 гг. финансировало большой международный проект «Hurricane Aerosol and Microphysics Program» (НАМР), в котором участвуют ряд ведущих специалистов из США и Израиля [13–17]. Остановимся на только что вышедшей работе [16], выполненной в рамках этого проекта.

Ранее в работе [13] на основе предшествующих исследований была сформулирована гипотеза, согласно которой внесение в облачные системы на периферии ураганов мелкодисперсного аэрозоля с размерами частиц, характерными для загрязненного воздуха над континентами, может «запускать» процессы, которые в конечном счете должны приводить к ослаблению урагана. (Отмечается, что аналогичные выводы следуют и из более детальной модели [14].) Согласно этой гипотезе, возрастание концентрации ядер конденсации во внешних облачных полосах циклона должно вызывать увеличение количества поднимаемой конвекцией переохлажденной во-

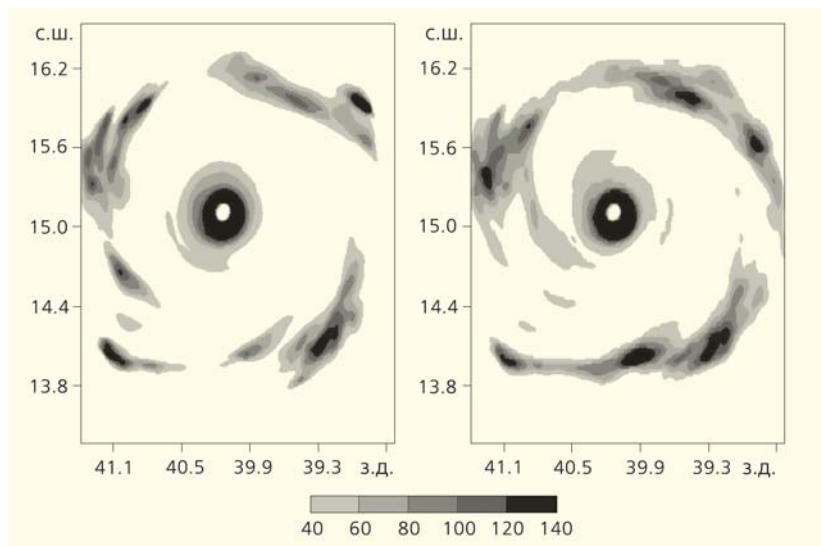


Рис.8. Пример эффективности воздействия внесенного аэрозоля в поле осадков, согласно расчетам [16]. Представлено интегральное количество осадков в течение 4 ч после момента воздействия (справа); слева — контрольный численный эксперимент (без аэрозоля).

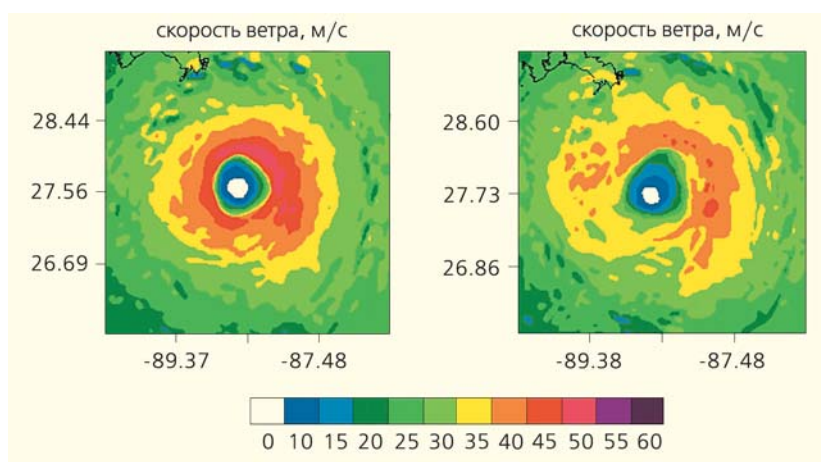


Рис.9. Пример расчетов поля скорости приземного ветра в урагане «Катрина» с учетом воздействия континентального аэрозоля (справа) и без учета этого фактора (слева) [17].

ды, усиление конвекции за счет скрытой теплоты фазовых переходов при замерзании капель, интенсификацию осадков и связанного с их испарением охлаждения на нижних уровнях. Это охлаждение, согласно ряду цитируемых работ, играет важную роль в динамике циклонов. На периферии циклона, в области внешних облачных полос в нижних километровых слоях воздуха, возникает «хо-

лодный пул», который, как следует из численных моделей, препятствует притоку энергии к центральной области, что в итоге и приводит к его ослаблению. Эффект воздействия, конечно, зависит от стадии жизненного цикла вихря, а зависимость эффекта от количества вносимого аэрозоля, согласно результатам численного моделирования, оказалась довольно сложной, немонотонной.

В работе [16] рассчитывались эффекты внесения ядер конденсации с самолета при «виртуальных полетах» на уровнях порядка 2000 м со скоростью 150 м/с. Варианты траекторий полетов приведены на рис.7. Было выполнено много численных экспериментов, в том числе с комбинированными траекториями полетов, сочетающими участки внешней и внутренней окружностей, см. рис.7. Моделировались «засевы» (внесение аэрозоля) в период интенсификации модельного циклона. Характерные концентрации вносимых ядер конденсации — 8000 см^{-3} (к сожалению, в доступных нам материалах не содержится более подробных сведений о полных количествах вносимых ядер конденсации, о пространственных и времен-

ных характеристиках их источников, о площадях и объемах воздуха, подвергшихся «воздействиям»). Сделаны выводы, что результаты расчетов подтверждают исходную гипотезу о возможности эффективных воздействий. Пример эффекта воздействия в поле осадков показан на рис.8. На рис.9 приведен заимствованный из работы [17] результат расчета ослабления ветра в урагане под влиянием континентального аэрозоля. Максимальный ветер, согласно этим расчетам, уменьшается примерно на 15 м/с, т.е. на 15–20%. Авторы констатируют согласие этих результатов с натурными данными. Такие изменения интенсивности циклона означали бы существенное уменьшение ущерба от ураганных ветров.

* * *

Итак, проведенное к настоящему времени численное моделирование дает обнадеживающие результаты. Спутниковые и натурные данные подтверждают эффективность влияния мелкодисперсного аэрозоля, характерного для загрязненного воздуха над континентами, на облачные системы циклонов [17]. Но авторы отмечают предварительный характер ряда полученных результатов. В частности, численные модели очень сложны и существенно зависят от используемых параметризаций (упрощающих гипотез). Для уверенности в эффективности предлагаемого подхода предстоит выполнить широкий круг исследований. ■

Литература

1. Хаин А.П., Сутырин Г.Г. Тропические циклоны и их взаимодействие с океаном. Л., 1983.
2. Голицын Г.С. Ураганы, полярные и тропические циклоны, их энергия и размеры, количественный критерий возникновения // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2008. Т.44. №5. С.579–590.
3. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л., 1990.
4. Price C., Asfur M., Yair Y. Maximum hurricane intensity preceded by increase in lightning frequency // Nature Geoscience. 2009. V.2. P.329–332.
5. Shao X.M., Harlin J., Stock M. et al. Katrina and Rita were lit up with lightning // Eos, Trans. Amer. Geophys. Union. 2005. V.86. №42. P.398–399.
6. Chronis T., Williams E., Petersen W., Anagnostou E. African lightning: Indicator of tropical Atlantic cyclone formation // Eos, Trans. Amer. Geophys. Union. 2007. V.88. №40. P.397–398 (doi:10.1029/2007EO400001).
7. Molinari J., Moore P.K., V.P. Idone et al. Cloud-to-ground lightning in Hurricane Andrew // J. Geophys. Res. 1994. V.99. P.16665–16676.
8. Molinari J., Moore K.P., Idone V.P. Convective structure of hurricanes as revealed by lightning locations // Mon. Wea. Rev. 1999. V.127. P.520–534.
9. Kbain A., Coben N., Lynn B., Pokrovsky A. Possible aerosol effects on lightning activity and structure of hurricanes // J. Atmos. Sci. 2008. V.65. P.3652–3677.
10. Houze R.A., Chen S.S., Smull B.F. et al. Hurricane intensity and eyewall replacement // Science. 2007. V.315. P.1235–1239.
11. Rodgers E., Weinman J., Pierce H., Olson W. Tropical cyclone lightning distribution and its relationship to convection and intensity change // 24th Conf. on Hurricanes and Tropical Meteorology. 2000. Preprints. Ft. Lauderdale, FL, Amer. Meteor. Soc. P.537–541.
12. Shao X.M., Jeffery C., Hamlin T. et al. Hurricane Lightning: a new Campaign to Investigate Hurricane Intensification by Using Lightning Observations // Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM. 2008 (<http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/135710.pdf>).
13. Cotton W.R., Zhang H., McFarquhar G.M., Saleeby S.M. Should we consider polluting hurricanes to reduce their intensity? // J. Wea. Mod. 2007. V.39. P.70–73.
14. Rosenfeld D., Kbain A., Lynn B., Woodley W.L. Simulation of hurricane response to suppression of warm rain by sub-micron aerosols // Atmos. Chem. Phys. 2007. V.7. P.3411–3424.
15. Kbain A.P., Lynn B., Dudhia J. Aerosol effects on intensity of landfalling hurricanes as seen from simulations with WRF model with spectral bin microphysics // J. Atmos. Sci. 2010. V.67. P.365–384.
16. Carriy G.G., Cotton W.R. Investigations of aerosol impacts on hurricanes: Virtual seeding flights // Atmos. Chem. Phys. 2011. V.11. P.2557–2567.
17. Cotton W.R., Woodley W.L., Ginis I., Kbain A. et al. The rise and fall of HAMP // J. Wea. Mod. 2011. V.43. P.88–95.

Чьи у человека центриоли?

И.Б.Алиева, Р.Э.Узбеков

Крошечная даже по меркам эукариотической клетки органелла — центросома — заслуживает особого внимания исследователей. Она занимает не более 0.1% от общего объема клетки, при этом выполняет жизненно важные функции, главная из которых — клеточное деление. Кроме того, центросома участвует в поддержании и изменении формы клетки, в регуляции внутриклеточного транспорта, в формировании мультибелковых ансамблей, ответственных за регуляцию клеточного цикла и во множестве других клеточных процессов.

Основу центросомы составляет пара четко видимых в электронный микроскоп центриолей, окруженных перичентриолярным материалом (рис.1). На фоне остальных клеточных органелл (округлых либо имеющих неправильную форму) центриоли (геометрически правильной цилиндрической формы) напоминают инородные включения — огромных вирусов-пришельцев. Центриоли в паре не одинаковы, одна них (зрелая, или материнская), в отличие от второй (незрелой, или дочерней), несет на себе дополнительные структуры — перичентриолярные сателлиты (от них отходят микротрубочки) и придатки. Продолжая наш рассказ об этой удивительной структуре*, начатый пять лет назад, мы коснемся

* Подробнее см.: Узбеков Р.Э., Алиева И.Б. Центросома — клеточный концертмейстер // Природа. 2007. №5. С.3—12.

© Алиева И.Б., Узбеков Р.Э., 2012



Ирина Борисовна Алиева, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела электронной микроскопии НИИ физико-химической биологии им.А.Н.Белозерского МГУ им.М.В.Ломоносова, заведующая кафедрой гистологии, цитологии и эмбриологии Российского университета дружбы народов. Область научных интересов — цитоскелет клетки, строение и функции центросомы и связанных с ней структур.



Рустем Эдуардович Узбеков, доктор биологических наук, ассоциированный профессор факультета биоинженерии и биоинформатики МГУ им.М.В.Ломоносова, научный инженер департамента микроскопии Университета Франсуа Рабле (Тур, Франция). Занимается исследованием центросомы и входящих в ее состав белков в клетках различных тканей и органов.

вопроса, крайне актуального в свете исследований последних лет: как центриоли наследуются, от кого (от папы или от мамы) они передаются ребенку? Но для начала поясним, почему этот вопрос столь актуален?

Болезни по наследству

Каждому, даже далекому от биологии и медицины человеку известно о существовании наследственных заболеваний — зачастую крайне тяжелых недугов, передающихся от родителей детям. Первоначально считалось,

что все эти заболевания — результат нарушения хромосомного набора. Действительно, такие нарушения, как известные всем из школьных уроков биологии синдром Дауна (наличие лишней 21-й хромосомы), синдром Клайнфельтера (наличие одной или даже нескольких лишних половых X-хромосом) или синдром Шерешевского—Тернера (отсутствие одной X-хромосомы) вызваны нарушениями в правильном распределении хромосом по клеткам.

Однако со временем стало ясно, что наследственные заболевания могут быть связаны

и с более «мелкими» нарушениями генетического аппарата, нежели потеря или приобретение целой хромосомы. Они могут быть вызваны мутациями отдельных генов — например, классическая гемофилия вызывается рецессивной мутацией в X-хромосоме. В настоящее время известны мутации генов, приводящие к аномалиям развития определенных компонентов клетки, например одного из элементов цитоскелета — промежуточных филаментов, что приводит к тяжелым заболеваниям кожи. Центросома — не исключение. Давно известно, что с нарушением функции ее производных — подвижных ресничек — связана первичная цилиарная дискинезия, или синдром Картагенера [1]. А четыре года назад ученые выяснили, что мутация в гене, кодирующем центросомальный белок перичентрин, вызывает тяжелейшее заболевание — синдром истинной карликовости, при котором больные страдают также микроцефалией и серьезными костными патологиями [2, 3]. Дефект одного-единственного белка, локализованного на едва ли не самой маленькой внутриклеточной структуре, — и столь разрушительные последствия для человеческого организма! Неудивительно, что в пренатальной медицинской практике вопросам наследования уделяется столь большое значение.

Наряду с наследованием генома (т.е. хромосом), которые достаются ребенку в равной степени от отца и матери, существует еще и так называемая цитоплазматическая наследственность. Яйцеклетка по объему примерно в 500 раз превосходит сперматозоид, и в течение первых нескольких делений, когда геном нового организма еще не активен, для развития эмбриона используются вещества, а также целые клеточные органеллы, накопленные яйцеклеткой во время созревания в организме матери. Таким образом, большинство клеточных органелл (например,

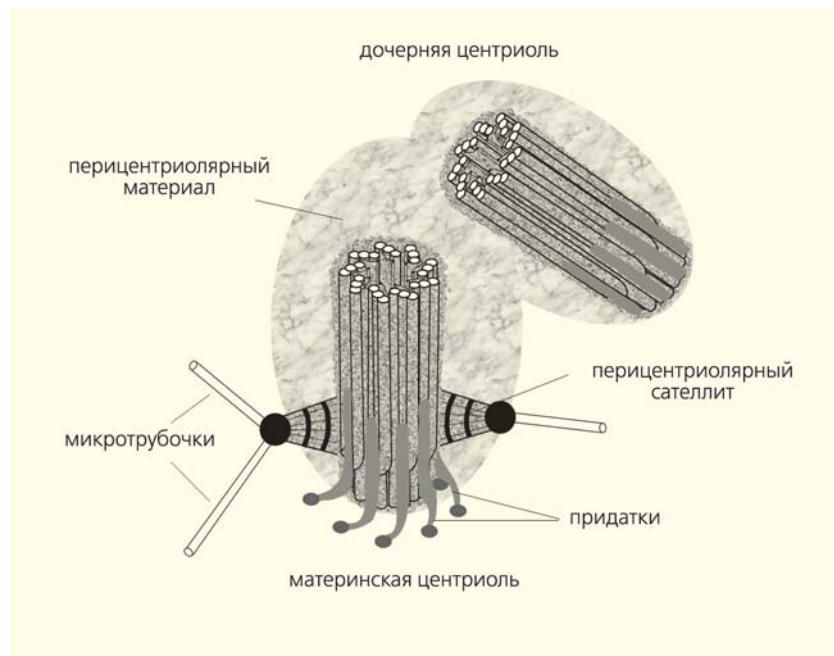


Рис.1. Общая схема строения центросомы у человека. Здесь и далее на схемах пропорции не соблюдены.

митохондрии, обладающие собственным небольшим геномом) попадает в первую клетку нового организма от матери. А какова же судьба центросомы? Попробуем разобраться.

Судьба центросомы

В большинстве соматических (неполовых) клеток количество центриолей соответствует плоидности клетки (т.е. числу наборов хромосом, находящихся в ядре клетки): в диплоидных клетках в G₁-фазе клеточного цикла, которая начинается с момента окончания предшествующего клеточного деления, центриолей две, а в тетраплоидных клетках в G₂-фазе, перед следующим клеточным делением, — четыре. Однако в процессе образования гаплоидных половых клеток (гаметогенеза) соответствие плоидности и количества центриолей может нарушаться. При формировании сперматозоидов и яйцеклетки происходит последовательная дифференцировка клеток. Они имеют специфические особенности, и сам

процесс столь важен, что на каждой стадии дифференцировки клетки имеют собственные названия. Различия в судьбе центриолей при образовании мужских (сперматогенезе) и женских половых клеток (оогенезе) настолько существенны, что их необходимо рассмотреть по отдельности.

Сперматогенез. На начальных стадиях образования сперматозоидов, в сперматогониях, где клетки размножаются митотическим делением (способ деления клеток, который обеспечивает тождественное распределение генетического материала по дочерним клеткам), соответствие количества центриолей и плоидности сохраняется (рис.2). В результате деления сперматогониев часть клеток превращается в сперматоциты первого порядка. Перед началом первого деления мейоза (деление клетки с уменьшением числа хромосом вдвое) эти клетки имеют тетраплоидный набор хромосом, однако удвоение количества центриолей с двух до четырех происходит у них не параллельно репликации ДНК

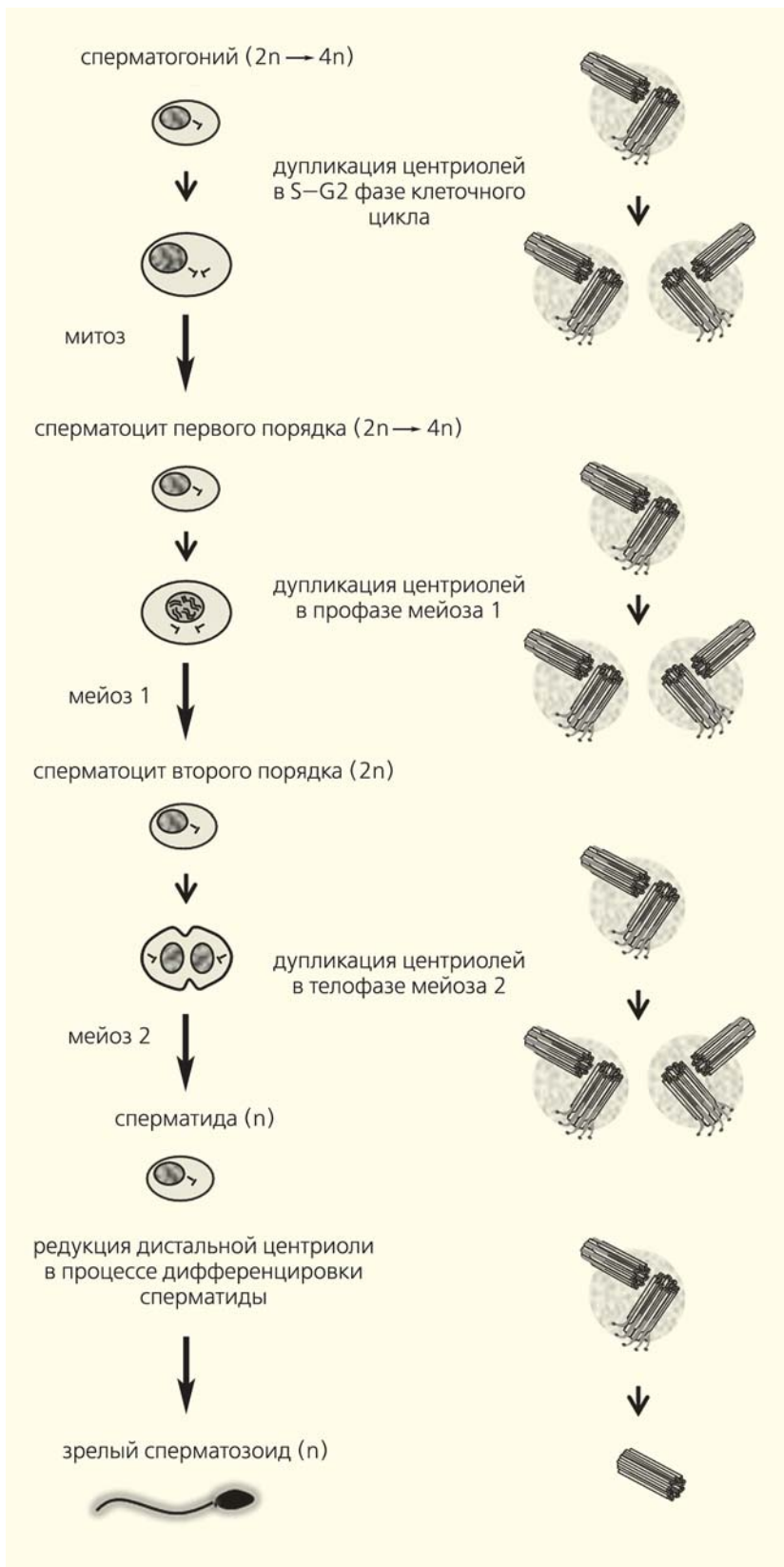


Рис.2. Схема сперматогенеза у человека. Слева показан ряд дифференцирующихся клеток, справа — строение centrosомы в соответствующих клетках на каждом этапе дифференцировки.

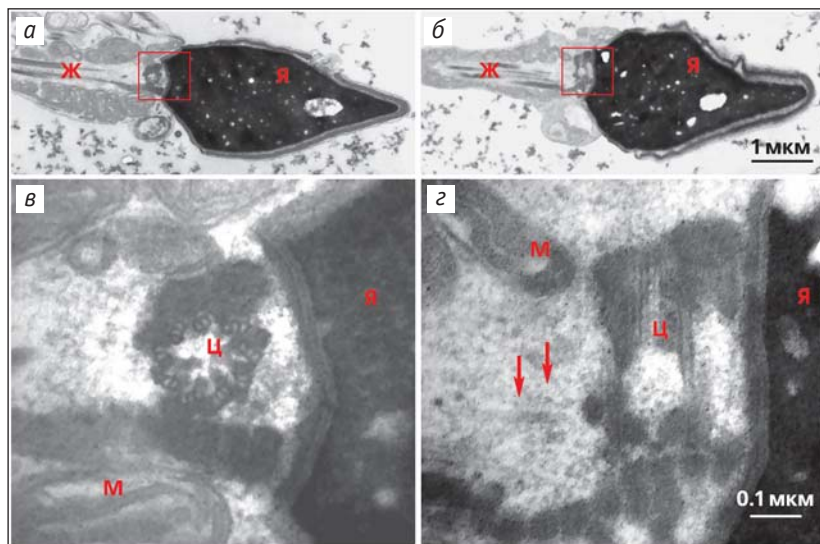
(как в соматических клетках), а в профазе первого мейотического деления. В дальнейшем количество centriолей в сперматocyтах второго порядка и в сперматидах существенно отличается у организмов различных таксономических групп. В полюсах веретена второго мейотического деления может быть как по одной centriоли (как это было описано для некоторых беспозвоночных, в частности для насекомых [4, 5]), так и по две (у большинства исследованных животных, включая моллюсков и позвоночных [5–8], в том числе и человека).

Во втором случае дополнительное удвоение количества centriолей происходит в ходе телофазы второго деления мейоза при образовании сперматид, что приводит к появлению гаплоидных половых клеток с двумя centriолями. Таким образом происходит рассогласование centriолярного и хромосомного циклов и нарушение соответствия количества centriолей плоидности клетки.

В процессе формирования зрелых сперматозоидов из сперматид (спермиогенеза) centriолярный аппарат претерпевает существенные модификации. У организмов с одной centriолю в сперматиде она может либо «отрастить» жгутик, либо редуцироваться. Если же в сперматиде две centriоли, механизм формирования centriолярного аппарата может иметь несколько вариантов. В редких случаях обе centriоли, ориентируясь параллельно друг другу, образуют жгутики [9]. Как правило, это происходит только у одной из них — у той, которая расположена дальше от ядра и называется дистальной. Вторая, ближайшая к ядру, или проксимальная, centriоль у некоторых организмов полностью исчезает в ходе спермиогенеза [8] или трансформируется в электронноплотную пластинку на проксимальном конце материнской дистальной centriоли [10]. У других организмов, включая человека, на-

Рис.3. Ультраструктура сперматозоида человека: *a, в* — общий вид, *б, г* — увеличенное изображение участка (на общем виде указан рамкой) шейки сперматозоида с перпендикулярно (*б*) и продольно (*г*) ориентированной проксимальной центриолью. Я — ядро, Ц — центриоль, Ж — аксонема жгутика, М — митохондрия. Стрелками обозначены две центральные микротрубочки аксонемы жгутика. Размер масштабный линейки — 1 мкм (*a, в*), 0.1 мкм (*б, г*).

Фото авторов



против, резорбируется дистальная центриоль, а проксимальная сохраняется (рис.3).

Оогенез. В оогенезе, в отличие от сперматогенеза, дополнительного удвоения центриолей между двумя мейотическими делениями не описано (рис.4). У некоторых организмов (ракообразных и моллюсков) к началу первого мейотического деления в ооците на каждом полюсе по две центриоли, а к началу второго — по одной [11, 12]. Более того, у некоторых организмов не происходит удвоения центриолей и перед первым делением мейоза. Это приводит к тому, что уже в ходе первого деления мейоза в каждом полюсе веретена имеется только по одной центриоле, а в ходе второго — единственная оставшаяся в ооците материнская центриоль располагается во внешнем полюсе веретена. Эта центриоль уходит во второе полярное тельце после завершения мейоза.

У позвоночных (шпорцевой лягушки, мыши, кролика, овцы, коровы, обезьяны, человека) центриоли в ооцитах исчезают еще до начала первого мейотического деления, поэтому полюса веретена обоих мейотических делений центриолей не содержат, при этом сами веретена не конвергентны, а имеют бочкообразную форму [13—17].

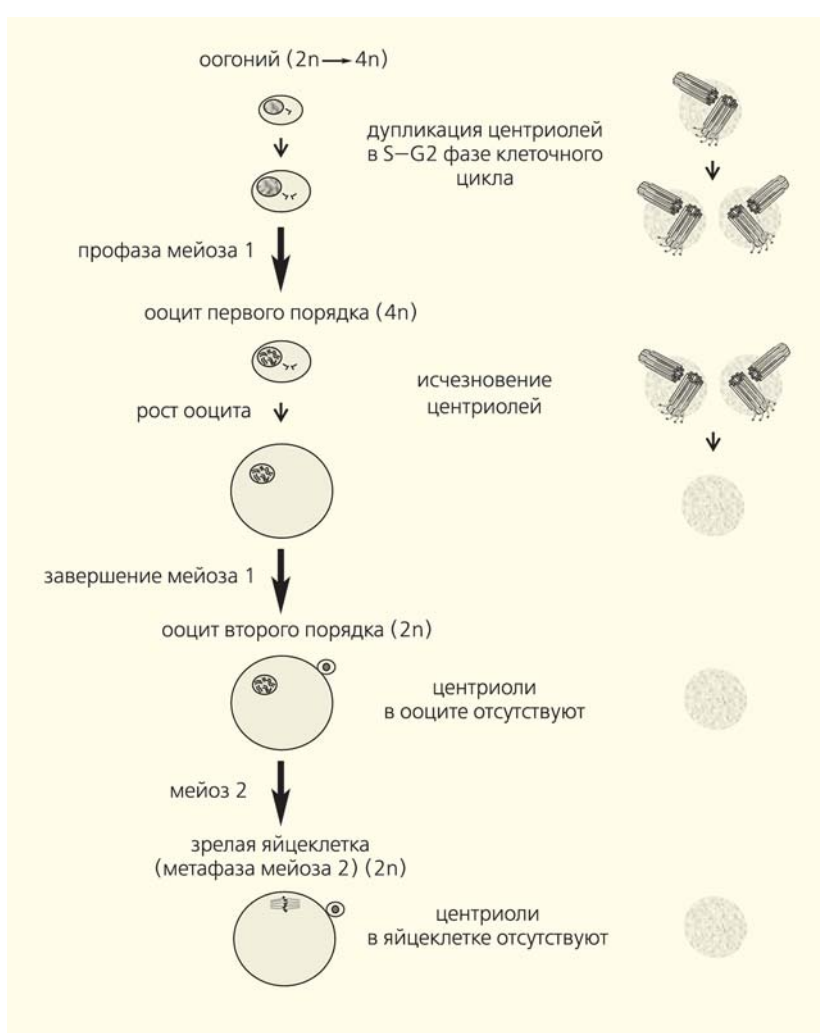


Рис.4. Схема оогенеза у человека. Слева показан ряд дифференцирующихся клеток, справа — строение centrosомы в соответствующих клетках на каждом этапе дифференцировки. На поверхности ооцита и яйцеклетки показано первое полярное тельце.

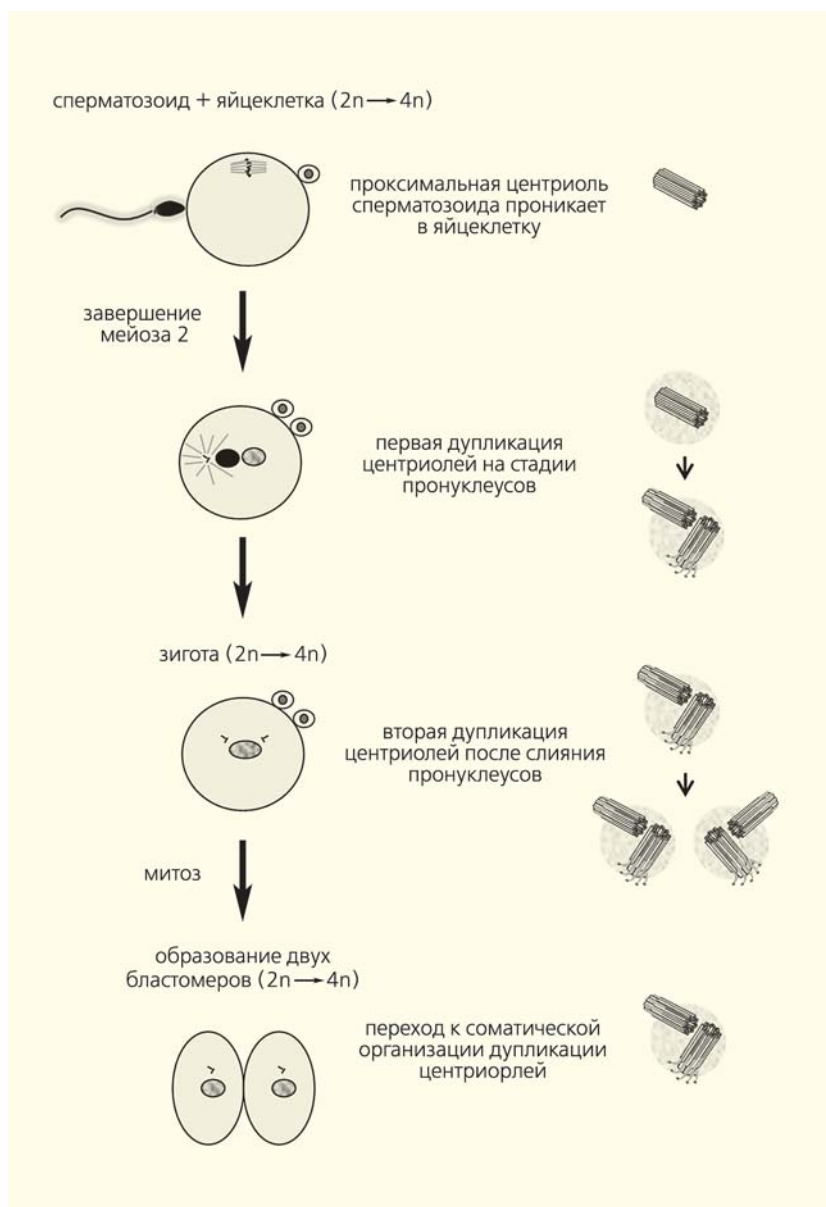


Рис.5. Схема раннего эмбриогенеза у человека. Слева показан ряд клеток формирующегося эмбриона, справа — строение centrosомы в соответствующих клетках на каждом этапе. На поверхности яйцеклетки показаны первое и второе полярные тельца.

