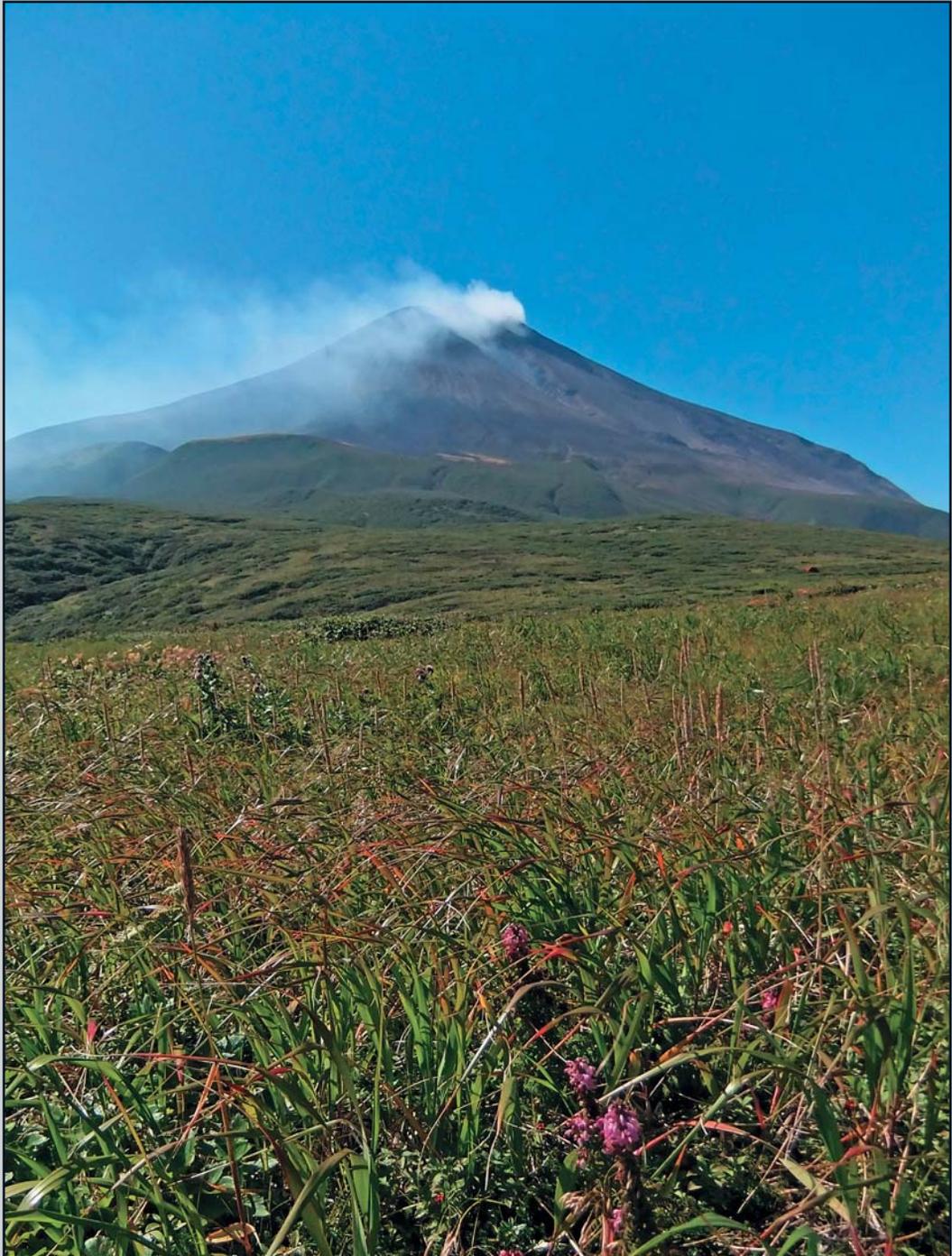


# ПРИРОДА

6 13



**В НОМЕРЕ:****3 Кароль И.Л., Киселев А.А.****Суэта вокруг сажи**

В последние годы все чаще упоминается роль сажи в глобальном потеплении климата. Ее аэрозоль попадает в атмосферу при работе дизельных установок, при отоплении помещений углем, дровами, мазутом и т.п. В России один из главных источников сажи — лесные пожары. Так сколь велик вклад сажи в наблюдаемые климатические изменения? И какие меры предлагаются мировым сообществом для снижения её выбросов в атмосферу?

**12 Бреховских Ю.А., Родионова Ж.Ф.****Красная планета в 3D:  
гипсометрический глобус Марса**

Марс — одна из важнейших целей космической экспансии человечества, наша «запасная Земля». Недавно созданный новый глобус Красной планеты дает наглядное представление об особенностях ее рельефа.

**21 Беленицкая Г.А.****Соленосное чудо планеты**

Мертвое море по праву считается одним из наиболее интригующих объектов, в котором сосредоточено множество загадок, легенд и тайн — не только научных, но и культурных, житейских, библейских.

**33 Прокофьева Т.В., Варава О.А.****Долина Москвы-реки  
и почвы столицы**

Москва постоянно строится и тем меняет природные ландшафты. Ручьи и многие малые реки заключены в подземные коллекторы или засыпаны. Из-за высоких грунтовых вод случаются просадки и провалы грунта, разрушения фундаментов зданий. Почва превращается в техноземы, загрязняется тяжелыми металлами. Можно ли совместить потребности столицы и заботу о сохранении в ней природы?

**44 Наугольных С.В.****Ископаемые растения в работах  
К.К.Флёрова**

В статье анализируются композиционные решения и реконструкции древних растений и ландшафтов, изображенных на картинах известного палеонтолога и анималиста К.К.Флёрова, в дополнение даны любопытные сведения о жизни прошлых лет.

**Вести из экспедиций****54 Гришин С.Ю.****Сильное извержение  
вулкана Пик Сарычева****Рецензии****67 Корякин В.С.****Интересная книга о российском  
арктическом мореплавании**

(на кн.: Н.Марченко. Моря Российской Арктики. Условия навигации и происшествия)

**70****Новые книги****Встречи с забытым****72 Белозеров О.П.****«От биологии к биотехнии»:  
траектория одной научной  
биографии**

## CONTENTS:

### 3 Karol I.L., Kiselev A.A.

#### A Fuss about Soot

*In recent years the role of soot in global warming became more often mentioned. Soot aerosol discharges into atmosphere as a result of work of diesel engines, heating rooms by burning coal, wood, fuel oil and so on. Forest fires is one of the main sources of soot in Russia. So how important is its contribution into observed climate change? And what measures are proposed by international community for reducing soot pollution of atmosphere?*

### 12 Brekhovskikh Yu.A., Rodionova Zh.F.

#### The Red Planet in 3D: A Hypsometric Globe of Mars

*Mars is one of the principal goals of space expansion of humankind, our «reserve Earth». A new globe of the «red planet», which was recently created, provides visual representation of the features of its relief.*

### 21 Belenitskaya G.A.

#### Saliferous Miracle of Our Planet

*Dead Sea can rightly be called a one of the most intriguing objects in which a lot of riddles, legends and mysteries — scientific, as well as cultural, everyday and Biblical — are concentrated.*

### 33 Prokof'eva T.V., Varava O.A.

#### Valley of the Moscow River and Soils of the Capital

*Moscow is permanently developed and so it changes natural landscapes. Streams and many small rivers are enclosed in underground collectors or backfilled. Because of the high water table subsidence and ground failures occur, as well as the destruction of the foundations of buildings. Soils are turned into badlands and polluted by heavy metals. Is it possible to combine the needs of the capital with care about conservation of natural landscapes in it?*

### 44 Naugolnykh S.V.

#### Fossil Plants in Art Works of K.K.Flerov

*The article analyses the compositional solutions and reconstructions of the prehistoric plants and landscapes represented in pictures of a famous paleontologist and animalist K.K.Flerov. An interesting information about ancient life is also given.*

## Notes from Expeditions

### 54 Grishin S.Yu.

#### Violent Eruption of the Volcano Sarychev Peak

## Book Reviews

### 67 Koryakin V.S.

#### An Interesting Book about Russian Arctic Navigation

*(on book: N.Marchenko. Seas of Russian Arctic. Navigation conditions and incidents)*

### 70

## New Books

## Encounters with Forgotten

### 72 Belozеров O.P.

#### «From Biology to Biotechics»: A Trajectory of a Scientific Biography

# Суета вокруг сажи

И.Л.Кароль, А.А.Киселев

**Х**орошо известно, что у каждого времени свои герои и антигерои. Похоже, одним из «антигероев» ближайшего десятилетия может стать... сажевый аэрозоль, а точнее, следуя ныне используемой терминологии, — черный углерод. Конечно, о саже — основном компоненте черного углерода — известно с незапамятных времен. Многочисленные исследования говорят о ее негативном влиянии на здоровье человека — прежде всего о провоцировании болезней дыхательных путей и органов дыхания и связанных с ними нарушений в работе сердца и сосудистой системы [1]. А в последние годы все чаще упоминается заметная роль сажи в глобальном потеплении (апофеозом стали недавние политические решения, о которых будет сказано ниже). Так сколь же велик ее вклад в наблюдаемые изменения климата? Давайте попробуем разобраться. Однако сначала обратимся к причинам, неожиданно всколыхнувшим повышенный интерес к саже и не только к ней.

## И снова пара слов о Протоколе

В 2012 г. закончился первый этап действия Киотского протокола, ограничивающего эмиссию важнейших парниковых газов в атмосферу. Настало время подведения промежуточных итогов и оглашения перспективных планов. В предыдущей статье в



**Игорь Леонидович Кароль**, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. Специалист в области моделирования климата, фотохимических и радиационных процессов в атмосфере. Многие годы занимается проблемами атмосферного озона.



**Андрей Александрович Киселев**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела динамической метеорологии той же обсерватории. Область научных интересов — фотохимические процессы в атмосфере.

«Природе» мы подробно рассказали о том, каких «успехов» добились ведущие экономические державы в «обогащении» атмосферы парниковыми газами к 2008 г. [2]. О положении дел два года спустя можно судить, обратившись к табл.1\*.

\* Напомним, что для унификации выбросов различных парниковых газов используется специфическая единица — эквивалентный выброс CO<sub>2</sub>. Он получается умножением объема выброса парникового газа на его потенциал глобального потепления за данный период времени. Подробнее об этом рассказано в наших предыдущих статьях в «Природе» (2003. №6. С.25—30; 2011. №1. С.3—9).

Сравнение данных за 2008 и 2010 гг. свидетельствует о сокращении размеров эмиссии парниковых газов в этот период всеми упомянутыми в табл.1 странами (за исключением бурно развивающихся Китая и Индии). Сокращении относительно небольшом, на несколько процентов, но тем не менее — *сокращении!* Так и хочется воскликнуть: «Правильным путем идете, товарищи!», да вот только... путь этот оказался не слишком долгим. Уже известно, что Канада, Россия и Япония отказались участвовать в продлении действия Киотского договора после 2012 г., вызвав тем самым

Таблица 1

Изменение выбросов антропогенных парниковых газов с 1990 по 2009 и 2010 гг. (без их учета при землепользовании и в лесном хозяйстве) [3]

Страна	Выбросы в 1990 г., млн т в экв. CO <sub>2</sub>	Изменение за 1990–2009 гг., %	Выбросы в 2010 г., млн т в экв. CO <sub>2</sub>	Изменение за 1990–2010 гг., %
Канада	589.2	+16.8	691.7	+17.3
США	6084.4	+7.1	6802.2	+10.4
Германия	1215.2	-26.3	936.5	-24.8
Великобритания	774.1	-26.6	594.0	-22.5
Россия	3319.3	-35.5	2201.8	-34.2
Украина	926.0	-60.2	383.1	-58.7
Франция	562.6	-8.1	522.3	-6.5
Италия	516.3	-5.4	501.3	-3.4
Япония	1269	-4.5	1257.9	-0.7
Австралия	416.2	+30.4	542.6	+29.8
Польша*	564.7	-33.1	400.8	-28.9
Китай**	2510.0	+229.5	8900.0	+254.6
Индия**	660.0	+165.2	1860.0	+181.8

\* Для Польши базовый год отсчета обязательств не 1990-й, а 1988-й.

\*\* Источник данных: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/CO2REPORT2012.pdf>.

неодобрение крупнейших европейских стран. Причины такого отказа вполне очевидны: его недостаточная эффективность (даже полное исполнение всех обязательств в рамках Протокола не в состоянии сколько-нибудь заметно снизить темпы глобального потепления) и отсутствие среди стран-участниц Протокола ряда крупнейших эмитентов (в первую очередь Китая и США). В результате уже в 2013 г. на долю государств, «сохранивших верность» Киотским соглашениям, приходится лишь около 15% глобального выброса парниковых газов, что составляет величину порядка 6000 млн т в эквиваленте CO<sub>2</sub>. В такой ситуации очевидна потребность в новых, более действенных мерах для сдерживания темпов глобального потепления. В этом солидарны практически все страны. Однако попытки согласовать такие меры на международных форумах в Дании (Копенгаген, 2009), Мексике (Канкун, 2010) и ЮАР (Дурбан, 2011) не увенчались успехом, и соглашение об ограничениях выбросов парниковых газов после окончания действия первого этапа Киотского протокола не было принято. В соответствии с действующей

ныне процедурой принятие такого соглашения требует консенсуса. Формально его блокировали пять отсутствующих в нашей таблице государств (Боливия, Венесуэла, Никарагуа, Куба и Судан), сославшись на «нелегитимность и келейность подготовки соглашения». Однако это лишь верхушка айсберга противоречий. Группа нефтедобывающих арабских стран по понятным причинам не заинтересована в скорейшем принятии такого соглашения. Китаю и Южной Корее куда комфортнее по-прежнему (как и на момент вступления в действие Киотского протокола) находиться в списке развивающихся стран, нежели перебраться в стан экономических тяжеловесов. Последние же готовы принять на себя обязательства по сокращению эмиссий, но непременно увязывают их с аналогичными обязательствами других развитых и развивающихся стран. Немало копий сломано при обсуждении статуса соглашения — должен ли этот документ иметь юридическую (т.е. обязательную) силу или достаточно его рекомендательный характер. В частности, за последний вариант выступает Индия. Словом, у каждой державы свои взгляды

и, конечно же, свои интересы, которыми она не склонна поступаться. Таким образом, только неисправимый оптимист может полагать, что принятие новых ограничений эмиссии парниковых газов — дело ближайшего будущего.