Раннее эмбриональное развитие

У человека, как и у большинства позвоночных (за исключением грызунов), после проникновения сперматозоида в яйцеклетку отцовская проксимальная центриоль не только служит местом формирования новых центриолей, но и обеспечивает формирование транспортной сети

в зиготе, образующейся в момент слияния яйцеклетки со сперматозоидом (рис.5). Центриоль становится центром, где организуется радиальная система микротрубочек — так называемая сперматическая звезда. По этим микротрубочкам с помощью специальных белков-моторов и доставляются все необходимые компоненты для образования новых центриолей

(рис.6,а). Сперматическая звезда также принимает непосредственное участие в слиянии мужского и женского пронуклеусов (этим термином называют ядра яйцеклетки или сперматозоида в процессе оплодотворения). Удвоение центриолей происходит еще до начала формирования веретена деления [18]. Аналогично хромосомам первая centrosома имеет гибридную природу (одна центриоль от сперматозоида, другая — из материала ооплазмы), при этом гибридным оказывается и ее белковый состав. Так, белок перичентрин обнаруживается в центриолях спермия, а белок гамма-тубулин аккумулируется на centrosоме преимущественно из ооплазмы [19].

После слияния пронуклеусов центриоли дублируются второй раз. В результате в полюсах веретена у человека уже с самого первого деления, как и в соматических клетках, появляется диплосома, состоящая из двух центриолей. Отметим, что в течение нескольких первых делений синтез РНК подавлен, и клетка расходует белки, накопленные в ходе оогенеза (иРНК в сперматозоиде практически отсутствует, а доля белков, поступивших в зиготу из сперматозоида, в связи с его небольшим по сравнению с ооцитом объемом, крайне мала). Ранее считалось, что в эмбрионах человека активация генома происходит на стадии 4—8 бластомеров [20]. Однако последние исследования, проведенные с использованием новых, более чувствительных, методов транскриптомного анализа, показали, что первая волна включения генов эмбрионального генома у человека происходит уже на стадии двух бластомеров [21].

* * *

Таким образом, центриоль — столь важная как для «инициации» новой человеческой жизни, так и для развития человеческого эмбриона и нормального существования взрослого орга-

низма структура — достается детям от отца. А это значит, что и отклонения в составе или строении структурных белков отцовской центриоли могут иметь негативные последствия для раннего эмбрионального развития ребенка. Вместе с тем следует помнить, что дальнейшая организация centrosомы невозможна без огромного количества белков, накопленных в материнской цитоплазме яйцеклетки. Попавшая в первую клетку нового организма со сперматозоидом, единственная в зиготе центриоль служит матрицей, на которой из белков яйцеклетки собирается вторая центриоль (рис.6,б). В дальнейшем, к первому митотическому делению, три из четырех центриолей в двух полюсах митотического веретена состоят из структурных белков, накопленных яйцеклеткой в период оогенеза (рис.6,в). А к моменту начала второго деления дробления семь из восьми центриолей состоят из материнских белков (рис.6,г).

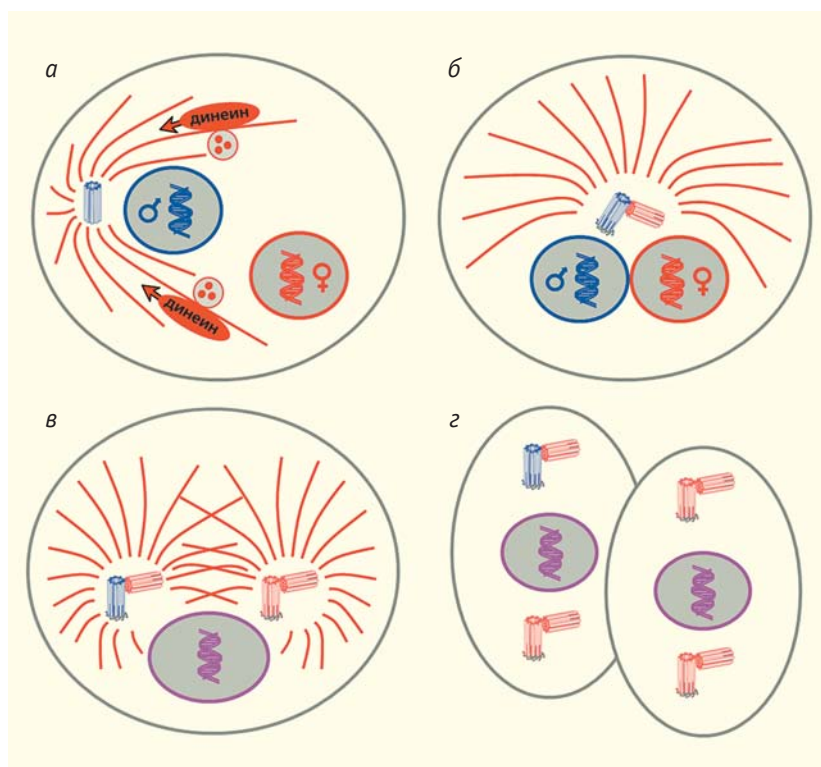


Рис.6. Схема наследования центриолей у человека на стадиях до активации эмбрионального генома в зиготе и двух бластомерах. Синим цветом выделены компоненты, полученные от отца, красным — от матери, фиолетовым — структуры эмбриона. Бластомеры показаны на момент перед последующим делением.

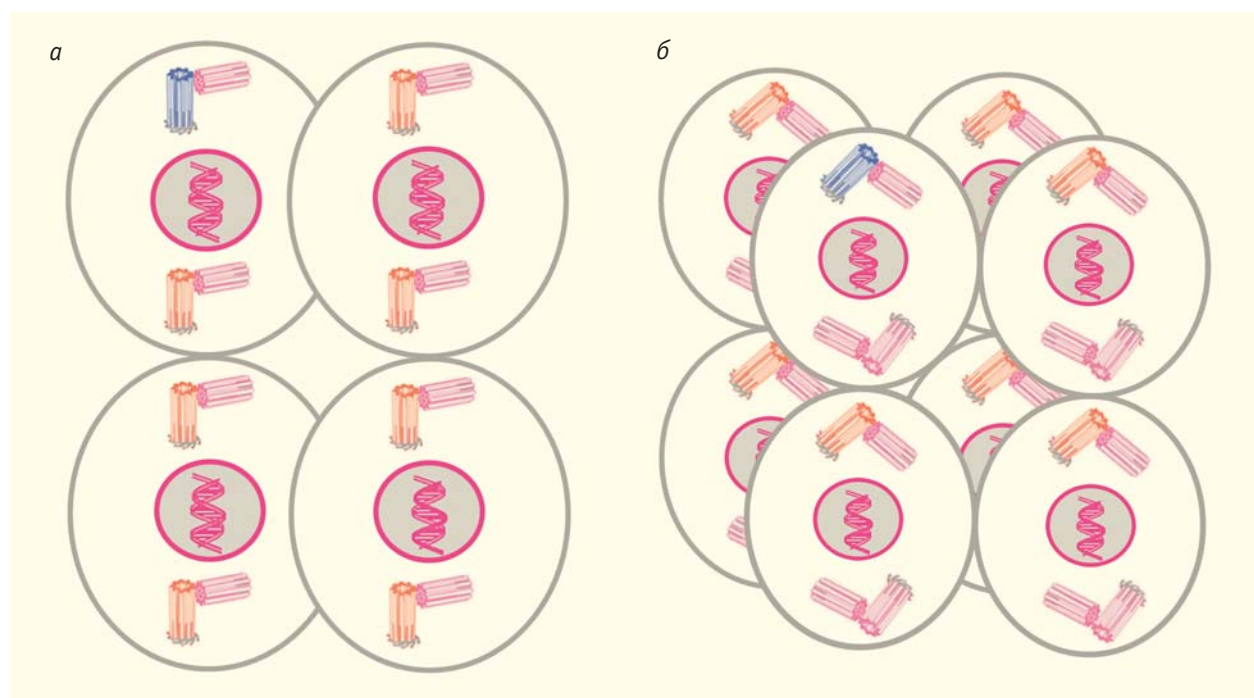


Рис.7. Схема наследования центриолей у человека на стадиях четырех и восьми бластомеров после активации эмбрионального генома. Синим цветом показаны компоненты, полученные от отца, красным — от матери, фиолетовым — структуры эмбриона. Бластомеры показаны на момент перед последующим делением.

После активации эмбрионального генома белки, синтезированные в яйцеклетке к моменту ее созревания, постепенно замещаются белками эмбрионального происхождения (рис.7). По этическим соображениям эмбрион человека не может стать объектом для исследования ран-

него развития. В связи с этим индивидуальная судьба той клетки, в которой есть единственная на эмбрион отцовская центриоль, а также судьба тех нескольких клеток, в которых находятся центриоли материнского происхождения, до сих пор не изучены. Возможно, именно на этой

стадии развития и происходит поляризация эмбриона, и именно эти восемь бластомеров, отличающиеся от других только тем, что обладают центриолями различного происхождения, — морфологический базис для последующей трансформации и дифференциации его частей. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 09-04-00363.

Литература

1. Leigh M.W., Pittman J.E., Carson J.L. et al. Clinical and genetic aspects of primary ciliary dyskinesia/Kartagener syndrome // Genet. Med. 2009. V.11. №7. P.473—487.
2. Rauch A., Tbiel C.T., Schindler D. et al. Mutations in the Pericentrin (PCNT) Gene Cause Primordial Dwarfism // Science. 2008. V.319. №5864. P.816—819.
3. Nigg E.A., Raff J.W. Centrioles, centrosomes, and cilia in health and disease // Cell. 2009. V.4. №139. P.663—678.
4. Friedlander M., Wabman J. The spindle as a basal body distributor: a study in the meiosis of the male silkworm moth, *Bombyx mori* // J. Cell Sci. 1970. №7. P.65—75.
5. Krioutchkova M.M., Onishchenko G.E. Structural and functional characteristics of the centrosome in gametogenesis and early embryogenesis of animals // Int. Rev. Cytol. 1999. №185. P.107—156.
6. Fawcett D.W. The structure of the mammalian spermatozoon // Int. Rev. Cytol. 1958. №7. P.195—235.
7. Fawcett D.W. A comparative view of sperm ultrastructure // Biol. Reprod. 1970. №2. P.90—127.
8. Gall J.G. Centriole Replication. A study of Spermatogenesis in the Snail *Viviparus* // J. Biophysical and Biochemical Cytology. 1961. №10. P.163—193.
9. Baccetti B., Dallai R., Rosati F. The spermatozoon of Arthropoda. IV. Corrodentia, Mallophaga and Thysanoptera // J. Microsc. 1969. №8. P.249—262.
10. Krioutchkova M., Onishchenko G.E., Chentsov Yu.S. An ultrastructural study of the centrosome and centrioles in gametogenesis and early embryogenesis of *Limnaea stagnalis* L. I. Centrosome and centrioles in spermatogenesis // J. Struct.Biol. 1994. №112. P.49—58.
11. Ruthmann A. The fine structure of the meiotic spindle of the crayfish // J. Biophys. Biochem. Cytol. 1959. №5. P.177—180.
12. Longo F.J., Anderson T. Cytological aspects of fertilization in the lamellibranch, *Mytilus edulis*. II. Development of the male pronucleus and the association of the maternally and paternally derived chromosomes // J. Exp. Zool. 1969. №172. P.69—96.
13. Szollosi D., Calarco P., Donabue R.P. Absence of centrioles in the first and second meiotic spindles of mouse oocytes // J. Cell Sci. 1972. №3. P.207—230.
14. Le Guen P., Crozet N. Microtubule and centrosome distribution during sheep fertilization // Eur. J. Cell Biol. 1989. №48. P.239—249.
15. Crozet N. Behavior of the sperm centriole during sheep oocyte fertilization // Eur. J. Cell Biol. 1990. 53, P.321—332.
16. Sathananthan A.H. Ultrastructure of the human egg // Hum. Cell. 1997. V.10. №1. P.21—38.
17. Sathananthan A.H. Paternal centrosomal dynamics in early human development and infertility // J. Assist. Reprod. Genet. 1998. V.15. №3. P.129—139.
18. Paweletz N., Mazia D., Finze E.M. Fine structural studies of the bipolarization of the mitotic apparatus in the fertilized sea urchin egg. I. The structure and behavior of centrosomes before fusion of the pronuclei // Eur. J. Cell Biol. 1987. №44. P.195—204.
19. Doxsey S.J., Stein P., Evans L. et al. Pericentrin, a highly conserved protein involved in microtubule organization // Cell. 1994. №76. P.639—650.
20. Braude P., Bolton V., Moore S. Human gene expression first occurs between the four- and eight-cell stages of preimplantation development // Nature. 1988. №332. P.459—461.
21. Vassena R., Boué1 S., González-Roca E. et al. Waves of early transcriptional activation and pluripotency program initiation during human preimplantation development // Development. 2011. V.138. №17. P.3699—3709.



Рудный гигант в ледниковой пустыне

А.М.Портнов

В 1868 г. экспедиция шведского полярного исследователя Нильса Норденшельда на судне «София» подняла со дна Карского моря темные камни, оказавшиеся железомарганцевыми стяжениями (конкрециями). Затем похожие образования были обнаружены при драгировании дна Атлантики в районе Канарских о-вов океанографической экспедицией Великобритании на корвете «Челленджер» (1872–1876). Внимание геологов привлекло то, что кроме железа и марганца в конкрециях были заметные количества цветных металлов. Впоследствии подводные фотосъемки показали: дно здесь иногда напоминает булыжную мостовую. Оно сплошь покрыто конкрециями размером 4–5 см, которые выступают из ила или образуют в верхней части грунта слой толщиной до 0.5 м. Количество руды достигает 200 кг/м².

Руда будущего

Больше всего железомарганцевых конкреций (ЖМК) оказалось в центре Тихого океана. Там было установлено грандиозное месторождение, расположенное между широтными разломами Клариян и Клиппертон. Оно протянулось вдоль экватора к западу от Америки на тысячи километров [1, 2]. Руды представлены сростаниями гидрок-



Александр Михайлович Портнов, доктор геолого-минералогических наук, профессор Российского государственного геологоразведочного университета им.С.Орджоникидзе. Область научных интересов — минералогия и геохимия рудных месторождений.

сидов марганца и железа в форме лепешек, охристых пластов, корок. В них определены высокие содержания никеля, кобальта, меди, а также небольшие примеси платины, иридия, цинка, свинца, молибдена, серебра, золота, фосфора. Запасы металлов в конкрециях и корках, распространенных в этой провинции с плотностью до 10 кг/м², очень велики и оцениваются в 380 млрд т. Кроме того, ЖМК — мощные сорбенты. Они способствуют природной очистке океанской воды от железа, марганца и тяжелых металлов. Общие ресурсы океана превышают 1.5 трлн т конкреций. Марганца здесь больше, чем на всех его континентальных месторождениях [1]!

Такое огромное скопление ЖМК рассматривается как комплексная руда будущего. Состав ее различен: самая высокая концентрация марганца, цветных

и редких металлов содержится в конкрециях экваториальной части Тихого океана (85% ресурсов марганца в конкрециях и более 95% редких металлов). Разведанные запасы богатых и очень богатых руд составляют здесь 10 млрд т. В Атлантике и Индийском океане их ресурсы значительно меньше, и редких металлов в них немного. В морях Ледовитого океана ЖМК еще меньше. В них преобладает железо, марганца мало, а ценных металлов почти нет. Кроме того, на плоских вершинах подводных гор (гайотов) в районе тихоокеанского экватора найдены особо ценные кобальт-марганцевистые корки. Основные запасы руд сосредоточены на месторождении-гиганте Клариян-Клиппертон, они поделены между ведущими государствами мира [2].

Любопытно, что данные о ЖМК, полученные океанографическими экспедициями Ака-



«Булыжная мостовая», состоящая из железомарганцевых конкреций. Тихий океан, глубина 6000 м.

Фото из архива «Южморгеологии»

демии наук СССР и Министерства геологии, в нашей стране долгое время хранились в тайне. Были засекречены даже зарубежные статьи и карта распространения конкреций, изданная в 1978 г. в США. О гигантских скоплениях руды стало официально известно в СССР только в 1982 г., после подписания 119 государствами в Монтиго-Бей на Ямайке Международной

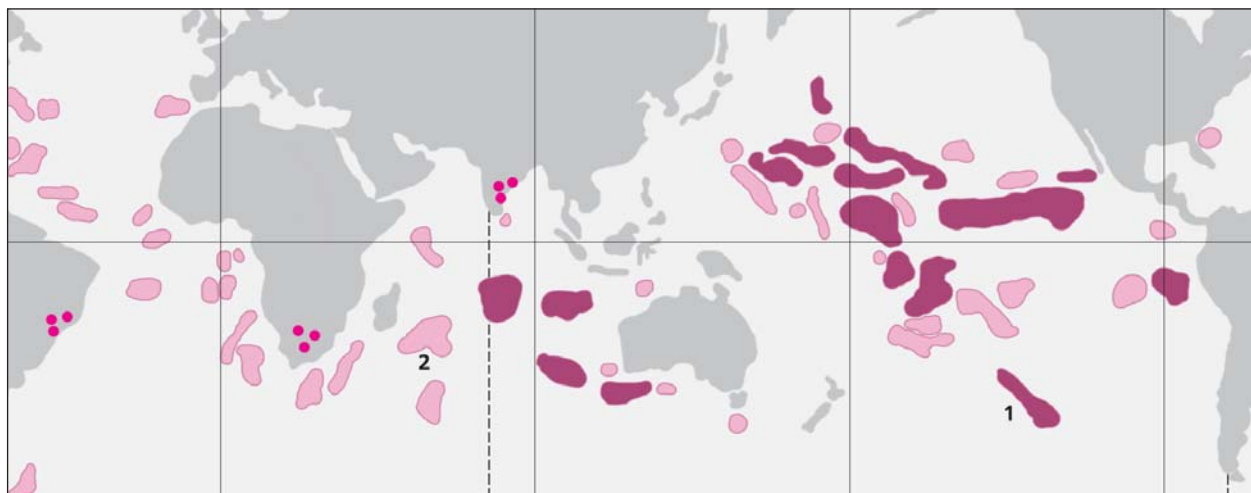
конвенции по морскому праву, согласно которой минеральные ресурсы морского дна в «Международном районе» признаны общим достоянием человечества.

С 1987 г. СССР стал заявителем и обладателем Международного сертификата на участок морского дна Тихого океана с правом дальнейшего изучения и промышленного освоения ЖМК, комплексной руды для по-

лучения марганца, никеля, меди, кобальта. В России разработаны различные варианты добычи этих полезных ископаемых. После вступления в силу Конвенции по морскому праву 1994 г. природоохранная деятельность контролируется Международной организацией по морскому дну (ISA).

В 2001 г. «Южморгеологией» был подписан контракт на 15 лет на разведку двух участков дна Тихого океана общей площадью 75 тыс. км² [3]. Один расположен в глубоководной Восточно-Марианской котловине и представляет собой часть рудного гиганта Кларион-Клиппертон. Другой — на гайотах на глубине 2000–3500 м, в районе отведенного России участка подводных Магеллановых гор. Прогнозные ресурсы участков достигают 600 млн т сухой рудной массы. При годовой производительности в 3 млн т ценность высвобождаемых из руды металлов достигает 3 млрд долл. Кроме того, в 2011 г. Россия получила права на разведку и освоение в Атлантике цветных металлов, связанных с горячими растворами в разломах океанского дна.

Технологическими исследованиями во Всероссийском институте минерального сырья выделены два связанных с конкрециями типа руд: никель-



Обогащенные марганцем железомарганцевые конкреции [1] концентрируются в экваториальной части Тихого океана. 1 — $Mn/Fe > 1$; 2 — $Mn/Fe < 1$.

медь-кобальтовый и марганец-кобальтовый. Первый содержит до 3% суммы Ni и Cu, до 0.35% Co, до 20% Mn. Второй — до 25% Mn, до 2.0% Co и всего до 0.7% суммарно Ni и Cu. Вместе с кобальтом присутствуют также 0.1% молибдена, до 4.5 г/т платины и иридия и до 4.5 кг/т редкоземельных элементов.

Высокая концентрация редкоземельных элементов особенно интересна, поскольку самарий, гадолиний, диспрозий, неодимий, празеодимий, тербий, европий, иттрий и др. — необходимые компоненты современных высоких технологий. Они используются в мощных постоянных магнитах, в атомной, оптической, микроэлектронной промышленности. Мировой их монополист — КНР. В 2008 г. там было добыто 120 тыс. т редкоземельных элементов (97% мировой добычи). На данный момент Китай прекратил продажу этого сырья, что привело к резкому увеличению его стоимости. В то же время мировая потребность в нем стремительно растет и, по оценкам специалистов, к 2015 г. достигнет 200 тыс. т.

В 2011 г. японские геологи Токийского университета под руководством Я.Като в Тихом океане около островов Гавайи и Таити установили аномально высокие концентрации редкоземельных элементов не только в ЖМК, но и в иле. Их содержание там составляет 2—3 кг/м³, т.е. примерно столько же, сколько в конкрециях. По оценке Като, ресурсы этих металлов на дне океана способны обеспечить весь мир и могут достигать 100 млрд т!

Концентрация редкоземельных элементов в иле часто превышает их содержание в китайских континентальных месторождениях. Но, в отличие от последних, ил и ЖМК содержат мало урана и тория, что очень важно при технологическом процессе. Извлечение редкоземельных элементов из конкреций кислотами разработано немец-

кими учеными, дало положительные результаты и может избавить мир от сырьевой монополии Китая.

С вершин гайотов добыча руды наиболее перспективна методом гидроподъема или эрлифта [2]. Для транспортировки сырья могут использоваться обычные сухогрузные суда. Переработка ЖМК и корок методами гидро- и пирометаллургии успешно опробована на предприятиях бывшего СССР и США. Скорее всего, она применима и для ила.

Несмотря на огромные прогнозные ресурсы редкоземельно-никель-кобальт-марганцевых руд, со дна океанов и морей добыто всего несколько сотен тысяч тонн (преимущественно на мелководье, вблизи берега). В России железомарганцевые конкреции в небольших количествах добываются в Финском заливе. Если их использовать в качестве сорбентов для очистки сточных вод или наполнителей бетона атомных электростанций, то приобретут ценность и железистые конкреции без редких металлов, с низким содержанием марганца, которые имеются в Черном, Белом, Карском и Восточно-Сибирском морях.

ЖМК — современники человека

ЖМК Мирового океана и морского шельфа — новый, нетрадиционный вид минерального сырья, не имеющий аналогов среди континентальных месторождений редких, цветных и черных металлов по ресурсам, условиям образования и вещественному составу. Но до сих пор остается неясным, когда и как на дне океана скопились огромные массы марганца, железа и других ценных металлов. Почему конкреции лежат на поверхности дна океана? Почему богатые руды залегают лишь вдоль экватора в Тихом океане? Почему в ЖМК присутствуют

никель, кобальт, платина, характерные для мантии Земли и железных метеоритов?

На континентах таких руд нет. В осадочных породах прошлых геологических эпох находятся многие месторождения марганца, но состав их руд более простой. Раньше считалось, что конкреции растут очень медленно, со скоростью 1 мм за миллион лет. Их возраст оценивался в 150 млн лет. Предполагалось, что марганец и железо поступают из подводных вулканов и сносятся реками с континентов. Но было непонятно, почему тяжелая руда в течение миллионов лет как бы плавала на поверхности донного ила, скорость осаждения которого в тысячи раз больше. Эта загадка получила название «парадокс непотопляемости ЖМК» [1].

Решение этой задачи нашли Г.С.Ануфриев и Б.С.Болтенков, специалисты по масс-спектрометрии из Физико-технического института РАН (Санкт-Петербург). Они доказали связь высокой скорости роста ЖМК с космической пылью. Для определения скорости роста использовался новый метод «космического трассера», основанный на определении в образцах концентрации изотопа ³He, который транспортируется в осадочные породы с космической пылью. Измерения показали в ЖМК высокое содержание гелия (³He), связанного с «солнечным ветром».

Космическая пыль интенсивно облучается «солнечным ветром», при этом корпускулы солнечного излучения внедряются в поверхность пылинок и падают с ними на Землю. Концентрация в ЖМК таких внедренных (имплантированных) частиц аномально велика. Глубоководные океанические илы имеют отношение ³He/⁴He = 10⁻⁵, что близко к соотношению изотопов в «солнечном ветре» и на поверхности Луны. Это означает, что 99% легкого изотопа гелия в океанских илах имеет космическое происхождение.

Современные расчеты показали, что ЖМК растут со скоростью примерно 1 мм за тысячу лет, что в тысячу раз быстрее, чем считалось раньше. Это совпадает с известным фактом быстрого накопления в озерах так называемой «болотной руды» — лимонитовых конкреций, которые возникают за счет железа, рассеянного в ледниковых отложениях. Славяне издавна добывали железную руду со дна озер и знали, что она снова появится через несколько десятков лет. Выходило, что ЖМК очень молоды, возникли в ледниковый период и связаны с эпохой глобальных многократных похолоданий.

Решение «парадокса непотопляемости» породило еще более странный «парадокс времени». Масса металлов отложилась за удивительно короткий срок. Создавалось впечатление, что руду буквально высыпали в океан. Конкреции оказались современниками мамонта и первобытного человека!.. Почему концентрации сотен миллиардов тонн марганца и железа произошла на экваторе так быстро и именно в Тихом океане? Почему в период оледенения Земли собрались вместе элементы космической пыли: легкий изотоп гелия, никель, кобальт, платиноиды?

ЖМК неизвестны в морских и озерных осадках палеогена, мезозоя, палеозоя. Они, подобно болотным рудам, возникшим на дне послеледниковых озер, обязаны своим происхождением ледниковому периоду. Но их химический состав резко отличается от железистых конкреций болотных руд. В них много марганца с примесью типичных космических элементов — ^3He , Ni, Co, Ir, Pt.

Космический и земной вклад в ЖМК

ЖМК растут из донного ила, концентрирующего взвеси и металлы океанской воды. В них можно выделить главные и вто-

ростепенные элементы. Главные — марганец и железо (металлы с переменной валентностью). Советский академик Н.М.Страхов называл геохимию марганца удивительной, паразитической и экзотической. Сходными свойствами обладает и железо.

Дело в том, что изменение валентности полностью меняет поведение этих элементов. В восстановительной среде они двухвалентны и растворимы, а в окислительной — выпадают в осадок в виде гидроксидов высших валентностей. В бескислородной воде илов ЖМК растворяются, а при насыщении воды кислородом — растут. Сейчас рыбам хватает кислорода даже в пучине Марианской впадины, поскольку в холодной воде океанских глубин при высоком давлении растворимость кислорода максимальна. Течения разносят кислород по всему океану, и растворенного марганца в воде мало. Но в периоды похолоданий фотосинтез ослабевал, связь с атмосферой нарушалась — и концентрация кислорода под ледяной корой океана уменьшалась, а запас растворенного марганца возрастал.

Можно предположить, что для появления гигантских железомарганцевых залежей были необходимы: ледяной покров океана (и обусловленный этим дефицит кислорода в океанской воде); накопление космической пыли на ледяных щитах; обилие кислорода в талых водах; наличие экваториальных течений.

Мы часто забываем, что ледяной покров Земли закрывал не только сушу, но и значительную часть океанов. По данным американских геологов, граница вечной мерзлоты в позднем плейстоцене приближалась к 25° южной широты и проходила через о. Лонг Айленд. Нарушался кислородный газообмен между атмосферой и гидросферой. Видимо, это отражалось в снижении содержания кислорода в воде (подобно современным северным озерам, где к весне ры-

бам не хватает кислорода). Подолдом в океане (особенно в иловых водах) в условиях дефицита кислорода накапливались огромные запасы растворенного двухвалентного марганца и железа в виде хлоридов и гидрокарбонатов. А на ледяном щите десятки тысяч лет собиралась космическая пыль.

Ледяной накопитель космической пыли

В последнее время геологи стали уделять больше внимания космическому влиянию на нашу планету. Обнаружены десятки огромных метеоритных кратеров, в том числе скрытый подолдом Антарктиды гигант диаметром 500 км. На Южном континенте найдены тысячи метеоритов, изучена взвесь в древних слоях льда и встречены прослойки с содержанием космической пыли в 100 раз выше фона (~0.5 г/кг льда) возрастом 430 и 480 тыс. лет. Сохранность имплантированного изотопа гелия указывает, что космическая пыль существует в виде самостоятельной фазы, не растворяющейся в океанской воде.

По современным разноречивым данным, количество метеоритной пыли в среднем можно оценить как 40 тыс. т в год, что за общее время оледенений (около 350 тыс. лет) составило более 10 млрд т. Уровень Мирового океана во время последнего оледенения понизился на 100—120 м, количество льда при этом составило $40\text{--}45 \cdot 10^{15}$ т. По нашим подсчетам, при суммарном содержании пыли (метеоритной, вулканической, континентальной) 0.5 г/кг ее количество во льдах только последнего похолодания достигало 20 трлн т.

Даже небольшой части этого количества достаточно, чтобы возник железорудный гигант с никелем и кобальтом. Железные метеориты содержат в среднем 85—90% железа, 10—15% никеля, до 1% кобальта, 5—10 г/т платиноидов. Эти же металлы

концентрируются в ЖМК. Высокая концентрация солнечного гелия подтверждает роль метеоритной пыли в составе конкреций. Но, в отличие от железа, имеющего полигенный характер, марганец исключительно земной [1], он извлечен из бескислородной воды океана в зоне его окисления.

Зона окисления в океанской проруби

Железа на Земле много. Его кларк (константа, отвечающая среднему содержанию элемента) в земной коре составляет ~5%. Большая часть железа в ЖМК имеет земное происхождение, оно выпадает в осадок в окислительной среде вместе с марганцем. Марганца же в десятки раз меньше, его кларк всего 0.1%. Этот элемент обладает способностью накапливаться в воде при дефиците кислорода, он также входит в состав конкреций. Как природа решила задачу концентрации всех металлов в одном месте?

Измерения изотопов водорода и кислорода в ледяном керне скважин Гренландии и Антарктиды дали представление об изменениях климата за последние 800 тысяч лет. Оказалось, что эпохи потепления и оледенения неоднократно чередовались. (См. рис. на с.6—7. Низкие значения δD и $\delta^{18}O$ соответствуют эпохам оледенения.) Резкие колебания содержания изотопов свидетельствуют об очень быстрой смене климата.

В периоды похолоданий со стороны полюсов, с горных хребтов Кордильер и Анд в Тихий океан спускались ледяные поля — и мощная ледяная кора покрывала значительную часть океана (~30—40%). Американские геологи считают, что ледовый поток спускался к Мексиканскому заливу южнее Великих озер, захватывая нижнее течение р.Миссисипи. В то время на ледяной покров Земли падало космическое вещество



Железомарганцевые конкреции, обогащенные Mn.

с железом, никелем, кобальтом, платиной и солнечным изотопом гелия.

В экваториальной зоне поверхность Мирового океана оставалась открытой. В Атлантике она уходила далеко к северу (за счет Гольфстрима), а в Тихом океане относительно узкая «промоина» была вытянута в широтном направлении, от Азии до Америки (за счет мощных экваториальных течений, в том числе недавно открытого течения Кромвелла).

Резкие изменения отношения изотопов кислорода пока-

зывают, что климат менялся быстро, особенно в эпохи потеплений. Гигантские пласты льда исчезали за несколько тысячелетий. Уровень Мирового океана в короткий срок поднимался на 100—150 м.

Широтная полоса железомарганцевых конкреций в центре Тихого океана может свидетельствовать, что в эпохи оледенений здесь находилась гигантская полынья, где работали мощные экваториальные течения. Они увлекали воду, обогащенную марганцем, из приполярных зон Мирового океана.

Сюда в периоды потепления обрушивались чудовищные потоки богатой кислородом талой воды с космической пылью, выпавшей на лед за десятки тысяч лет. Пласты ЖМК отражают зону окисления иловых вод.

Потоки талой воды за период одного потепления приносили в океан до 500 млрд т растворенного кислорода. Пресная вода смешивалась с океанскими широтными течениями, начинавшимися в приполярных областях и выносивших оттуда растворенный марганец. На этом «кислородном барьере» над илом осаждались гидроксиды марганца и железа, образуя конкреции. Создавалось впечатление их непотопляемости. Зональность ЖМК указывает на неоднократное повторение процессов их роста и растворения.

Сорбция железомарганцевыми минералами космических элементов из ила завершала формирование уникального типа руд на дне океана. Неслучайно никель, кобальт, платина отсутствуют в ЖМК на окраинах Ледовитого океана и у берегов Антарктиды. Океаны приполяр-

ных зон были закрыты льдом, и космическая пыль в океан не поступала. Кислорода под ледяной корой было немного, поэтому и марганца в ЖМК приполярных областей тоже содержится мало.

Концентрация редкоземельных элементов в ЖМК и в иле, видимо, также связана с их повышенным содержанием в космическом веществе. Известно обогащение отложений глобальной «иридиевой аномалии» церием, лантаном, иттрием, а по нашим данным, также маггемита, образование которого связывается с возникновением гигантского Попигайского метеоритного кратера в Восточной Сибири [4].

* * *

Итак, растворенные в океане гидрохлоридные и гидрокарбонатные комплексы марганца окислялись ледниковой водой, переходили в гидроксиды и выпадали в осадок вместе с гидроксидами железа.

Эти два мощных сорбента поглощали из океанского ила космические металлы — никель, кобальт, платину, иридий, ред-

коземельные элементы, а также земные — медь и молибден, создав в эпохи межледниковья грандиозное скопление руды в виде железомарганцевой провинции Кларион-Клиппертон.

Однако можно ли сказать, что ЖМК — индикаторы ледниковых периодов? В Австралии, в пермских отложениях золотоносного района Балларат, Ч.Дарвин обратил внимание на валуны со штриховкой, похожей на ледниковую. Но ЖМК в пермских слоях нет. Может быть, Дарвин посчитал ледниковыми валуны из древнего грязевого потока?

В венде также обнаружены конгломераты, предположительно ледниковые. В карбонатных отложениях позднего докембрия установлены аномалии легкого изотопа углерода, вроде бы указывающие на оледенение. Но и в венде, и в осадочных толщах докембрия аналогов ЖМК тоже нет.

Железомарганцевые конкреции океана — уникальное порождение ледниковых периодов, отразившее такое сочетание условий, которого раньше в истории Земли не было. ■

Литература

1. *Базилевская Е.С.* Феномен марганца на Земле // *Природа*. 2003. №5. С.35—42.
2. *Базилевская Е.С., Мошаров С.А.* Железомарганцевые руды: безопасная добыча в океане // *Природа*. 2011. №2. С.63—68.
3. *Лыгина Т.И.* Внутриплитовая экзогенная активность в океане — новые факты // *Природа*. 2010. №5. С.36—45.
4. *Портнов А.М.* Минералы — индикаторы геологических процессов // *Природа*. 2006. №10. С.41—48.

Птицы в большом городе: как сохранить их разнообразие в лесопарках Москвы?

Н.С.Морозов

Не секрет, что облик и экологическое благополучие любого города и особенно мегаполиса во многом определяют уцелевшие природные и искусственно озелененные территории. Очевидно и то, что для грамотной их охраны нужно знать не только причины, но и закономерности изменений видового состава разных групп организмов, структуры популяций отдельных видов и экологических сообществ. Однако интерес экологов к «зеленым островам» в окружении городской застройки этим не ограничивается.

По эволюционным меркам современный город — чрезвычайно молодой и к тому же быстро меняющийся ландшафт. Его особенности (например, мозаичность и контрастность между плотно застроенными участками и природными территориями) открывают уникальные перспективы для исследований во многих областях эволюционной экологии, таких как динамика численности популяций, механизмы адаптации, внутри- и межвидовые отношения, экологическая ниша, устойчивость сообществ.

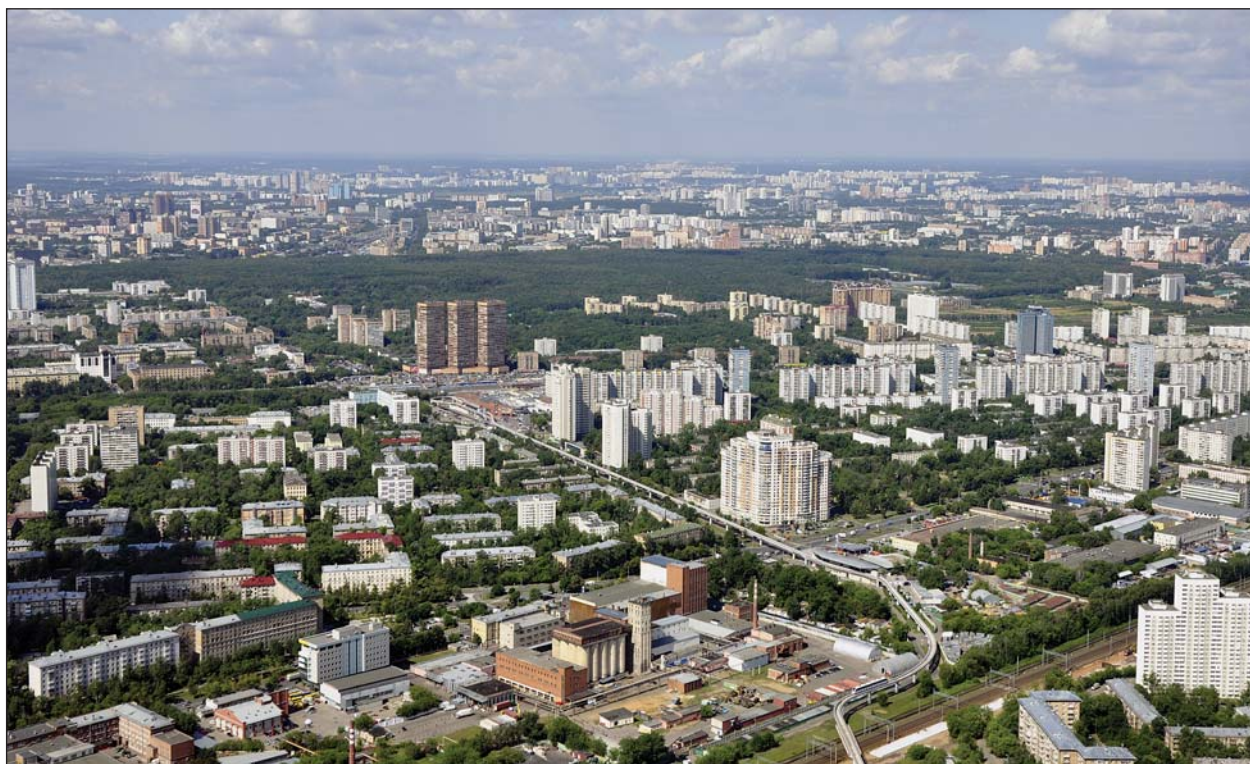
В Москве в пределах кольцевой автодороги (МКАД) лесами покрыто свыше 100 км² (11% территории), однако более четверти из них приходится на город-



Николай Сергеевич Морозов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова РАН. Область научных интересов — синэкология и популяционная экология, ценоотические отношения и закономерности организации населения птиц в лесных и городских ландшафтах.

скую часть национального парка «Лосиный Остров». Разумеется, прямое вмешательство человека в естественную динамику растительности этих мест происходило с начала их освоения и продолжается по сей день. Многие земли, занятые сейчас лесопарками, в прошлом входили в состав приусадебных парков, стиль которых мог неоднократно меняться в соответствии со вкусами и возможностями их владельцев. Кое-где, например, в Лесной опытной даче Московской сельскохозяйственной академии им.К.А.Тимирязева (ЛОД) и в Главном ботаническом саду им. Н.В. Цицина РАН (ГБС), проводились масштабные эксперименты по лесоводству и интродукции растений. В итоге на некоторых участках появились лесные сообщества с экзотическими сочетаниями доминирующих видов и необычной вертикальной структурой. В лесопарках Москвы в целом преобладают древостои с доминированием двух видов берез (*Betula pendula*, *B. pubescens*), сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*), липы мелколистной (*Tilia cordata*) и дуба черешчатого (*Quercus robur*). Как ни странно, уцелели слабонарушенные участки перестойных древостоев широколиственных пород, аналоги которых в лесных хозяйствах Подмосковья либо давно сведены, либо подвергаются бесконечным рубкам различного назначения. В глубине крупных массивов, где редко проводятся лесотехнические мероприятия, хорошо развит подлесок, в удовлетворительном состоянии травяно-кустарничковый ярус, много мертвой древесины и дупел естественного происхождения. Все это благоприятно сказывается на разнообразии животного населения, в том числе птиц.

© Морозов Н.С., 2012



Лесная опытная дача МСХА им. К.А.Тимирязева (ЛОД).

Здесь и далее фото автора

Однако видовой состав птиц (как и многих других крупных таксонов животных) определяется не только характером растительности, но и размерами «зеленого острова» [1]. Чем больше лесопарк, тем выше вероятность, что в нем поселятся редкие виды (эффект площади выборки) или виды, особям которых требуются обширные индивидуальные участки. Кроме того, крупные лесопарки привлекают большее число видов, поскольку зачастую там выше разнообразие биотопов и имеются места (как правило, во внутренних частях «зеленого ост-

рова»), где птиц редко беспокоит человек. Впрочем, в составе авифауны любого региона есть виды, которые из-за тех или иных особенностей биологии не могут обитать не только в городах, но даже на охраняемых природных территориях возле больших городов. Сохранить такие виды в сильно урбанизированных ландшафтах не представляется возможным. Но какова ситуация с остальными? Распространяется ли вывод об обеднении видового состава птиц отдельных природных территорий, сделанный ранее некоторыми исследователя-



Подлесок под пологом лиственницы в ЛОД (слева) и заросли свидины белой в березняке Юго-Западного лесопарка.



Основная часть лесного массива природно-исторического парка «Останкино».

ми [2, 3], на все крупные (более 2.5—3 км²) лесопарки Москвы? Для ответа на эти вопросы нужны сведения об изменениях, произошедших в процессе окружения лесопарков застройкой.

Потери или приобретения?

Видовой состав птиц нескольких крупных природных территорий Москвы изучался неоднократно на протяжении 80—135 лет, но анализ произошед-

ших изменений осложняется рядом обстоятельств. Так, в «Сокольниках» (~6.4 км²) наблюдения проводились в 1922—1937 г, когда этот лесопарк располагался еще на окраине столицы [2]. Обеднение в те годы могло быть вызвано не столько окружением этой территории городом, сколько частичной ее застройкой сооружениями одноименного парка культуры и отдыха, увеличением рекреационной нагрузки и вырубкой подлеска. Полный список видов птиц не был опубликован, что затрудняет сравнение с современными данными.



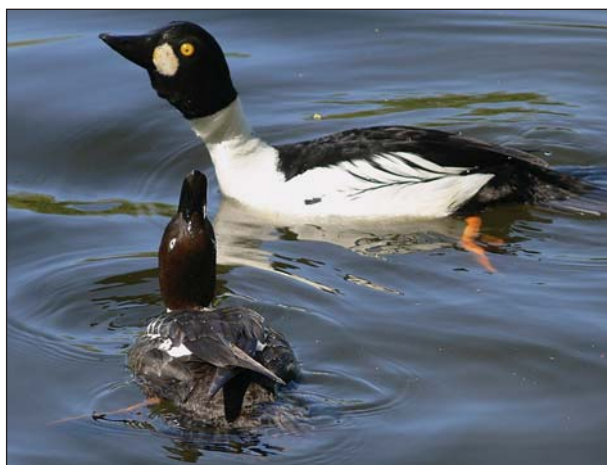
В заповедной дубраве ГБС: валежник (начало мая, слева) и сухой дуб (начало сентября) в зарослях лещины.



Пруд в природно-историческом парке «Останкино».

Обследования Теплостанской возвышенности (в том числе Воробьевых гор) также были многолетними и проводились периодически, начиная с последней четверти XIX в. [4]. Облик местности сильно менялся, особенно во время строительства Московского университета. Четко установить, какие сведения в старых списках птиц относились именно к природному комплексу в его более или менее современных границах, а какие — к давно застроенным или сильно трансформированным участкам, невозможно.

Еще два крупных массива — ЛОД (~3 км²) и Измайловский лес (~14 км²) — были обследованы до



Брачная церемония у гоголей на пруду в «Останкино».

и после окружения их городской застройкой, эти инвентаризации длились по 1—3 года. Авторы итоговых публикаций обратили внимание на тенденцию к обеднению гнездовой авифауны в середине XX в. [5, 6]. Так, в ЛОД в начале прошлого века было отмечено 63 гнездящихся вида птиц, 1958 г. — 41, а в последнее время — 55 видов. Возможно, поначалу некоторые виды действительно негативно отреагировали на соседство с городом, но позже часть из них (приспособившаяся к новым условиям) «вернулась» [4, 6]. Однако не исключено и другое: представление о снижении числа гнездящихся видов в середине прошлого столетия ошибочно и объясняется малой (вплоть до одного года) продолжительностью обследований. Как известно, далеко не все потенциальные обитатели поселяются на одном и том же месте ежегодно. Причинами этого непостоянства у разных видов могут быть стабильно невысокая численность в регионе, резкие колебания численности по годам, малое количество приступающих к размножению особей в неблагоприятные по кормовым условиям годы. Поэтому столь желательно, чтобы фаунистические инвентаризации длились по несколько лет.

На этом фоне особый интерес представляют сведения о составе гнездящихся видов птиц природно-исторического парка «Останкино» (ПКО), включающего в себя ГБС, прилегающую часть долины р. Яузы, Леоновскую Рощу, парк «Останкино», регулярный парк музея-усадьбы «Останкино» и ВВЦ. Площадь собственно природного комплекса вместе с природно-антропогенными участками

составляет приблизительно 4.6 км², из которых около 2.8 км² покрыты древесной растительностью, преимущественно старыми дубравами, а остальную часть занимают возделываемые и залежные земли, газоны, зарастающие пустыри, постройки, пруды, реки Лихоборка и Яуза.

На протяжении последних восьми десятилетий ПКО неоднократно обследовался орнитологами. Полные инвентаризации проводились в 1929—1935, 1949—1963 и 1990—2011 гг. [7]. Во время первой и к началу второй из них ПКО находился еще в пригороде Москвы. В 1950-х и 1960-х годах на примыкающих к нему территориях развернулось массовое строительство, и к началу третьего обследования он оказался внутри города. Расстояние до центра Москвы составляет 7.5 км, до МКАД — 5.8 км, до «Лосиногостинского острова» — 2.2 км.

За все время наблюдений в ПКО было отмечено 135 видов птиц, причем 96 из них, по-видимому, гнездились. Поскольку об этом судят с той или иной долей уверенности (например, в период размножения удалось увидеть гнезда или только птиц), в последние десятилетия стали использовать специальную терминологию [8]. В соответствии с ней в 1990—2011 гг. в ПКО «несомненно» или «вероятно» гнездились 79 видов птиц и еще 6 видов — «возможно», тогда как во время первых двух инвентаризаций в общей сложности предполагалось размножение 59—60 видов. Оснований говорить (по аналогии с ЛОД) о снижении видового богатства в середине XX в. нет: в равные по длительности периоды 1929—1935, 1949—1955 и 1991—1997 гг. число гнездившихся видов составляло 47, 50 и 61, соответственно. Кто же в итоге исчез, и кто появился? Среди птиц, «вероятно» или «несомненно» гнездившихся в 1990—2011 гг., отсутствуют 11 видов, фигурировавших в этом качестве хотя бы в одном из двух первых списков: обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus*), перепел (*Coturnix coturnix*), перевозчик (*Actitis hypoleucos*), клинтух (*Columba oenas*), обыкновенный козодой (*Caprimulgus europaeus*), лесной (*Lullula arborea*) и полевой (*Alauda arvensis*) жаворонки, галка (*Corvus monedula*), желтоголовый королек (*Regulus regulus*), хохлатая синица (*Parus cristatus*) и обыкновенная овсянка (*Emberiza citrinella*). Королек и овсянка все же регистрировались в отдельные годы двух последних десятилетий в качестве «возможно» гнездящихся.

Вместе с тем, в 1990—2011 гг. перечень «вероятно» или «несомненно» гнездящихся птиц пополнился 31 «новым» видом (их размножение не предполагалось ни в 1929—1935, ни в 1949—1963 гг.). Это огарь (*Tadorna ferruginea*), краквя (*Anas platyrhynchos*), гоголь (*Bucephala clangula*), тетеревиный (*Accipiter gentilis*), перепелятник (*Anisus*), чеглок (*Falco subbuteo*), камышница (*Gallinula chloropus*), малый зуек (*Charadrius dubius*), черныш (*Tringa ochropus*), вальдшнеп (*Scolopax rusticola*), сизая чайка (*Larus canus*), речная крачка (*Sterna*



Птенец длиннохвостой неясыти в ГБС. Гнездование вида в Москве стало неожиданностью.

birundo), сизый голубь (*Columba livia*), длиннохвостая неясыть (*Strix uralensis*), белоспинный (*Dendrocopos leucotos*) и средний пестрый (*D. medius*) дятлы, деревенская ласточка (*Hirundo rustica*), сойка (*Garrulus glandarius*), кедровка (*Nucifraga caryocatactes*), ворон (*Corvus corax*), крапивник (*Troglodytes troglodytes*), лесная завирушка (*Prunella modularis*), зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides*), малая мухоловка (*Ficedula parva*), варакушка (*Luscinia svecica*), черный дрозд (*Turdus merula*), юрок (*Fringilla montifringilla*), обыкновенная зеленушка (*Chloris chloris*), обыкновенный снегирь (*Pyrrhula pyrrhula*), обыкновенный дубонос (*Coccothraustes coccothraustes*), камышовая овсянка (*Emberiza schoeniclus*). Более половины из них стали гнездиться регулярно (либо в течение двух последних десятилетий, либо еще раньше — в период между второй и третьей инвентаризациями).

Среди «колониистов» ПКО есть виды, которые проникли в Москву в связи с расширением ареалов в европейской части страны в южном и северо-восточном направлениях. Речь идет о длиннохвостой неясыти и среднем пестром дятле, размножение которых было впервые установлено в 2009 г. в ГБС. Оба вида отмечались в разных местах города на протяжении двух десятилетий и до этого, особенно в 2000-х годах, но преимущественно в осенне-зимний период и ранней весной.

Сведения, опубликованные организаторами двух первых обследований, не позволяют точно оценить число видов, зарегистрированных ими в зимние месяцы. Тем не менее ясно, что список

таких видов к 1990—2011 гг. тоже удлинился: с 25—33 до 47. Столь значительную разницу нельзя объяснить только возросшей (главным образом благодаря участникам программы «Птицы Москвы и Подмосковья») интенсивностью зимних наблюдений в последние годы.

Итак, в ПКО видовое богатство птиц не снизилось, а возросло. С чем же это связано? Очевидно, как с удовлетворительным состоянием самой природной территории, так и процессами, протекающими в масштабах всего города и региона. Птицы многих видов смогли приспособиться к условиям урбандиафрама благодаря сохранности природного комплекса Москвы в целом, изменениям климата и другим позитивным факторам. Так, мягкие зимы в сочетании с подкормкой благоприятствуют увеличению количества оседлых особей у мигрирующих видов.

Местообитания

Одна из очевидных и наиболее частых причин исчезновения видов с той или иной территории, вызванного деятельностью человека, — утрата их местообитаний [9]. Она может быть либо полной, либо частичной, заключающейся в сокращении площади, раздробленности и потере связности фрагментов данного местообитания, а также в нарушении его внутренней структуры (например, изъятии мертвой древесины или прореживании подлеска в ходе так называемых санитарных рубок).

Действительно, в ПКО наибольшие потери понесла группа видов, связанных в гнездовой период с сельскохозяйственным ландшафтом. В прошлом



Лазоревка облюбовала дупло в стволе сухостойного дуба, образовавшееся на месте отвалившегося сука. ГБС.

он окружал эту территорию, но со временем был большей частью замещен застройкой. В итоге перестали гнездиться обыкновенная пустельга, перепел и полевой жаворонок. Многочисленная в 1929—1935 гг. обыкновенная овсянка к началу 1990-х гг. почти исчезла. Более того, в последние 25 лет многократно сократилась численность сойки (*Pica pica*). Постепенное исчезновение большинства видов этой группы из-за уменьшения площади лугов, полей и других открытых биотопов характерно для города в целом [10].

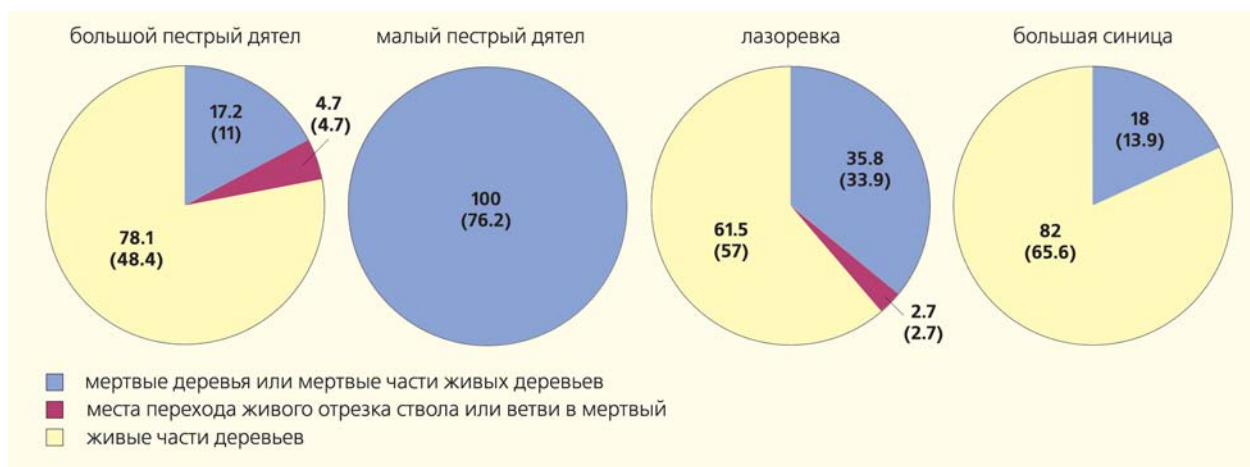
И напротив, появлению шести гнездящихся видов водоплавающих птиц (во время первых двух обследований не было отмечено ни одного) благоприятствовало устройство в середине прошлого столетия прудов на территории ПКО и последующее зарастание некоторых из них водной и околородной растительностью.

Значительное прибавление произошло в группе лесных и «опушечных» птиц: 44 вида хотя бы раз несомненно или предположительно гнездились во время двух первых инвентаризаций и 56 — в период последней (восемь видов исчезли, 20 — появились). Исчезновение некоторых видов было вызвано скорее снижением их численности на региональном уровне и сокращением доли старых елей в составе древостоя ПКО, чем экспансией города.

Очевидно, «положительный баланс» в этой группе обусловлен не просто сохранностью леса, а усилением его привлекательности для многих видов. Этот процесс объясняется и старением древостоя, и преобразованиями в лесном массиве ГБС, учрежденного в середине XX в. В некоторые части



Большой пестрый дятел возле дупла с птенцами. ГБС.



Соотношение числа гнезд (%) в дуплах мертвых и живых частей деревьев всех видов, в том числе дуба черешчатого (указано в скобках), у четырех видов птиц в глубине лесного массива ГЭС. Материал по синицам собран в 1993—1997 и 1999—2008 гг. (главным образом до 2004 г.) в заповедной дубраве и ее окрестностях (на площади чуть более 30 га), по дятлам — в 1992—1997 и 1999—2011 гг. преимущественно там же, но в некоторые годы также и в других частях массива с иным составом древостоя. За 100% принято суммарное количество гнезд в дуплах всех видов деревьев: у большого пестрого дятла — 64, малого — 21, лазоревки — 263, большой синицы — 122. В дуплах осины были обнаружены гнезда всех четырех видов птиц, рябины обыкновенной — трех видов, березы — двух, ивы козьей, вяза, ольхи серой и ели европейской — по одному.

массива был ограничен доступ посетителей. На одних его участках искусственно увеличено разнообразие растительности (например, в дендрарии были высажены темнохвойные породы деревьев посреди дубравы), на других — прекращены санитарные рубки. Так, в глубине леса старая дубрава площадью около 22 га была огорожена и объявлена заповедной, что позволило восстановиться естественному травостою, сформироваться густому подлеску, накопиться сухостою и валежнику.

Любой грамотный эколог понимает, сколь важную роль играет мертвая древесина и опавшая листва в жизни леса [9, 11, 12]. В частности они необходимы для обеспечения птиц полноценным кормом. Сверх того, достаточное количество сухостоя, мертвых и отмирающих частей в живых деревьях — одно из обязательных условий поддержания высокой плотности населения и видового богатства птиц, гнездящихся в дуплах (дуплогнезdnиков). Например, все восемь видов дятлов, обитающих в Москве и Подмосковье, в той или иной мере используют разрушающуюся древесину для выдалбливания дупел и добычания корма.

Еще больше зависят от процессов отмирания древесины птицы, гнездящиеся в дуплах, но не способные сами их выдалбливать или выщипывать, — так называемые вторичные дуплогнезdnики. Их локальная численность нередко лимитируется наличием и местоположением подходящих готовых дупел либо их искусственных заменителей, а также конкуренцией за них. Среди видов, гнездившихся в лесных массивах Москвы в последние десятилетия, типичными представителями этой группы являются гоголь, клинтух, обыкновенная неясеть (*Strix*

aluco), вертишейка (*Jynx torquilla*), скворец (*Sturnus vulgaris*), мухоловка-пеструшка (*Ficedula hypoleuca*), большинство синиц, поползень (*Sitta europaea*), полевой воробей (*Passer montanus*). Многие из них значительную часть года и ночуют в дуплах, но для этой цели, особенно в холодные месяцы, подходят далеко не все их гнездовые укрытия.

Готовые дупла и глубокие ниши часто используют для размножения и другие виды: например,



Певчий дрозд на гнезде в основании куста лещины. ГЭС.



Гнездо певчего дрозда за отставшей корой дуба. Заповедная дубрава ГБС.

обыкновенная пищуха (*Certhia familiaris*), обыкновенная горихвостка (*Phoenicurus phoenicurus*), зарянка (*Erethacus rubecula*), черный дрозд, серая (*Muscicapa striata*) и малая мухоловка. Правда, для них наличие дупел не так важно, поскольку они нередко располагают гнезда более открыто или в



В гуще дубовой ветви, сломавшейся годом раньше, построил гнездо певчий дрозд. Дубрава ГБС.



Гнездо черного дрозда с птенцами в нише ствола сухостойного дуба. Заповедная дубрава ГБС.

других укрытиях, также образующихся в результате гибели древесины. Пищуха, например, устраивает гнезда не только в щелевидных дуплах, но и в трещинах стволов и за отставшей корой деревьев.

На некоторых участках московских лесопарков дуплогнездники составляют более половины птичьего населения. Особенно высока их численность в старых широколиственных лесах, изобилующих дуплами естественного происхождения. Например, липняки на склонах правого берега р.Москвы в Фили-Кунцевском лесопарке и на Воробьевых горах весьма плотно заселяют большая синица (*Parus major*), лазоревка (*P.caeruleus*), полевой воробей и скворец.

Другой яркий пример — упомянутая заповедная дубрава и окружающий ее лес в ГБС. В последние годы на площади около 0.8 км² там одновременно размножались по несколько пар дятлов трех-четырех видов рода *Dendrocopos*. На период с осени до весны к ним присоединялся еще и черный дятел (*Dryocopus martius*). Плотность населения и большой синицы, и лазоревки в 1990—2000-е годы нередко превышала две—три пары на гектар, что по общеевропейским меркам очень много даже для старых широколиственных лесов. Диаграммы (с.55) дают далеко не полное представление о важности процесса отмирания древесины как «поставщика» субстратов для гнездовых дупел четырех видов в этом месте. Так, дупла большого пестрого дятла (*Dendrocopos major*) в живых частях дуба, очевидно, почти всегда выдалбливаются на участках локального разрушения древесины. Во всяком



Соотношение числа гнезд (%), построенных дроздами трех видов в глубине лесного массива ГЭС с опорой (дном или боком) и без опоры на мертвую древесину или отделившуюся кору, в том числе в основаниях, ниже 1.7 м, кустов лещины и других пород (указано в скобках). Материал собран в 1999—2011 гг. (главным образом до 2009 г.) в заповедной дубраве и ее окрестностях. За 100% принято количество всех найденных гнезд: певчего дрозда «весенних» (строительство которых завершено в апреле или мае) — 312, «летних» (построенных в июне или июле) — 68, белобровика — 27, черного дрозда — 26. Древесина или кора считались опорой для гнезда, если они соприкасались с ним и в той или иной мере поддерживали его устойчивость — будучи либо частью целого дерева/кустарника, либо фрагментом валежника, который, в свою очередь, опирался на другие стволы, ветви или почву.

случае, вблизи 74% таких дупел мы обнаруживали плодовые тела трутовиков. Добавлю, что в сухостойных деревьях (дубах, осине и березе) были выдолблены и все шесть найденных гнездовых дупел белоспинного дятла.

В дуплах, изготовленных дятлами, располагалось лишь 9% гнезд большой синицы и 3% гнезд лазоревки. Большинство пар синиц, а также поползня и мухоловки-пеструшки размножалось в дуплах естественного происхождения — полостях внутри стволов или крупных ветвей деревьев. Входными отверстиями обычно служат места выпадения сучьев или не полностью заросшие трещины. Напомню, такие дупла в живых частях деревьев — тоже продукт отмирания древесины. Часть из них вскоре зарастает, а им на смену образуются новые.

Обилие мертвой древесины подчас играет одну из ключевых ролей в привлечении и открыто гнездящихся птиц. Так, певчий дрозд (*Turdus philomelos*) «штукатурит» лоток гнезда гнилой древесной трухой. В центре европейской части России эта обычная лесная птица предпочитает гнездиться на ели, особенно на молодых деревьях с густыми кронами. Их отсутствие вынуждает чаще использовать валежник для устройства и маскировки гнезд. В заповедной дубраве ГЭС и ее окрестностях подрост ели представлен немногими экземплярами с изреженными кронами. На них располагается лишь около 1% гнезд. Весной певчие дрозды здесь отдают явное предпочтение основаниям кустов лещины (достигающих редкост-

ной мощи и высоты 12—13 м), реже черемухи (*Padus avium*) и других видов. Опорой в этих случаях, как правило, служит валежник самых разных габаритов. Таким же образом нередко устраиваются белобровик (*T.iliacus*) и черный дрозд. Кроме того, значительная часть гнезд дроздов размещается на пнях, в нишах, в местах разлома и развилках стволов, а также у стволов деревьев с опорой на живые ветви, сучья, застрявший валежник, трутовики, отваливающуюся кору.

Новые гнезда дроздов продолжают появляться в июне и июле. Их строят как «неудачники» (весенние гнезда которых, например, разорили хищники), так, видимо, и «счастливики», благополучно вырастившие первый выводок и вновь приступающие к размножению. Летом, после отрастания листвы, певчие дрозды предпочитают гнездиться выше (особенно — на лещине), чем весной. Но и среди летних построек много таких, которые опираются на элементы мертвой древесины. В целом, помимо оснований кустов лещины белобровика больше всего привлекают «верхние площадки пней» (29.6%), а черного дрозда — ниши и дупла в стволах (38.4%). Особую разновидность валежника «поставляют» летние ураганы, после которых на земле и в кронах остаются сломанные живыми ветви деревьев. У дуба, осины и других пород листва на этих ветвях, сделавшись бурой и сухой, постепенно редет, но на протяжении года, а иногда и двух не осыпается полностью. В гуще таких «веников» в ГЭС подчас прячут свои гнезда певчие дрозды в следующие сезоны.



Молодой ястреб-тетеревятник покидает гнездо в ГБС. В Москве птенцов этого хищника нередко изымают из гнезд браконьеры.

Изобилие подходящих мест для размножения певчего дрозда в заповедной дубраве и ее окрестностях не могло не сказаться на его численности. К 2000 г. плотность населения этой птицы выросла до 1.0—2.3 пар на гектар, что значительно выше, чем в других крупных лесопарках Москвы [7]. Черный дрозд, в 1990-х годах поселившийся в дубраве ГБС, к началу 2000-х достиг довольно внушительной плотности — в среднем 0.4 пары на гектар. Этот рост, сосуществование с певчим дроздом и белобровиком оказались возможными во многом благодаря разнообразию элементов мертвой древесины, отсутствию дефицита субстратов, используемых ими для гнездования.

«Привычка» жить в городе

Сохранность местообитаний — необходимое, но не единственное условие поддержания и увеличения видового богатства животных. Не менее важна их терпимость (изначальная или сформировавшаяся) к соседству с городом.