Своеобразным откликом на эту близкую к патовой ситуацию стало создание в 2012 г. Коалиции шести стран: Бангладеш, Ганы, Канады, Мексики, США и Швеции. Напомним, что наибольший вклад в глобальное потепление вносит углекислый газ. По современным оценкам, его доля составляет 60–70% [4]. Поскольку CO<sub>2</sub> химически пассивен, его «время жизни» в атмосфере достаточно велико — около 100 лет. Как следствие, меры, направленные на сокращение антропогенной эмиссии углекислого газа, даже при высокой степени их успешности скажутся лишь через несколько десятилетий. Поэтому в качестве альтернативы сегодня активно предлагается идея сокращения выбросов других газов и аэрозольей, чье воздействие на радиационный режим и климат тоже значительно, но время пребывания в атмосфере существенно короче (недели, месяцы или годы). Следовательно, от-

клик климатической системы на выбросы этих газов проявится быстрее [2, 5]. Реализация этой идеи и была объявлена главной целью вышеупомянутой Коалиции. В ее намерения входит поддержка глобальных, региональных и национальных усилий для снижения содержания в атмосфере таких газов и аэрозолей путем разъяснения их опасности, выдвижения новых национальных инициатив, разработки и продвижения новых технологий для смягчения последствий их влияния на экологию и климат планеты. Газета «Нью-Йорк Таймс» назвала создание Коалиции «вторым фронтом» в климатической войне, намекая на известный эпизод Второй мировой войны. Во время проходившего в Кэмп-Дэвиде (США) с 18 по 20 мая 2012 г. саммита стран «Большой восьмерки» принято решение о присоединении всех ее членов, в том числе и России, к инициативе Коалиции.

Благодаря заявленным Коалицией мерам предполагается, что рост температуры приземного воздуха\* в период с 2012 по 2050 г. будет замедлен на 0.5°C. Меры эти заключаются в сокращении выбросов в атмосферу короткоживущих климатических загрязнителей (ККЗ, или SLCPs — Short-Lived Climate Pollutants): метана, большой группы гидрофторуглеродов, рассеивающих и сажеобразующих аэрозолей. В этот список также предлагается включить тропосферный озон. Сегодня нет точного критерия, какие компоненты атмосферного воздуха следует отнести к разряду короткоживущих. Пока коротким считается срок не более 10–12 лет, соответствующий «времени жизни» в атмосфере метана.

Однако если о метане и тем более об озоне написано нема-

ло [6–9], то о присутствующих в списке сажеобразующих аэрозолях известно заметно меньше. Для устранения этого пробела в последние годы уже проведены и продолжают вестись многочисленные исследования, посвященные различным аспектам проблемы черного углерода. Каков же современный уровень знаний о нем?

### Углерод: черен, как сажа

Парадоксально, но до сих пор не существует точного общепринятого определения черного углерода: в зависимости от того, термический или оптический метод был использован при его измерениях, говорят об элементарном (в первом случае) или черном (во втором) углероде. Сегодня различают углерод почти всех цветов радуги: белый, черный, красный, коричневый и т.д. Здесь же речь пойдет только о черной его разновидности.

Черный углерод попадает в атмосферу в результате неполного окисления углерода в процессе горения органических соединений — например, при работе дизельных установок, при отоплении помещений углем, дровами, мазутом и т.п., а также при эксплуатации печей и плит

для приготовления пищи. В ряде стран мира, в том числе и в России, один из главных источников черного углерода — лесные пожары. Углерод попадает в атмосферу в основном в виде сажи, т.е. частиц углерода антропогенного или естественного происхождения в различных связанных формах. Сажа представляет собой кластеры небольших частиц, диаметр которых лежит в диапазоне от 10 до 80 нм. Кластеры содержат миллионы атомов углерода и могут иметь форму сферическую или подобную протяженной цепи.

Современная глобальная эмиссия черного углерода достигает 7.8 Мт в год. Это в 3–6 раз превосходит его выбросы в доиндустриальный период. Сегодня вклад от сжигания природных ископаемых топлив в промышленных установках и отопительных системах, от сжигания дизельного топлива в транспортных системах, от горения биомассы при лесных пожарах и от сжигания биотоплива для отопления домов и приготовления пищи составляет примерно 25% от всей эмиссии аэрозолей с поверхности Земли (рис. 1). Лидирует сжигание биомассы (главным образом в результате лесных пожаров), по четверти от глобального выброса приходится на транспорт и отопление до-

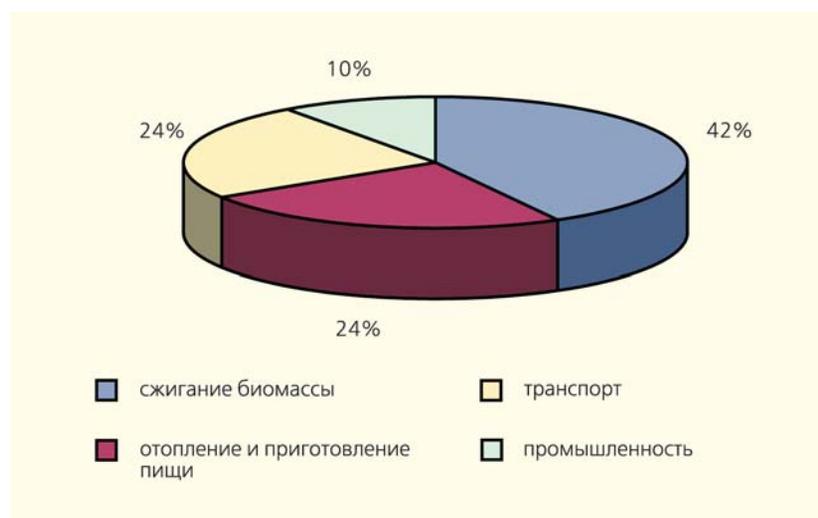


Рис. 1. Доля источников в общем выбросе черного углерода.

\* Сегодня предельно допустимым считается повышение температуры на 2°C по сравнению с доиндустриальным (середина XIX в.) уровнем. При большем росте начнутся необратимые изменения климата.

мов, а за оставшиеся 10% ответственна промышленность. Но необходимо отметить, что эти оценки — средние по земному шару, и в отдельных регионах они могут сильно отличаться.

Если в начале XX в. главными поставщиками черного углерода в атмосферу были Северная Америка и Европа, то позже их вклад в его глобальную эмиссию неуклонно сокращался благодаря начавшемуся контролю над выбросами. В то же время рос и продолжает расти вклад в глобальную эмиссию черного углерода развивающихся стран Азии, Латинской Америки и Африки (сегодня он превосходит 75%). В этих регионах его основные источники — плиты (очаги) для приготовления пищи и сжигание биомассы. Современные выбросы черного углерода Соединенными Штатами, Японией, странами Западной Европы и Среднего Востока обусловлены транспортным сектором экономики, в частности эксплуатацией дизельных установок. Суммарная эмиссия черного углерода в атмосферу США — около 580 кт (примерно 8% от глобальной), при этом 52% ее приходится на транспорт и приблизительно 35% — на сжигание биомассы.

Ежегодный выброс в атмосферу аэрозолей горения в России оценивается примерно в 150–200 кт (около 2% глобального). В жилом секторе от сжигания древесины и биотоплива выбрасывается до 49% аэрозолей, в том числе и черного углерода. Эмиссия от дизельных двигателей автомобилей и строительной техники (тракторов, бульдозеров и т.п.) достигает 19 и 12% соответственно. Промышленные и энергетические станции эмитируют примерно 12%, в то время как выбросы от других сельскохозяйственных источников оцениваются в 21% аэрозолей [10].

Базой для вышеприведенных оценок служат данные мониторинга на целой сети станций. Однако массовые измерения черного углерода проводятся

лишь на территории США и в меньшей степени в Западной Европе. Отдельные пункты измерений имеются в тропиках и южных умеренных широтах. Нет их только на территории России (кроме станции в бухте Тикси, функционирующей при американском и финском участии). Поэтому все оценки российских выбросов аэрозольных продуктов горения основаны на использовании возможных сценариев эмиссии, а не на анализе реальной информации. Самая неблагоприятная ситуация складывается при оценке выбросов от лесных пожаров, поскольку система их мониторинга находится в зачаточном состоянии, особенно на огромных пространствах Сибири, охватываемых лесными пожарами практически ежегодно. В европейской части России ситуация дополнительно осложняется тем, что здесь существенный вклад в суммарную эмиссию вносят торфяные пожары. А при определении размера выбросов от них спутниковая информация менее эффективна, чем в случае лесных пожаров.

Существует несколько механизмов воздействия сажи на климат. Во-первых, в воздухе она поглощает солнечную энергию и излучает инфракрасную (тепловую) радиацию. Во-вторых, после выпадения на земную поверхность сажа увеличивает количество поглощенной солнечной энергии (изменяется альbedo поверхности), тем самым способствуя дополнительному разогреву. Это особенно сказывается в зонах, покрытых снегом и льдом (в полярных областях и горных районах). По сообщениям СМИ, осенью 2012 г. отмечалось рекордно быстрое сокращение площади льда в Северном Ледовитом океане, особенно в его Евразийском секторе\*. Не в последнюю очередь это связа-

\* Такое сокращение площади морского льда чревато усилением тепло- и влагообмена между атмосферой и океаном, что еще более ускоряет потепление арктического климата.

но с изменением альbedo снежно-ледовых поверхностей в результате выпадения сажевого аэрозоля. В-третьих, сажа способствует накоплению ядер конденсации в облаках и, как следствие, изменениям фазовых переходов в них (а облачность — один из важнейших факторов, формирующих климат). По оценкам американского специалиста М.Якобсона, 15–30% причин глобального потепления обусловлено именно эмиссией сажевых частиц [11].

Время пребывания сажевых частиц в атмосфере исчисляется несколькими днями и лишь изредка неделями. Поэтому их максимальные концентрации наблюдаются вблизи источников. А содержание черного углерода на удалении от них во многом зависит от метеорологической обстановки, и в первую очередь от наличия и интенсивности осадков. Например, в Южной Азии сухой период с ноября по март способствует накоплению черного углерода и других аэрозолей, которые постепенно поднимаются вверх и переносятся северо-восточными воздушными потоками. Однако с наступлением сезона дождей эти потоки иссякают из-за интенсивного вымывания аэрозолей осадками.

Особенно чувствителен к наличию аэрозолей (как в воздухе, так и на поверхности) климат Арктики. Крупномасштабный перенос черного углерода с севера Евразии на побережье и шельф Северного Ледовитого океана приводит к формированию печально известного явления — арктической дымки. Ее, освещенную низким солнцем, бывает особенно хорошо видно весной (рис.2).

Вклады отдельных регионов в загрязнение Арктики черным углеродом (полученные на основе модельных оценок) приведены на рис.3. Эмиссия углеродсодержащих аэрозолей Россией составляет 10–15% от мировой, причем более 50% эмитируется с территории севернее 60° с.ш. —

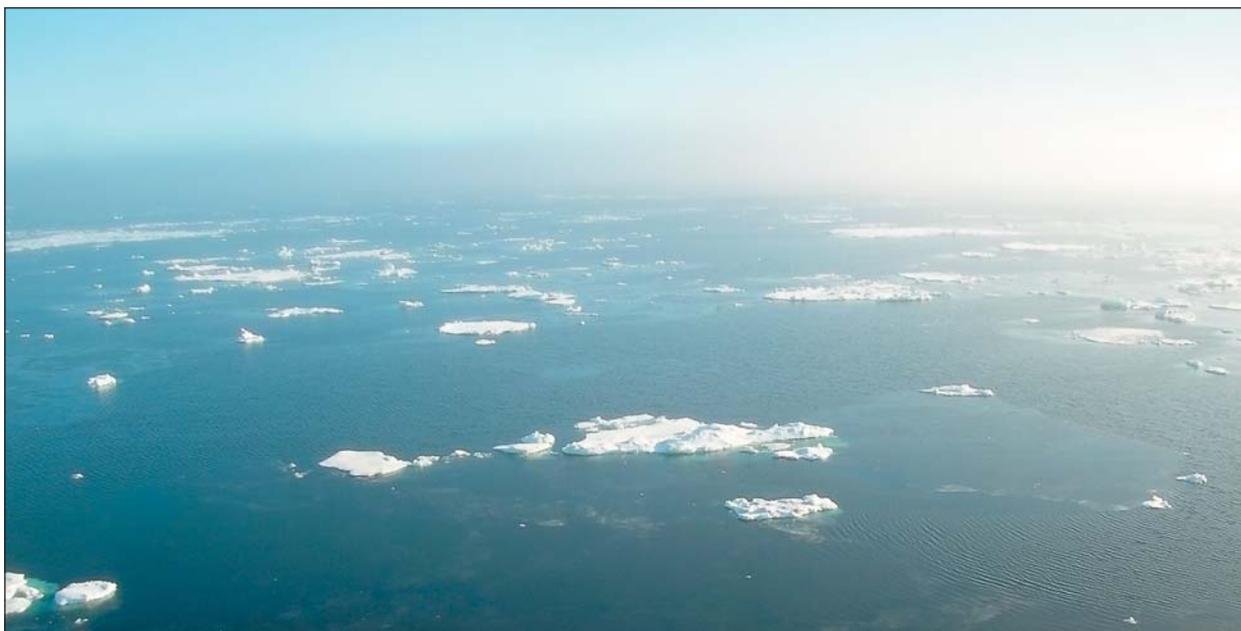


Рис.2. Арктическая дымка.