Некоторые виды птиц и млекопитающих, словно устремившись вслед за давними спутниками человека — сизым голубем, домовым воробьем и серой крысой, довольно быстро (нередко за несколько десятилетий) осваивают города и пригороды, достигая даже большей численности, чем в природе. Этот успех считается главным признаком процесса, который называют синурбизацией [13]. Термин употребляют и в отношении аборигенных,

и чужеродных видов. Как правило, городские группировки (популяции) характеризуются другими специфическими чертами. Например, «горожане» меньше, чем их дикие сородичи, боятся человека, чаще питаются антропогенными кормами, регулярно используют искусственные материалы для строительства гнезд и т.д. [13, 14]. Впрочем, далеко не всем городским группировкам присущ весь набор этих особенностей.

Городские популяции (даже у наиболее преуспевших за последние два столетия видов) сформировались лишь на части гнездового ареала. Классические примеры — вяхирь (*Columba palumbus*) и черный дрозд. В Западной и Центральной Европе синурбизация птиц началась раньше, там больше, чем в европейской части России, видов «прописалось» в городах. Во многом это обусловлено различиями в степени трансформации человеком этих областей континента. Заселение разных городов одного региона зачастую тоже происходит не одновременно и с разной скоростью. Вопросы о наследственной основе различий между городскими и негородскими группировками, об относительной роли микроэволюционных изменений и фенотипической пластичности вида в освоении урболандшафтов остаются в значительной мере открытыми [13, 15].

Считается, что одна из главных причин начала синурбизации животных — пониженная смертность взрослых особей и потомства в городах, в значительной мере благодаря ослаблению пресса хищников [13]. Однако в Москве серая ворона (один из основных разорителей птичьих гнезд), многочисленная городская популяция которой сформировалась в 1960-х — начале 1970-х годов [7], в итоге «уступила» стремлению некоторых других видов тоже стать «горожанами».

При благоприятных условиях относительно легко осваивают города многие гусеобразные птицы. В Москве их видовое богатство, численность зимой и в период размножения существенно увеличились с 1980-х годов [16, 17]. Список гнездящихся птиц ПКО пополнили три вида, для которых толчком к освоению города послужило содержание и размножение летных особей на прудах зоопарка. Среди них только кряква была и остается обычным гнездящимся видом Московской и сопредельных областей. Добиться размножения гоголя впервые удалось в 1960 г., а в начале 1970-х годов сотрудники зоопарка целенаправленно выпускали выводки пуховичков с самками на пруды ПКО, откуда вид расселился на другие водоемы северо-восточной части столицы.

Столичная группировка огаря начала формироваться в середине прошлого века и продолжает зимовать на прудах зоопарка [16]. В ПКО огарь стал появляться с середины 1990-х, а регулярно гнездиться — в 2000-х. Этот вид населяет главным образом аридные и полуаридные ландшафты — от северо-запада Африки и Средиземноморья до При-

амурия. Многие сотни километров отделяют московскую группировку от основного гнездового ареала, северная граница которого в европейской части России доходит до Среднего Поволжья.

Массовое появление в столице серой вороны или огаря трудно не заметить, но преуспели и некоторые менее заметные виды. В числе лидеров по освоению городского ландшафта уже упомянутые большая синица и лазоревка, росту численности которых в свое время явно поспособствовало обилие в лесопарках дупел естественного происхождения. Однако эти синицы размножаются и на застроенных территориях, сооружая гнезда, например, в столбах уличных фонарей. В крупных лесопарках сформировалась группировка ястреба-тетеревятника из 30–40 пар [10]. Немалого успеха в заселении озелененных и природных территорий Москвы достигла ушастая сова (*Asio otus*). В последние два десятилетия началась синурбизация черного дрозда, уже давно заселившего города Западной и Центральной Европы [13, 15].

Чего не надо делать

Как бы оптимистично ни выглядели результаты обследования некоторых лесопарков Москвы, не стоит обольщаться и забывать, что урбанизация наносит большой урон экологическому разнообразию [13]. Сохранность или даже увеличение списков обитателей отдельных природных территорий и благоприятное существование в урболандшафте популяций животных — далеко не одно и то же. Лишь некоторые виды освоили или осваивают природный комплекс города, но что произойдет с остальными? Как отразится на них рост численности видов-урбанистов? А главное, какова дальнейшая судьба природного комплекса Москвы, от состояния которого зависит благополучие не только птиц, но и самого человека?

Повлиять на глобальные изменения климата или на масштабные процессы, протекающие в популяциях диких животных и растений, городские власти, конечно, не могут. Однако им вполне по силам обеспечить сохранность местообитаний многих видов и экологических сообществ. Это абсолютно необходимая, а для некоторых видов и достаточная мера их охраны. К сожалению, в Москве положение дел не выглядит обнадеживающим.

Понятно, что охрана природных территорий не требует бурной преобразовательской деятельности, сулящей получение прибылей, а это не устраивает чиновников и подрядчиков. Им почему-то невдомек, что «осваивать» значительные средства, выделяемые на охрану природы, можно, не нанося ей вреда. Мнение профессиональных экологов и специалистов по охране природы — людей в большинстве своем «неудобных» — им неинтересно. Зачем, если можно заручиться согласием заинтересованных разработчиков и экспертов — то-

же дипломированных «экологов»? Неудивительно, что колесо критики со стороны общественных природоохранительных организаций и компетентных специалистов вращается в пустоте.

Финансовые интересы, однако, не единственный мотив навязчивого стремления «обустроить» природные территории. Проблема еще и в том, что, как справедливо заметил финский эколог И.Хански, «общество состоит из недальновидных индивидуумов, а учреждения принимают их на работу» [9, С.301]. И власти, и исполнители их решений столь плохо экологически образованы, что не способны оценить уникальность Москвы как перспективной модели успешного решения проблемы сосуществования современного мегаполиса и дикой природы.

Все это проявляется, например, в стремлении применять и на озелененных, и на природных территориях города примитивные методы содержания зеленых насаждений, в том числе с использованием европейских стандартов [10]. Самый яркий пример — экологически безграмотная реконструкция природно-исторического парка «Царицыно», где нормальный лес превращен в выхолощенный газон под деревьями. Она была дополнена уничтожением естественной прибрежной и водной растительности прудов. Об этом безобразии немало писали в СМИ. Однако многим людям результат нравится, что не удивительно, если учесть масштабы культивирования «гламура» и безвкусицы в последние десятилетия. А вот птицы, особенно гнездящиеся на земле (например, соловьи), отреагировали прямо противоположным образом [18].

Неизменный и, к сожалению, не всегда очевидный для непрофессионалов итог подобного «благоустройства» — упрощение внутренней структуры местообитаний или их трансформация в менее ценные биотопы. И то, и другое сопровождается разрушением комплекса биоценотических связей и ведет к сокращению численности или полному исчезновению многих видов при относительном процветании немногих. Разумеется, это касается не только птиц [10, 19].

Беспрестанные попытки корректировать природу подпитывает и навязываемое лесоводами классической школы представление о том, что лес не может существовать без заботливого участия человека. А именно, без лесотехнических мероприятий, которые подчас не просто бессмысленны, но и наносят вред. Предел мечтаний специалистов этого профиля — не самостоятельно формирующееся разновозрастное и многоярусное сообщество с солидным запасом мертвой древесины и естественным напочвенным покровом, а нечто противоположное — коммерческое лесоводство. Стремление «навести порядок» в любом лесу, независимо от его назначения — беда не только России, но и некоторых высокоразвитых стран [9].

Мертвые древесина и листва — это обязательные, естественным образом разлагающиеся ком-



Белка — один из врагов птиц, в том числе гнездящихся в скворечниках и дуплах. Воробьевы горы.

поненты лесного биоценоза, с которыми связана жизнедеятельность огромного числа видов живых организмов [9, 11]. Даже после массового усыхания деревьев или ветровалов жизнь в нем не останавливается, растительность вполне способна развиваться без участия человека. Дикая природа в городе нуждается, скорее, в защите от появления незаконных поселений, загрязнения водоемов, выжигания травы на лугах и т.д. Важно также наладить сбор и вывоз бытового мусора, в котором некоторые участки природных территорий Москвы уже почти утопают. Но убирать его нужно так, чтобы не повредить подлесок, валежник и естественный напочвенный покров.

Даже некоторые «добрые дела», творимые в московских лесопарках, порой бессмысленны, а то и нежелательны с экологической точки зрения. Зачем, например, развешивать дуплянки для мелких птиц на участках со значительным числом старых деревьев широколиственных пород? И есть ли польза от выпуска и подкормки белок? И то, и другое умиляет горожан, но большинству из них неизвестно, что белка — один из основных разорителей птичьих гнезд, поэтому искусственно увеличивать численность этих зверьков в городе ни к чему. В малогабаритных дуплянках селятся главным образом воробьи и мухоловка-пеструшка. Большая синица и лазоревка предпочитают дуплянкам естественные дупла. Вырубка сухостоя, прореживание и омоложение древостоев, пломбирование дупел в живых деревьях в итоге могут привести к сильному сокращению численности этих двух видов, а они относятся к числу лидеров по поеданию личинок и куколок листогрызущих насекомых в лесопарках. значи-

тельное снижение плотности населения синиц повысит вероятность возникновения сильных вспышек массового размножения филлофагов, что нанесет ущерб городским широколиственным лесам. Так стоит ли заменять большое количество естественных дупел небольшим числом дуплянок, к тому же плохо изготовленных и недолговечных?

В прошлом столетии намеренное привлечение птиц с помощью дуплянок и скворечников рассматривалась как одно из направлений деятельности по обогащению авифауны города и естественный метод борьбы с насекомыми, повреждающими зеленые насаждения. Оно было также важной частью просветительской работы с населением. Сейчас чаще необходимо объяснять людям не зачем, а как надо охранять природные объекты. Проблему же освоения городских ландшафтов многие виды птиц и других животных, как выяснилось, способны решить сами, почти без целенаправленной помощи со стороны человека. Главное — не мешать им.

Подлинным благом могло бы стать появление внутри природных территорий — не на бумаге, а в реальности — заповедных зон, недоступных для массового посещения, но, разумеется, не в обмен на бурную деятельность по преобразованию остальных частей природного комплекса. Идея о создании таких зон высказывалась неоднократно, в том числе орнитологами [2, 3, 10], но в Москве частично реализовать ее удалось только в нескольких местах, подведомственных научным учреждениям. Но и там это, скорее, побочный результат выполнения учреждениями (ботаническими садами, питомниками) своих собственных задач. Как бы то ни было, положительный эффект во всех таких случаях очевиден.

Птицы довольно легко могут перемещаться за пределы и внутри города с одной природной территории на другую. Мигрирующие виды, сверх того, каждую весну «заново» заселяют пригодные для их обитания «зеленые острова». Однако окружающая их агрессивная городская среда — трудно преодолимый барьер для животных большинства других таксонов [10, 19]. Так, в ПКО, несмотря на присутствие бездомных собак, до 1990-х годов обитали еж и заяц-русак. Однако к началу нынешнего столетия оба вида исчезли, и в возможность восстановления их естественных поселений в этой части Москвы верится с трудом. Случайные совпадения неблагоприятных обстоятельств на отдельных природных территориях приводят к вымиранию малочисленных группировок, а изоляция препятствует повторному их заселению извне. Это — азбучные истины прикладной экологии и охраны природы. Между тем при застройке Москвы сохранению «зеленых коридоров», связывающих природные территории, обустройству того, что можно назвать экологической сетью города, не придается почти никакого значения.

* * *

Уже сейчас антропогенная нагрузка на многие лесопарки и другие природные территории столицы слишком велика. Ее дальнейшее увеличение приведет к их скорой деградации, как это произошло со значительной частью лесопарка «Сокольники» после устройства в нем парка культуры и отдыха. Существенно ухудшится и без того неблагоприятная экологическая обстановка в городе. Заведения в том, что в большом городе рекреационно-развлекательную функцию можно гармонично сочетать с охраной живой природы, непрофессиональны, нереалистичны и недалновидны. В этом легко убедиться, посетив, например, территорию пейнтбольного клуба в парке «Останкино», входящего в состав одноименной «особо охраняемой»

природной территории. На восстановление нижних ярусов растительности этого участка леса потребуются годы. Вот только трудно поверить, что это вообще когда-нибудь произойдет.

Чтобы избежать подобного развития событий, следует как минимум отказаться от «модернизации» природного комплекса столицы, а именно от размещения на особо охраняемых и других природных территориях спортивных и развлекательных объектов — лыжных баз, катков, лодочных станций и т.д. Такое намерение даже звучит абсурдно. Любой разумный человек вполне способен понять, что ради сохранения полноценных «островов» живой природы в условиях мегаполиса придется идти на определенные ограничения. И это один из тех случаев, когда цель действительно оправдывает средства. ■

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-04-00941-а), программ поддержки ведущих научных школ РФ, Президиума РАН «Биологическое разнообразие» и «Происхождение биосферы и эволюция геобиологических систем».

Литература

1. *Fernandez-Juricic E., Jokimäki J.* A habitat island approach to conserving birds in urban landscapes: case studies from southern and northern Europe // *Biodiversity and Conservation*. 2001. V.10. №12. P.2023—2043.
2. *Беляев М.М.* Об изменениях в авифауне Сокольнической рощи за период 1922—1937 гг. // *Ученые записки факультета естествознания МОПИ*. М., 1938. С.30—39.
3. *Ильичев В.Д.* Орнитофауна парков: эколого-методические и природоохранные аспекты // *Экологические исследования в парках Москвы и Подмосковья* / Ред. В.Д. Ильичев. М., 1990. С.54—73.
4. *Константинов В.М., Бабенко В.Г., Силаева О.Ли др.* Антропогенные изменения фауны и населения лесных птиц Теплостанской возвышенности // *Экологические исследования в парках Москвы и Подмосковья* / Ред. В.Д.Ильичев. М., 1990. С. 90—117.
5. *Флинт В.Е., Тейхман А.Л.* Закономерности формирования орнитофауны городских лесопарков // *Орнитология*. 1976. Вып.12. С. 10—25.
6. *Авилова К.В., Еремкин Г.С., Очагов Д.М.и др.* Многолетняя динамика фауны птиц лесной опытной дачи Тимирязевской сельхозакадемии // *Динамика численности птиц в наземных ландшафтах* / Ред. Е.С.Преображенская. М., 2007. С. 158—164.
7. *Морозов Н.С.* Птицы городских лесопарков как объект синэкологических исследований: наблюдаются ли обеднение видового состава и компенсация плотностью? // *Виды и сообщества в экстремальных условиях* / Ред. А.Б.Бабенко, Н.В.Матвеева, О.Л.Макарова, С.И.Головач. М.; София, 2009. С. 429—486.
8. *Птицы Москвы: 2006 год, квадрат за квадратом* / Ред. М.В.Калякин, О.В.Волцит / *Труды Программы «Птицы Москвы и Подмосковья»*. Т.1. М., 2007.
9. *Хански И.* Ускользящий мир: экологические последствия утраты местообитаний. М., 2010.
10. *Красная книга города Москвы* / Ред. Б.Л.Самойлов, Г.В.Морозова. 2-е изд. М., 2011.
11. *Bobiec A., Gutowski J.M., Laudenslayer W.F.et al.* The Afterlife of a Tree. Warszawa; Hajnowka, 2005.
12. *Wesolowski T.* Lessons from long-term hole-nester studies in a primeval temperate forest // *Journal of Ornithology*. 2007. V.148. Suppl.2. P.395—S405.
13. *Luniak M.* Synurbization — adaptation of animal wildlife to urban development // *Proceedings of the 4th International Symposium on Urban Wildlife Conservation* / Eds W.W.Shaw, L.K.Harris, L.Vandruff. Tucson, 2004. P.50—55.
14. *Благосклонов К.Н.* Птицы в городе // *Природа*. 1981. №5. С. 43-52.
15. *Evans K.L., Gaston K.J., Frantz A.C.et al.* Independent colonization of multiple urban centres by a formerly forest specialist bird species // *Proceedings of the Royal Society of London*. Ser. B. 2009. V.276. №1666. P.2403—2410.
16. *Орнитологические исследования в зоопарках и питомниках*. Вып.2 / Ред. В.В.Спицин. М., 2007.
17. *Avilova K.V.* Number of waterfowl wintering in Moscow (1985—2004): dependence on climate conditions // *Revista Catalana d'Ornitologia*. 2008. V.24. P.71—78.
18. *Томкович П.С.* Динамика численности соловьев и варакушек в окрестностях Царицынских прудов в Москве // *Московка*. 2008. №8. С.36—37.
19. *Семенов Д.В.* Пруды Москвы ради горожан и... для лягушек // *Природа*. 2010. №12. С.27—35.

Лекторий Нейротрофины: терапевтический потенциал

О.А.Гомазков,

доктор биологических наук

Научно-исследовательский институт биомедицинской химии им.В.Н.Ореховича РАН
Москва

История нейротрофинов — большого семейства крупных полипептидов, регулирующих выживание, развитие и функцию нейронов, — началась в 1951 г., когда работавшая в США итальянка Р.Леви-Монтальчини обнаружила регенерацию симпатических нервных клеток куриного зародыша при добавлении к ним экстракта опухолевых клеток. Результаты ее работы послужили основой гипотезы о наличии в раковых клетках вещества, стимулирующего рост нервной ткани.

Рита Леви-Монтальчини родилась в Турине в семье инженера Адамо Леви (в начале научной карьеры она добавила к отцовской фамилии девичью фамилию матери). Как пишет Рита в своей биографии, в их интеллигентной семье царил типичный викторианский стиль, подчиненный решениям главы семейства: «Он решил, что дочери (Анна, Паола и я) не пойдут по пути, который открывает профессиональную карьеру, мешающую обязанностям жены и матери». Но юная Рита, завершив среднее образование, поступила в медицинскую школу Туринского университета и получила степень со специализацией по неврологии и психиатрии. Интерес к нейроэмбриологическим исследованиям пробудился под влиянием гистолога Дж.Леви, у которого она работала ассистентом в Институте анатомии. Когда нацисты оккупировали Северную Италию, Рита Леви-Мон-

тальчини спешно уехала во Флоренцию, где устроила маленькую лабораторию в своей квартирке. После войны она приехала в Соединенные Штаты по приглашению известного нейробиолога и эмбриолога В.Гамбургера, чтобы работать с ним в Вашингтонском университете.

Тогда молодая ассистентка предположила, что запрограммированная гибель нервных клеток имеет значение для нормального развития нервной системы. И, хотя профессор был против, Леви-Монтальчини настояла на проведении экспериментов. Пересадив опухолевые клетки мыши куриному эмбриону, она обнаружила, что нервные клетки зародыша быстро прорастали в ткань опухоли (даже если та не находилась в непосредственном контакте с эмбрионом). Отсюда следовал вывод: рост нервов вызывало неизвестное вещество, содержащееся в опухоли. Его назвали фактором роста нервов (Nerve Growth Factor, NGF). В 1953 г. к этой работе Леви-Монтальчини присоединился американский биохимик С.Коэн. Он выяснил природу новой субстанции, определил химическую структуру, а также открыл второе вещество подобного типа, названное эпидермальным фактором роста.

Поначалу идея фактора роста Леви-Монтальчини воспринималась без энтузиазма. Новое вещество не было традиционным гормоном, вызывающим реакцию эндокринного типа, а оказалось неизвестной белковой субстанцией, необходимой



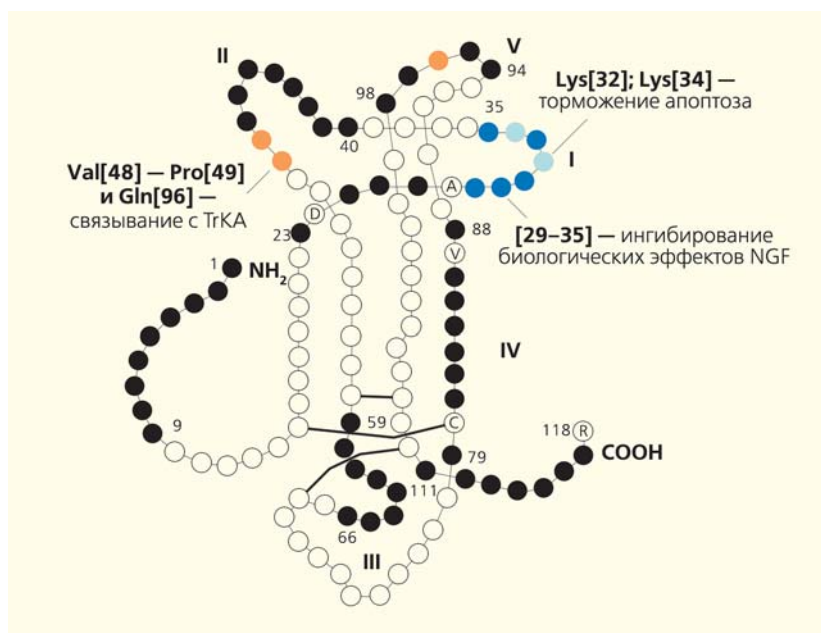
Рита Леви-Монтальчини, Нобелевский лауреат, первооткрыватель нейротрофинов. Сегодня она старейший из ныне живущих нобелевских лауреатов. В 2009 г. она отметила свое 100-летие.

для развития и выживания специфических нейрональных клеток. Позднее открытие фактора роста нервов назвали «удивительным примером того, как опытный исследователь может создать концепцию из кажущегося хаоса» [1].

Историю многолетнего поиска нейротрофинов Леви-Монтальчини описала при вручении Нобелевской премии, которую она получила вместе с Коэном в 1986 г. Один из самых значительных на сегодня ее выводов состоял в утверждении: «Коль скоро перерезка нервного волокна стимулирует синтез ростового фактора нервов (что служит дополнительным указанием замечательной его пластичности в контролируемой экспрессии гена фактора), вполне вероятно, это свой-

ство может модулироваться фармакологическими агентами, действующими по тому же пути, что и регуляция его синтеза и релизинга NGF».

Сегодня можно говорить о целой системе регуляторных молекул, объединяемых в два десятка суперсемейств и подсемейств, которые обладают сходной гомологией, но отличаются деталями регулирующих функций. Общее для этого множества — способность контролировать процессы на уровне ядерного аппарата клетки и стимулировать создание новых функционально значимых молекул и, соответственно, новых клеточных структур.



Как устроены нейротрофины?

Одно из самых значительных изобретений природы — аминокислота. Эта небольшая органическая молекула способна, соединяясь в различных комбинациях с двумя десятками других аминокислот, выстраивать сложные биохимические структуры. Из таких комбинаций составляются небольшие олигопептиды (самый «скромный» нейропептид — три аминокислоты) и белки, включающие несколько тысяч аминокислотных последовательностей; в нейротрофинах их от 200 до 300.

Ростовой фактор нервов (NGF) — димер из одинаковых субъединиц (по 118 аминокислотных остатков), каждая из которых имеет семь витков, образующих антипараллельные пары. Длинноцепочечная структура молекулы должна быть удобно упакована для дальнейших метаболических превращений. Известно также, что аминокислотные остатки [28—36], [43—49], [91—98] и [59—66] в структурных петлях важны для установления соотношения структура—активность отдельных блоков («мотивов») молекулы NGF. Впоследствии эти сведения станут отправной точкой

Структура NGF: несколько петель (I—V) формируют узел цистеиновых остатков около вершины молекулы. В рамках отмечены «мотивы» комбинаций аминокислотных остатков, участвующих в связывании с тирозинкиназным рецептором и в регуляции активности нейтрофинов.

для синтеза лекарственных препаратов, имитирующих активность целой нейротрофиновой молекулы.

На примере другого соединения — нейротрофического фактора мозга (BDNF) — подробно изучены внутриклеточный синтез и последующие превращения вещества. Этот фактор синтезируется в эндоплазматическом ретикулуме клетки как белковый предшественник — про-BDNF (249 аминокислотных остатков). При дальнейшей транспортировке в аппарат Гольджи он подвергается энзиматической обработке (процессингу) матриксными металлопротеиназами плазмином и фурином и образует «зрелую» молекулу BDNF. Она упакована в секреторные пузырьки, присутствует в пресинаптических окончаниях аксонов и постсинаптических окончаниях дендритов, откуда высвобождается в активной форме. Секретция BDNF регулируется увеличением Ca²⁺ в мембране через потенциал-зависимые кальциевые каналы или NMDA-рецепторы.

Эффекты нейротрофинов реализуются при их взаимодействии со специфическими для них тирозинкиназными рецепторами Trk-A, Trk-B, Trk-C и универсальным рецептором p75^{NTR}. Эти белки, составленные из нескольких сотен аминокислотных последовательностей, различаются в строении, что и определяет особенности их связывания с лигандом (нейротрофином). При взаимодействии, например, BDNF с TrkB-рецепторами включается цепочка сигнальных реакций с участием ферментов митоген-активируемой протеинкиназы, фосфатидилинозитол-3-киназы и фосфолипазы C. Соединение нейротрофина с рецептором определенного подтипа принципиально для последующей физиологической реакции, в результате нейрон либо погибает, либо, напротив, выживает.

Таким образом, химическое строение (особенности комбинаций аминокислот) нейротрофина, его внутриклеточный ферментативный процессинг с образованием активной молеку-

лы, соединение с рецептором и экспрессирование цепочки сигнальных молекул служат предтечей физиологической регуляции роста клеток, их пролиферации, программируемой гибели или, напротив, выживания, а также стимуляции синтеза нейротрансмиттеров и других функционально значимых молекул.

Организаторы функции мозга

Уже в первых исследованиях на культуре нейронов выяснилось, что нейротрофины необходимы для выживания клеток, подверженных вредному воздействию. Более того, нейроны различной «эргичности» (холинергические, дофаминергические и др.) связаны с разными нейротрофинами, но могут быть чувствительны сразу к нескольким противоположно действующим веществам. Опыты *in vivo* показали, что нейротрофины обеспечивают клеточную дифференцировку, стимулируют ветвление отростков и рост аксонов в направлении других нейронов. Пожалуй, в понятие «организаторы» можно включить также участие нейротрофинов в синаптической передаче — как немедленной, так и долговременного потенцирования сигнала. Нейротрофины активируют внутриклеточную Ca^{2+} -сигнализацию, с которой сопряжены синаптическое возбуждение и модуляция активности NMDA-рецепторов. Взаимодействие BDNF и других нейротрофинов с Trk-рецепторами в течение миллисекунд открывает Na-каналы синаптической мембраны. В результате индуцируется длительная нейрональная потенциация — одна из особенных функций нейрональной сети.

Нейротрофины играют важную роль в контроле равновесия синаптических процессов. Например, BDNF регулирует соотношение возбуждающих и тор-

мозных медиаторных реакций в мозге. Нарушение этого соотношения, например избыточное образование глутамата, возбуждающего медиатора, может стать одной из причин возникновения невральная патологии. Эти ключевые функции обеспечивают пластичность нервной системы, составляют основу адаптивных процессов, которые связаны с мозгом и с восстановлением функций, нарушенных патологией.

Значит, традиционное представление о нейротрофической (питательной) функции и сам термин «нейротрофины» оказываются анахронизмом. Изучение нейротрофинов в течение последних 30 лет позволяет, скорее, говорить о них как об организаторах функции нейронов и защитниках нервной ткани от негативных процессов.

Окислительный стресс. Метаболизм мозга отличается интенсивным окислительным обменом. В нормальных условиях потребление клетками мозга кислорода составляет 3–4 мл/100 г/мин, а уменьшение этой величины до 1.5 и ниже приводит к значительным нарушениям в нейронах. Насколько оправданы опасения, что при окислительном стрессе ткани мозга повреждаются? Методами клеточной физиологии удалось продемонстрировать, что в этой ситуации накапливаются свободные радикалы. Так, при ишемии содержание супероксид-аниона, гидроксид-радикала и пероксинитрита увеличивается примерно в 10 раз, хотя в норме эти соединения присутствуют лишь в следовых количествах [2].

Активные формы кислорода (АФК) разрушают нейрональные мембраны, атакуют ключевые рецепторы и ферменты нервной ткани и вызывают гибель нейронов. Молекулы свободных радикалов резко увеличивают чувствительность ткани к возбуждающим медиаторам, воздействуя на глию и нейроны. Действие это усиливается окру-

жающими глиальными клетками, которые создают своеобразный блок для эндотелия, будучи менее проницаемыми для антиоксидантов. В то же время свободнорадикальные формы кислорода способствуют дополнительному образованию оксида азота, который регулирует вазодилатацию сосудов и обеспечивает больший приток крови. Таким образом, различные пути регуляции, в которых нейротрофины играют определенную роль, способствуют выживанию нейронов.

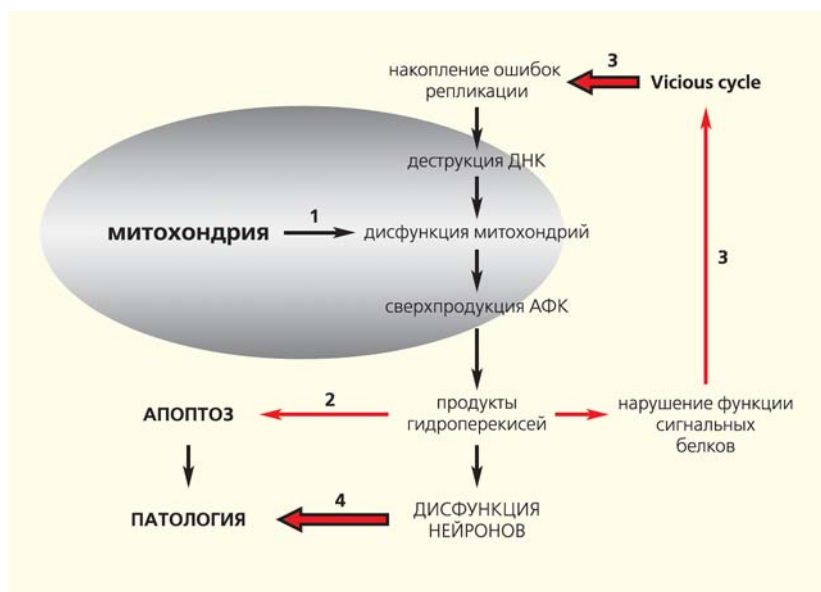
Оценивая роль нервной ткани в антиоксидантной защите, следует выделить ряд фактов. В экспериментах на гиппокампе мышей установлена обратная корреляция уровней супероксиддисмутазы, глутатионпероксидазы, каталазы и фактора роста нервов. Содержание последнего в нейронах постепенно увеличивалось после кортикальной травмы мозга, а введение его в перфузат устраняло повреждение дорзальных корешков спинного мозга. Это было связано с одновременной активацией антиоксидантных компонентов — каталазы, глутатиона и глутатионпероксидазы. Нейрональный фактор роста предотвращал аккумуляцию активных форм кислорода в дофаминергических клетках культуры PC12, подверженных воздействию 6-гидроксидаофамин (модель болезни Паркинсона). У крыс введение фактора BDNF в зону поврежденного спинного мозга уменьшало образование липидных гидроперекисей, снижало воспалительные реакции и уменьшало нарушение локомоторной функции. Согласно современным представлениям, есть несколько уровней окислительного стресса (образования гидроперекисей), в зависимости от которых возможны либо повреждения ДНК и гибель клетки, либо, напротив, активация антиоксидантных систем и их выживание.

С окислительным стрессом ассоциируется другое базисное

понятие — апоптоз. Термин предложен в 1972 г. Дж. Керром, А. Вайллем и А. Курье, которые констатировали запрограммированное разрушение клетки, агрегацию хроматина и деструкцию ДНК. В первых работах постулировалась роль апоптоза в поддержании тканевого гомеостаза, упорядочении клеточного пула и устранении функционально «негодных» компонентов.

Однако еще в конце XIX в. выдающийся испанский нейробиолог С. Рамон-Кахаль писал: «Я заметил, что каждая ветвь, дендритная или аксонная, в процессе развития проходит хаотическую стадию, или стадию проб, в течение которой она посылает наугад отростки, которым суждено исчезнуть. Позднее, когда образуются афферентные нервные волокна или когда нейроны окончательно сформируются, остаются только полезные отростки. В этом случае природа поступает как садовник, оставляющий большие побеги» (1890) [4]. Это наблюдение стало предтечей последующего открытия феномена апоптоза — программируемой гибели клеток.

Сегодня апоптоз рассматривается как природный биологический процесс уничтожения «ненужных» клеток, как механизм контроля клеточной популяции, важная часть онтогенеза, когда нейронов образуется гораздо больше, чем может быть интегрировано в структуру мозга [5]. Однако наряду с усилением апоптоза стимулируются антиапоптотические системы. В образовавшихся синапсах активация глутаматных рецепторов побуждает немедленную экспрессию нейротрофинов (BDNF, NGF и др.), которые, воздействуя на пресинаптические рецепторы, вызывают синтез антиапоптотического фактора Bcl-2 и антиоксидантных ферментов. При патологии апоптозу предшествует ступенчатая дисрегуляция нервной



Базовые механизмы патологии мозга: дисфункция митохондрий, окислительный стресс, апоптоз. Образование активных форм кислорода (1—4) определяет гибель, выживание и трансформацию клетки.