Фото Е.А.Новичковой

в основном из-за сибирских лесных пожаров, а также сжигания биотоплива (дров). Меньшая по сравнению с европейской российской эмиссия дает практически такой же, как Европа, вклад в загрязнение Арктики. Это объясняется близостью нашей страны к северной полярной области Земли. В то же время антропогенная эмиссия и горение

тропических биомасс в Южной Азии оказывают на появление арктической дымки более существенное влияние по сравнению с Россией, Европой и Северной Америкой [13].

О том, сколь велико воздействие черного углерода на климат Арктики, можно судить, сравнив его вклад в разогрев приземного воздуха для всего

земного шара и для северной полярной области (рис.4).

Несмотря на то что за рубежом исследования воздействия черного углерода на климат проводятся уже более 10 лет, единый подход не выработан до сих пор, и, как следствие, присутствует разноречивость в подходах и полученных оценках. Наиболее часто используемая характеристика отклика климатической системы на различные природные и антропогенные явления — радиационный форсинг\*. Так, в различных обзорах величина форсинга, обусловленного выбросом черного углерода, оценивается в пределах 0.33—0.45 Вт/м<sup>2</sup> при разбросе от 0.2 до 0.9 Вт/м<sup>2</sup> (для сравнения: радиационный форсинг главного

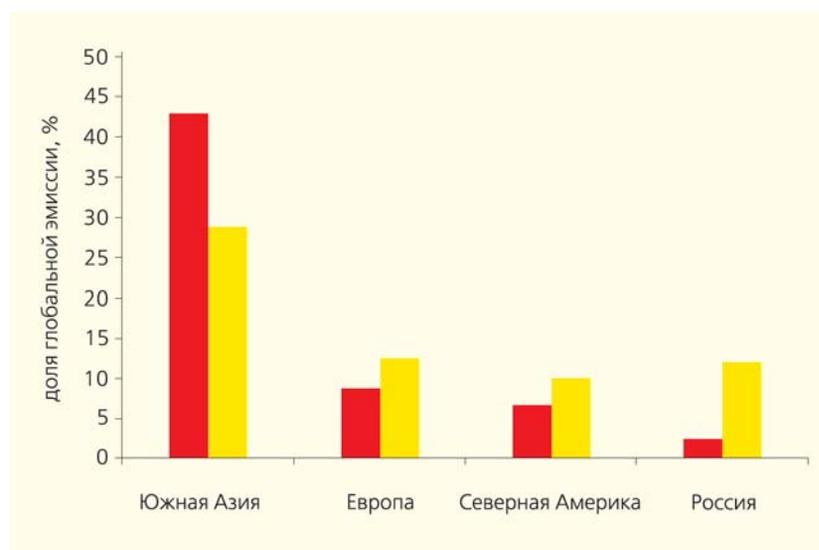


Рис.3. Промышленные эмиссии черного углерода (красные столбцы) и вклады регионов (желтые столбцы) в загрязнение Арктики [12].

\* Радиационный форсинг показывает, насколько нарушится баланс между входящей от Солнца ультрафиолетовой и уходящей от земной поверхности инфракрасной радиацией в результате какого-либо природного явления (например, увеличения концентрации черного углерода или крупного извержения вулкана). Подробнее о радиационном форсинге можно прочитать в нашей статье в «Природе» (2003. №6. С.25—30).

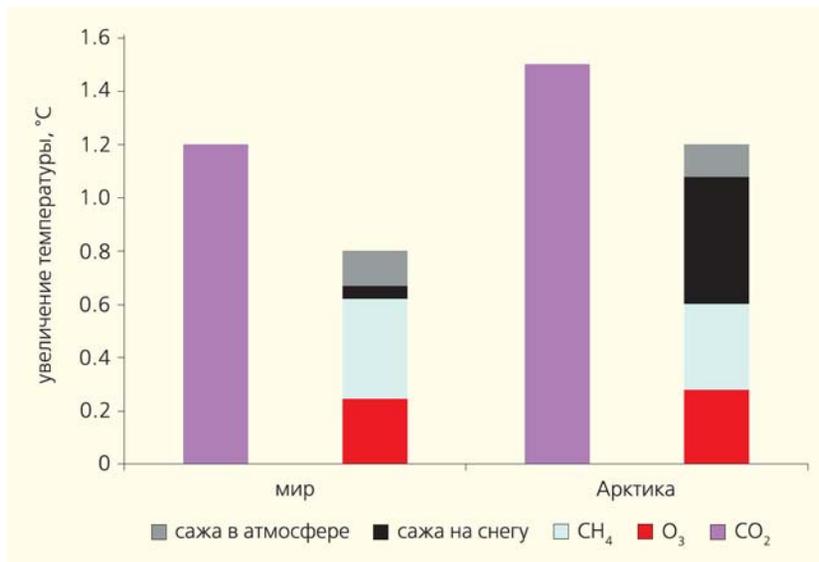


Рис. 4. Увеличение температуры приземного воздуха относительно доиндустриального периода, обусловленное изменениями содержания CO<sub>2</sub> и короткоживущих климатических загрязнителей во всем мире и отдельно в Арктике [4, 14].

парникового газа CO<sub>2</sub> в 2005 г. был равен 0.66 Вт/м<sup>2</sup>). Предприняты попытки оценить эффект от эмиссии черного углерода, связанный с накоплением ядер конденсации в облаках и с изменением «времени жизни» облаков и фазовых переходов в них. Якобсон отдельно вычислил радиационный форсинг от изменения альbedo поверхности

в результате осаждения черного углерода: 0.03 Вт/м<sup>2</sup> с разбросом от 0.01 до 0.08 Вт/м<sup>2</sup>. Однако у разных авторов подобные оценки часто получаются разными, причем иногда — даже по знаку.

Из американских модельных оценок (рис. 5) следует, что наибольший вклад в радиационный форсинг в Арктике вносят Рос-

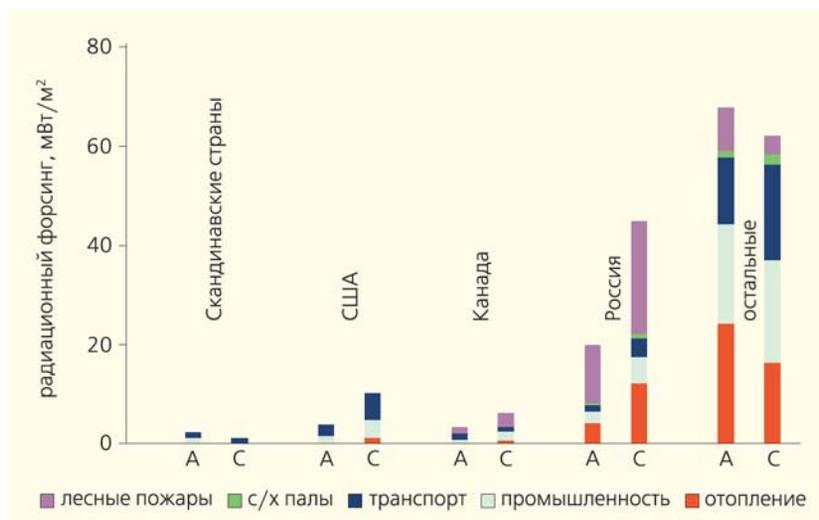


Рис. 5. Радиационный форсинг (А — в атмосфере, С — на поверхности снега и льда), обусловленный эмиссией черного и органического углерода из различных источников с территорий стран Арктического региона, и сравнение его с аналогичным радиационным форсингом для остального мира.

сия и Азия (которая на рисунке обозначена как «остальные»). Среди источников преобладают эмиссии от лесных пожаров и от отопления и приготовления пищи.

### Американцы рекомендуют...

Итак, враг объявлен. Как с ним бороться? Вот рецепты от нескольких групп американских исследователей. Главный удар предлагается направить на продукты неполного сгорания, образующиеся в дизельных установках и при сжигании топлива для обогрева помещений, приготовления пищи и сельскохозяйственных нужд. Для сокращения эмиссии черного углерода из этих источников рассмотрены две группы мер. Первая из них предназначена для США. В ней: ужесточение стандартов качества горючего, используемого в транспортных средствах; федеральная помощь производителям автомобилей для совершенствования двигателей; введение специального налога на «грязные» автомобили, средства от сбора которого должны пойти на помощь мелким перевозчикам и фермерам. Вторая группа — для развивающихся стран: распространение технологий, способствующих сокращению выброса черного углерода в атмосферу, в частности рекомендации сельхозпроизводителям разрабатывать стратегии развития, предусматривающие снижение объемов открытого сжигания биотоплива; помощь в замене печей для приготовления пищи на современные экологически чистые модели плит; перевод автомобильных двигателей на другое горючее (например, на газ или на топливо с ультранизким содержанием серы). Отдельной строкой упомянута необходимость способствовать модернизации индустриальной инфраструктуры России и Китая.

### Стоит ли овчинка выделки?

У деловых людей планы всегда соседствуют со сметами. В существующих ныне реалиях меры по снижению эмиссии черного углерода с территорий США и развитых европейских стран более дорогостоящи и менее эффективны по сравнению с реализацией программ в Азии, Африке и Латинской Америке. Поэтому основные усилия целесообразно направить именно на развивающиеся страны. В частности, стоимость замены плит для приготовления пищи оценивается приблизительно в 360 млн долл. США (если предположить, что одна плита стоит условно 12 долл.). Считается, что эмиссия черного углерода составляет 0.85 г/кг для древесины, 1 г/кг для прочей растительной массы, 0.53 г/кг для топлива животного происхождения, 1 г/кг для древесного угля и 0.15 г/кг для брикетов [15]. Подсчитано, что общее уменьшение выброса черного углерода в атмосферу от всех видов плит составит около 220 кт/год. Переход на использование брикетов взамен прочих видов топлива может снизить выброс на 91 кт/год черного углерода. Осуществление программ по сокращению сжигания биомассы в Африке и Южной

Америке позволит уменьшить эмиссию на 1190 кт/год. Таким образом, общее снижение ежегодных выбросов сажи может достичь 1502 кт (или около 19% его глобальной эмиссии).

Оценки количества образовавшегося черного углерода для разных источников приведены в табл.2\*. Его итоговая масса представляет собой произведение чисел, отражающих расход потребляемого топлива в год, выброс в атмосферу черного углерода при сжигании килограмма топлива и срок службы источника. Например, легковой автомобиль, который потребляет за год 1500 кг дизельного топлива (а при сжигании 1 кг выбрасывается 0.9 г), за 10 лет эксплуатации выбросит в атмосферу около 14 кг ( $0.9 \cdot 1500 \cdot 10 \approx 14$ ) черного углерода. При знакомстве с таблицей у читателя может возникнуть вопрос: не печи ли для обжига самый страшный источник углеродсодержащих аэрозолей? Действительно, выброшенная печью масса черного углерода в сотни

\* У разных авторов оценки выбросов черного углерода, приходящихся на 1 кг, часто отличаются, хотя и согласуются по порядку величины. Это обстоятельство еще раз указывает на необходимость проведения дальнейших исследований.

раз превосходит «автомобильную» или «кухонную» массы. Однако количество таких печей не идет ни в какое сравнение с числом «четырехколесных» или «кулинарных» друзей человека. Поэтому относительный вклад печей для обжига в суммарную эмиссию черного углерода не велик.

### Так ли страшен черт, как его малюют?

Таким современное положение дел видится из Вашингтона или европейских столиц. Нет, это не намек на коренное различие подходов и интересов у этих стран и России. В конце концов, планета у нас одна, и хозяйствовать на ней *всем* надо так, чтобы потом не было мучительно больно (как в прямом, так и в переносном смысле). Однако, как мог убедиться внимательный читатель, все (!) приведенные выше оценки почерпнуты нами из *зарубежных публикаций*. К сожалению, отсутствие сколько-нибудь полной национальной информационной базы — наша застарелая беда. По мнению американских ученых, еще 30—40 лет назад Россия была главным эмитентом сажевого аэрозоля в Арктичес-

**Таблица 2**

**Оценки количества образовавшегося черного углерода для разных источников [16]**

Источник выброса	Выброс черного углерода, г/кг	Расход топлива, кг/год	Срок службы, годы	Масса черного углерода, кг
<b>Дизельные двигатели</b>				
Современные легковые автомобили	0.9	1500	10	14
Мощные легковые автомобили	3	1500	5	23
Старые грузовики	2	10 000	10	200
<b>Другой транспорт</b>				
Бензиновые двухтактные двигатели	1	300	5	1.5
<b>Домашнее хозяйство</b>				
Плиты на дровах	0.7	2000	3	4.2
Плиты на угле	8	1000	3	24
<b>Промышленность и энергетика</b>				
Угольные низкотехнологичные печи для обжига	5	500 000	1	2500

кий регион. Они же (!) впоследствии эти обвинения и сняли. А наш «воз и ныне там». Но это уже история...

Давайте вернемся в день сегодняшний и зададимся вопросом: в какой степени достоверны упомянутые сведения и, как следствие, вытекающие из них выводы? Опять же, это не попытка поставить их под сомнение, а лишь желание глубже разобраться в сути проблемы. Как гласит латинская поговорка, *Dubitatio ad veritatem pervenimus* (Путь к истине — через сомнения).

Безусловно, эмиссия черного углерода в атмосферу создает предпосылки для эскалации потепления климата и ухудшает экологическую обстановку вблизи очагов загрязнения, в результате чего возрастает опасность заболевания людей. При этом эффект воздействия черного углерода на конкретный регион существенно зависит от его географического положения, особенностей метеорологической обстановки и ее сезонных вариаций, специфики хозяйствования. Наиболее чувствительны области, покрытые снегом и льдом. В Северном полушарии это Арктика и горные районы, среди которых особое место занимают Тибет и Гималаи, как источники пресной воды для самого густонаселенного региона планеты. Эти общие основанные на законах физики положения столь же справедливы, как и то, что быть богатым и здоровым предпочтительнее, нежели бедным и больным. Но вот когда речь заходит о количественных модельных оценках...

В данном случае мы имеем дело с весьма специфической задачей, характеризующейся высокой степенью изменчивости. Например, выпадение снега на покрытую сажой поверхность сразу же нейтрализует увеличение количества поглощенной поверхностью солнечной энергии. Для того чтобы учесть это явление, нужно обладать моделью с очень высокой детализацией (с мелкой сеткой в прост-

ранстве и маленьким шагом по времени). Сегодня это технически трудновыполнимая задача. Поэтому обсуждаемые здесь оценки получены с помощью глобальных климатических моделей, разрешение которых недостаточно и которые не в состоянии адекватно реагировать на быстро меняющуюся региональную метеорологическую обстановку. В результате имеющиеся оценки очень грубы и с большой долей вероятности завышены. Главный вопрос — *насколько?* Естественно, не улучшает качество оценок и наличие «белых пятен» на карте сети пунктов мониторинга черного углерода. Неудивительно, что в такой ситуации оценки климатического эффекта имеют у разных авторов большой разброс (а часто и разный знак). Попутно выяснилось, что общепринятые критерии для сравнения влияния различных газов и аэрозолей на климат (радиационный форсинг, потенциал глобального потепления), не всегда пригодны, а значит, тоже вносят свою лепту в существующие неопределенности. Во многом наличие больших погрешностей в оценках обусловлено разобщенностью исследователей — они не связаны единой программой действий. Вероятно, скорейшее создание и реализация такой программы может послужить значительному прогрессу и устранению неопределенностей в оценках.

На первый взгляд может показаться, что климатический эффект от эмиссии черного углерода все же второстепенен. Главное — сокращение выбросов сажи в атмосферу ведет к оздоровлению экологической ситуации и к уменьшению нагрузки на климат. Следовательно, «вектор движения» выбран верно. Но в наш прагматичный век не обойтись без учета финансово-экономической составляющей: сколько эффективно будут «работать» вложенные немалые денежные средства. Сегодня существуют лишь очень грубые оцен-

ки как стоимости мер, необходимых для сокращения эмиссии черного углерода, так и их экономической выгоды. Тем не менее уже высказывается мнение, что смягчение парникового эффекта за счет сокращения выбросов черного углерода в атмосферу может оказаться более дорогостоящим, чем путем уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub>.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что инициатива Коалиции — шаг скорее импульсивный, чем хорошо просчитанный (если, конечно, говорить о научной стороне вопроса, оставив в стороне его политическую составляющую). Означает ли это, что присоединение к ней нашей страны поспешно и ошибочно? Нет! Напротив, оно представляется нам полезным. И своевременным! Пока процесс еще только набирает ход, есть время навести порядок в отечественном «хозяйстве». Принимая во внимание то, что присоединение к Коалиции не носит юридически обязательного характера и каждая страна вправе сама выбирать формы и степень своего участия, нам представляется целесообразным:

— приступить к созданию на территории России разветвленной сети станций для регулярного мониторинга черного углерода (как и других субстанций, воздействующих на климат), обеспечить станции современной аппаратурой, организовать оперативный анализ и архивацию поступающей информации;

— наладить эффективный мониторинг (как наземный, так и спутниковый) лесных пожаров на российской территории — возможно, с привлечением международной спутниковой системы слежения за пожарной обстановкой;

— стимулировать модельные исследования, которые позволят обеспечить независимую и предметную аргументацию позиции России в международных переговорах по различным аспектам изменений климата;

— создать комфортные условия для осуществления международных совместных проектов, направленных на исследование выбросов атмосферных аэрозолей и связанных с ними изменений климата.

Все эти шаги, вне зависимости от того, реальна ли угроза климату со стороны черного углерода, необходимы как для

получения объективной информации об уровнях загрязнения в различных регионах нашей страны, так и для укрепления ее международного имиджа. Сюда же следует добавить и постепенную реализацию практических мер, направленных на сокращение эмиссии сажевого аэрозоля в российских условиях — как минимум

на здоровье людей это скажется благотворно. Несомненно, осуществление такой «программы действий» потребует времени, и его отсчет уже начался. Что же касается нашего климатического «антигероя» — черного углерода, ответ на вопрос, так ли страшен черт, как его малюют, остается открытым. Во всяком случае пока... ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 11-05-00750.**

## Литература

1. *Janssen N.A.H., Gerlofs-Nijland M.E., Lanki T. et al.* Health effects on black carbon. Bonn, 2011. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0004/162535/e96541.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/162535/e96541.pdf)
2. *Кароль ИЛ., Киселев АА.* Климат будущего: взгляд из настоящего // Природа. 2011. №1. С.3—9.
3. Изменение климата // Бюллетень Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 2012. №35. <http://meteorf.ru>
4. Изменения климата, 2007 год // Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Ред. Р.К.Пачаури, А.Райзингер и др. Женева, 2007.
5. *Molina M., Zaelke D., Sarma K.M. et al.* Reducing abrupt climate change risk using the Montreal Protocol and other regulatory actions to complement cuts in CO<sub>2</sub> emissions // Proceedings of National Academy of Sciences. 2009. V.106. №49. P.20616—20621.
6. *Кароль ИЛ., Киселев АА.* Атмосферный метан и глобальный климат // Природа. 2004. №7. С.47—52.
7. *Бажин НМ.* Метан в атмосфере // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №3. С.52—57.
8. *Кароль ИЛ.* Озонный щит Земли и человек. СПб., 1992.
9. *Хргиан АХ.* Физика атмосферного озона. Л., 1973.
10. *Cofala J., Amann M., Heyes C. et al.* Analysis of policy measures to reduce ship emissions in the context of the revision of the National Emissions Ceilings Directive (Service Contract No 070501/2005/419589/MAR/C1). Laxenburg, 2007.
11. *Jacobson M.* Atmospheric pollution: history, science and regulation. N.Y., 2002.
12. *Koch D., Hansen J.* Distant origins of Arctic black carbon: A Goddard Institute for space studies ModelE experiment // Journal of Geophysical Research. 2005. V.110. D04204 (doi:10.1029/2004JD005296).
13. *Shindell D., Kuylenshierna J.C.I., Vignati E. et al.* Simultaneously mitigating near-term climate change and improving human health and food security // Science. 2012. №335. P.183—189.
14. *Quinn P.K., Bates T.S., Baum E. et al.* Short-lived pollutants in the Arctic: their climate impact and possible mitigation strategies // Atmospheric Chemistry and Physics. 2008. V.8. P. 1723—1735.
15. *Bond T.C., Streets D.G., Yarber K.F. et al.* A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion // Journal of Geophysical Research. 2004. V.109. D14203 (doi:10.1029/2003JD003697).
16. *Baron R.E., Montgomery W.D., Tuladhar S.D.* An analysis of black carbon mitigation as a response to climate change. Frederiksberg, 2010.

# Красная планета в 3D: гипсометрический глобус Марса

Ю.А.Бреховских, Ж.Ф.Родионова

Глобусы Земли и других планет, наглядные, дающие полный обзор, правильно передающие формы, размеры и взаимное положение объектов, широко используются для публичных демонстраций и научных исследований. Здесь мы видим непрерывное изображение, которое не искажено картографической проекцией, как на картах. С развитием космонавтики глобусы стали применять и в пилотируемых космических кораблях [1]. Гипсометрический глобус геометрически точно представляет рельеф поверхности с помощью линий одинаковой высоты (горизонталей) и раскраски высотных ступеней по определенной цветовой шкале.

## От эскизов к портрету

Создавать карты и глобусы небесных тел имеет смысл только в том случае, если изображение их поверхности долгое время сохраняет свой вид. Очевидно, это не так у газовых планет-гигантов — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Облачный рисунок их атмосферы постоянно меняется, а их твердую поверхность, даже если она существует, увидеть никогда не удастся. Поэтому космическая картография занимается планетами земного типа, спутниками планет и астероидами, т.е. объектами, чью поверхность можно наблюдать с помощью оптических приборов или ра-



**Юлия Анатольевна Бреховских**, ведущий инженер отдела физики планет Института космических исследований РАН. Занимается изучением Марса и Венеры. Составила гипсометрические карты этих планет по данным космических съемок.

**Жанна Федоровна Родионова**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела исследований Луны и планет Государственного астрономического института им.П.К.Штернберга Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова (ГАИШ). Область научных интересов — картографирование планет и спутников Солнечной системы, морфометрия и сравнительная планетология. Член Международного астрономического союза (МАС), член рабочей комиссии МАС по наименованиям на Меркурии.

диолокаторов, как в случае Венеры с ее плотной атмосферой. Уже созданы и широко используются для научных и просветительских целей глобусы Луны, Венеры, Марса, а также его спутников — Фобоса и Деймоса. В основном это достижения последних десятилетий. А почему астрономы не могли сделать их раньше?

Карты и глобусы, изготовленные до космической эры (т.е. до начала 1960-х годов), отражали возможности наблюдения небесных тел в телескоп. Для близкой к нам Луны эти возможности велики. Еще сотни лет назад астрономы весьма точно описали детали рельефа ее поверхности — высоту гор и глубину долин, измеряя длину отбрасываемых ими теней. Дело в том, что в течение месяца по мере смены лунных фаз все области лунного диска проходят через терминатор — границу дня и ночи. Вблизи терминатора в лучах

низкого солнца даже небольшие неровности рельефа отбрасывают длинные тени (рис.1). Перепады высот на планетах и их спутниках обычно составляют не более 10 км (известный максимум — 30 км), но длина теней при низком солнце достигает 50—80 км. Поэтому тени гор на Луне заметны без труда и легко измеряются, ведь при нормальных условиях наблюдения в телескоп (угловое разрешение около 1") на Луне видны детали размером от 1 км.

Однако применять этот метод при наблюдении планет невозможно. Возьмем в качестве примера Марс. Даже в эпохи великих противостояний он в 160 раз дальше Луны, поэтому на его поверхности астрономы не различали деталей мельче 200 км. К тому же во время противостояния Марс с точки зрения земного наблюдателя освещен «в лоб», как Луна в полнолуние, поэтому теней на нем мы вообще не видим. В другие эпохи, когда солнечные лучи падают на Марс не со стороны Земли, а немного сбоку, Красная планета удалена от нас еще больше. Вот почему тени на Марсе в телескоп не видны, и до эпохи космических полетов мы о рельефе его поверхности ничего не знали. Поэтому на старых картах и глобусах Марса изображены только детали альбедо (показателя отражения поверхности), т.е. темные и светлые области поверхности размером не менее 200 км.

На самых старых зарисовках Марса, выполненных в Нидерландах Х.Гюйгенсом в 1659—1672 гг., в Англии В.Гершелем в 1777—1783 гг. и в Германии И.Шрётером в 1783—1805 гг., темным и светлым деталям поверхности Красной планеты не были присвоены названия. Только в 1830 г. составители карты Марса В.Бер и Г.Медлер (Германия) использовали для обозначения деталей альбедо буквы латинского алфавита. Потом на марсианских картах появились наименования, причем разные авторы давали имена несогласованно, по своему разумению [2].

Первые глобусы Марса изготавливались в единичных экземплярах, обычно из гипса, и разрисовывались вручную. Например, в кембриджском Музее истории науки хранится глобус Х.Баска диаметром 23 см, сделанный в марте 1873 г. Указанные на нем названия темных и светлых деталей предложил английский астроном Р.Э.Проктор, член Королевского астрономического общества (Лондон). В 1867 г. он составил карту поверхности Марса и довольно точно для своего времени определил период вращения планеты. Особенно интересовался Марсом известный французский астроном К.Фламарион, который систематизировал все известные наблюдения начиная с 1636 г. Фламарион первым, в 1876 г., обратил внимание на изменение внешнего вида темных областей на Марсе, которое он счел свидетельством сезонной смены растительного покрова. Именно это вдохновило выдающегося итальянского астронома Дж.Скиапарелли на тщательное изучение плане-

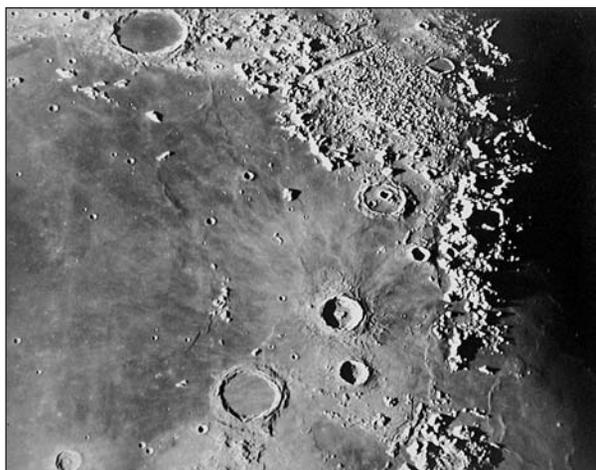


Рис.1. Снимок лунного Моря Дождей, окаймленного горами Альпы, Кавказ, Апеннины. В центре снимка хорошо видна тень от пика Питон протяженностью 25 км и высотой 2.3 км.