ткани. Динамику апоптоза регулирует соотношение про- и антиапоптотических белков семейства Bcl-2 и P58.

Апоптоз инициируется дисфункцией митохондрий — с образованием АФК, активирующих провоспалительные цитокины. На этом этапе существенна роль фактора некроза опухоли (TNF- α); с ним связаны открытие пор в митохондриях, последующий разрыв мембран, высвобождение цитохрома c и проапоптотических белков в цитозоль. Опосредованное оксидом азота (NO) повреждение клеток мозга вызывает усиленную продукцию супероксидных радикалов и способствует повреждению митохондрий.

В стадийности апоптоза различают *обратимую* и *необратимую* фазы. Если на первой активируются проапоптотические белки и каспазные ферменты (когда еще возможна защита клетки), то на второй стадии деструкция молекул ДНК и морфологическая дезинтеграция вызывает гибель клетки. Индукторами апоптоза служат трансформирующие ростовые факторы (TGF- α/β) и фактор некроза

опухоли (TNF- α), а его блокаторами — фактор роста нервов (NGF), инсулиноподобные ростовые факторы (IGF-1/2) и фактор роста фибробластов (FGF).

В 2003 г. нейрофизиологи из Маастрихта обнаружили особые типы нейронов с нерепарируемой ДНК, которые мало подвер-



Сантьяго Рамон-и-Кахаль (1852—1934), предсказатель апоптоза.

жены апоптозу и аутофагии и потому способны накапливать поврежденную ДНК [6]. Такое «затоваривание» мозга функционально негодными клетками характерно для возрастных изменений или при нейродегенеративных заболеваниях. Имеются данные, связывающие апоптоз с патогенезом таких нарушений. В мозге страдающих болезнью Альцгеймера обнаружена активация белка Вах и каталазы 3, а также повышенная фрагментация ДНК. При болезни Паркинсона также документировано повышенное число нейронов с денатурированной ДНК. Таким образом, роль апоптоза значима не только в общебиологическом отношении, но и для процессов старения и нейродегенеративных заболеваний.

Старение мозга и нейродеструктивные заболевания

Старение мозга сопровождается постепенным снижением функции митохондрий, основных энергообразующих органелл клетки. Нарушение баланса про- и антиоксидантных биохимических процессов ведет к усилен-

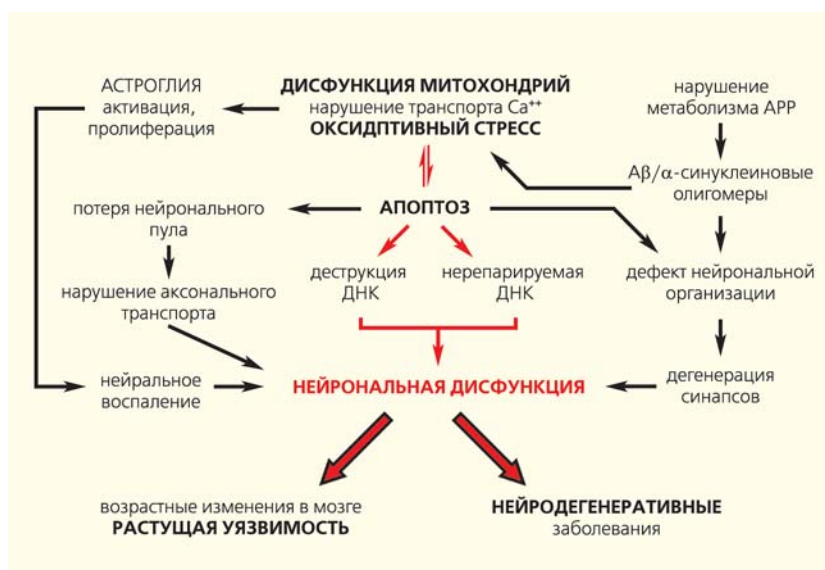
ному образованию активных форм кислорода и, соответственно, к индукции апоптоза. Классическая форма нарастающей ишемии стареющего мозга — дисциркуляторная энцефалопатия. При этом кровоснабжение мозга слабеет, нейроны голодают, медиаторная система расстраивается и, как следствие, нарушаются межнейрональные связи и регуляторные функции «нормального» мозга. В результате развиваются локомоторные расстройства, деменции, социальная адаптивная дезориентация организма. Мозг становится более уязвимым к ишемическим и нейродегенеративным влияниям.

К настоящему времени получено множество доказательств вовлечения нейротрофинов в ишемическую патологию нервной системы. Во-первых, клинические данные показывают, что при старении снижается уровень основных нейротрофинов в крови. Во-вторых, в модельных экспериментах, когда ишемия мозга вызывалась кратковременным пережатием средней мозговой артерии, уже через 6 ч в гранулярных клетках гиппокампа выявлялась значительная экспрессия мРНК ней-

ротрофического фактора мозга (BDNF). Внутривенное введение животному этого нейротрофина в течение нескольких дней приводило к существенному защитному эффекту. Экстракт микроглии из ишемизированного мозга содержал нейротрофин NT-3, активно секретируемый астроцитами, и глиальный фактор (GDNF), которые стимулировали рост астроглиальных клеток в культуре нейронов.

Нейродегенеративные заболевания мозга (типа болезней Альцгеймера и Паркинсона или бокового амиотрофического склероза) имеют несколько отличную картину нейрохимических расстройств, хотя исходно остаются дисфункция митохондрий, превалирование окислительного стресса и поражение наиболее уязвимых отделов мозга. В концепции «критического порога церебральной гипоперфузии» недостаточность мозгового кровообращения (возрастной или органической природы) рассматривается как исходный фактор деменции альцгеймеровского типа, характеризующейся дисфункцией и гибелью нейронов в гиппокампе и фронтальной коре мозга. Специфическим для данного заболевания оказывается измененный метаболизм амилоидного белка-предшественника с образованием нейротоксической формы.

Многочисленные экспериментальные исследования и клинические наблюдения достаточно убедительно свидетельствуют о причастности нейротрофинов к этим заболеваниям. Установлено, что синтез и процессинг амилоидного белка-предшественника (APP) сопряжены с активностью фактора роста нервов (NGF). У пациентов с болезнью Альцгеймера его содержание в цереброспинальной жидкости повышено, а в сыворотке крови субъектов с предклиническими признаками в начальной стадии деменции оно понижено, но увеличено в более поздний период заболевания.



Молекулярные и клеточные механизмы старения (слева) и нейродегенеративных заболеваний (справа) неидентичны.

Изучение активности тирозинкиназных рецепторов, специфически взаимодействующих с нейротрофинами, у пациентов с болезнью Альцгеймера показало, что в амилоидных отложениях гиппокампа присутствует белок TrkB-рецептора, а в клетках переднего мозга снижена экспрессия TrkA-, TrkB- и TrkC-рецепторов. Дополнительные аргументы получены в экспериментах с трансгенными мышами: установлено, что недостаточный синтез NGF или его аксональный транспорт ведут к формированию нейродегенеративных расстройств. На трансгенных мышах, экспрессирующих анти-NGF-рекомбинантные антитела, выявлены признаки нейродегенеративной патологии: повышенное образование амилоидных бляшек, нерастворимые соединения тау-белка, наличие нейрофибрилярных клубков в коре мозга и в гиппокампе. Этот биохимическим данным соответствовали существенные изменения поведенческих тестов.

Болезнь Альцгеймера сопровождается дегенерацией холинергических нейронов переднего мозга, что вызывает когнитивные расстройства. В экспериментальных работах установлено, что введение фактора роста нервов в холинергические нейроны переднего мозга стимулирует активность ацетилхолинтрансферазы — фермента, участвующего в синтезе медиатора.

Убедительность этой информации и соответствие экспериментальных и клинических результатов говорят о возможном использовании нейротрофинов для лечения патологий мозга. В начале 90-х годов становится популярным термин «нейротрофическая терапия». Однако здесь на пути исследователей возникает достаточно много вопросов и неудач. Например, при интрацеребральном введении NGF пациентам с болезнью Альцгеймера терапевтический эффект был незначительным и сопровождался негативными

реакциями развития гиперплазии в мозге. В экспериментальных попытках коррекции нарушений, ассоциирующихся с болезнью Паркинсона, использовали рекомбинантные препараты глиального нейротрофического фактора (GDNF) с аденовирусной репликацией. Такой генно-терапевтический подход мог бы стать альтернативой непосредственному введению в мозг молекулы нейротрофина. Однако эти разработки пока остаются на стадии предклиники. Инъекция GDNF крысам с повреждениями, характерными для болезни Паркинсона, защищала клетки дофаминергического фенотипа от гибели и улучшала моторные реакции животного. Но из-за серьезных осложнений в клинике этот метод неприменим.

Таким образом, с одной стороны, имеются убедительные данные об участии нейротрофинов как веществ, защищающих от повреждений в патологии мозга. С другой стороны, попытки обосновать действенность «нейротрофической терапии» с применением нейротрофинов не имели успеха. Молекула нейротрофического фактора (200—300 аминокислотных остатков) слишком велика, чтобы стать лекарственным препаратом. Ни формы его изготовления, ни способы введения в организм пока не дают желаемого результата.

Нейротрофические факторы и регуляция нейрогенеза

Проблема трансформации стволовых клеток — одна из самых интересных в современной биологии. И снова — краткий экскурс в историю, в первую очередь к личности, с которой связаны идея и сам термин «стволовая клетка». Блестящий гистолог Александр Александрович Максимов сумел проследить механизм самообновления клеток. Он, как и Рамон-Кахаль,



А.А.Максимов (1874—1928), основатель русской гистологической школы, автор термина «стволовые клетки». В России его карьера закончилась в 20-х годах: члена-корреспондента Российской Императорской академии наук лишили возможности публиковаться и заставили работать дворником. В феврале 1922 г. он с женой и сестрой добрался по льду Финского залива в Финляндию, а затем сумел продолжить свою работу в Чикагском университете США.

применил метод сравнительного анализа и сделал вывод, что «все клетки крови развиваются из единого предшественника, который имеет вид лимфоцита». Тогда, в 1909 г. в его статье, опубликованной в «Folia Haematologica», впервые появился термин «стволовая клетка» («Stammzelle») [7]. С позиций гистологов более позднего времени А.А.Максимов был «не совсем прав или совсем не прав». Однако его публикация, как и доклад на съезде гематологов в Берлине дали огромный толчок к развитию новой идеи и, по сути, новой отрасли точной биологии. Мысль, что лимфоцит способен дифференцироваться в другие форменные элементы крови, нашла свое подтверждение в работе с клетками костного мозга.

Спустя полвека после открытия Максимова тема стволовых клеток перерастает в концепцию нейрогенеза. В нейробиологии долгое время господствовало мнение, что нервные клетки не делаются и, следовательно, при повреждениях не восстанавливаются. Но в 60-х годах ученые из Массачусетского технологического института Г.Дас и И.Альтман с помощью ³H-тимидиновой радиоавтографии обнаружили в неокортексе, гиппокампе и обонятельной луковице мозга недифференцированные структуры, которые трансформировались в зрелые нервные клетки [8].

Современные представления о нейрогенезе связаны с функцией прогениторных нейральных клеток (НСК). Ныне аксиома иная: превращения нейральных стволовых клеток, их миграция, пролиферация и дифференцировка, — важные репаративные процессы в нервной системе. Эту концепцию существенно дополнили исследования последнего десятилетия: установлено, что в трансформации

еще не специализированных прогениторов в зрелые структуры (нейроны, астроциты, олигодендроциты) как неперенные посредники участвуют нейротрофические и ростовые факторы.

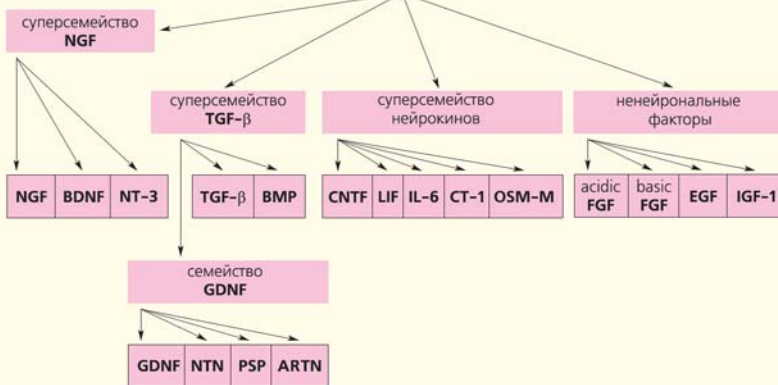
Образование новых клеток в зрелом мозге происходит в основном в субвентрикулярной зоне бокового желудочка и субгранулярной зоне зубчатой извилины мозга. В экспериментах *in vivo* продемонстрировано, что введение BDNF в гиппокамп взрослых крыс усиливало нейрогенез, защищая нейробласты от апоптоза. На экспериментальных моделях патологии мозга показано, что при ишемии и травмах мозга в местах повреждения появляются новые нейрональные клетки, замещая часть дегенерировавших структур. Дальнейшие эксперименты с глобальной или локальной ишемией мозга, а также на моделях болезней Альцгеймера и Паркинсона продемонстрировали позитивное действие нейротрофинов, сопряженное с индукцией нейрогенеза.

Показано также, что нейрогенез и трансформация нейральных стволовых клеток усиливаются под действием эндотелиального фактора роста сосудов (VEGF), а блокада его рецептора (VEGFR-2/Flk-1-киназной активности) резко снижает экспансию таких клеток. Интрацеребральная инъекция VEGF на фоне ишемии мозга усиливает нейрогенез в гиппокампе и обонятельной зоне мозга, увеличивает выживаемость молодых нейронов в зубчатой фасции и субвентрикулярной зоне, а также уменьшает размеры инфарктной зоны.

Среди попыток терапевтического применения нейротрофинов для направленной регуляции нейрогенеза обращают внимание подходы, связанные с современной генной технологией. Так, трансплантация в мозг комбинированных систем стволовых клеток и сверхэкспрессированного VEGF значительно (в два-три раза) увеличивает выживаемость нейронов после экспериментального геморрагического инсульта.

Функция нейротрофинов сопряжена с активацией специфических рецепторов. Связывание лиганда с тирозинкиназными рецепторами TrKA, TrKB, TrKC или рецептором p75^{NTR} стимулирует экспрессию экстра- и внутриклеточной сигнализации для реализации вариантов нейрогенеза. Нейротрофиновые рецепторы p75^{NTR} синтезируются прогениторными клетками зубчатой извилины мышей и, соответственно, участвуют в пролиферации и дифференцировке нейрональных стволовых клеток. Фактор BDNF, взаимодействующий с этими рецепторами, стимулирует дифференцировку нейральных стволовых клеток в различных пропорциях, включая активацию сигнальных белков MAP-киназы, АКТ и STAT-3. В экспериментах на мышах с нокаутом рецептора p75 (-/-) нейрогенез по маркерным показателям снижается. Его регуляция зависит от сигналов, экс-

НЕЙРОТРОФИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ



Классификация семейств нейротрофических факторов: FGF — ростовой фактор фибробластов (кислый и основной); ARTN — артеинин; BDNF — нейротрофический фактор мозга; BMP — костный белок морфогенеза; CNTF — реснитчатый нейротрофический фактор; CT-1 — кардиотрофин-1; EGF — эпидермальный ростовой фактор; GDNF — нейротрофический фактор глиальных клеток; IGF-1 — инсулиноподобный ростовой фактор; IL-6 — интерлейкин-6; LIF — ингибирующий фактор лейкемии; NGF — ростовой фактор нервов; NTF — нейротрофин; NTN — нейтурин; OCS-M — онкостатин; PSP — персефин; TGF-β — трансформирующий ростовой фактор-бета.

прессируемых при взаимодействии нейротрофина с TrkB — тирозинкиназным рецептором.

Однако есть вопросы, не вписывающиеся в общую позицию. Установлено, например, что новые нейрональные клетки появляются в ограниченных регионах мозга: преимущественно в гиппокампе, латеральных желудочках и обонятельных луковицах, а также в префронтальной коре, что существенно для коррекции когнитивных процессов и психоневрологических расстройств. В целом пул вновь образующихся клеток (нейронов, астроцитов, олигодендроцитов) составляет несоизмеримо малую часть общего объема нейрональной массы. И все же стимулированный нейрогенез способствует коррекции физиологических функций при возрастных или патологических нарушениях в мозге.

Новые данные позволяют уточнить этот взгляд. В обзорной публикации Р.Гузмана [9] нейральные стволовые клетки рассматриваются как своеобразные триггеры, инициирующие активность иммуномодуляторов и воспалительных цитокинов, регуляторов ангиогенеза, ростовых и нейротрофических факторов, а также сигнальных белков, экспрессирующих рост аксонов. Недавно группа исследователей под руководством В.А.Ткачука (Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова) доказала, что получаемые из жировой ткани стволовые клетки стимулируют за счет секреции BDNF регенерацию периферических нервов и способствуют росту аксонов *de novo* [10]. Таким образом, нейрональные стволовые клетки могут не только служить источником репаративного материала, но и стимулировать активность нейротрофинов, ростовых факторов и их рецепторов.

И еще одно существенное обстоятельство: то, что нейральные прогениторы могут влиять на активность рецептора

p75^{NTR}, указывает на возможность непосредственного включения сигнальных трансдукторных систем, обеспечивающих дифференцировку, выживание и защиту от апоптоза нейрональных структур. Следовательно, дальнейший поиск терапевтических средств может строиться на выявлении нейротрофин-подобных лигандов рецепторов, имитирующих их протективные функции [11].

Нейротрофическая терапия

Похоже, что присуждение в 1986 г. Нобелевской премии за открытие первых нейротрофинов послужило стимулом для расшифровки их структуры и установления соотношения структура—активность. Спустя годы после описания структуры NGF и BDNF интерес сместился к поиску точек связывания нейротрофина с рецептором [12, 13].

С позиций терапевтической перспективы фармакологический эффект нейротрофинов лимитируется их прохождением через гематоэнцефалический барьер. Кроме того, крупные полипептидные молекулы быстро гидролизуются присутствующими в крови ферментами. Экспериментальные попытки вводить нейротрофины и ростовые факторы непосредственно в желудочки мозга не получили развития в клинике. Нейротрофическая терапия до сих пор в значительной мере остается декларативной, хотя сегодня в клинике не без успеха применяются препараты, представляющие наборы естественных пептидных фрагментов (семакс, церебролизин, кортексин, ноопепт).

В последнее десятилетие активно разрабатывается терапевтическая стратегия с использованием минипептидов, способных связываться с p75^{NTR} и Trk-рецепторами и проявляющих нейротрофическую активность. Такой подход сулит преимущества в лечении, направ-

ленно влияя на активность рецептора и воспроизводя протективные эффекты нейротрофинов. Речь может идти о веществах, которые, не будучи собственно нейротрофинами, специфически взаимодействуют с их рецепторами и стимулируют синтез других активных факторов в соответствующих регионах мозга.

Молекулярная инженерия, посредством которой созданы «химерные молекулы» NGF и BDNF, позволила вычленить структурные мотивы (сочетания групп аминокислот), повторяющие эффекты нейротрофинов. Группа нейрохимиков из Калифорнийского университета синтезировала селективные фармакофоры структурной петли молекулы BDNF. Такие минипептиды, связываясь с TrkB-рецептором, подобно фактору BDNF, предотвращали дегенерацию нейронов. В опытах *in vivo* эти пептидомиметики активировали TrkB-рецептор в стриатуме и гиппокампе мышей и улучшали моторные когнитивные функции после травмы мозга [14]. Специалисты из университета Бостона создали циклический пептид, синтезированный как гомолог участка молекулы нейротрофина NGF [28—36]. Вещество связывалось с p75^{NTR}-рецептором и нивелировало токсическое действие амилоида A β [1—40], провоцирующего нейроапоптоз (модель патологии Альцгеймера) [15].

В ряде работ было установлено, что некоторые минипептиды воспроизводят эффекты нейротрофинов за счет экспрессии их синтеза и активности. Такой механизм лежит в основе действия ноопепта — ноотропного препарата, созданного в Москве, в Институте фармакологии РАМН. Это соединение (N-фенилацетил-L-пролилглицин этиловый эфир) потенцировало экспрессию мРНК BDNF и NGF в гиппокампе крыс и стимулировало синтез нейротрофинов, что и объясняет его клиническую эффективность [16].

Специалисты из Института молекулярной генетики РАН наглядно продемонстрировали, что синтезированный в институте препарат семакс, представляющий короткую комбинацию молекулы аденокортикотропного гормона (АКТГ4-10), стимулирует синтез NGF и BDNF в гиппокампе и коре мозга крыс [17]. Сегодня семакс уже широко применяется как эффективное средство при инсультах.

Стратегия «малых пептидов» — одно из важных направлений поиска новых продуктов, терапевтическое действие ко-

торых основано на модуляции активности рецепторов нейротрофинов. Преимущество их применения состоит, во-первых, в избирательности эффектов, вычлняемых из суммы плейотропной активности нейротрофинов, а во-вторых, в возможности более «удобной» терапевтической аппликации ввиду небольшого размера молекулы.

* * *

Четверть века назад, получая Нобелевскую премию, Рита Леви-Монтальчини говорила: «По-

скольку гибель клеток специфической нейрональной популяции связана со сниженным уровнем нейротрофических факторов, таких как NGF, их экзогенная поддержка или стимуляция эндогенного продуцирования фармакологическими средствами может открыть многообещающие подходы к терапии некурабельных заболеваний». Сегодня нельзя не удивиться точности такого предвидения. Сотни исследований подтвердили роль нейротрофинов в организации и регуляции функций мозга. ■

Литература

1. *Levi-Montalcini R.* The nerve growth factor: thirty-five years later // *EMBO J.* 1987. V.6. P.1145—1154.
2. *Болдырев А.А.* Роль активных форм кислорода в жизнедеятельности нейрона // *Успехи физиол. наук.* 2003. Т.34. №3. С.21—34.
3. *Kerr J.F.R., Wyllie A.H., Currie A.R.* Apoptosis: a basic biological phenomenon with wide-ranging implications in tissue kinetics // *British Journal of Cancer.* 1972. V.26. №4. P.239—257.
4. *Кахаль С.Р.* Автобиография. Воспоминания о моей жизни / Под ред. А.В.Смольянникова и Д.С.Саркисова. М., 1985. С.116—117.
5. *Скулачев В.П.* Феноптоз: запрограммированная смерть организма // *Биохимия.* 1999. Т.64. №12. С.1679—1688.
6. *Rutten B.P., Korr H., Steinbusch H.W., Schmitz C.H.* // *Mechanisms of Ageing and Development.* 2003. V.124. №3. P.349—355.
7. *Der Lymphozyt als gemeinsame Stammzelle der verschiedenen Blutelemente in der embryonalen Entwicklung und im postfetalen Leben der Säugetiere* // *Folia Haematologica.* Leipzig, 1909. V.8. S.125—134.
8. *Das G.D., Altman J.* Postnatal neurogenesis in the cerebellum of the cat and tritiated thymidine autoradiography // *Brain Res.* 1971. V.30. №2. P.323—330.
9. *Guzman R.* Cellular stroke therapy: from cell replacement to trophic support // *Expert Review of Cardiovascular Therapy.* 2009. V.7. №1. P.1187—1190.
10. *Lopatina T., Kalinina N., Karagyaur M. et al.* Adipose-derived stem cells stimulate regeneration of peripheral nerves: BDNF secreted by these cells promotes nerve healing and axon growth de novo // *PLoS One.* 2011. V.6. №3. P.e17899.
11. *Гомазков О.А.* Нейротрофические и ростовые факторы мозга: регуляторная специфика и терапевтический потенциал // *Успехи физиол. наук.* 2005. Т.36. №2. С.1—25.
12. *McDonald N.Q., Lapatto R., Murray-Rust J. et al.* New protein fold revealed by a 2.3-Å resolution crystal structure of nerve growth factor // *Nature.* 1991. V.354. №6352. P.411—414.
13. *Robinson R.C., Radziejewski C., Stuart D.I., Jones E.Y.* Biochemistry. Structure of the brain-derived neurotrophic factor/neurotrophin 3 heterodimer // *Biochemistry.* 1995. V.34. №13. P.4139—4146.
14. *Massa S.M., Yang T., Xie Y. et al.* Small molecule BDNF mimetics activate TrkB signaling and prevent neuronal degeneration in rodents // *J. Clin Invest.* 2010. V.120. №5. P.1774—1785.
15. *Yaar M., Zhai S., Panova I. et al.* A cyclic peptide that binds p75(NTR) protects neurones from beta amyloid (1-40)-induced cell death // *Neuropathol Appl Neurobiol.* 2007. V.33. №5. P.533—543.
16. *Островская Р.У., Гудашева Т.А., Цаплина А.П. и др.* Ноопепт стимулирует экспрессию NGF и BDNF в гиппокампе крысы // *Бюлл. Эксп. Биол. мед.* 2008. Т.148. №3. С.334—337.
17. *Agapova T.Iu., Agniullin I.a.V., Silachev D.N. et al.* Effect of semax on the temporary dynamics of brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor gene expression in the rat hippocampus and frontal cortex // *Mol. Gen. Mikrobiol. Virusol.* 2008. V.3. P.28—32.

Новая надпись домонгольской эпохи с городища Ростиславль

А.А.Медынцева,
доктор исторических наук
В.Ю.Коваль,
кандидат исторических наук
Институт археологии РАН
Москва

В ходе археологических раскопок на городище Ростиславль в Озерском р-не Московской обл., проводившихся в 2011 г. Ростиславльской экспедицией Института археологии РАН под руководством В.Ю.Коваля, были обнаружены несколько обломков горшка с надписью кириллицей, прочерченной по его поверхности.

Городище Ростиславль находится на правом берегу Оки, примерно посередине между Коломной и Каширой. Оно представляет собой остатки летописного города Рязанской земли, основанного в 1153 г. и просуществовавшего до начала XVII в. Городище планомерно изучается с 1991 г., в 1996-м здесь уже была сделана редкая эпиграфическая находка — обломок белокаменного намогильного (?) креста с надписью. Новая находка, о которой пойдет речь, обнаружена на раскопе II (начальник раскопа А.А.Еремеев), которым исследовался северо-западный край городища, с неплохо сохранившимися объектами и культурным слоем домонгольской эпохи.

Один из обломков горшка обнаружен в переотложенном культурном слое, зато все остальные довольно компактно залежали в верхней части заполнения ямы второй половины XII в. Горизонт залегания этих обломков удалось довольно точно датировать (по данным стратигра-



Вид на городище Ростиславль (указано стрелкой) на правом берегу Оки.

фии, вещевым находкам и массовому керамическому материалу) первой половиной XIII в. (вероятно, до 1237 г., когда город был разрушен татаро-монголами). Облик горшка, на котором была начертана надпись, также характерен для домонгольского периода. Все это позволяет предполагать, что обломки попали в культурный слой накануне Батыева нашествия. После этого культурный слой просел в заполнение более ранней ямы и сохранился в неприкосновенности до наших дней. Отметим, что другие части горшка (2/3 венчика и придонная часть) отсутствуют. Следовательно, в

слой попал не весь горшок, а только крупный его обломок, развалившийся на несколько частей. Где находятся остальные его части, неизвестно, однако раскопками вскрыта вся территория в радиусе 20 м вокруг места находки, так что надежды на обнаружение оставшейся части надписи невелики.

Надпись прочерчена под венчиком гончарного сосуда до обжига, по сырой глине, о чем свидетельствуют отчетливо сохранившиеся валики глины, образовавшиеся в процессе нанесения букв по их краям, особенно явные в местах изгибов. Надпись четко прочерчена острым

© Медынцева А.А., Коваль В.Ю., 2012



Фрагмент горшка с надписью, сделанной еще до его обжига.

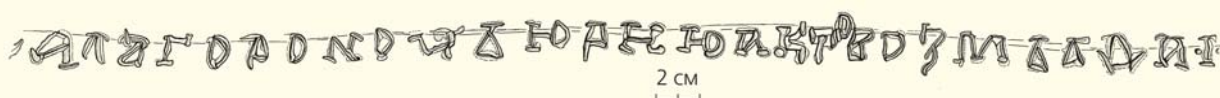
предметом, вероятно, писалом (стилосом) — инструментом для письма по навощенным дощечкам. Она представляет собой часть надписи, сохранившейся, если судить по довольно большому размеру горшка, приблизительно на треть. Начало и конец надписи утрачены. Буквы четкие, с отчеркиваниями вертикальных мачт, из-за чего трудно различить буквы Ъ и Ь.

Первое сохранившееся слово, несмотря на утрату начала, восстанавливается по смыслу и оставшимся буквам легко: это, вероятно, глагол *вдаль* — можно различить остатки правой ножки (треугольника) от Д. Далее читается слово *гороноць* (в этимологически правильном написании должно быть написано *гѣрнць*) — т.е. горшок, сосуд для приготовления пищи [1. С.96]. Буквы хорошей сохранности, читаются отчетливо. В этом слове О заменяет собой Ъ и Ь, что представляет собой яркий пример «неупорядоченного» правописания глухих и *о/е*, что обычно отмечается в «бытовом» письме северо-западных регионов Древней Руси, но не в Рязанском княжестве, к которому относился Ростиславль. Затем следует имя — *Юрию*. Таким образом, можно с уверенностью предположить, что в начале надписи содержалось имя дарителя, который подарил горшок человеку по имени Юрий, а вся надпись относится к разряду дарственных. Но дарственной содержа-

ние надписи не ограничивалось. Далее читается: *«а кто возмет а да...»*. Здесь снова Ь заменяет собой Е соответственно «неупорядоченному» правописанию, пропущенная буква О в слове *кто* надписана позднее несколько выше. За этими словами следует ожидать «заклятие» — наказание, которое постигнет того, кто украдет сосуд. Подобное заклиние известно по надписи на кресте Евфросинии Полоцкой 1161 г. — одним из самых известных произведений древнерусского художественного ремесла. Этот большой на престольный крест, металлический с позолотой, украшенный эмалью, драгоценными камнями и жемчужной обнизью, был заказан Полоцкой княжной Евфросинией для реликвий, вывезенных из Царьграда, и подарен ею Полоцкому Спасскому монастырю. В подробной вкладной надписи, расположенной на кресте и содержащей год события, имя вкладчицы, описание креста и стоимость ювелирной работы, присутствует и пространный заклиние нарушившему волю княжны и унесшему крест из монастыря: *«да не буди ему помощник честный крест ни в этот век, ни в будущий, да будет проклят Святой Троицей...»* и т.д. [2. С.32—33]. Аналогичные заклиния дошли до нас и в приписках писцов к некоторым рукописям, тоже стоившим очень дорого. Например, в выходной записи писца о написании кни-

ги для церкви Святой Софии «повелением» князя Дмитрия Александровича на средства архиепископа Климента (около 1285—1291 гг.), имеется угроза проклятия и Страшного суда похитителю: *«...не буде ему наше благословение... да будет проклят...»* [3. С.101]. Ценность креста Евфросинии Полоцкой или священных книг, конечно, не сопоставима с бытовыми предметами, однако и на них известны подобные заклиния. Так, на простой костяной ручке обыкновенного железного ножа из Дрогичина (Беларусь) владельцем была процарапана надпись, датированная по палеографическим признакам концом XI — началом XII в., с заклинием против кражи: *«Ежков нож, а иже его украде, то проклят буде»*. Судя по контексту, мы вправе ожидать подобного продолжения и от надписи на горшке из Ростиславля. За словом *«возме»* читаются только три буквы и начало четвертой: *«а да...»*. Мы вправе предполагать, что следующая буква была либо Б (начало слова *БУДИ*), либо Н (*НЕ БУДИ*). Но, к сожалению, полностью она не сохранилась. Разлом проходит как раз посередине буквы. Это могла быть вертикальная линия буквы Б или Н, но, насколько можно судить по сохранившимся чертам, особенно по отчетливо видной точке слева от вертикальной мачты и, вероятно, такой же справа от нее, это могла быть буква И десятиричное, в данном случае Ī — начало слова *иссохнет* или аналогичного по смыслу.