ты. В 1884 г. Фламарион выпустил первый глобус Марса из наклеенных на сферу сегментов, изображавших светлые континенты и темные моря. Диаметр глобуса составлял всего 11 см. Созданные им впоследствии совместно со своим учеником, выдающимся наблюдателем Э.Антониади, глобусы Красной планеты были крупнее — от 14 до 30.5 см в диаметре. В последнем случае 1 мм на глобусе соответствовал 22 км на поверхности планеты.

Интересно, что Скиапарелли в 1859—1860 гг. работал в Пулковской обсерватории под руководством ее директора О.В.Струве, а в 1874 г. был избран членом-корреспондентом Санкт-Петербургской академии наук. Главным образом он наблюдал двойные звезды, метеоры, солнечные затмения. Однако прославился Скиапарелли своими зарисовками поверхности Марса. Во время противостояний 1877 и 1879 гг. он обнаружил прямые линии на поверхности Марса, которые назвал итальянским словом *canali*, что означает «протоки естественного или искусственного происхождения». При переводе его работ на английский язык использовалось слово *canals*, употребляющееся для рукотворных каналов. Скорее всего, из-за неточности перевода впоследствии и получила распространение точка зрения об искусственном происхождении «каналов» и существовании на Марсе цивилизации. Сам ученый считал эту идею необоснованной. Темные и светлые детали поверхности Марса он обозначил разными терминами: *море, залив, озеро, болото, низина, мыс, пролив, источник, область*, а названия для них были взяты с древних карт Земли или из мифологии. Частично эти названия используются и на современных картах. Из опубликованной недавно В.К.Абалакиным [3] переписки Струве и Скиапарелли выяснилось, что Отто Васильевич принимал непосредственное участие в создании номен-

клатуры Марса. Поскольку этот факт очень важен для истории и мало кому известен, приведем выдержки из этой переписки.

**О.В.Струве — Дж.В.Скиапарелли**  
28 ноября 1877 г. Пулково

*...Я полностью одобряю Ваше предложение, чтобы Астрономическое общество\* стало, в известной степени, крестным отцом номенклатуры пятен, четко различаемых на Марсе, и охотно готов направить это предложение президиуму. Для этого, конечно, было бы желательно, чтобы мы также сейчас же могли сделать определенное предложение, и сформулировать таковое, конечно, никто не был бы вправе и более квалифицирован, чем Вы. Использовать просто числа и буквы было бы здесь недостаточно, так как они менее запечатлеваются в памяти, чем имена. Богов, богинь, полубожеств сейчас уже достаточно на небе, астрономов — на Луне. Не понравятся ли Вам, позвольте предложить, греческие философы или, поскольку речь идет как раз о Марсе, греческие и троянские герои из «Илиады»? Греческие, поскольку они жили на кораблях, могли бы быть помещены на морях, герои Трои — на предполагаемой твердой земле... (с.103).*

**Дж.В.Скиапарелли — О.В.Струве**  
4 января 1878 г. Милан

*...Если я и посылаю Вам эти названия, то лишь затем, чтобы показать, что я почти следовал Вашей идее брать имена из «Илиады» — Вы найдете даже имена рек Илионских. Однако я готов принять любую номенклатуру, которая будет в свое время одобрена Астрономическим обществом. Было бы хорошо, если бы некий эрудит, обладающий эстетическим вкусом, пожелал бы заняться приведением всего этого в порядок надлежащим образом... (с.105—106).*

**О.В.Струве — Дж.В.Скиапарелли**  
12 июня 1878 г. Пулково

*...Действительно, что могло бы быть более подходящим, чем перенесение на Марс мифологических обозначений ранних времен географической науки в момент, когда ареография\*\* находится на той же ступени своего развития, что и некогда география древних греков. Если бы я должен был внести поправки, то я предложил бы Вам примерно следующее: принимая во внимание, что со временем Вами будет, вероятно, еще открыто и обозначено значительное число деталей, Вы могли бы уже сегодня дать надежно ус-*

*тановленным и уточненным деталям [поверхности Марса] названия стран и морей на Средиземном море, известные, конечно, также и древним грекам, а мифологические имена присвоить главным образом далеко лежащим от центральной области пятнам, очертания которых Вами, в известной степени лишь угадываются... (с.109).*

Из писем также становится ясно, что к картам Марса, составленным Проктором и Фламарионом, Скиапарелли относился с недоверием, возможно потому, что у Проктора каналов не было вовсе, а у Фламариона их было мало. Многие астрономы вообще не видели каналов, как например, Н.Грин или ученик Фламариона Э.Антониади, создавший очень подробные карты Марса. Зато на картах П.Ловелла, бизнесмена, дипломата, а впоследствии известного астронома, построившего прекрасную оборудованную обсерваторию во Флагстаффе (Аризона, США), можно видеть более 600 каналов (у Скиапарелли их было 113). Ловелл отдал исследованию марсианских каналов около 20 лет. Он был уверен, что именно на Марсе можно обнаружить еще один очаг разумной жизни в Солнечной системе. Но когда зонд «Маринер-9» в 1971—1972 гг. передал снимки всей поверхности Марса, стало ясно, что лишь небольшая часть этих каналов соответствует рифтовым долинам, системам хребтов, цепочкам кратеров и линейным альбедным деталям, а большая их часть не отвечает ни топографическим, ни альбедным особенностям поверхности планеты [4].

Многочисленные зарисовки Марса, выполненные Скиапарелли, отражены на многих глобусах: например, на глобусе диаметром 30.5 см видна система каналов, в том числе и двойных. Предполагается (поскольку автор неизвестен), что изображение составлено на основе наблюдений Скиапарелли во время противостояния 1881—1882 гг. [5]. В лондонском Музее науки представлен глобус диаметром 10 см (рис.2), созданный Л.Нейстеном в 1892 г. Названия деталей альбедо на нем взяты из работ Скиапарелли и Грина, причем авторство названий указано цветом.

Необычайно красивый глобус Марса был сделан в нескольких экземплярах в 1915 г. астрономом-любителем из Дании Э.И.Бран с помощью ручной раскраски: на шаре диаметром 20 см можно видеть множество каналов. На глобусах Марса, основанных на результатах наблюдений американского астронома Ловелла, также применялась ручная раскраска. На шаре диаметром 17 см использованы названия, предложенные Дж.Скиапарелли и Л.Бреннером. Один из последних «докосмических» глобусов Марса, созданный Дж.Россом, был выполнен по наблюдениям Ж.де Вокулёра в 1958 г. во Флагстаффе (США). Диаметр макета составляет уже знакомые нам 30.5 см [6], т.е. детали альбедо Марса показаны на нем в масштабе 1:22 176 000. Как ни странно, на нем нет каналов.

\* Королевское астрономическое общество (Лондон).

\*\* Ареография — раздел планетной астрономии, изучающий и описывающий детали, которые видны на поверхности Марса.





Рис.3. Фрагмент оригинала глобуса Марса (ГАИШ, ПКО «Картография»).

данного макета. В 1991 г. на основе этих оригиналов был выпущен тиражом 10 000 экземпляров глобус Марса диаметром 26 см [5, 14] с названиями на русском языке. В приложенной к нему брошюре [7] указаны физические характеристики планеты, описаны климат, сезонные изменения, детали поверхности и другие особенности.

Оригинальный глобус Марса диаметром 30 см с внутренней подсветкой был выпущен в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэрофотосъемки и картографии. Известны также глобусы планеты, изготовленные в Германии [5] и Венгрии в 2004—2009 гг., а также виртуальные макеты [8].

### Как мы глобус создавали

Наш глобус Марса (рис.4) отличается от других тем, что на нем показаны высотные уровни поверхности планеты с помощью горизонталей и послойной раскраски согласно разработанной цветовой шкале. Подготовлен он на основе гипсо-

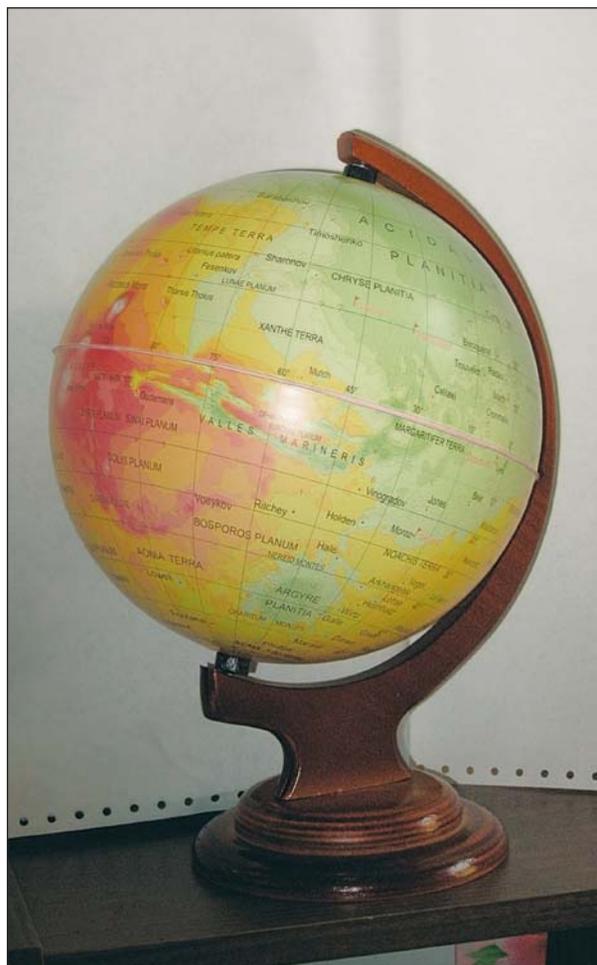


Рис.4. Гипсометрический глобус Марса.

метрической карты Марса масштаба 1:26 000 000, составленной в ГАИШ МГУ при участии кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ [9, 10]. Высоты на карте показаны по результатам альтиметрической съемки аппарата «Марс Глобал Сервейер». Высотные отметки отсчитывались от эквипотенциальной поверхности трехосного эллипсоида вращения [11]. Шкала высот содержит 21 ступень. До высоты 8 км сечение рельефа идет через 1 км, от 8 км до 12 км — через 2 км. Выше 12 км показана одна ступень, поскольку площадь, занятая этими высотами, незначительна.

Западное и восточное полушария гипсометрической карты Марса мы перепроектировали в северное и южное полушария в азимутальной проекции. Эта проекция, специально рассчитанная для глобуса масштаба 1:32 000 000, учитывает закон деформаций, которые происходят при производственном формовании глобуса (выдавливании полусфер) из плоского изображения карты. Превратить исходное картографическое изображение на плоскости в неискаженное изображение

на сфере данным способом можно только в том случае, если искажения длин по меридианам в исходной проекции будут постоянными и равными  $m = 2/\pi$ , а искажения длин по параллелям будут функцией широты вида  $n = (\pi - 2\phi)/(\pi \cos\phi)$  [12]. Этому требованию как раз отвечает азимутальная равнопромежуточная проекция с плоскостью сечения, проходящей через центр Марса. Проекция имеет ортогональную сетку. Параллели изображаются равноотстоящими друг от друга концентрическими окружностями, а меридианы — пучком прямых, исходящих из центра окружностей. Гипсометрический глобус создан по технологии, разработанной в ЦНИИГАиК: используется термопластичный материал, на котором печатается карта двух полушарий — северного и южного. Затем лист с отпечатанным на нем изображением помещают в формовочное устройство и при высокой температуре с помощью равномерно нагретого металлического шаблона выдавливают полушару, по краю которой оставляют узкую полоску для склеивания полушар между собой.

Разумеется, при построении исходной плоской карты учитывалось то обстоятельство, что при формовании полушарий изображение растягивается более чем в полтора раза. Поскольку растяжение идет неравномерно, названия форм рельефа располагались параллельно экватору.