Сохранность надписи не дает убедительных обоснований для полной реконструкции, но ясно, что перед нами дарственная надпись неизвестного дарителя человеку по имени Юрий, содержащая заклиние от вора. Сохранившийся фрагмент читается так: *«некто дал горшок Юрию, кто возьмет, да буде... (или не будет)...»*, санкция остается неясной, но по смыслу именно она должна была быть в несохранившейся части надписи.



Прорисовка надписи на горшке из городища Ростиславль.

Несмотря на относительную ее краткость, палеографические особенности начертаний, по которым ее можно датировать, достаточно хорошо выражены и позволяют отнести ее к первой половине XIII в. Стратиграфическая дата, как и форма горшка, тоже указывают на первую половину XIII в. Таким образом, надпись по палеографии, правописанию, стратиграфии и форме самого горшка надежно датируется первой половиной XIII в.

Заслуживает внимания использование русифицированной формы имени *Юрий* вместо *Георгий* или переходной *Гюрги*, *Гюрги*. В новгородских письмах на бересте такая форма этого имени, где сначала первая буква *Г*, а затем и вторая *г* заменяется на йот, появляется начиная с середины XIV в. [4. С.86—87]. Надежно датированная надпись — свидетельство того, что в разговорной лексике в Рязанской земле она появилась значительно раньше, чем в Новгороде.

Особенности публикуемой надписи — способ написания (по сырой глине) и расположение (на обычном горшке, тогда как большинство надписей на керамике, известных на территории Древней Руси, прочерчено на византийских амфорах, т.е. на уже давно обожженных дорогих привозных сосудах). Единственную аналогию пред-

ставляет надпись на двух обломках горшка с селища Автуничи (Черниговская обл., Украина), найденная при раскопках 1988 г. [5. С.50. Рис.14, 10]. Надпись нанесена по плечу сосуда до обжига, по сырой глине, вероятно, ножом, который использовался в процессе производства. Она, скорее всего, представляла собой обычную молитвенную надпись «*Господи помози такому-то*» — человеку, от имени которого сохранилась лишь первая буква *М*. На первый взгляд она напоминает надпись из Ростиславля. Вероятно, сходство объясняется материалом, способом написания и хронологической близостью сосудов. Надпись из Автуничей содержит мало материала для палеографической датировки. Стратиграфическая дата автунической надписи — XII в., а с учетом палеографии — конец XII — начало XIII в.

Какие исторические выводы можно сделать на основе двух редких надписей приблизительно одного времени, найденных в разных местах Древней Руси?

Судя по находкам горшков с надписями, в среду ремесленников, занимающихся производством простой гончарной посуды, т.е. тем видом ремесла, которое было ориентировано на широкие массы городского и сельского населения, грамотность проникла в конце XII —

начале XIII в. Напомним, что в первые десятилетия XIII в. произошло распространение тех видов продукции, которые предназначались не для элитарных кругов, а были адресованы небогатому населению (например, украшений, изготавливавшихся литьем в имитационных формах), отмечено оно и в ювелирном деле.

Очевидно, авторы надписей на необоженной поверхности горшков — сами гончары, а не заказчики, тем более что само присутствие последних в ходе сложного технологического процесса изготовления керамики сомнительно. Да посторонний человек и не смог бы сделать надпись по сырому горшку, поскольку ему вряд ли удалось бы соизмерить усилие руки с сопротивлением материала — такая попытка закончилась бы разрушением горшка еще до обжига. Другое дело, что содержание текста надписи могло быть продиктовано заказчиком.

Ростиславльская надпись говорит о том, что один человек подарил горшок другому. Следовательно, эта надпись — свидетельство грамотности по меньшей мере трех человек: заказчика надписи, получателя горшка и гончара, который эту надпись сделал. Кроме того, грамотными надлежало быть и предполагаемым вора, которым адресовалось заклятие. ■

Литература

1. Лукина Г.Н. Предметно-бытовая лексика древнерусского языка. М., 1990.
2. Рыбаков Б.А. Русские датированные надписи XI—XIV веков // Свод археологических источников. Вып. Е1—44. М., 1964.
3. Столярова Л.В. Древнерусские надписи XI—XIV веков на пергаменных кодексах. М., 1998.
4. Зализняк А.А. Древне-новгородский диалект. М., 1995.
5. Моця О.П. и др. Поселення Х—XIII ст. біля с.Автуничі // Південноруське село IX—XIII ст. (нові пам'ятки матеріальної культури). Київ, 1997.

«Заповедного не тронь!»

Ф.Р.Штильмарк: штрихи к биографии

Н.К.Носкова
Москва

«Вот человек, борющийся с Голиафом. Поскольку он без пращи, он не победит, но исполнит все, что в его силах, как должен каждый...» — так воспринимает Ф.Р.Штильмарка В.Н.Сипливинский* (из письма от 7 мая 1977 г.). Человек предельно скромный и добрый, Феликс Робертович пращей (даже если бы держал ее в руках) не размахивал, такой победы не добивался, она была ему не нужна: он владел другими орудиями — даром мыслителя и словом.

Все, о чем говорил и писал Феликс Робертович, вся жизнь и деятельность которого прошла под девизом «Помни праотцев — заповедного не тронь!», воспринимается уже сейчас как пророчество, а каждая написанная им строка — как предупреждение. «Смысл заповедности заключен в сфере духовности, в поддержке самого человека, готового хоть чуть-чуть поступиться своей жадностью, оставив кусочек природы нетронутой (заповедной)»**.

* Владимир Николаевич Сипливинский — ботаник, биогеограф — после окончания Томского университета работал в Баргузинском заповеднике, но был вынужден оставить успешную работу из-за конфликтов с директором Г.А.Янкусом, эмигрировал из страны, работал в Ботаническом саду Нью-Йорка.

** Из письма В.И.Булатову в Югорский университет: «Письма из Абакана». К 80-летию со дня рождения выдающихся экологов — Н.Ф.Реймерса (1931—1993) и Ф.Р.Штильмарка (1931—2005) // Газета «Заповедное братство». №7 (28). Декабрь 2011 г.

Это ведь касается не только природных заповедников, но и поведения человека вообще, его способности к восприятию бытия, к возможному самоограничению, оценке своей роли и предназначения на Земле.

Вся жизнь Феликса Робертовича с раннего детства — это преодоление трудностей. Его мать — дипломат, переводчик с французского, английского и японского языков, научный сотрудник Института мирового хозяйства и мировой политики АН СССР — была намного старше его отца. Она умерла в 1944 г., а вернувшийся с фронта отец, контуженный и с тяжелыми ранениями, в апреле 1945 г. был репрессирован, осужден на десять лет и отправлен в Туруханский край. (Именно там, в заключении, он написал книгу «Наследник из Калькутты», которую юному Феликсу удалось изъять из органов НКВД и с помощью писателя И.А.Ефремова издать. До сих пор этот роман пользуется огромной популярностью среди читателей.)

Осиротевший Феликс вынужден был бросить школу (сдал потом блестяще экзамены экстерном за 10 классов) и искать работу, чтобы выжить (в одном из писем есть фраза: «В четырнадцать лет я весил 28 кг»). Частенько он, очень стесняясь, приходил к друзьям покойной матери — композиторам Ирине Николаевне Иордан и Юрию Васильевичу Киркору. Эти бездетные интеллигентные люди очень тепло относились к истощенному любознательному подростку, подкармливали чем могли и познакомили его со

Грядущему нельзя не доверяться...

А.Фет

своим другом — профессором Зоомузея МГУ, заведующим отделением сравнительной анатомии А.Н.Дружининым. Именно Александр Николаевич, о котором Феликс всегда вспоминал с необыкновенной теплотой и благодарностью, устроил его препаратором в Зоомузей. Появилась возможность заработать какие-то крохи на кусок хлеба, бывать в залах Зоомузея, а то и на докладах во время заседаний МОИП (Московского общества испытателей природы). Слушая С.И.Огнева, А.Н.Формозова, В.Г.Гептнера, он уже тогда почувствовал в себе призвание — постоянно быть в природе, изучать и всеми силами охранять ее.

Позднее, уже переехав в Красноярск с переведенным туда Институтом леса и древесины, он писал отцу: «Что ни говори, но я занимаюсь научной работой, независимо от того, нужно это дело или нет, но это есть крупницы человеческого познания в избранной мною со щенячьего возраста области. Меня никто никогда не заставит делать то, чего бы я сам не хотел».

Но до Красноярска была еще работа в Теллермановском лесничестве (под городом Борисоглебском Воронежской обл.) Института леса АН СССР, возглавляемом В.Н.Сукачевым. Институт проводил там стационарные работы, связанные с полезащитным лесоразведением. В течение нескольких сезонов Феликс выезжал туда в качестве лаборанта, работы у него там всегда было много — отлов, описание и препарирование мышевидных грызунов на посадках дуба, отстрел и препарирование птиц. Непо-

средственным его руководителем был Борис Владимирович Образцов. Первый научный труд Феликса (естественно, в соавторстве с Образцовым), называвшийся «Лесохозяйственное значение мышевидных грызунов в дубравах Европейской части СССР», вышел в 1957 г. в 35-м томе «Трудов Института леса».

Работа в Теллермане была летней и ничуть не мешала ему позднее учиться на охотоведческом факультете Московского пушно-мехового института (в МГУ из-за «неблагонадежного» отца ему и соваться было нельзя) и даже провести больше месяца в восточносибирской тайге, кочуя с тунгусами (эвенками). Это была преддипломная практика, в результате которой Феликс написал дипломную работу «Охотничье хозяйство Тутуро-Очеульского сельсовета Качугского района Иркутской области» (подлинник ее хранится в Российском государственном архиве экономики — РГАЭ) и защитил ее как дипломную работу в 1956 г.

Жизнь в сибирской тайге (первое знакомство с ней состоялось несколько раньше, когда Феликс ездил навестить отца в Маклаково под Енисейск (сейчас — Лесосибирск), даже влюбленность в нее сыграли свою роль. Когда Институт леса переводили в Красноярск и сотрудникам-москвичам предложили поехать туда, Феликс без колебаний, даже с радостью, согласился. И с 1959 г. стал младшим научным сотрудником Института леса и древесины СО АН СССР. Тематика его работ была по-прежнему связана с мышевидными грызунами — изучали состав этих животных в нетронутых кедровых массивах, на вырубках, в молодых кедрчачах. Его кандидатская диссертация «Мелкие грызуны в кедровых лесах Западного Саяна (Экология и практическое изучение)» основана на сибирских материалах.

Наблюдая, что происходит с чудесными кедрчачами, как варварски «работает» там наша про-

мышленность, сколько леса вырубается впустую, он уже не мог просто «ловить мышей» и часто говорил мне (с 1961 года, когда я после окончания Томского университета приехала к нему работать, мы не расставались до самой его кончины в 2005 г.): «Зачем я буду изучать состав полевков на участке леса, который — я знаю — уже обречен, предназначен к вырубке».

Постепенно у него даже появилось отвращение к разным давилкам, ловушкам, плашкам, которыми так ловко орудовал при изучении полевков. А среди публикуемых статей преобладали такие, в которых звучал призыв беречь, охранять богатства кедровых лесов, возникла неудержимая потребность защитить то, что подвергалось варварскому уничтожению. Защитить прочно, навечно — т.е. оградить хотя бы отдельные участки даже от посягательств на них — значит, создать там заповедник.

Он всегда с благодарностью, внимательно изучал труды своих предшественников, внимал их опыту (как недостает этого свойства нашим современникам во всех сферах!). В отношении заповедного дела — это Г.А.Кожевников, Н.М.Кулагин, В.Н.Ма-

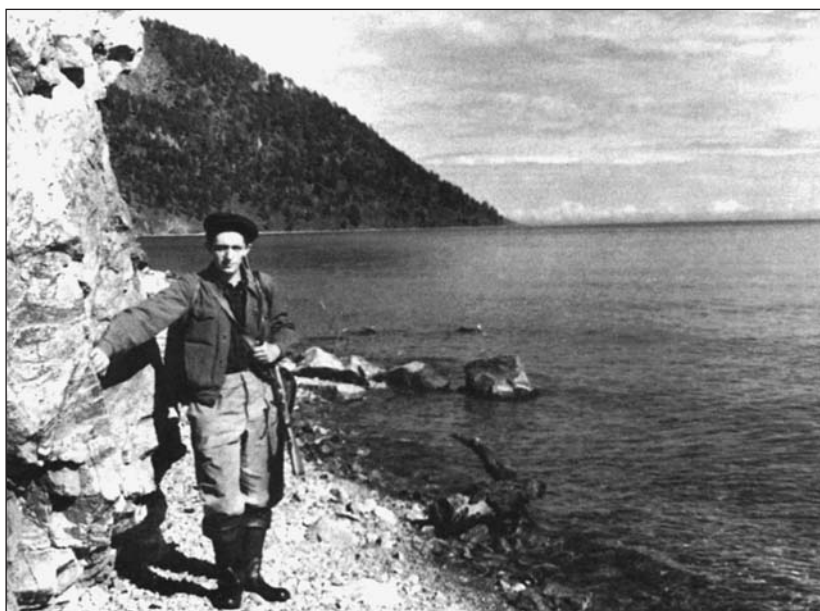


Феликс Шильмарк — студент МПМИ. 1952 г.

каров, А.П. и В.П. Семеновы-Тян-Шанские и др., которые создали теорию подлинной заповедности.

Рамки тематики Красноярского института леса стали ему тесны. Когда мы вернулись уже с маленькой дочкой в Москву, начались поиски сферы приложения сил в заповедном деле.

Для начала Феликс решил сам поработать в заповеднике. В то



На берегу Байкала во время преддипломной практики. 1955 г.



Ф. Штильмарк — охотовед Сургутского р-на. 1956 г.

время создавались четыре новых заповедника на Дальнем Востоке. Председатель Дальневосточного филиала АН СССР А.С.Хоментовский загорелся идеей создать заповедники «нового типа». На самом деле он хитрил — решил успокоить Н.С.Хрущева (который был против «разных

там заповедников») тем, что эти заповедники создаются не ради охраны природы, а для здоровья людей, живущих в больших городах: Комсомольский — вблизи Комсомольска-на-Амуре, Большехецирский — под Хабаровском, Зейский — у строящейся крупной ГЭС, Хинганский — в Амурской обл. Вот на Дальний Восток мы и отправились — Феликс заместителем директора по научной части (сам директором стать не захотел, решил найти человека на месте), я — научным работником.

Нелегкое это было время, но работа наладилась, появилось очень много публикаций и в местной печати, и в научных сборниках, к нам приезжали на практику студенты и преподаватели Хабаровского и Комсомольского педагогических институтов. Как-то наладилась и охрана территории. Постепенно, при обследовании близлежащих участков, Феликс понял, что участок под заповедник выбран не совсем правильно — вокруг были значительно более ценные в природном отношении места. Много раз ставился вопрос о расширении границ заповедника, но сделать это в то время не удалось.



В походе на Можарские озера с отрядом Н.П.Поликарпова (Штильмарк — крайний слева). 1961 г.

Во всяком случае работа окончательно убедила Феликса, что заповедное дело — его прямое назначение. И перед созданием каждого заповедника необходимо всестороннее, хорошо продуманное обследование территории.

В 1968 г. в Москве при Главохоте РСФСР была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория охотничьего хозяйства и заповедников, располагалась она на территории лесного массива «Лосиный остров», где когда-то была знаменитая научно-исследовательская охотничье-промысловая лаборатория, созданная Б.М.Житковым. Феликс стал ее научным сотрудником, но в отделе заповедников ему пока места не нашлось, он должен был заниматься учетом охотничьих животных.

В той же Лаборатории стал работать и Николай Федорович Реймерс, который до этого жил на Сахалине (бывал у нас в Комсомольском заповеднике), потом в Приокско-Тerrasном заповеднике. Взгляды у них с Феликсом на заповедное дело очень совпадали.

Николай Федорович писал: *«Не природе нужна наша защита. Это нам необходимо ее покровительство: чистый воздух, чтобы дышать, кристальная вода, чтобы пить, вся Природа — чтобы жить. Она — Природа — была и всегда будет сильнее человека, ибо она его породила. Он лишь миг в ее жизни. Она же вечна и бесконечна. Человек для нее — деталь. Она для него — все! А потому — не вреди!».*

Феликс, конечно, сдавал вовремя необходимые отчеты, писал статьи, но... основным его делом была все-таки охрана природы. В те годы было очень много полемики, споров вокруг разного рода внезапно возникающих проектов: поворота северных рек на юг (говорили потом: слава Богу, что на это безумие не хватило денег, а то ведь начали бы поворачивать!), воздвижения Катунской ГЭС (даже энергетики доказывали, что ток от нее туда,

где он нужен, не пойдет, она все не нужна), разработки целой стратегии охраны природы в зоне строительства БАМ (какая уж там охрана природы!).

Все эти безумства требовали вмешательства, приходилось участвовать в разных совещаниях, обсуждениях. Феликс — человек по натуре очень неравнодушный, горячий — переносил все крайне болезненно, куда-то звонил, с кем-то спорил, бессонными ночами писал разные отклики, отзывы, рекомендации.

Вместе с Реймерсом они в эти годы подготовили и издали книгу, в которой выразили свой взгляд на природопользование в нашей стране: *«Природные охраняемые территории лишь по своей форме выглядят как “пассивная” охрана природы. На самом же деле они выступают как регуляторы экологического равновесия — одна из самых эффективных форм природопользования. <...> Отечественные традиции охраны природы имеют славную историю. В России не сложились условия для развития национальных парков американско-канадского типа. <...> Но наша страна может поделиться с миром своим опытом заповедного дела»* [2].

Ровесники и единомышленники, они были очень дружны, и когда Николай Федорович скончался (1993), Феликс посчитал своим долгом написать о нем книгу, открыв ею серию «Жизнь замечательных ученых» в издательстве МНЭПУ (Московский независимый эколого-политологический университет), где Реймерс работал [5]. Эпиграф звучит так: *«Я не сам ли выбрал день рождения, / Век и царство, область и народ, / Чтоб пройти сквозь муки и крещение / Совети, огня и вод»* (М.Волошин).

Занимаясь учетами на севере Тюменской обл., Феликс побывал в местах, где когда-то существовал Кондо-Сосьвинский заповедник (был ликвидирован в 1951 г.). Жил в пос. Советском, посетил бывшую усадьбу заповедника «Хангокурт». Поговорил с остав-



Феликс с отцом, Робертом Александровичем, во время лодочного сплава по Старой Торосе. 1980 г.

шимися в живых сотрудниками, нашел в заброшенном сарае целую грудку бумаг и среди них — вымокшие и почерневшие рукописи зоолога В.В.Раевского — его доклады, отчеты, рукопись о кондо-сосьвинском соболе. Приехав в Москву, принялся разыскивать родственников Вадима Вадимовича и пришел к твердому убеждению, что заповедник, которому отдал жизнь этот замечательный натуралист, необходимо восстановить. Нашлась сестра Раевского Ольга Вадимовна, мы очень подружались. Она часто бывала у нас, много рассказывала о заповед-

нике, о последних днях своего любимого брата (приехала к нему и была с ним до самого конца — он умер от туберкулеза совсем молодым). Рукопись Раевского была восстановлена, перепечатана и издана, а эпопея с восстановлением заповедника растянулась на семь лет — с 1969 по 1976-й. После долгих мытарств заповедник удалось восстановить лишь частично — на меньшей площади (за каждый квадратный километр велась битва с лесорубами, нефтяниками и газовиками) и под другим названием — «Малая Сосьва». За эти годы были написаны и опубли-



Экспедиция в Хакасии и Туве. Степные заповедники. 1981 г.

ликованы десятки статей. И в последующие годы Феликс никогда не забывал об этом «своем» заповеднике, следил за его работой и уже почти в конце жизни написал замечательную документальную повесть о Кондо-Сосьвинском заповеднике и о людях, которые там работали [6].

Сразу после его смерти ко мне обратились сотрудники Олекминского заповедника (Якутия) с просьбой разрешить присвоить этому заповеднику имя Штильмарка. Поблагодарив олекминцев за внимание, я вынуждена была ответить отказом: уж если какой заповедник должен носить имя Штильмарка, так это «Малая Сосьва», созданная его потом и кровью (буквально!), написала об этом директору, подобрав все публикации Феликса об этом заповеднике, о его истории и эпопее восстановления, но **никакого** ответа не получила. Ну что же — Бог им судья, значит, нынешний заповедник «Малая Сосьва» не достоин носить имя его создателя.

С Кондо-Сосьвинского заповедника началась деятельность Феликса исключительно в заповедном деле. Он участвовал в обследовании территорий и преткновении Таймырского заповедника (эпопея создания тоже длилась не один год), Олекминского, Байкало-Ленского, заповедника «Брянский лес», Витимского (в Иркутской обл.), заповедника «Остров Врангеля», Пинежского (Архангельская обл.), Сохондинского (Читинская обл.), Усть-Ленского (Якутия), Центральносибирского (Красноярский край), Юганского (Ханты-Мансийский округ) и других, велась обширная переписка с сотрудниками заповедников — об организации охраны территорий и научной работы.

Кроме того, Ф.Р.Штильмарк по заданию Госплана разработал «Генеральную схему размещения заповедников, заказников, охотничьих и лесохозяйственных хозяйств на территории нашей страны до 2000 года»,

по которой и должны были создаваться заповедники.

Помимо многочисленных научных статей он готовил 10-томную серию «Заповедники СССР» с Е.Е.Сыроечковским, который сначала тоже работал в ЦНИЛ Главохоты, а потом стал заведующим группой экологических основ охраны экосистем и управления популяциями животных академического Института эволюционной морфологии и экологии животных им.А.Н.Северцова (ИЭМЭЖ). Вскоре к нему перешел и Феликс. Последний, 10-й, том («Заповедники Сибири». Книга 2) вышел в 2000 г. Феликс послал его в подарок Виктору Петровичу Астафьеву в Красноярск. Ответ последовал незамедлительно: «Дорогой Феликс! Получил второй том «Заповедников» и снова удивился, какую же чудную планету подарил Господь этой неблагодарной звероподобной свинье под названием человек, что от рождения своего подрывает корни под собой, похабит землю, которая его кормит, терзает прекрасный лик матери-природы...».

Будучи сотрудником ИЭМЭЖ, Феликс готовил большую монографическую работу по истории заповедного дела, начиная с самых первых заповедников, можно даже сказать, заповеданных участков. Получилось так, что исследование это охватило как раз столетний период существования заповедного дела в нашей стране [4].

Монография стала основой его докторской диссертации. Автореферат назывался так: «Анализ эволюции систем государственных заповедников Российской Федерации», защита состоялась на ученом совете ИЭМЭЖ в мае 1997 г.

А между тем классическое понимание заповедности (которое целиком и полностью разделял Феликс Робертович) постепенно трансформировалось, и этот негативный процесс воспринимался им очень болезненно. «К сожалению, эволюция нашего заповедного дела в конце XX в. по-

шла по пути наименьшего сопротивления, новые поколения оказались наиболее податливы к искушениям и соблазнам, привнесенным “с другого берега”. Нельзя отрицать конкретной пользы от финансовой помощи, оказываемой нашим охраняемым территориям со стороны различных западных благотворителей, но нельзя оправдать пагубного курса на сближение функций заповедников и национальных парков, на их «конвергенцию», поддерживаемую и государственными ведомствами, и представительствами зарубежных фондов. Приоритет науки в заповедниках официально заменен функциями экпросвещения именно потому, что на просветительские цели средства выделяются гораздо охотнее, нежели на охрану и науку. Что же касается так называемого “экотуризма” в заповедниках, то это уже прямое проникновение деловой коммерции под различными благовидными предлогами и оправданиями...» [7].

«Отчет о прожитом» — это пронзительная исповедь умного, доброго, равнодушного, трудолюбивого человека, горячо любящего свою страну. Корни его идут из Скандинавии, но он безмерно любил Россию, которая нередко была для него злой мачехой, а не доброй матерью. Тем не менее, он даже мысли не допускал, чтобы ее покинуть, не мог себе представить жизни без сибирских таежных просторов, без внешних разливов (очень любил плавать на весельной лодочке по весенним рекам), без велосипедных прогулок по подмосковным лесам.

А еще вся его жизнь была окрашена поэзией. Он считал, что подлинная поэзия (особенно классическая русская, которую он прекрасно знал) вся глубоко экологична. Еще в начале 90-х годов он решил написать книгу, не просто состоящую из стихов о природе, а посвященную основам мироздания, необходимости осознания человеком своего назначения и места во Вселен-

ной. И составил такой сборник, назвав его «антология с тенденцией». «Поэтическая экология» в очень скромном исполнении была выпущена в Киеве в 1998 г. После смерти Феликса я решила ее переиздать, дополнив теми стихами, которые он хотел бы добавить (о чем говорил мне после выхода книги) [8].

«Отчет о прожитом» тоже издан уже после его смерти. Он писал эту книгу до самого конца — поставил точку и сказал мне: «Вот теперь можно идти на операцию». Очевидно, решил, что сделал в этой жизни все, что было в его силах. Дальше — сил нет: сердце уже отказывалось работать. И после операции не захотело восстанавливаться — правила новой жизни им уже не воспринимались...

В одном из писем В.П.Астафьеву (23 июля 1982 г.) Феликс писал: *«Я всегда поражался формуле “Добро должно быть с кулаками” и рад был найти Вашу поддержку в споре со сторонниками “активного”, а точнее — драчливого “добра”, которое только прикидывается таковым. Меня очень мучает мысль, что все дела — даже самые, казалось бы, добрые — например, публикация очерков в защиту природы или то же самое создание заповедников (единственной относительно реальной формы охраны природы), будучи официальными, не служат добру, а носят лишь формальный характер и подчинены личной наживе... Все обращается у нас в свою противоположность, как от прикосновения палочки злой феи — охрана становится “использованием”, заповедник — бандой воров*

или сплетников, кормушкой или местом развлечения начальства, а защитные очерки просто затеяют реальную действительность, вовсе ей не мешая...».

Отдохновение от постоянных тяжелых мыслей и дел он получал в сибирской тайге, куда выезжал почти каждую осень. Его очень увлекала охота на соболя — зверька умного, хитрого, ловкого. Надо сказать, что настоящая охота, когда человек живет в тайге один, сам преодолевает все трудности таежного бытия, тоже вполне экологична. Она заставляет стать предельно наблюдательным, заботливым и по отношению к себе, и ко всему, что вокруг. Настоящие экологи (тот же Александр Николаевич Формозов — основатель нашей российской экологической школы) — тоже были охотниками. Таких охотников больше привлекает не сама удачливая охота, а возможность общения с тайгой. Когда человек в течение довольно долгого времени находится в тайге один, он прекрасно осознает, что никакой он не «царь природы», а лишь крохотная песчинка в этом огромном, величественном и таком самодостаточном мире — дикой Природе.

На основании своих таежных странствий Феликс написал одну из своих первых научно-художественных книг, на которой выросло не одно поколение настоящих охотников и подлинных защитников природы [1].

А еще он постоянно вел дневники. Их очень много (он начал вести записи с 16 лет), они поражают широким кругозором и наблюдательностью автора, вниманием к людям, с которыми при-



Феликс Робертович Штильмарк
(2.09.1931—31.01.2005).

ходило делить таежные скитания, его выдержкой, умением выжить в самых сложных ситуациях, любовью к тайге, к собакам... Мне доставляет большую радость готовить и издавать очерки, составленные из этих дневников. Много уже опубликовано в альманахе «Охотничьи просторы», который когда-то Феликс редактировал (потом он передал эту функцию мне, и я буду исполнять ее, пока хватит сил).

Заканчивая свой «Отчет о прожитом», а фактически прощаясь с жизнью, он написал:

«Тайга и книги — вот лучшее, что было в минувшей жизни. Если бы она еще продлилась, я написал бы “книгу о книгах”... Да, книги теперь утрачивают прежнюю значимость, молодежь мало читает, но все люди разные, времена и нравы меняются, в этом залог продолжения жизни. Пока растет трава и рождаются на свет Божий дети, мы не вправе предаваться отчаянию и даже встречать неизбежное безропотно...».

Это его завет всем остающимся на все времена... ■

Книги Ф.Р.Штильмарка

1. Таежные дали. М., 1976.
2. Особо охраняемые природные территории (в соавторстве с Н.Ф.Реймерсом). М., 1978.
3. Лукоморье — где оно? М., 1993.
4. Историография российских заповедников (1895—1995). М., 1996.
5. От старых кедров к бессмертию человечества. М., 2001.
6. На службе природе и науке. М., 2002.
7. Отчет о прожитом. М., 2006.
8. Поэтическая экология. Киев, 1998; М., 2008.

Рецензии Физики о будущем: альтернативы

А.В.Бялко,

доктор физико-математических наук
Институт теоретической физики им.Л.Д.Ландау РАН
Москва

Вспомним пушкинское описание Петра под Полтавой: «Лик его ужасен. Движенья быстры. Он прекрасен». Нечасты такие совмещения противоположностей, тем более они интересны. Книга «Физика будущего» американско-японского популяризатора науки М.Каку (Michio Kaку) невольно напоминает «полтавский бой», где надежды сбылись только у половины участников.

Начнем, конечно, с прекрасного. Книга посвящена анализу перспектив начавшегося XXI в., она увлекательна и современна. Издана она в начале прошлого года, в ней уже анализируются последствия текущего финансового кризиса. Выйди книга чуть позже, трагедия Великого Японского землетрясения марта 2011 г. добавила бы к ней пессимистическую ноту, что пошло бы ей только на пользу. Примечательна скорость перевода для русского издания, подписанного к печати в октябре 2011 г. Отмечу грамотные примечания переводчика, несколько охлаждающие воображение писателя.

Кругозор автора необычайно широк, увлекателен полет его мысли, книга затрагивает не только физические проблемы, но и буквально все аспекты будущего, как ближайшего, так и отдаленного. Это искусственный интеллект (с использованием обычных и квантовых компьютеров), это прогресс медицины, разнообразные энергетические проекты, освоение кос-

моса — от планет до ближайших звезд... Проще, наверное, указать то направление науки и технологии, которое книгой не охвачено. В качестве такого примера можно назвать физику Солнца: представления о солнечных циклах, солнечной активности далеки от необходимой предсказуемости, а влияние Солнца на нашу планету нельзя недооценить.

Как же автору удалось объять поистине необъятное? Он физик-теоретик, ученик Э.Теллера, создавшего американскую водородную бомбу. Сам профессор Каку — специалист по теории струн — так называется один из современных, но незавершенных подходов в создании единой теории поля. В русском переводе опубликована его книга «Введение в теорию суперструн» [1].

Прогноз на десятилетия вперед — это сложная и в некотором отношении опасная задача: ученый, взявшийся за нее, рискует своим авторитетом. Раньше разумные картины грядущего рисовали писатели: Жюль Верн, Артур Кларк, Айзек Азимов, Станислав Лем... Почему теперь над будущим задумался физик? В этом есть своя логика: математический аппарат, «оружие» теоретика, помогает ему заглянуть вперед во времени. При этом надо иметь в виду, что вероятность предсказаний быстро убывает с длительностью прогноза.

В книге «Физика будущего» есть утверждение: «Ни одна научная разработка из упомянутых в книге не противоречит известным законам физики».



М.Каку. ФИЗИКА БУДУЩЕГО.
Пер. с англ. Н.Лисова.

М.: Альпина нонфикшн, 2012.
584 с.

Это почти верно, большинство предвидений автора теоретически осуществимы. Тем не менее есть в книге и одна физическая ошибка — это проект космического лифта. Эта тема не столь уж важна для будущего цивилизации, но автору она дорога как композиционная магистраль всего труда. Развив ее предпосылки в главе «Будущее космических путешествий», он завершает книгу описанием подъема с женой на лифте в ближний космос, давая попутно прекрасный (и невесомый) обзор планеты будущего. Подробный анализ этой идеи даст возможность высветить недостатки ряда других прогнозов, безошибочных с точки зрения физики, но малореальных по иным причинам.

Космический лифт невозможен

Что же такое космический лифт? В его стандартном варианте предлагалось построить башню — такую высокую, чтобы центробежное ускорение ее вершины стало больше ускорения свободного падения. Начнем строить ее, скажем, на пятикилометровой вершине Килиманджаро, где земная сила тяжести минимальна, и попробуем дотянуться до высоты геостационарной орбиты, 36 тыс. км, а для большей устойчивости еще выше. Дальше все просто: поднимаемся по ней в лифте, затрачивая энергию только на преодоление гравитации. Экономия по сравнению с ракетным запуском кажется колоссальной.

Возможен ли такой проект? Согласимся: будучи построенной, такая башня не упадет от атмосферных возмущений, поскольку растяжение обеспечит устойчивость. Но без всяких расчетов очевидно, что башня упадет, еще не выйдя из атмосферы. Автор честно говорит, что сегодня еще не создан такой легкий и прочный материал, чтобы он выдержал возникаю-

щие напряжения. Но принципиально-то нужный материал ведь может быть создан, на молекулярном уровне микроскопические углеродные нити формально имеют нужное отношение прочности к плотности. Так зачем же тормозить полет фантазии? Она вдохновляет молодежь на мозговой штурм, глядишь, что-нибудь еще толковое изобретут. Изобрели: показали, что лифт лучше строить с космической орбиты вниз, тогда его общая масса окажется меньше. Правда, всю ее придется отправить в космос обычными ракетами. Мелочь?

Никогда не будет построена ни «вавилонская» башня, ни лестница с неба на землю. Дело не в отсутствии сегодня нужного материала, а в том, что общая масса лифта в обоих вариантах оказывается невероятно большой. Пусть масса человека вместе с лифтом всего 100 кг, а сверхпрочная нить, по которой он собирается подниматься, имеет диаметр всего 1 мм. Но 300 км крепчайшей углеволоконной нити по массе добавят еще минимум 100 кг, значит, ее сечение на этой высоте придется увеличить вдвое. И каждые следующие 600 км диаметр нити должен возрастать вдвое — зависимость будет экспоненциальной*. На высоте геостационарной орбиты это окажется уже не нить, а ствол толщиной в десятки или даже сотни километров! И вся эта миллиардно-

* Для каждого материала существует параметр размерности длины — это отношение его предельной прочности σ к произведению плотности ρ на g , ускорение свободного падения: $L = \sigma / \rho g$. Для существующих материалов этот параметр максимален для углеволоконных нитей: $L = 300$ км. Зависимость сечения космического лифта от его высоты h оказывается пропорциональной экспоненте $\exp(h/L)$, также будет нарастать и его масса. Даже если удастся создать материал, у которого параметр L окажется в 10 раз большим, сечение лифта при достижении высоты $h = 40$ тыс. км возрастет в 600 тыс. раз!

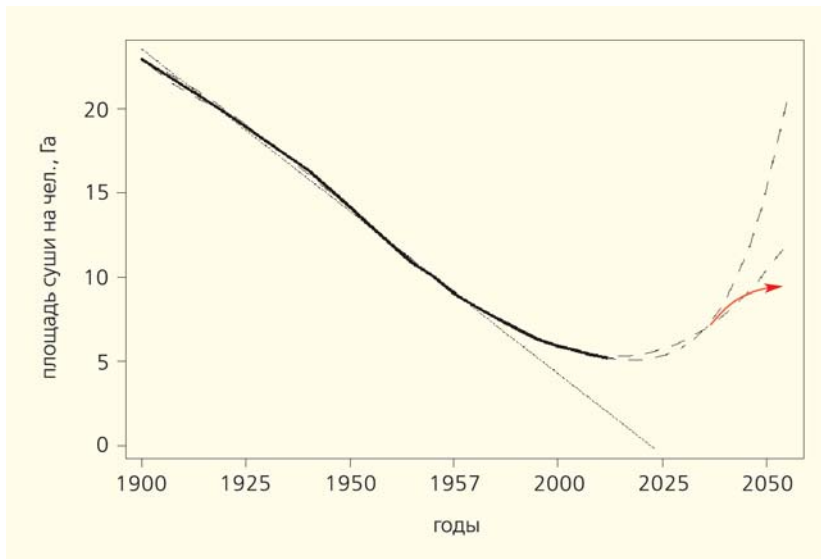
тонная конструкция сделана из материала, стоимость которого сравнима с алмазом, а ее еще надо ракетами запустить в космос и там собрать, соединить. Невозможны такие затраты в XXI в., и никогда они не будут возможны по той простой причине, что экономия на подъеме в космос несравнима с капитальными затратами.

Но просчет профессора Каку — не только в экономической несообразности. Есть в этом проекте и физическая ошибка. Лунные приливы на высоте геостационарной орбиты будут в шесть раз сильнее, чем на поверхности планеты, и, хуже того, эта приливная сила переменна. Она будет дважды в сутки то прижимать колоссальное строение к Земле, изгибая его, то растягивать с такой силой, что разрыв космического лифта станет неминуем.

Проект космического лифта — это лишь безвредное баловство фантазии, в чем же тут проблема? Не напрасно ли обвинение? Пример был показателен: автор пренебрег экспонентой (о которой, конечно, знал) ради красивого завершения книги. Но, прежде чем показать, что и в некоторых других направлениях вероятность прогнозов, очерченных автором, не так уж велика, надо рассказать, почему будущее вообще можно предвидеть и на какие промежутки времени можно реально предвычислить наши перспективы.

Три представления о будущем, три основания для них

Есть три расхожие мнения о будущем: консервативное — «завтра будет как сегодня, а лучше бы, как вчера»; прогрессивное — «прогресс человечества неотвратим»; и, наконец, алармистское — «скорая катастрофа неминуема». У каждого из этих прогнозов есть своя логика. Поясним.



Площадь суши, приходящаяся на одного человека. Жирная кривая — фактические данные; точечная прямая построена по данным с 1900 по 1975 г., она соответствует гиперболическому росту численности; штриховые кривые — экстраполяции фактических данных полиномами 4-го и 6-го порядков; кривая со стрелкой качественно демонстрирует переходный процесс, выводящий удельную площадь суши на некоторый стабильный уровень.

У будущего много составляющих, часть их плохо предсказуема или вообще случайна. Например, пока неотвратимы крупнейшие землетрясения. Падение на планету крупного астероида можно предсказать, но технологии предотвращения катастрофы пока нет. Эти проблемы подробно освещены в книге. Есть, однако, несколько направлений развития, которые инерционны, они не могут изменяться быстро и неожиданно. По крайней мере три таких аспекта будущего очевидны. Это климат планеты, численность мирового населения и сумма накопленных знаний. Эти величины достаточно хорошо измеримы, можно указать характерные времена их инерционности, но история их прошлых изменений радикально различается.

Климат менялся незначительно на протяжении последних 6 тыс. лет, то есть примерно за все время существования письменности, за все время нашей цивилизации. Да, случались его заметные вариации: климатический оптимум, малый лед-

никовый период. Но по сравнению с настоящими ледниковыми периодами эти отклонения были того же масштаба, что и сезонные изменения погоды. Поэтому в исторической перспективе они и воспринимаются как погодные: климат также подвержен колебаниям. И это тоже верно, его малые возмущения релаксируют в течение нескольких сот лет. Отсюда следует консервативное отношение к будущему климату: «Потепление непременно сменится похолоданием, все вернется на круги своя». Такая точка зрения отражена, например, в статье академика В.М.Котлякова [2].

Рост числа людей на Земле зависит от уровня рождаемости, который меняется медленно, а существенное убывание народонаселения в истории было связано с пандемиями, а отнюдь не с войнами. Благоприятный климат обеспечил очень быстрый рост численности людей на планете $N(t)$. Со времен Древнего Рима, когда исторические данные уже позволяют оценить число людей на Земле, вплоть до

80-х годов прошлого столетия (за вычетом периода Великой чумы XIV в.) народонаселение мира росло примерно по гиперболе $N(t) = \text{const}/(t_0 - t)$. Не будем пытаться объяснить этот удивительный факт, отмеченный впервые Х. фон Ферстером, но подумаем над его последствиями. Прежде всего отметим, что асимптота $t_0 = 2025$ г. очень близка к настоящему моменту, и уже это обстоятельство заставляет настороженно смотреть в самое ближайшее будущее. Это одна из причин алармистских прогнозов. Но не единственная.

График $N(t)$ анализировать трудно, поэтому построим зависимость от времени площади суши, приходящейся на одного человека, — исторически она убывала линейно. Естественно, эта удельная площадь не может дойти до нуля, поскольку число N не может стать бесконечным. Она стала заметно отклоняться от линейного закона за одно-два поколения до критического момента t_0 . Глядя на степенные экстраполяции, можно прийти к выводу, что очень скоро, уже в 20-х годах XXI в. численность мирового народонаселения пройдет свой максимум и начнет убывать.

Общепринятое утверждение относительно будущей численности народонаселения состоит в том, что она должна выйти на некоторый постоянный уровень в районе 10 млрд человек. Профессор Каку спокойно повторяет это мнение. Возможно, возможно. Но переходный процесс ухода от экспоненциального и даже гиперболического роста к постоянному уровню с большой вероятностью требует прохождения через максимум. В этом также проявилось недостаточное внимание автора к экспоненциальной зависимости, аналогичное космическому лифту.

Есть важное психологическое следствие изменения закона роста численности. Подумаем, какой стресс у людей должна вызвать такая резкая смена обычаев. Впрочем, тут можно не

фантазировать, а посмотреть на китайцев, которые с начала 80-х годов с трудом переходят от многодетной семьи к семье с одним ребенком. Впрочем, рост населения Китая отнюдь не стал отрицательным, он только замедлился.

Наконец, благосостояние человечества зависит от развития техники, иначе говоря, от суммы накопленных знаний, определяющей технический прогресс. (И то, и другое монотонно возрастало всю историю цивилизации.) Не будем численно его оценивать, отметим лишь, что сумма накопленных знаний, очевидно, росла не медленнее, чем численность человечества. Благосостояние не может расти очень быстро, поскольку освоение новых технологий требует времени и капиталовложений на протяжении нескольких десятилетий: инерционность технологий того же порядка, что и численности человечества. Тысячелетний рост научных знаний, обеспечивающий новые технологии, психологически обуславливает прогрессивный прогноз будущего. На нем, собственно, и построена вся книга. Очень хочется верить в эту благостную картину развития цивилизации. Но червь сомнений не дремлет...

Возможно ли завершение прогресса?

Вернемся к климату. Профессор Каку признает, что с физической точки зрения потепление климата неизбежно, он рассматривает возможные способы понижения выбросов диоксида углерода. Но важность последствий им недооценивается, основное внимание обращается на последующее повышение уровня океана. Действительно, вследствие

высокой теплоемкости воды и медленного таяния ледников Антарктиды и Гренландии существенное повышение уровня откладывается к концу текущего столетия. Это обстоятельство связано с тем, что инерционность климата, характерное время его релаксации существенно больше, чем время смены поколений, оно имеет порядок 1 тыс. лет. Но в медленности реакции океана скрыта грозная опасность: когда придет ее осознание, исправить положение окажется намного труднее. Надо иметь в виду, что нарастающее потепление, которое к середине века может достичь уже 1.5–2.5°, ускорит возможное снижение численности населения планеты вследствие возрастающей вероятности пандемий при заметном росте температуры.

Что следует делать, чтобы предотвратить неконтролируемое потепление климата? В книге профессора Каку перечислены некоторые методы, например искусственное увеличение альбедо (отражательной способности планеты). Они не ликвидируют источник потепления — сжигание ископаемых топлив. Упование автора книги на то, что климатические проблемы решатся сами собой, если в некотором далеком будущем мир перейдет на экологически чистую термоядерную энергетику, по меньшей мере, наивно: то, что не удалось за 60 лет исследований, вероятно, не осуществится никогда.

Что же делать? Прежде всего, нужно прекратить добычу угля — наиболее вредного из ископаемых топлив. Затем расходовать нефть только для химического производства, а для выработки электроэнергии и отопления использовать газ и атомную энергию. Только при выполнении этих условий в течение двух-

трех десятилетий можно будет перейти к убыванию концентрации диоксида углерода, но рост температуры, скорее всего, окончится еще не скоро. Перестройка энергетики обойдется очень недешево, поэтому о привычном экономическом прогрессе придется забыть примерно на полстолетия. Возможно, текущий экономический кризис — лишь предтеча тяжелых решений. Взгляд профессора Каку на дальнейшее развитие экономики вполне традиционен: нынешний кризис сменится ростом, и так далее цикл за циклом. Что ж, прогнозы — занятие благодарное, ошибки запоминаются, успешные догадки становятся расхожей истиной.

Кроме естественных источников для прогнозов разных направлений существуют и психологические причины. Отвлечемся ненадолго. Вспомним, как говорил М.Булгаков устами постигнутого недугом Ивана Бездомного: «Надо признаться, что среди интеллигентов тоже попадаются умные люди. Это отрицать нельзя». Эти слова относятся к еще одному однофамильцу композитора, описанному в романе Булгакова, — профессору Стравинскому — его судьба там была более предсказуемой. Я вспомнил эту симметрию потому, что, и мой учитель, академик И.М.Халатников, подобно Теллеру, учителю профессора Каку, внес заметный вклад в теорию ядерного взрыва. А развивались наши страны очень по-разному. После кризиса 30-х годов Америка неуклонно шла по пути прогресса, Россия же переживала непредсказуемые последствия благих намерений «кремлевских мечтателей». Возможно, поэтому и наше отношение к будущему различается так же, как американский оптимизм разнится с российской настроенностью. ■

Литература

1. Каку М. Введение в теорию суперструн. М., 1999.
2. Котляков В.М. История климата Земли по данным глубокого бурения в Антарктиде // Природа. 2012. №5. С.3—9.

Зоология

В.М.Смирин. ПОРТРЕТЫ ЗВЕРЕЙ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ. ЛАСТОНОГИЕ: Наука и искусство — экологическому образованию. Под ред. А.И.Олексенко, А.В.Зименко. М.: Центр охраны дикой природы, 2010. 264 с.

Вышел первый том много-томного издания «Портреты зверей Северной Евразии», куда войдет лучшее из наследия выдающегося зоолога и художника-натуралиста Владимира Моисеевича Смирин (1931—1989). Каждый том будет включать один-два отряда (кроме грызунов, которые будут представлены в нескольких книгах). Все тома построены по сходному плану: вступительная статья, посвященная одной из сторон жизни и творчества Смирин, обзор отряда и видовые очерки.

Над воплощением своего замысла Владимир Моисеевич работал четверть века, стремясь запечатлеть облик и различные формы поведения всех зверей (кроме китообразных), обитавших на территории бывшего Советского Союза. Замысел остался незавершенным, хотя многое — 54 цветные таблицы, на которых изображены десятки видов млекопитающих, автор успел подготовить. В его архиве хранится более 4000 листов графических набросков зверей, сделанных в природе, зоопарках, питомниках и вивариях. Наследие Смирин не имеет аналогов*.

* См.: *Пиларов А.М.* «Мир зверей — самое прекрасное, что существует на Земле...» (Рец. на кн.: Смирин В.М. Портреты зверей Командорских островов; Смирин В.М. Портреты степных зверей Европы и Северной Азии) // Природа. 2010. №4. С.81—88.

Эта книга посвящена ластоногим — группе, которая представлена художником в подготовленных материалах и набросках с натуры особенно полно и ярко. Моржи, ушастые и настоящие тюлени — обитатели прибрежных зон или открытых вод морей, океанов и крупных озер. За основу взяты материалы к Атласу наземных млекопитающих Восточной Европы и Северной Азии.

Издание построено несколько необычно: известный жанр естественнонаучного атласа дополнен своего рода полевым дневником, в который вплетаются фрагменты впечатлений ученого, автографы писем, зарисовки быта, а также воспоминания.

Ботаника

РАСТИТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ: Дикорастущие цветковые растения, их компонентный состав и биологическая активность. Т.3. Семейства Fabaceae—Ariaceae. Отв. ред. А.Л.Буданцев. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. 601 с.

Третий том сводки посвящен описанию дикорастущих цветковых растений 558 видов, относящихся к 159 родам и 23 семействам, которое составлено на основе отечественных и зарубежных публикаций. Три семейства (бобовые, зонтичные и аралиевые) богаты лекарственными растениями, которые издавна используют в народной и классической медицине. В книге приведен химический состав и рассмотрены механизмы биологической активности растений флоры европейской части России, Восточной Европы, Сибири и Дальнего Востока. Химические компоненты сгруппированы по

классам природных соединений, для каждого из которых указана часть растения, где они были обнаружены. Количественное содержание активного вещества не приводится лишь в том случае, если его состав не изучен. Завершают описания видов сведения о биологической активности как индивидуальных соединений, так и их групп, фракций и смесей на основе клинических или экспериментальных исследований. Для удобства книга сопровождается библиографическим списком и указателями названий растений и химических соединений.

Почвоведение

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЛЕСНОГО ПОКРОВА В БАССЕЙНЕ МАЛОЙ РЕКИ. Под ред. Л.Б.Заугольновой, Т.Ю.Браславской. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2011. 383 с.

Методическое руководство предназначено для исследователей, которые разрабатывают научную основу для планирования устойчивого лесопользования, а также может служить поддержкой при проведении лесной сертификации на экологической основе.

В книге рассматриваются основные природные процессы, в которых выражается функционирование биогеоценотического покрова малого речного бассейна как экосистемы. Предложена система методов сбора, анализа и хранения информации о состоянии биоты, почвенного покрова и абиотических компонентов малого речного бассейна на основе современных представлений о структурно-функциональной организации природного биогеоценотического покрова.

Забывтый основатель биохимии и сомнологии

Встречи с забытым

В.М.Ковальзон,

доктор биологических наук

Институт проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН
Москва

Сомнология (наука о сне) — одна из наиболее бурно растущих ветвей современной психофизиологии и нейронаук. За последние годы в этой области были достигнуты поразительные успехи, полностью изменившие наши представления о природе сознания. В то же время даже среди специалистов мало кто знает, что в России основателем зародившейся в конце XIX в. экспериментальной сомнологии была Мария (Марья) Михайловна Манас(с)еина-Коркунова (1843—1903). Ее имя было широко известно на рубеже XIX—XX вв. как основателя физиологической (биологической) химии и экспериментальной сомнологии, однако в дальнейшем упоминалось довольно редко. Поиск в Google выявляет менее 100 ссылок на ее имя за период более чем 100 лет. Многие важнейшие обзоры и учебники по психофизиологии, причем не только зарубежные, но и отечественные, не упоминают ее вовсе. Поскольку Манасеина публиковала свои работы как на русском, так и на французском (как de Manaséine) и немецком (как von Manassein) языках, ее нередко ошибочно принимают за французского или немецкого ученого-мужчину. Однако в последние годы интерес к пионерам в области изучения сна и, в частности, к М.М.Манасеиной, значительно возрос [1—3]. Тем не менее, ее жизнь и ее личность остаются практически не-

известными. Попытаемся восполнить этот пробел.

Этапы жизни

Марья Михайловна, дочь известного русского историка и археолога, члена Санкт-Петербургской Академии наук, профессора М.А.Коркунова, с детства вращалась в кругу ученых и врачей. Она стала одной из первых женщин в России (а, возможно, и во всей Европе), сумевших в 60-е годы позапрошлого века получить высшее образование: после блестящего домашнего образования окончила женские медицинские курсы, получила звание женщины-врача, а в дальнейшем — и степень доктора медицины. В это время она вышла замуж за студента Понятовского, вместе с ним принимала деятельное участие в народнических кружках и даже привлекалась по этому поводу в 3-е отделение. Муж ее был в конце концов арестован и умер в политической ссылке. Ее вторым мужем (с 1865 г.) стал Вячеслав Авксентьевич Манас(с)еин (1841—1901), весьма известный в истории русской медицины, будущий профессор Военно-медицинской академии и издатель первого русского медицинского журнала «Врач» [4].

С октября 1870 г. по апрель 1871-го Манасеина проходила стажировку в Политехническом институте в Вене у Юлиуса Визнера, где изучала процесс спиртового брожения. Тогда она и сделала крупнейшее откры-



Марья Михайловна Манасеина. Фото 1860 г.

тие — показала, что брожение происходит под воздействием особых веществ (так называемых «неорганизованных ферментов», если пользоваться терминологией того времени), которые можно выделить из дрожжевых клеток, однако сами живые дрожжи здесь ни при чем. Эти результаты опровергали «физиологическую» теорию брожения Луи Пастера и свидетельствовали в пользу «химической» точки зрения, которой придерживались такие выдающиеся ученые, как Клод Бернар, Юстус Либих и Марсель Бертелло [1].

Прошло более четверти века, прежде чем эти результаты полностью подтвердил немецкий химик Э.Бухнер. Однако, зная о работе Манасеиной, он сознательно не сослался на нее. По-



Обложка книги Манасеиной, первой в мире монографии, посвященной проблемам сна.

пытка Манасеиной вступить за свой приоритет (она опубликовала два письма на немецком языке в научных журналах) ни к чему не привела. В конце концов, несправедливость (увы!) восторжествовала: фамилию Манасеиной как первооткрывателя химической природы брожения забыли, не упоминают в современных, даже отечественных, учебниках биохимии. Нобелевскую премию за открытие внеклеточной (химической) природы брожения получил Бухнер в 1907 г., т.е. через четыре года после кончины первооткрывателя [5].

Особый интерес к работе Манасеиной по брожению проявил крупнейший немецкий химик Ю.Либах, пригласив ее поработать в свою лабораторию в Гессене. К несчастью для Манасеиной и для биохимии в целом, но к счастью для науки о сне (!), она не смогла принять столь лестного приглашения. Как пишет ее биограф, она была вынуждена срочно вернуться в Санкт-Петербург по «личным (семейным) причинам» [1]. Вскоре по возвращении Марья Михайлов-

на, «переквалифицировавшись в физиолога», начала работать в лаборатории друга В.А.Манасеина, ученика И.М.Сеченова, И.Р.Тарханова (Тархнишвили, 1846—1908). Этот выдающийся физиолог известен в истории психофизиологии, в частности, как первооткрыватель так называемого кожно-гальванического рефлекса (рефлекс Тарханова).

Во второй половине 70-х годов в жизни супругов Манасеиных возникли крупные семейные неприятности, драматически завершившиеся в 1879 г. полным разрывом: Манасеина ушла от мужа к Тарханову (хотя тот уже был женат на вдове С.Г.Лорис-Меликовой), но отказалась от развода. Возможно, она боялась оказаться формально разведенной и потерять таким образом свои гражданские права в соответствии с тогдашними законами царской России... Таким образом она не давала возможности своему бывшему мужу вторично жениться, но и себя обрекала на подобную же участь.

Вскоре после этого В.А.Манасеин сошелся с Е.М.Достоевской (1853—1932), племянницей Федора Михайловича, дочь его брата Михаила, известного в то время литератора, поэта, переводчика и издателя, и прожил с нею в гражданском браке 28 лет, до самой своей смерти, формально оставаясь мужем Манасеиной [4]. Биографы Тарханова не упоминают ничего о его научной и личной связи с Манасеиной. Ее имя не встречается в списке работ, вышедших из лаборатории Тарханова или выполненных при его консультации [5]. Таким образом, взаимоотношения этих четырех весьма достойных людей (М.М.Коркуновой-Манасеиной, В.А.Манасеина, Е.М.Достоевской и И.Р.Тарханова) и причины, не позволившие им решить свои личные проблемы — остаются неизвестными. Будем надеяться, что будущие историки науки прольют на это свет. Вероятно, связь Марии Михайловны с Ива-

ном Романовичем была недолгой и, будучи бездетной, остаток жизни она провела в одиночестве...

Манасеина отличалась исключительным трудолюбием, напряженно работая всю свою жизнь: проводила физиологические опыты на собаках, психофизиологические и психологические исследования на людях, писала научные и научно-популярные книги, статьи и рефераты для русских медицинских журналов, занималась переводами, много путешествовала по России и Европе, участвовала в различных научных конференциях, включая I Международный конгресс по медицине в Риме в 1894 г. В 1900 г. на IV Международном конгрессе по психологии в Париже она представила результаты своих опытов, касающиеся влияния различных видов пищи на поведение собак [6].

Похоже, российские современники Манасеиной недооценивали ее научные заслуги. Она была более известна как популяризатор научных и медицинских знаний, лектор, переводчик и референт. Список трудов Манасеиной, опубликованный к 40-летию ее литературной деятельности, включает 48 работ по различным вопросам физиологии, психологии, гигиены и педагогики, 16 критико-библиографических статей и 14 книг, переведенных ею с разных европейских языков, которыми она в совершенстве владела. Широту интересов Манасеиной прекрасно иллюстрируют написанные ею книги: «О воспитании детей в первые годы жизни» (1870); «К учению об алкогольном брожении» (1871); «О письме вообще, о зеркальном письме в частности и о роли обоих полушарий головного мозга» (1883); «О ненормальности мозговой жизни современного культурного человека» (1886, франц. перевод — см. de Manasseine, 1890); «Сон как треть жизни человека, или физиология, патология, гигиена и пси-

хология сна» (1892); «Основы воспитания с первых лет жизни и до полного окончания университетского образования» (вып.1—5, 1894—1902); «Об усталости вообще и об условиях ее развития» (1893); «О сознании» (вып.1, 1896) и т.д.

Педагогическая деятельность Манасеиной включала лекции по психологии и педагогике в различных образовательных учреждениях, а также публичные лекции в аудиториях «Соляного городка»*, недалеко от ее дома на Английском проспекте, которые пользовались большой популярностью. Манасеина была почетным членом нескольких российских медицинских обществ. Она умерла в возрасте 60 лет «после продолжительной и тяжелой болезни», как было написано в многочисленных некрологах, появившихся в популярных журналах того времени. В них отмечалось ее «исключительное трудолюбие», «непременная доброжелательность» и «добрая память», которую она оставила о себе, как «одна из наиболее выдающихся русских женщин».

Яркая и противоречивая

Нам, людям XXI в., нелегко представить себе личность этой действительно выдающейся русской женщины второй половины XIX в. В зрелом возрасте Манасеина полностью отказалась от революционных увлечений молодости, в полном соответствии с французской поговоркой: «Если человек в 20 лет не был левым — у него нет сердца; если он к 40 годам не стал правым — у него нет ума». Даже выдающиеся современники высказывали о ней весьма противоречивые мнения. Несмотря на то, что

* «Соляной городок» — комплекс зданий в центральной части Санкт-Петербурга, где находился крупнейший научно-просветительский центр дореволюционной России.

Марья Михайловна написала книгу о религиозном воспитании, Николай Лесков в письме Льву Толстому от 19 сентября 1894 г. из Петербурга отмечал, что она «крайняя материалистка, которая все требовала: “Дайте мне твердую положительную веру с устойчивым основанием”» [7]. Манасеина опубликовала в Париже брошюру на французском языке под названием «Пассивный анархизм и граф Лев Толстой» [8], в которой критиковала политические взгляды Толстого. В связи с этим Лев Николаевич Толстой в письме В.В.Стасову от 4 сентября 1894 г. из Ясной Поляны отметил, что Манасеина «либералка с оттенком революционерства» [9].

Шесть десятилетий спустя биографы опять не смогли прийти к единому мнению относительно личности Марьи Михайловны. Биограф ее мужа В.А.Манасеина так пишет о ней: «Отрекшись от “революционных грехов” своей молодости, она стала воинствующей реакционеркой, о чем достаточно ярко свидетельствуют те докладные записки, которые она подавала министру народного просвещения. Одна из этих записок трактовала о лучших методах борьбы со студенческим революционным движением, а другая была посвящена вопросу о том, “какими средствами можно воспитать в наших юных подрастающих поколениях чувства горячей любви к царю и его семье”... Переход в реакционный лагерь бывшей участницы революционного движения и публичное изъявление верноподданнических чувств оценило по достоинству царское правительство и наградило с необычайной щедростью. Александр III назначил Манасеиной за «полезную литературную деятельность» пожизненную пенсию, а Николай II вскоре после своего вступления на престол распорядился выдать ей единовременное пособие в 10 000 рублей» [4].

Этот биограф, не зная, по видимому, о трудах Манасеи-

ной, обогативших русскую и мировую науку, счел возможным обвинить ее во всех грехах — «большой неразборчивости в денежных делах», «немалом корыстолюбии» и пр. — как будто в царской России XIX в. женщина, даже дворянка, могла заниматься научной, общественной и литературной деятельностью, путешествовать и вообще вести независимый образ жизни иначе, чем находясь под высочайшим покровительством! И не символично ли, что все эти обвинения прозвучали в один из самых страшных периодов нашей истории, сразу после сессии ВАСХНИЛ и Павловской сессии?

Забавно, что другие ее биографы того же периода, наоборот, превозносили до небес «исследование Марьи Михайловны Манасеиной», которое «показало творческую силу материалистического подхода к решению биохимических вопросов, несомненно утвердило материалистическое направление в изучении ферментов» и т.д. «Эта дискуссия (между Пастером и Либихом. — К.В.), внешне чисто научная, а по существу принципиальная, философская, была радикально решена в пользу материализма исследованиями русской женщины-ученой...» [5]. При этом авторы «скромно умалчивают» о том, что все эти факты были добыты Манасеиной отнюдь не в России, а в лаборатории Ю.Визнера в Вене!

Первые эксперименты

Вспомним о деятельности Манасеиной в области психофизиологии. Тарханов, к которому, вернувшись в Россию, Манасеина пришла на работу, чрезвычайно интересовался проблемой сна, его перу принадлежат труды: «К физиологии нормального сна у животных» и «Спит ли спинной мозг?». Вероятно, под его влиянием сотрудница и ученица Манасеина провела первые в истории науки опыты

по депривации (лишению) сна. Результаты этого исследования она представила на I Международном конгрессе по медицине в Риме в 1894 г. и в том же году опубликовала в журнале *Archive italienne de biologie* на французском языке [10]. Эксперименты были выполнены на 10 щенках 2—4-месячного возраста, которых поддерживали в состоянии постоянного бодрствования, лаская их и заставляя непрерывно двигаться. В течение 5 сут все животные при этом неизменно погибали, причем, чем моложе был щенок, тем быстрее наступала смерть. В ходе депривации температура тела собак постепенно падала, и к концу эксперимента она оказалась на 4—6°C ниже, чем в норме. Двигательная активность щенков по мере депривации замедлялась и ослабевала, индекс эритроцитов падал, однако вес снижался незначительно (на 5—13%). Визуальное обследование органов (без микроскопа) выявило многочисленные кровоизлияния в мозговой ткани, разрушения ее сосудов (с включением, вероятно, периваскулярных инфильтратов), а также «дегенерацию жировой ткани» в некоторых мозговых «ганглиях». Анализируя свои результаты, Манасейна пришла к выводу, что основные эффекты продолжительной депривации сна возникают в мозгу, и весьма отличны от тех, которые наблюдаются у собак, погибших от голода в течение 20—25 сут. Значит, сон для организма важнее пищи, заключила Манасейна. Она отвергла «странную точку зрения на сон, как на бесполезное, глупое и даже вредное времяпрепровождение» [10].

Манасейна проводила интегральный психологический анализ сновидений, в течение пяти лет она собирала записи снов у 37 людей и пришла к следующим выводам:

— образованные и ведущие активную мозговую жизнь видят больше снов, чем малообразованные и отсталые;

— сны образованных людей более логичны, сложны и разнообразны;

— у журналистов, химиков, учителей и других работников «умственного труда» бывает лишь от 3 до 10 ночей *без сновидений* в месяц, а у рабочих — от 8 до 25;

— сны становятся более редкими с возрастом [11].

С современной точки зрения эти наблюдения отражают в большей степени особенности вербальных отчетов о сновидениях: естественно, что более образованные люди дают более богатые и развернутые описания своих снов!

В 1889 г. Манасейна опубликовала большую книгу под названием: «Сон как треть жизни человека, или физиология, патология, гигиена и психология сна» (2-е изд. 1892). Книга эта стала настоящей энциклопедией, где впервые в популярном изложении приводились все знания того времени о проблемах сна. Переработанное и значительно дополненное ее издание вышло на английском языке [12]. Туда вошли важные результаты, полученные Манасейной в опытах с лишенными сна щенками; эпизоды спутанного сознания, вызванные в эксперименте пробуждением из явно «глубокого» сна ее испытуемых; вышеописанное исследование сновидений и т.п. [13]. Книга имела огромный успех, была переведена также на шведский язык и распространялась по всей Европе.

По мнению Манасейной, «ученые, признающие сон за остановку или диастолу мозговой деятельности, ошибаются, так как во время сна мозг вовсе не спит, не бездействует весь целиком, а засыпанию поддаются только те части его, которые составляют анатомическую основу, анатомический субстрат сознания» [14]. «Сон есть время отдохновения нашего сознания», — писала она. Здесь Марья Михайловна как бы вступала в скрытую полемику со своим учителем Тархановым, который

и говорил о сне как о «диастоле мозговой активности», хотя и понимал, что какие-то функции мозга, связанные с регуляцией сердечной деятельности, дыхания и других вегетативных функций, сохраняются и во сне. Эта книга о сне — наиболее известное из всех произведений Манасейной. Ряд одобрительных рецензий на нее появился в отечественной и зарубежной прессе [15].