На рис.5 приведены карты северного и южного полушарий, на основе которых создан этот глобус. Картографическое изображение строилось с помощью пакета программ ArcGis10, и окончательно оформлялось в графическом редакторе Coral Draw. В ArcGis на базе данных ранее созданной гипсометрической карты были выполнены разбивка карты на южное и северное полушария и их перепроектирование в азимутальную проекцию, а также подго-

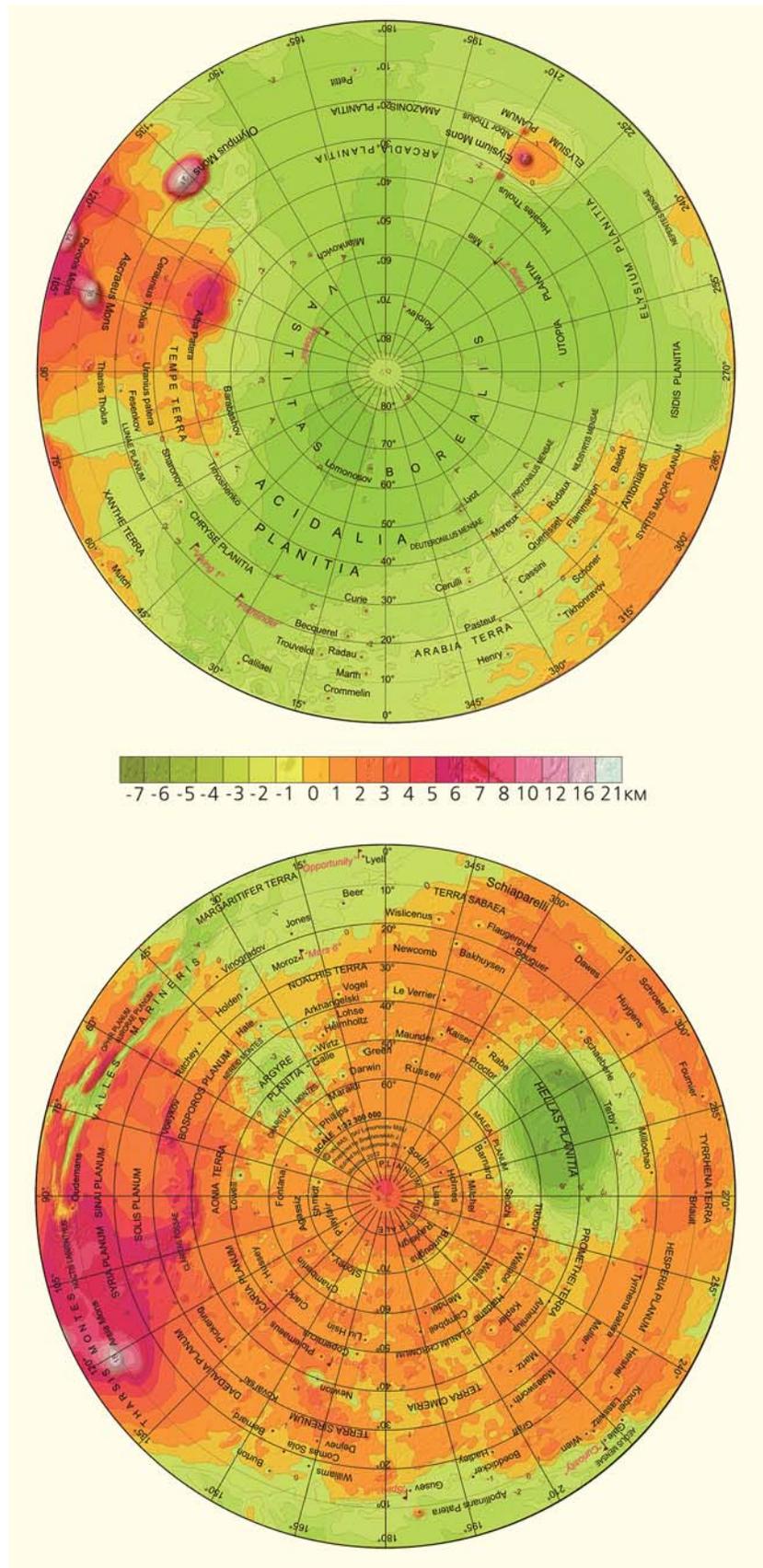


Рис.5. Карта северного (вверху) и южного полушарий для глобуса Марса.

товлена координатная сетка. Затем картографические изображения через формат EPS были перенесены в Coral Draw, где были вставлены подписи форм рельефа, картографической сетки и подготовлен макет для печати в соответствии с требованиями издательства. Оригиналы изображений полушарий дополнены светотеневой «отмывкой» рельефа, позволяющей показывать горы и впадины методом полутени. На глобусе подписаны значения высот самых крупных вулканов, а также места посадок космических аппаратов.

Гипсометрический глобус Марса диаметром 21 см выпущен небольшим тиражом в 2012 г. при финансовой поддержке Института космических исследований РАН. Названия деталей рельефа даны в латинском варианте\*, принятом Международным астрономическим союзом. Планетоцентрическая долгота Марса измеряется от 0 до 360° к западу от нулевого меридиана, проходящего через маленький кратер Эйри-0 диаметром 0.5 км, который лежит на дне кратера Эйри диаметром 56 км. Кстати, этот «марсианский Гринвич» назван в честь английского астронома Дж.Эйри, директора Гринвичской обсерватории и члена-корреспондента Петербургской академии наук [13].

### Марсианская топонимика

Поскольку на картах и глобусах Марса, изданных в конце XIX в., авторы присваивали одним и тем же деталям разные названия, МАС поручил Дж.де Моттони сравнить эти карты и подготовить но-

вую карту планеты, которая в 1958 г. была принята в качестве официальной [5]. В основном была использована система Скиапарелли, включающая древние географические названия и имена из древней мифологии. Космические снимки показали множество различных форм рельефа на поверхности планеты, которым также даны названия, предварительно утвержденные МАС. В табл.1 приведены термины, используемые для обозначения различных форм рельефа Марса, что поможет ориентироваться в названиях.

Поверхность Марса покрыта множеством кратеров, которые встречаются всюду. На равнинах кратеров гораздо меньше. Самую крупную возвышенную область назвали горами Фарсида (так на древних картах обозначался Иран), а огромную кольцевую депрессию на юге — равниной Эллада (Древняя Греция). Сильно кратерированные участки поверхности именуются землями: земля Прометея, земля Ноя и др. Долинам даются имена Красной планеты, придуманные разными народами (например, армяне зовут ее Храт). Меньшие по протяженности долины называют именами земных рек.

Марсианские кратеры отличаются от кратеров Луны и Меркурия меньшей глубиной и заметными следами ветровой и водной эрозии. Крупные кратеры носят имена ученых прошлого, внесших вклад в изучение Марса (этим была продолжена традиция астрономов XIX в.). Например, четыре крупнейших кратера диаметрами более 400 км названы в честь Х.Гюйгенса, Дж.Кассини, Дж.Скиапарелли и Э.Антониади — пионеров телескопических наблюдений Марса. Имя немецкого астронома Г.Мёллера, предложившего вести отсчет долгот

\* <http://planetarynames.wr.usgs.gov>

**Таблица 1**  
**Формы рельефа, встречающиеся на Марсе**

Термин		Характер рельефа
Латинский	Русский	
Catena	Цепочка	Цепочка кратеров
Cavus	Котловина	Крутосклонное понижение неправильной формы
Chaos	Хаос	Характерный район разрушенного рельефа
Chasma	Каньон	Глубокая крутосклонная линейная депрессия
Dorsum	Гряда	Линейная возвышенность неправильной формы
Fossa	Борозда	Длинная узкая неглубокая линейная депрессия
Labyrinthus	Лабиринт	Комплекс пересекающихся долин (каньонов)
Mensa	Столовая гора	Плосковершинная возвышенность с обрывистыми краями
Mons	Гора	Крупная возвышенность рельефа
Patena	Патера	Кратер неправильной формы
Planitia	Равнина	Ровная низменная область
Planum	Плато	Ровная возвышенная область
Rupes	Уступ	Обрывообразная форма
Scopulus	Ступень	Сложный уступ нерегулярной формы
Sulcus	Рытвины	Сложный район субпараллельных борозд
Terra	Земля	Обширная возвышенность с пересеченным рельефом
Tholus	Купол	Отдельная небольшая куполовидная гора или холм
Vallis	Долина	Извилистая ложбина, часто имеет притоки

**Таблица 2**

**Места мягких посадок космических аппаратов на Марсе**

Название аппарата	Широта, °	Долгота, ° з.д.	Дата
Марс-3	44° ю.ш.	156°	2.12.1971
Викинг-1	22.5° с.ш.	48.2°	20.07.1976
Викинг-2	48.2° с.ш.	225.6°	3.09.1976
Пасфайндер	19.1° с.ш.	33.6°	4.07.1997
Спирит	14.6° ю.ш.	184.5°	4.01.2004
Оппортьюнити	1.9° ю.ш.	5.5°	25.01.2004
Феникс	68.2° с.ш.	125.6°	25.05.2008
Кьюриосити	4.5° ю.ш.	222.6°	6.08.2012

**Таблица 3**

**Места неудачных посадок космических аппаратов на Марсе**

Название аппарата	Широта, °	Долгота, ° з.д.	Дата
Марс-2	44.2° ю.ш.	313.2	27.11.1971
Марс-6*	23.9° ю.ш.	19.4	12.03.1974
Марс	—	—	декабрь 1999
Полар Лэндер	—	—	—
Бигль-2	10.6° с.ш.	270	25.12.2003

\* Осуществил измерения при спуске.

на Марсе от четкой темной детали на экваторе планеты, присвоено кратеру, который расположен близ нулевого меридиана. В районе, прилегающем к плато Большой Сирт, названия кратеров связаны с астрономами, которые зарисовывали детали поверхности Марса; по их наблюдениям составлялись карты. Западнее, в районе земли Аравия, кратеры носят имена французских ученых. Среди них есть как астрономы, известные своими визуальными, фотометрическими и поляриметрическими наблюдениями Марса, так и физики, первооткрыватели радиоактивности, — А.Беккерель, П.Кюри и М.Склодовская-Кюри. Там же находится «английский» кратер, названный в честь Э.Резерфорда.

Западнее, в области земли Темпе, кратеры увековечили память советских астрономов, занимавшихся фотометрическими исследованиями Марса: Н.П.Барабашова, Е.Я.Перепелкина, В.Г.Фесенкова и В.В.Шаронова; кратеры в экваториальной области вблизи нулевого меридиана — ученых, выполнявших измерения координат деталей поверхности, определявших период вращения планеты и ее размеры. Имена астрономов, делавших зарисовки полярных шапок Марса, можно обнаружить южнее земли Ноя, в районе, куда доходит зимой южная полярная шапка. Западнее равнины Аргир кратеры названы в память американских астрономов, а восточнее этой равнины — немецких ученых. Названия в честь мореплавателей — первооткрывателей новых земель — сосредоточены к западу от 180-го меридиана; здесь же можно

видеть имена астрономов древности и Средних веков. С именами ученых, высказывавших предположения о возможности жизни на Марсе, связаны названия кратеров к востоку от равнины Эллада. В северной полярной области лежат кратеры, названные в честь М.В.Ломоносова и С.П.Королева. Небольшие кратеры носят имена населенных пунктов Земли. При этом кратерам диаметром от 10 до 100 км дают названия, состоящие из двух-трех слогов, а кратерам меньшего размера — из одного слога [13].

На глобусе также указаны места посадок космических аппаратов на Марсе. В табл.2 приведены координаты этих мест и даты мягкой посадки аппаратов. Как известно, зонд «Марс-2» (СССР), запущенный 19 мая 1971 г., упал в районе равнины Эллада (неудачи суммированы в табл.3), а 2 декабря 1971 г. спускаемый аппарат зонда «Марс-3» совершил первую мягкую посадку к югу от кратера Ньютон. В «Атласе исследований Марса», недавно изданном канадским картографом Ф.Стукке, подробно описаны все исследования Марса, выполненные космическими аппаратами, и показаны фотографии мест посадок спускаемых аппаратов [15].

**0 долинах и о взгорьях**

Большую часть северного полушария Марса занимают сравнительно гладкие равнины: Великая северная, простирающаяся от северной полярной области, переходит в западном полушарии в равнины Аркадия, Амазония, Хриса и Ацидалийскую, а в восточном — в равнины Утопия, Элизий, Исиды. Равнины северного полушария лежат ниже среднего уровня поверхности планеты. Например, Великая северная равнина имеет глубину от -4 до -5 км, как и равнина Утопия и Ацидалийская. Равнины Аркадия, Амазония и Хриса расположены выше них на 1 км. Это впадины на марсианском шаре, подобные океаническим впадинам Земли. Равнины различны по происхождению, возрасту и внешнему виду. В процессе формирования северных равнин важную роль играл подповерхностный лед [16].

На экваторе находится самая крупная возвышенность — горы Фарсида поперечником около 6000 км и высотой 9 км. Над ними высятся три потухших вулкана: горы Аскрийская, Павлина и Арсия, расположенные на одной линии. Сами вулканы имеют высоту 14—18 км. Самый высокий вулкан на Марсе — гора Олимп, расположенная на северо-западной окраине Фарсиды. Поперечник этого вулкана в основании составляет 600 км, а высота от подножья — 21 км. Если мысленно соединить вершину горы Олимп с вершинами гор Аскрийской и Арсия, получится почти равнобедренный треугольник со сторонами в 1800 км и основанием в 1600 км. Горы Фарсида окружены множеством разломов. В приэкваториальной зоне Марса находится гигантская система разломов с обрывистыми

склонами — долины Маринера. Система имеет протяженность более 4000 км с запада на восток, максимальную глубину до 6 км и поперечник в самой широкой части около 700 км. Крутизна склонов некоторых здешних каньонов достигает 20°. На западной окраине долин Маринера находится уникальный комплекс пересекающихся долин, названный лабиринтом Ночи. Часто встречающиеся долины, похожие на высохшие русла, свидетельствуют о том, что в прошлом на поверхности Марса текли мощные водные потоки. Большинство протяженных долин расположено в приэкваториальной зоне, и лишь отдельные из них встречаются в средних широтах [17].

В северном полушарии также имеется вулканическая область, названная плато Элизий, которая возвышается над равниной Элизий на 4 км, а по размерам в три раза меньше, чем Фарсида. На плато расположено три вулкана, самый крупный из них — гора Элизий — имеет поперечник около 150 км и высоту до 14 км. Отдельные небольшие вулканы можно видеть и в других областях Марса. Своеобразный район скопления плосковершинных горок приурочен к переходной границе от возвышенной области к равнинам в северном полушарии. Здесь находятся столовые горы Кидония, Нилосирт, Протонил, Дейтеронил, расположенные на дуге большого круга под углом 35° к экватору; этот круг отделяет равнинное полушарие планеты от материкового. Неслучайно именно в районе столовых гор Кидония были замечены занятые формы рельефа — «пирамиды» и «сфинкс»: этот район характеризуется скоплением хаотичных форм, связанных с глобальным уступом шириной более 100 км. Эта «марсианская Гиза» долго

привлекала внимание космических романтиков, но фотографии, переданные спутником «Марс Глобал Сервейер», показали, что ничего загадочного в этих формах нет: налицо всего лишь случайное сходство с памятниками египетской старины. На глобусе легко заметить, что равнина Эллада — антипод древнего вулкана Альба патера.

В южном полушарии планеты равнин сравнительно мало, и они не столь обширны, как равнины северного полушария. Это равнины Эллада диаметром 2300 км и глубиной до 8 км и Аргир диаметром 800 км и глубиной около 3 км. Их округлая форма указывает на то, что образовались они, скорее всего, в результате падения на Марс крупных тел. Большая часть южного полушария представлена возвышенностями, покрытыми множеством метеоритных кратеров. Средние высоты материковой части Марса составляют 3—4 км. Плато Сирия расположено на высотах от 5 до 6 км, плато Синай — от 3 до 5 км, плато Солнца — от 3 до 4 км, плато Гесперия и Большой Сирт — от 1 до 2 км.

Гипсометрический глобус Марса служит хорошим наглядным пособием для изучения особенностей рельефа поверхности Красной планеты. На нем подписаны горизонталы (в отличие от американского топографического глобуса) и высоты крупных вулканов. Специальным условным знаком в виде флажка показаны места мягких посадок всех космических аппаратов. Глобус был выпущен компанией «Глобусный мир». Возможно, в будущем он появится в школьных кабинетах и университетских аудиториях. Марс — одна из важнейших целей космической экспансии человечества. Это наша «запасная планета», знакомство с «географией» которой поможет ее освоению. ■

## Литература

1. Берлянт А.М. Глобусы. М., 2007.
2. Марс: великое противостояние / Ред.-сост. В.Г.Сурдин. М., 2004.
3. Абалакин В.К. О.В.Струве — Дж.В.Скиапарелли. Переписка 1859—1904. СПб., 2005.
4. Sagan C., Fox P. The canals of Mars: an assessment after Mariner 9 // Icarus. 1975. V.25. P.602—612.
5. Blunck J., Zugner J., Jöns H.-P. Der Rote Planet im Karten Bild: 200 Jahre Marskartographie von Herschel, Beer und Mädler bis zur CD. Gotha, 1993.
6. Roth J.A. Precision globes of Mars // Sky and Telescope. 1964. V.27. P.19.
7. Шевченко В.В., Родионова Ж.Ф. Глобус Марса — еще одна «планета» у вас на столе. М., 1993.
8. Hargitai H., Gede M. Three virtual globes of Mars: topographic, albedo and a historic globe. European Planetary Science Congress Abstracts, 2009. V.4. EPSC2009-47.
9. Илюхина Ю.А., Родионова Ж.Ф. Гипсометрическая карта Марса. 1:26 000 000. М., 2004.
10. Родионова Ж.Ф., Илюхина Ю.А. Новая карта Марса // Земля и Вселенная. 2005. №2. С.38—48.
11. Smith D.E., Zuber M.T., Solomon S.C. et al. The global topography of Mars and implications for surface evolution // Science. 1999. V.284. P.1495—1503.
12. Богинский В.М., Родионова Ж.Ф., Мышецкая Е.Н. Опыт создания глобуса Луны на термопластичном материале // Геодезия и картография. 1990. №6. С.28—34.
13. Бурба Г.Н. Номенклатура деталей рельефа Марса. М., 1981.
14. Глобус Марса 1:19 500, 1:26 300 000. ГАИШ МГУ, ПКО «Картография» ГУГК. 1989, 1993 / Сост. В.И.Стушнова, ред. Ж.Ф.Родионова, науч. рук. В.В.Шевченко.
15. Stooke P.J. The international atlas of Mars exploration. The first five decades: 1953—2003. N.Y., 2012.
16. Ксанфомалити Л.В. Парад планет. М., 1997.
17. Кузьмин Р.О. Криолитосфера Марса. М., 1983.

# Соленосное чудо планеты



*Это наиболее поражающий провал в земной коре, выполненный самым мощным слоем высококонцентрированных рассолов.*

Виллис Бейли

Галина Александровна Беленицкая подготовила для нас цикл из трех статей под общим названием «Мертвое море: соли, рассолы, мифы». Автор попыталась взглянуть на некоторые необычные, хотя в своем большинстве широко известные особенности Мертвого моря, на загадки его происхождения, таинственные проявления и всплески жизни его недр глазами геолога, долгие годы занимавшегося проблемами солей и соляных парагенезов. Общая цель статей — обсудить эти особенности и связанные с ними легенды и мифы, используя уже раскрытые закономерности строения и формирования «соляного сообщества», своеобразия его химических, кинетических и морфологических природных проявлений, а также предложить свое видение их генетической природы, возможных причин и условий образования.

Первая статья посвящена вопросам геологического строения, флюидодинамики грабеновой структуры Мертвого моря, описанию этого удивительного рассольного водоема; вторая — проблемам генезиса и истории развития солей, диапиров и рассолов; третья — разнообразным современным и бывшим проявлениям активной жизни рассольно-соляных недр Мертвого моря, их воздействию на геологическую среду и отражению в мифах.

## Г.А. Беленицкая

С о ли Земли... Уже само сочетание этих слов будоражит воображение. И не зря. Природные соли, несомненно, достойны и внимания, и уважения, и самого серьезного исследования. Именно потому и не счесть пословиц, поговорок, легенд, загадок. В том числе и неразгаданных.

Мир природных солей разнообразен. Это и собственно соли — каменная (галит, NaCl) и тесно ассоциирующие с ней калийно-магниевые, и их спутники — бром, бор, сера самородная, высококонцентрированные рассолы (вплоть до сверхкреп-



**Галина Александровна Беленицкая**, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологического института им.А.П.Карпинского (Санкт-Петербург). Область научных интересов — геология осадочных бассейнов и соляных формаций; флюидно-осадочные процессы и их роль в формировании осадочных пород и руд.

ких — >500—600 г/л), а также углеводородные газы, нефти, конденсаты, сероводород. Все эти столь несхожие геологические образования, локализуясь вокруг солей, составляют природную семью — галофильное (ἅλς — соль, φίλος — люблю) сообщество. Замечательные

особенности его членов — высокая химическая активность и подвижность, а потому химическая неравновесность и реологическая неустойчивость, резко возрастающие при тектоно-термальной активности недр. Члены этого сообщества — важнейшие участники и катализаторы многих химических, физических и кинетических взаимодействий геофлюидных систем земной коры, движущая сила их восходящих разгрузок. Итог последних — гигантские соляные столбы-диапиры и протяженные стены, нередко воздымающиеся на многие километры; грандиозные подводные и подземные аллохтонные (перенесенные) покровы и растекающиеся по поверхности Земли соляные глетчеры; трещинные интрузии, а также мощные восходящие струи, потоки и взрывные выбросы рассольно-соляных масс, углеводородных газов, нефтей, сероводорода и их смесей [1].

Недра нашей планеты, да и ее поверхность, чрезвычайно богаты солями и рассолами. Осадочные тела с «начинкой» из мощных соляных толщ широко распространены в пределах всех континентов, морей, океанических окраин. Отсутствуют они только на абиссальных пространствах океанов и лишь иногда внедряются в их приконтинентальные окраины.

Особенно масштабно и многообразно соли, а вместе с ними и все их спутники, распространены в гигантском Средиземноморском соляном суперпоясе, контролируемом двумя молодыми неогеодинамическими трансконтинентальными поясами — субширотным Средиземноморско-Альпийским коллизионным и субмеридиональным Афро-Аравийским внутри-межконтинентально-рифтовым. В их пределах (максимально в области пересечения) сосредоточены солянокупольные бассейны-гиганты (Средиземноморские, Персидского залива, Суэцко-Красноморский) и ряд более мелких (Мертвого моря, Пальмирский, Данакильский и др.). Вместе они (кроме Западно-Средиземноморского) образуют своеобразное Циркумаравийское соляное кольцо, связанное с окраинами малой Аравийской плиты (рис. 1).

Соленосный бассейн грабена Мертвого моря, которому и посвящено данное сообщение, составляет лишь небольшой по площади участок этого кольца. Большая часть поверхности бассейна погружена под рассолы Мертвого моря (озера), уровень которого находится на максимальных для открытых водоемов глубинах — более чем на 400 м ниже ур.м. Будучи по площади самым маленьким солянокупольным бассейном мира, он тем не менее представляет собой весьма мощный рассольно-соляной узел, и его по праву можно отнести к одному из наиболее интересных и интригующих объектов, в котором сосредоточено множество загадок, легенд и тайн — научных, культурных, житейских, библейских. Неслучайно это «соленосное чудо» вошло в число 14 финалистов международного

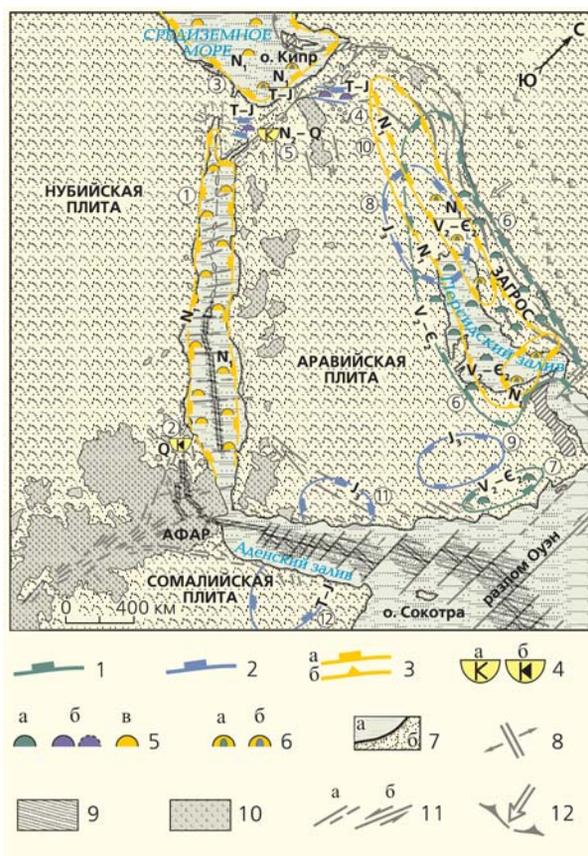


Рис.1. Соленосные осадочные бассейны Циркумаравийского соленосного кольца. Составлено Беленицкой, структурно-тектоническая основа дана по Р.Колману [2]. Цифры в кружках — соленосные бассейны: 1 — Красноморский ( $N_1$ ), 2 — Данакильский ( $Q$ ), 3 — Восточно-Средиземноморский ( $N_1, T_3-J_1$ ), 4 — Северо-Синайско-Пальмирский ( $T_3, J_3?$ ), 5 — Мертвого моря ( $N_2-Q$ ), 6 — Месопотамский ( $V_2-E_2$ ), 7 — Восточно-Аравийский ( $V_2-E_2$ ), 8 — Месопотамский ( $J_3$ ), 9 — Восточно-Аравийский ( $J_3$ ), 10 — Предзагорский ( $N_1$ ), 11 — Сабатайн ( $J_3$ ), 12 — Сомали-Эфиопский ( $T-J$ ). 1—3 — границы распространения галогенных формаций (длинный штрих — обобщающий контур, короткий штрих — формации, перекрытые более молодыми соленосными отложениями, или предполагаемые); 1 — венд-кембрийских, 2 — триасово-юрских и верхнеюрских, 3 — миоценовых (а — галититовых, б — сульфатно-кальциевых); 4 — соленосные бассейны: а — Мертвого моря, хлоридно-калиевого типа ( $N_2-Q$ ), б — Данакильский, сульфатно-калиевого типа ( $Q$ ); 5, 6 — области распространения солей, осложненных солянокупольной тектоникой, штрихом показано вероятное распространение (5) и при сочетании в разрезе разновозрастных солей с образованием двусоляных диапиров (6); 7 — современные акватории (а) и суша (б); 8 — современные активные спрединговые центры; 9 — районы новообразованной океанической коры; 10 — поля вулканических пород; 11 — крупные нарушения (а) и направления смещений (б); 12 — крупные надвиги; 13 — складчатый пояс Загроса; 14 — позднегеретичные известково-щелочные вулканические породы; 15 — дайковые пояса; 16 — офиолиты.

Интернет-голосования при выборе семи чудес природы\*.

В проблеме происхождения рассолов и солей Мертвого моря можно обозначить два аспекта: генезис знаменитых поверхностных рассолов самого моря-озера, заполняющих современную «чашу», и происхождение мощных соляных масс, vyplняющих грабен и образующих саму чашу — ее дно и борта. Хотя все это в разной степени освещено в геологической литературе, многие вопросы остаются нерешенными или спорными и допускают, как я постараюсь показать, совсем иные интерпретации.

\* nauka21vek.ru, 23.11.2010.

## Геология грабена Мертвого моря

**Структурно-тектоническая ситуация.** Тектоническая природа и происхождение глубочайшей соленосной грабеновой структуры Мертвого моря и его глубоководной рассолоносной впадины долгие годы составляли суть «проблемы Мертвого моря» [3]. И хотя сейчас решение многих вопросов в целом как будто найдено, интерес к проблеме не ослабевает (рис.2).