Работы Манасейной оказали значительное влияние на изучение сна. Так, в 1896 г. два американских психолога — Дж. Патрик и Дж. Гилберт — явно под влиянием пионерской работы Манасейной выполнили первое исследование по депривации сна у человека. Их работа была процитирована и детально изложена в английском издании книги Манасейной 1897 г. [3], а Патрик, в свою очередь, опубликовал положительную рецензию на книгу Манасейной в журнале *Science* [15]. Еще через два года три итальянских исследователя, Л. Дадди и Дж. Тароцци из Пизы и К. Агостини из Перуджи, вдохновленные работами Манасейной, провели более тщательное изучение депривации сна у собак. Они также пришли к заключению, что длительная непрерывная бессонница влияет на гистологию мозга. Эти исследователи в целом подтвердили данные Манасейной о связи сна с мозговой активностью и ее вывод о том, что функция сна — хотя она и остается неизвестной — витальна [16].

Интересно, что сама Манасейна не предполагала образования каких-то специфических веществ под воздействием депривации. Она считала, что подопытные животные в ее опытах погибали из-за нарастающего утомления. Первые попытки обнаружить накопление подобных веществ («гипнотоксинов») в организме лишенных сна животных-доноров и их перенос нормальным животным-реципиентам были выполнены в начале 20-го столетия независимо

друг от друга японским ученым Куниоми Ишимори и французским Анри Пьероном именно под воздействием работ Манасеиной: оба исследователя ссылались на ее книгу, и оба использовали в своих опытах собаку и разработанные Манасеиной способы депривации [17].

Таким образом, главный вклад Манасеиной в психофизиологию связан с изучением сна; большая часть ссылок на ее работы, включая те, что содержатся в сравнительно недавних исследованиях тотальной депривации сна у человека и животных, относятся к ее публикациям по сну. Именно Манасеину можно считать основателем экспериментальной сомнологии, и потому приоритет русской науки несомненен.

* * *

Вообще, идея о трех формах существования души — бодрствовании, спокойном сне и сне со сновидениями (в современных терминах — бодрствова-

ние, медленноволновая и парадоксальная фазы сна) — впервые, видимо, прозвучала в Упанишадах и Ведах, древнеиндийских эпосах, созданных, как полагают, более трех тысяч лет назад. Однако то, что восточным мудрецам казалось естественным, европейской натурфилософии оставалось неизвестным и чуждым из-за изолированного развития цивилизаций в те далекие времена. Со времен Аристотеля, согласно которому: «Сон же, по-видимому, принадлежит по своей природе к такого рода состояниям, как, например, пограничное между жизнью и не жизнью, и спящий ни не существует вполне, ни существует...», сон рассматривался как некое маргинальное состояние, пограничное между жизнью и смертью, а наличие сновидений — лишь как признак недостаточно глубокого сна. Таких представлений придерживались и З.Фрейд (1856—1939), писавший об охранительной роли сновидений, пре-

пятствующим преждевременно пробуждению, и И.П.Павлов (1849—1936), и даже Натаниэль Клейтман (1895—1999) — крупнейший сомнолог первой половины минувшего века, первооткрыватель REM-сна (быстрой или парадоксальной фазы сна). Значит, гипотеза Манасеиной о том, что мозговой «субстрат бессознательного» сохраняет свою активность во сне, намного опередила свое время. Видимо, именно она сделала первый шаг к созданию новой «научной парадигмы», если пользоваться куновской терминологией. Ее гипотеза о трех состояниях сознания получила окончательное завершение в работах крупнейшего сомнолога второй половины XX в., французского нейрофизиолога и невролога Мишеля Жуве: «Я сплю, я вижу сны — следовательно, я существую! Более того, «я должен спать и видеть сны, дабы существовать» [18]. Имя этой замечательной женщины не должно быть забыто. ■

Литература

1. *Lagnado J.* Was the first biochemist a woman? // *Biochemist.* 1992. V.14. №5. P.21—22.
2. *Kovalzon V.M.* Maria Manasseina — a forgotten founder of sleep science // *J. Sleep Res.* 1994. V.3. №2. P.128.
3. *Fuchs T., Burgdorf J.* Replication and pedagogy in the history of psychology. IV: Patrick and Gilbert (1896) on sleep deprivation // *Sci. Educ.* 2008. V.17. P.511—524.
4. *Арсеньев Г.И.* В.А.Манасеин (жизнь и деятельность). Сер. «Выдающиеся деятели отечественной медицины». М., 1951.
5. *Винокуров С.И., Чаговец Р.В.* Марья Манасеина и ее роль в открытии бесклеточного брожения // *Биохимия.* 1950. Т.15. №6. С.558—562.
6. *Woodworth R.S.* The 4th International Congress of Psychology // *Science.* 1900. V.12. №303. P.605—606.
7. *Лесков Н.С.* Письмо №283 ко Льву Толстому // *Собр. соч.* в 11 т. М., 1958. Т.11. С.595.
8. *Manacéine M.de.* L'anarchie passive et le comte Leon Tolstoi. Paris, 1895.
9. *Толстой Л.Н.* Письмо №244 В.В.Стасову // *Собр. соч.* в 22 т. М., 1984. Т.19—20. С.302—303.
10. *Manacéine M.de.* Quelques observations experimentales sur l'influence de l'insomnie absolue // *Archives Italiennes de Biologie.* 1894. V.21. P.322—325.
11. *Ratcliff A.J.J.* A History of Dreams. Boston, 1923. P.95—96.
12. *Manacéine M.de.* Sleep: its physiology, pathology, hygiene and psychology. L., 1897.
13. *Broughton R.* Sleep disorders: disorders of arousal? // *Science.* 1968. V.159. №3819. P.1070—1078.
14. *Manacéine M.de.* Le surmenade mentale dans la civilization modern. Effects causes-remudes. Paris, 1890.
15. *Patrick G.T.V.* Scientific literature: Sleep: Its Physiology, Pathology, Hygiene and Psychology, by De Manaceine, Marie // *Science.* 1898. V.7. №162. P.175—176.
16. *Kubota K.* Kuniomi Ishimori and the first discovery of sleep-inducing substances in the brain // *Neurosci. Res.* 1989. V.6. P.497—518.
17. *Bentivoglio M., Grassi-Zucconi G.* The pioneering experimental studies on sleep deprivation // *Sleep.* 1997. V.20. №7. P.570—576.
18. *Жуве М.* Похититель снов / Пер. с франц. В.М.Ковальсона и В.В.Незговоровой. М., 2008.

В конце номера Подвиг в арктических широтах

В нынешнем году исполняется 70 лет со дня героической гибели Краснознаменного ледокольного парохода «Александр Сибиряков» в бою с германским крейсером «Адмирал Шеер» в водах Северного Ледовитого океана. Молодому поколению читателей журнала «Природа» об этом едва ли что известно, в то время как существует несколько — порой противоречивых — версий этого боя. Автор, опираясь на надежные источники, попытался еще раз восстановить в хронологическом порядке упомянутое событие.

В.В.Глушков,

доктор географических наук

Московский государственный университет путей сообщения

В середине августа 1942 г. командованию Северного флота стало известно о появлении на подходах к Карскому морю германского тяжелого крейсера «Адмирал Шеер» (командир — капитан цур зее* В. Мендсен-Большкен). Это был мощный боевой корабль водоизмещением 16 200 т, длиной 186 м, шириной 22 м, скоростью хода 28,5 узлов (53 км/ч). Он имел на вооружении шесть 280-миллиметровых и шесть 150-миллиметровых орудий, предназначенных для боя с тяжелыми броненосцами и крепостной артиллерией, а также 18 зенитных пулеметов и два торпедных аппарата. Численность экипажа составляла более 1000 человек. Крейсер, названный в честь кайзеровского флотоводца, отличившегося в годы Первой мировой войны, был основной боевой единицей Кригсмарине (германских военно-морских сил) в секретной операции «Вундерланд» («Страна чудес») по поиску и уничтожению караванов судов, следующих Северным морским путем. В помощь «Адмиралу Шееру» было отправлено пять подводных лодок, две из которых («U-251» и «U-601») обеспечивали его разведывательными данными

о судоходстве и положении кромки льда в Карском море.

На тот момент крейсер был самым удачливым рейдером** фашистской Германии. Почти полгода — с октября 1940-го по март 1941 г. — он провел в дальнем одиночном плавании. В северной и южной Атлантике, в Индийском океане он потопил или захватил 16 судов под флагами Великобритании и ее союзников. В одном только налете на английский конвой 5 ноября 1940 г. были уничтожены крейсер и пять торговых судов [1].

18 августа «Адмирал Шеер» встретился с подводной лодкой «U-601» и получил самые свежие данные о состоянии льдов Карского моря. Затем он миновал северную оконечность Новой Земли со стороны кромки льдов высоких широт и направился к западному побережью п-ова Таймыр. По расчетам командования Кригсмарине, именно в это время в Карском море должны были находиться советские караваны судов. Один из них — Третий арктический, сформированный из транспортов на Диксоне, следовал в сопровождении ледоколов «Красин» и «Ленин» на восток; дру-

гой, сформированный в бухте Провидения (Анадырский залив Берингова моря) и имеющий в составе кроме транспортов боевые корабли (лидер «Баку», эсминцы «Разъяренный», «Разумный» и «Ревностный»), в сопровождении ледоколов «А.Микоян» и «Л.Каганович» направлялся на запад.

Навигационная обстановка в Карском море была благоприятной: южные ветры оттеснили тяжелый паковый лед далеко к северу. Кроме того, безопасное движение крейсера «Адмирал Шеер» обеспечивал гидросамолет-разведчик «Арадо», базировавшийся на его борту и взлетающий в воздух с помощью специальной катапульты.

19 августа на подходах к о.Уединения, расположенному в центральной части Карского моря, на пути движения крейсера появились первые ледовые поля. С помощью авиаразведки выяснилось, что все пространство на восток от острова забито непроходимыми тяжелыми льдами. Дополнительные сведения о ледовой обстановке можно было получить только у советских моряков, но для этого надо было захватить какое-нибудь судно. Командир отдал приказ следовать на юг, к архипелагу Норденшельда, где проходила судоходная трасса от Диксона на восток — к проливу Вилькицкого и далее в море Лаптевых.

20 августа «Арадо» несколько раз пытался вылететь на развед-

* Воинское звание капитан цур зее соответствовало званию капитан 1-го ранга на советском флоте.

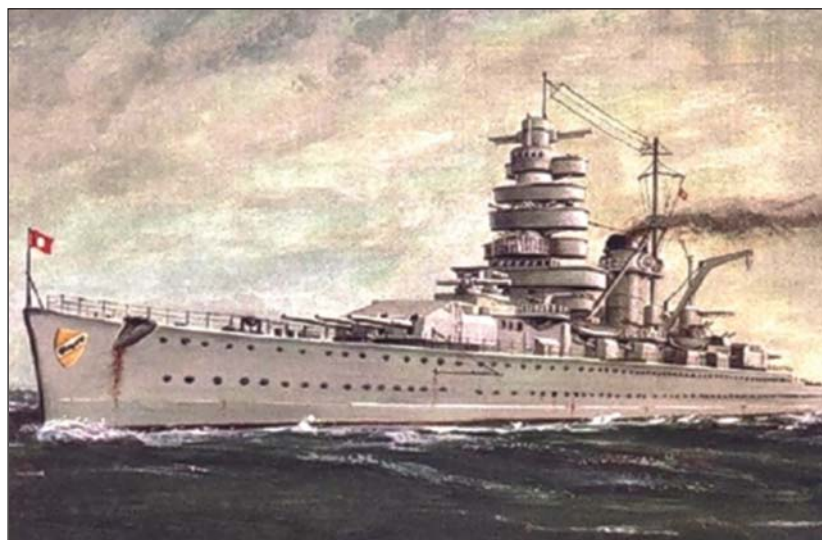
** Рейдер (англ. raider, от raid — налет, набег) — военный корабль или вооруженное торговое судно, ведущее самостоятельные боевые действия на морских или океанских коммуникациях по уничтожению военных транспортов и торговых судов противника.

ку, но каждый раз туман вынуждал его вернуться на крейсер. В тот же день «Адмирал Шеер» встретился с германской субмариной «U-251» в надежде получить какую-либо информацию о советских караванах, однако они как в воду канули. В этой ситуации командир германского рейдера принял решение: по кратчайшему пути выйти к побережью п-ова Таймыр и далее вдоль берега направиться к проливу Вилькицкого.

21 августа гидросамолет снова барражировал над морем и, наконец, обнаружил караван советских судов (семь сухогрузов, три танкера, два ледокола), следующий на восток. Он шел южнее о.Гелланд-Гансена без охраны, поскольку до тех пор в Карском море боевые корабли противника еще не появлялись. Можно себе представить, чем могла бы закончиться встреча беззащитных судов с германской плавучей крепостью! Но летчик посчитал, что караван идет не на восток, а на юго-запад, и, пока командир крейсера разбирался с противоречивой информацией, удобный момент для атаки был упущен.

К утру 22 августа, когда «Адмирал Шеер» почти достиг архипелага Норденшельда, его служба радиоперехвата смогла засечь караван судов и определить его местоположение — вблизи западного входа в пролив Вилькицкого. Кроме того, немцам удалось расшифровать одно из радиосообщений русских, в котором говорилось, что каравану предписывается следовать курсом на восток со скоростью 5 узлов (9 км/ч). Теперь, когда местонахождение, курс и скорость движения советского каравана стали точно известны, оставалось только догнать его и уничтожить. Но основным затруднением в реализации этого плана были огромные труднопроходимые для крейсера ледяные поля.

24 августа «Адмирал Шеер», двигаясь на восток, достиг о.Русский, где из-за внезапной



Германский тяжелый крейсер «Адмирал Шеер».

перемены ветра был окружен плавучими льдами и остановился. Громадные ледяные глыбы начали опасно сдавливать борта корабля. Вывести его на рыхлый лед удалось только спустя несколько часов [2].

В тот же день из порта Диксон в рейс к полярным станци-

ям, игравшим в военное время особенно важную роль в гидрометеорологическом обеспечении судов на Северном морском пути, отправился ледокольный грузовой пароход «Александр Сибиряков». Его командиром был старший лейтенант А.А.Качарава.



Моря западного района Арктики.

Пароходу предписывалось сначала зайти на мыс Молотова (архипелаг Северная Земля), доставить туда зимовщиков и оборудование для строительства новой полярной станции, топливо и продовольствие, затем пройти к о. Домашний и мысу Оловянный, произвести там смену зимовщиков полярных станций. На борту парохода (согласно судовой роли, составленной по архивным документам) находилось 99 человек*, а также 567 т груза и 420 т угля.

Этот ветеран арктических морей имел уже солидный послужной список. Его построили в 1909 г. в Глазго (Шотландия), на верфи «Гендерсон и К°». При спуске на воду ему дали имя «Беллавенчур». Ледокольный пароход имел водоизмещение около 1500 т, длину корпуса 76 м, ширину 11 м, скорость на чистой воде около 13 узлов (24 км/ч). Базировался он в канадском порту Сент-Джонс (провинция Ньюфаундленд), а использовался в основном для промысла тюленей.

В 1915 г. российское правительство приобрело «Беллавенчур» для зимних рейсов в Белом море. Судно переименовали в честь предпринимателя, меце-

ната и исследователя Сибири А.М. Сибирякова. С 1917 г. пароход входил в состав флотилии Северного Ледовитого океана, с 1920 г. — в состав морских сил Северного моря, позже был передан в Мортранс, где использовался весной для зверобойного промысла, а летом, в навигацию, — как грузовое и снабженческое судно.

В 1932 г. «Александр Сибиряков», ведомый капитаном В.И. Ворониным, с экспедицией Всесоюзного арктического института на борту прошел по Северному морскому пути от Архангельска до Петропавловска-Камчатского. Во время этой экспедиции в Карском море был открыт остров, названный в честь военного гидрографа К.Е. Сидорова. Однако этот рейс едва не закончился трагически: в Чукотском море в сложной ледовой обстановке пароход потерял часть гребного вала с винтом и лег в дрейф. Спустя две недели с помощью самодельных парусов (частью сшитых из брезента, частью шлюпочных) судно удалось вывести на чистую воду. Из Берингова пролива его отбуксировали в Петропавловск-Камчатский. Так впервые в истории арктического мореплавания в одну навигацию (за два месяца и три дня) грузовой ледокольный пароход

прошел Северный морской путь. «За выдающиеся заслуги в проведении героического похода через Ледовитый океан...» он был награжден орденом Трудового Красного Знамени и с того времени в официальных документах именовался как Краснознаменный ледокольный пароход «Александр Сибиряков».

До начала Великой Отечественной войны «Александр Сибиряков» работал в Арктике как снабженец. В августе 1941 г. он вошел в состав ледокольного отряда Беломорской военной флотилии, в сентябре был назван «ЛД-6» (так он именовался до 6 мая 1942 г.).

Зимой 1941—1942 гг. и затем до середины лета пароход участвовал в переброске десанта на северный участок Карельского фронта, выполнял другие задания командования. В июле 1942 г. ему было предписано выйти в Карское море для проведения операций по сопровождению караванов судов Северным морским путем. На судне было установлено шесть пушек и шесть 12,7-миллиметровых пулеметов**. Это вооружение было предназначено для защиты от надводных атак вражеских подводных лодок и самолетов.

Между тем 25 августа 1942 г. гидросамолет «Арадо» с крейсера «Адмирал Шеер» потерпел серьезную аварию при посадке на воду, его пришлось расстрелять из 20-миллиметровой зенитной пушки и потопить. Не имея информации о ледовой обстановке в Карском море, командир крейсера не решился пробиваться к каравану советских судов, он отдал приказ развернуться и двигаться в юго-западном направлении. Погода стояла пасмурная, временами набегал туман.

К тому времени «Александр Сибиряков» уже находился в заливе Миддендорфа, в районе



Ледокольный пароход «Александр Сибиряков». 1942 г.

** В начале войны «Александр Сибиряков» был вооружен четырьмя 76-миллиметровыми, четырьмя 45-миллиметровыми пушками и двумя пулеметами «Максим» [3].

между безлюдными островами Белуха, Центральный и Продолговатый. Там впереди, слева по курсу, был замечен на горизонте расплывчатый силуэт неизвестного судна. Через сильную оптику дальномера командир ледакольного парохода старший лейтенант Качарава рассмотрел очертания военного корабля, который шел на сближение, флага на нем не было.

Вскоре определили, что это крейсер. Яркими вспышками прожектора азбукой Морзе с крейсера запросили по-русски: «Кто вы? Куда следуете?».

Командир парохода дал команду на разворот судна к о.Белуха и на полный ход машин. Однако крейсер также изменил курс и, будучи более быстроходным, стал сближаться с советским судном [4].

На запрос советского сигнальщика о названии и национальной принадлежности с крейсера ответили что-то похожее на «Сисияма» и выбросили звездно-полосатый американский флаг. Из Штаба морских операций западного района Арктики передали, что такого корабля в водах Карского моря быть не должно, считать самозванца противником.

С крейсера просемафорили: «Прекратите работать радиостанцией, остановите машину, сдавайтесь!» [5]. В головные телефоны советских радистов ворвались треск и шум — это заработала система радиопомех противника.

Предполагая самое худшее, командир «Александра Сибирикова» отдал приказ: экипажу быть в полной готовности спасать людей, открыть кингстоны и затопить судно. «В эту минуту пират скинул маску. Все, кто держал в руках бинокли, видели, как сполз вниз американский флаг и на мачту крейсера полезло красно-белое полотнище с фашистской свастикой...» [6].

Когда крейсер приблизился на расстояние примерно в 5 миль (около 9 км), над ним поднялось серое облачко, и поч-

ти мгновенно вместе с гулким раскатом из воды перед носом «Александра Сибирикова» выросла огромная белая пирамида от снаряда — неолет. Через некоторое время вторая пирамида появилась уже за кормой — перелет. Немцы начали пристрелку.

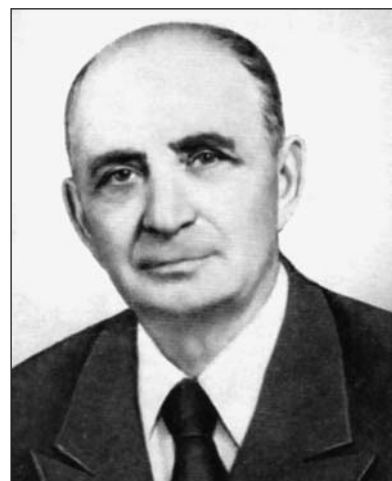
На вражеском рейдере палуба была заполнена зрителями. Германские моряки вышли посмотреть, как будет сдаваться противник. Они полагали, что, оценив мощь тяжелого крейсера, команда советского парохода спустит флаг и сдастся в плен, как это уже было с английскими экипажами, но просчитались — «Александр Сибириков» до конца был верен Родине и присяге.

В ответ на обстрел противника с парохода ударила артиллерия, которой командовал младший лейтенант С.Ф.Никифоренко. Однако «Адмирал Шеер» для легких орудий был недосягаем — снаряды падали в воду с большим неолетом.

Снарядом первого залпа, выпущенного башенными крупнокалиберными орудиями германского крейсера, снесло форстенггу, повредило радиостанцию (радист перешел на аварийный передатчик). Снарядом второго залпа накрыло корму — замолкли кормовые пушки, погибла вся артиллерийская прислуга (около 30 краснофлотцев), пароход стал терять управление. Снаряд третьего залпа попал на носовую палубу — вспыхнули бочки с горючим, аварийная команда устремилась на палубу с пожарными шлангами и ведрами с песком. Один из снарядов четвертого залпа угодил в самое сердце парохода — в машинное отделение, раздался мощный взрыв*...

Неподвижный «Александр Сибириков» стоял на месте и пылал как факел, на воде — вокруг него — горел бензин. Большая часть экипажа, военной команды и пассажиров погибла, ране-

* Было выпущено 27 снарядов по 300 кг — это более 8 т железа и взрывчатки.



Капитан А.А.Качарава.

ных сносили в кают-компанию, где им оказывала помощь врач В.Н.Черноус.

Осколками снаряда тяжело ранило командира А.А.Качараву, был убит его старший помощник лейтенант Г.П.Сулаков, в командование вступил политрук З.А.Элимелак.

В 14 часов 05 минут радист А.Г.Шаршавин послал в эфир последнюю радиограмму: «Помполит приказал покинуть судно. Горим, прощайте». Под прикрытием дымовой завесы на воду спустили две шлюпки и ялик, стали размещать на них людей. Крейсер «Адмирал Шеер» уже приблизился к пароходу на расстояние примерно в 20 кабельтовых (около 4 км) и вел стрельбу шрапнелью, наносящей наибольший урон живой силе. Одна уцелевшая шлюпка, в которой лежал тяжелораненый Качарава, отходила в сторону о.Белуха.

Из штаба морских операций находящимся в море судам было передано распоряжение — всем бортовым радиостанциям работать только на прием. Примерно в то же время руководство западного каравана, оповещенное о появлении германского крейсера в районе побережья Харитона Лаптева, начало поспешно уводить свои суда в море Лаптевых. Там, за ледовыми полями, они были уже в полной безопасности [7].

Примерно в 15 ч горящий «Александр Сибиряков» подобно легендарному крейсеру «Варяг», не спустив флага перед врагом, медленно носом ушел в морскую пучину, унося с собой и мертвых, и живых — политрук З.А.Элиме-лах и старший механик Н.Г.Бочурко, открывший кингстоны, отказались покинуть судно.

Мужество, с которым экипаж полярного «Варяга» принял и вел неравный бой, позже было отмечено практически во всех советских и зарубежных военно-морских исследованиях. «В сравнении с вооруженным до зубов фашистским крейсером «Адмирал Шеер», — писал в предисловии к книге «Сказание о «Сибирякове»» адмирал А.Г.Головко, — ледокольный пароход «Александр Сибиряков» выглядел просто жертвой. Но в Арктике находилось много советских судов, которым угрожала встреча с «Шеером». Сибиряковцы понимали, что от них зависело задержать на какое-то время вражеский корабль, оповестить о нем всю советскую Арктику. Они понимали, что могут сделать это лишь ценой собственных жизней. И они без колебаний пошли на верную гибель... Нельзя сравнить бой «Шеера» и «Сибирякова» с поединком между Голиафом и Давидом. Нельзя даже говорить всерьез о бое или поединке. Более уместно сравнить действия сибиряковцев с подвигом Александра Матросова*. Только это был коллективный подвиг, и тем он особенно дорог...» [8].

18 сибиряковцев, находящихся в уцелевшей шлюпке, были подобраны катером с «Адмирала Шеера» и попали в плен**, 80 погибло (об этих потерях советскому командованию стало известно в 1945 г.), и только кочегару

П.И.Вавилову удалось сначала на бревне, а затем на полузатопленной шлюпке добраться до о.Белуха. За проявленное мужество он был награжден медалью Нахимова — флотским аналогом медали «За боевые заслуги»***.

В предполагаемый район гибели «Александра Сибирякова» командование Северного флота направило самолеты ледовой разведки. Они летали ежедневно в течение недели, но результатов не дали — каких-либо следов на поверхности моря, характерных для потопления, обнаружено не было. В 2007 г. группа энтузиастов организовала поиски погибшего ледокольного парохода, однако они успехом тоже не увенчались.

Окрыленный легкой победой, командир крейсера «Адмирал Шеер» решил атаковать порт Диксон. Позже стало известно, что немцы намеревались высадить туда десант и при поддержке огнем орудий крейсера уничтожить порт, склады, базу полярной авиации, захватить радиостанцию и геофизическую обсерваторию. Эта акция могла бы серьезно затруднить плавание советских караванов судов по Северному морскому пути. Однако благодаря предупреждению с ледокольного парохода «Александр Сибиряков» нападение германского крейсера не было неожиданным. Штаб морских операций западного района Арктики организовал достойную встречу германскому рейдеру, и тот, обстрелянный береговой и морской артиллерией, был вынужден уйти на запад, так и не выполнив задачи, возложенные на него в рамках секретной операции «Вундерланд» («Страна чудес»)****.

*** 3 августа 1960 г. трюмному машинисту П.И.Вавилову за трудовую доблесть было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот».

**** Возмездие настигло фашистского пирата 9 апреля 1945 г. в Киле (Германия), где он был потоплен авиацией союзников.

22 ноября 1942 г. «Александр Сибиряков» был исключен из состава флота Архангельского морского арктического пароходства Главсевморпути, а 30 декабря из списков пароходства были исключены члены экипажа — как «без вести пропавшие». В то же время в учетной карточке №76126909 картотеки безвозвратных потерь, сохранившейся в Российском государственном архиве Военно-морского флота, было записано: «*Кочарова Анатолий Алексеевич******... Воинское звание — лейтенант... Наименование части — ЛД-6 Беломорской военной флотилии... (судя по этой записи, исходные данные карточки составлялись до 6 мая 1942 г. — В.Г.). Занимаемая должность — командир... Уроженец г.Сухуми... Год рождения — 1910 г. (28 августа. — В.Г.) <...> Партийность — беспартийный... Национальность — грузин... Социальное положение — рабочий... Время и причина выбытия — погиб 25.8.1942 г. <...> Где похоронен — в море... По приказу начальника командного управления ВМФ №0330-1942 г. числится погибшим — 7.10.1942 г.» [8].

После окончания Великой Отечественной войны 13 сибиряковцев были освобождены советскими войсками из плена и возвратились на родину, остальные погибли в фашистских застенках. Выживший командир А.А.Качарова (в плену его называли профессором-полярником) после проверки и реабилитации был награжден орденом Боевого Красного Знамени. Церемония награждения состоялась в Кремле, награду земляку вручил лично И.В.Сталин [9].

29 апреля 1961 г. Указом Президиума Верховного Совета СССР «за мужество и стойкость» члены экипажа Краснознаменного ледокольного парохода

***** В приведенной учетной карточке, а также в списке экипажа парохода, хранящихся в Государственном архиве Архангельской области (Ф.2323. Оп.1. Д.9. Л.336-об.), фамилия Качарова записана через букву о в первом слого.

«Александр Сибиряков» Н.Г.Бочурко, С.Ф.Никифорова были награждены (в том числе посмертно) орденами Отечественной войны II степени, И.А.Алексеев, С.И.Гергега, И.Ф.Копылов, А.Т.Павловский и Ф.В.Седунов, З.А.Элимелаш — орденами Красной Звезды.

28 апреля 1965 г., в преддверии 20-летия Победы советского народа над фашистской Германией, приказом командующего Краснознаменным Северным флотом было предписано: «Для отдания воинских почестей героизму, мужеству и самоотверженности моряков-североморцев на местах их героических боев определить координаты мест боевой славы: широта 76 градусов северная, долгота 91 градус 31 минута восточная. Здесь 25 августа 1942 г. пароход «Александр Сибиряков» дрался с немецким крейсером «Адмирал Шеер». Пароход погиб, флага не спустив... Всем кораблям, проходящим объявленные координаты мест боевой славы, приспускать флаги, подавать звуковые сигналы...» [10].

Легендарный ледокольный пароход «Александр Сибиряков» и его экипаж были увековечены на географических картах, в наименованиях кораблей торгового флота. Так, в честь сибиряковцев названы острова в Карском море и пролив к северу от о.Диксон, имя ледокольного парохода получили банка (отмель) близ Новой Земли в Баренцевом море



Грузовое судно «Aleksandr Sibiryakov».

и гора на Земле Эндерби в Антарктиде, а на о.Белуха сооружен 18-метровый маяк-памятник в виде бетонной башни.

В 1945 г. название «Сибиряков» получил пароход-ледокол «Йяэкарху», переданный из Финляндии по репарациям. В 1989 г. в Гданьске (Польша) по заказу СССР было построено грузовое судно «Александр Сибиряков» (с 1995 г. — «Aleksandr Sibiryakov»).

Капитан дальнего плавания А.А.Качарава в послевоенное время закончил Ленинградское высшее морское училище им.С.О.Макарова, ходил в арктические моря на судах Мурманского морского пароходства: ледокольном пароходе «Леваневский», дизельном электрохо-

де «Байкал», в течение 10 лет был капитаном парохода «Тбилиси». С 1967 по 1979 г. работал начальником Грузинского морского пароходства.

Анатолий Алексеевич был не только настоящим профессионалом, но и красивым, интересным человеком. Он выделялся своей эрудицией, широким кругозором, свободно владел английским, французским и немецким языками. Умер 8 мая 1982 г. Его похоронили во дворе Батумского мореходного училища. В прежние годы курсанты этого училища принимали присягу у его могилы.

В честь легендарного капитана названы улица в Батуми и танкер «Капитан А.Качарава» постройки 1984 г. ■

Литература

1. Вейхман В. Там, среди шумного моря (http://sea-proza.ucoz.ru/index/tam_sredi_shumnogo_morja/0-6).
2. Морозов М. Операция «Вундерланд» (<http://navycollection.narod.ru/battles/WWII/wunderland/wunderland.htm/>).
3. Бурков Г.Д. Война в Арктике. М., 2011.
4. Головкин А.Г. Вместе с флотом. М., 1979.
5. Бадигин К.С. На морских дорогах (http://www.modernlib.ru/books/badigin_konstantin_sergeevich/na_morskih_dorogah/read/).
6. Новиков Л.А., Тараданин А.К. Сказание о «Сибирякове» (http://militera.lib.ru/prose/russian/novikov_taradanin/index.html).
7. Глушков В.В. Ледокольный флот // Транспорт в годы Великой Отечественной войны. Исторические хроники. М., 2010.
8. Полярная энциклопедия (<http://polarpost.ru/forum/viewtopic.php?f=4&t=2718#p21672>).
9. Дмитриева Е. Качарава — судьба капитана (<http://www.b-port.com/smi/2/3064/58393.html>).
10. Тихомиров В. «Туман» сражается до конца (<http://flot.com/publications/books/shelf/heroicships/110.htm/>).

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
М.Б.БУРЗИН
Е.Е.БУШУЕВА
Т.С.КЛЮВИТКИНА
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
О.И.ШУТОВА
С.В.ЧУДОВ

Литературный редактор
Е.Е.ЖУКОВА

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Перевод:
С.В.ЧУДОВ

Набор:
Е.Е.ЖУКОВА

Корректоры:
М.В.КУТКИНА
Л.М.ФЕДОРОВА

Графика, верстка:
А.В.АЛЕКСАНДРОВА

Свидетельство о регистрации
№1202 от 13.12.90

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

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

Подписано в печать 16.04.2012
Формат 60×88 1/8
Офсетная печать, усл. печ. л. 10,32,
усл. кр.-отт. 67,8 тыс., уч.-изд. л. 12,2
Заказ 149
Набрано и сверстано в редакции

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