Заложение, развитие и выполнение грабеновой структуры моря связано с взаимодействием двух крупнейших структурно-тектонических зон, на пересечении которых она находится (рис.3). Одна из зон, Левантская (есть и другие наимено-

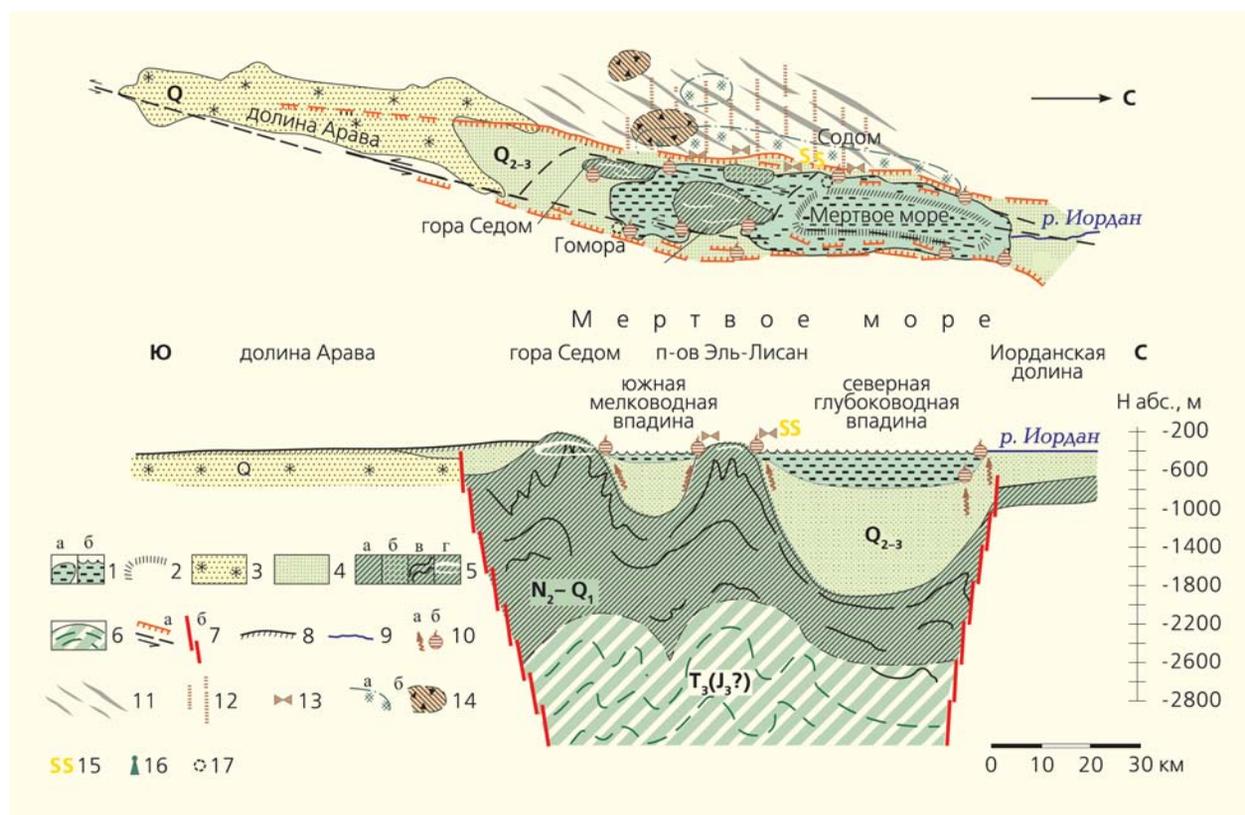


Рис.2. Схематические план (вверху) и продольный разрез соленосного бассейна Мертвого моря. Составлено и моделировано Беленицкой [4—9]. 1 — рассолы Мертвого моря; 2 — контуры глубоководной впадины Мертвого моря (на плане); 3 — аллювиальные терригенные красноцветные отложения (Q); 4 — озерные карбонатные и терригенные отложения с подчиненным количеством гипсов и каменной соли свиты Амора и Лисан ( $Q_{2-3}$ ); 5 — каменная соль и гипсы с подчиненным количеством терригенных и карбонатных пород, свита Седом ( $N_2-Q_1$ ): а, б — на плане (б — по геофизическим данным), в, г — на разрезе (г — кепрок с интенсивным карстом); 6 — аллохтонная каменная соль  $T_3(J_3?)$  (вероятное распространение, на разрезе); 7 — крупные тектонические нарушения: а — на плане, б — на разрезе; 8 — поверхность Земли (на разрезе); 9 — р.Иордан; 10 — восходящие потоки горячих рассолов с углеводородами и сероводородом (а) и очаги их разгрузки (б); 11 — основные структурные направления Северо-Синайской складчатой зоны, срезанные разломом, ограничивающим грабен Мертвого моря; 12 — область, перспективная на скопления углеводородов в отложениях Северо-Синайской зоны; 13 — проявления нефтяных битумов («квасачивания», смоляные ямы, древние разработки и др.); 14 — области распространения в западном обрамлении грабена Мертвого моря [7, 9]: а — плиоплейстоценовой наложенной галофильной минерализации, б — плиоценового комплекса измененных грязевулканических брекчий (формации Хатрурим); 15 — древние разработки серы самородной; 16 — соляной столб «Жена Лота» (одно из расположений, приводимых в Путеводителях по Израилу); 17 — предполагаемое положение разрушенных городов Содом и Гоморра [6].

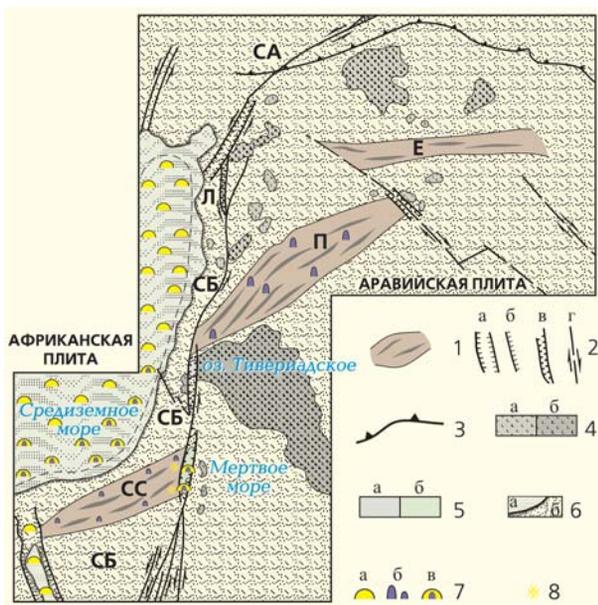


Рис.3. Соленосные бассейны Левантского региона. Составила Беленицкая. Неогеодинамическая обстановка по [10—12], с дополнениями. СБ — Синайский (Палестинский) блок. 1 — внутриплатформенные палеорифтогенные складчатые зоны (П — Пальмирская, СС — Северо-Синайская, Е — Евфратская); 2 — позднекайнозойские зоны нарушений: а — рифты (С — Суэцкий грабен), б — сбросы, в — сдвиго-раздвиговые зоны (Л — Левантская, СА — Северо-Анатолийская), г — сдвиги; 3 — фронт альпийского надвига; 4 — базальты: а — неоген-четвертичные, б — то же, с проявлениями голоценовых; 5 — озера: а — пресные, б — рассольные; б — морские акватории (а) и суша (б); 7 — области распространения солей, осложненных солянокупольной тектоникой (штриховой контур — ориентировочная граница): а — миоценовых (в Мертвом море — верхнеплиоценовых), б — триасово-юрских (мелкий значок — предполагаемых), в — вероятного сочетания разновозрастных солей с образованием двусольных диапиров; 8 — области интенсивного проявления наложенной галофильной минерализации (жилы галита, гипса, доломитизация и др.) [7].

вания: Левантская, Сирийско-Африканская, Мертвого моря и др.) субмеридиональная — сдвиговая, — представляет собой северный отрезок молодой трансконтинентальной Афро-Аравийской рифтовой системы. Вторая, Северо-Синайско-Пальмирская общего северо-восточного простирания — внутриплитная, палеорифтогенная (авлакогенная), складчатая, — ныне состоит из двух основных ветвей (разделенных Левантским сдвигом): юго-западной — Северо-Синайской, и северо-восточной — Пальмирской, которая смещена более чем на 100 км к северу относительно первой.

Грабен Мертвого моря (элемент Левантской зоны) — классический сдвиговой бассейн [5], от-

вечающий глубокой (8—10 км) ромбовидной щелевидной структуре сдвиго-раздвигового типа длиной до 200 км и шириной до 10—15 км. Активные дискретные смещения вдоль Левантской зоны, начавшись в олигоцене (или ранее), резко усилились в плио-плейстоцене (при переходе к фазе спрединга в Красноморской рифтовой зоне) и осуществляются до сих пор. Щель Мертвого моря возникла в позднем плиоцене в месте «разрезания» Левантским сдвигом Северо-Синайско-Пальмирской авлакогенной зоны, непосредственно в срезе ее юго-западной ветви, которая таким образом по существу «утыкается» в саму щель. Северо-восточная же Пальмирская ветвь ныне «утыкается» в другой участок Левантского сдвига, на котором преобладают сжимающие напряжения. Роль авлакогенной зоны в истории солей Мертвого моря представляется нам чрезвычайно важной, во многом ключевой (хотя до настоящего времени не расшифрованной). В пределах ее Пальмирской ветви хорошо известны мощные толщи солей верхнетриасового (возможно, верхнеюрского) возраста [12, 13], а многие геологические факты говорят о том, что соленосные комплексы того же возраста имеют (или имели в доплиоценовое время) непосредственное продолжение и в Северо-Синайской ветви, срезаемой грабеном Мертвого моря.

Западный борт грабена слагают осадочные комплексы Северо-Синайской зоны — меловые и эоценовые, подстилаемые юрскими и триасовыми; восточный — преимущественно докембрийские Аравийской плиты [14]. Восточное тектоническое ограничение интерпретируется как древняя (возможно, докембрийская шовная зона) [15].

**Соляные недра.** Грабен выполняют осадочные отложения мощностью до 8—10 км. Нижние части разреза не изучены, а верхние слагает серия плиоцен-четвертичных соленосных отложений мощностью не менее 4—5 км [4, 15—17]. В ее составе можно выделить три толщи. Нижняя представлена мощной (более 3—4 км) соленосной формацией — свитой Седом ( $N_2-Q_1$ ). Она сложена преимущественно каменной солью с подчиненным количеством гипсов, ангидритов, карбонатных и глинистых пород. В куполе Эль-Лисан, в интервале 541—596 м, вскрыты пласты калийных (сильвин-карналитовых) солей с содержанием  $K_2O$  21.7—23.2% [18]. Средняя толща мощностью 500—1000 м образована озерными карбонатными и терригенными отложениями ( $Q_{2-3}$ ), с неравномерным содержанием ангидритов, гипсов, каменной соли (свиты Амора, Лисан и перекрывающие осадки). Верхние хемогенные осадки ( $Q_4$ , 12—15 тыс. лет) мощностью от нескольких до 70 м представлены глинистыми отложениями, которые перемежаются с пластами и линзообразными раздувами арагонита, гипса, галита. Они распространены лишь в акватории Мертвого моря. За ее пределами в грабеновой структуре развиты в основном аллювиальные тер-

ригенные отложения с подчиненным количеством озерных и лагунных осадков.

Значительную часть объема грабеновой структуры занимают соли свиты Седом. Слагая дно и борта рассолоносной чаши, они выходят на поверхность в виде двух куполов — горы Седом (Маунт Сдом) и п-ова Эль-Лисан. Первый из них, возвышаясь на 200—220 м над современным уровнем Мертвого моря, на глубине образует вытянутое стеноподобное соляное тело (длиной около 10 км, шириной 1—2 км, высотой более 3—4 км) с крутыми западным и восточным склонами, прижатое к западному ступенчатому тектоническому ограничению грабена. Второй более крупный по площади (16×9 км) Эль-Лисан приподнят над окружающей поверхностью лишь на несколько метров и покрыт тонким слоем озерных осадков. Купола разделены палеодепрессией, выполненной средне-верхнеплейстоценовыми отложениями, неровная поверхность которых, в свою очередь, перекрыта маломощными голоценовыми осадками и толщей рассолов. Вдоль западного борта впадины геофизическими методами прослежено еще одно (закрытое) солянокупольное тело — Арват Седом. На глубине купола, вероятно, соединяются в единый соляной массив. В южной части грабена он прослеживается не менее чем на 40 км при ширине до 10 км.

Таким образом, в грабене Мертвого моря на очень ограниченной площади (около 1.5—2.0 тыс. км<sup>2</sup>, что на порядок меньше, например, Онежского озера) заключено мощное солянокупольное тело, которое осложняют поднятия и прогибы второго порядка.

Нижние части разреза изучены слабо. Скважина, достигнув отметки 3672 м, так и не вышла из солей. Судя по материалам, приводимым в публикациях, соляные массы скорее всего распространены и в значительно более глубоких частях грабена.

В целом же грабен Мертвого моря представляет собой одну из наиболее соленасыщенных структур в мире. Общая масса заключенных в нем солей оценивается в  $\sim 10^{13}$  т. Интересно, что в одном из его наиболее крупных поднятий — диапире Седом (площадью  $\sim 15$  км<sup>2</sup>) до глубин 3—3.5 км заключено примерно  $(3-5) \cdot 10^{11}$  т соли, что составляет всего несколько процентов от общей массы солей грабена, при этом выше окружающей равнины расположено менее 1% солей самого диапира [4, 17]. И все же по общему количеству солей грабен Мертвого моря безнадежно отстает от многих солянокупольных бассейнов-гигантов и супергигантов [1], что естественно при его ограниченной площади. А вот по насыщенности солями он явно лидирует.

**Напряженность недр и способы ее разрядки.** Важнейшая особенность структуры Мертвого моря, как и всего Левантского региона, — высокая и разнообразная неогеодинамическая активность: тектоническая, вулканическая, сейсмичес-

кая, флюидодинамическая и др. Для неоген-четвертичной эпохи в целом, и для голоценового, и для исторического времени существует множество геологических свидетельств такой активности [3, 8, 10, 11, 14]. Они разнообразны: это сам «провальный» характер грабена; поля четвертичных вулканитов, широко распространенные вдоль его восточного обрамления (хотя голоценовые и современные проявления «настоящего» вулканизма, связанного с магматизмом, непосредственно в ареале грабена неизвестны); многочисленные следствия голоценовой сейсмичности; свежие разрывные и сдвиговые нарушения; контрастные формы рельефа и др. Они убедительно говорят о высокой геодинамической активности в течение всего этого времени.

Многочисленные свидетельства разрядки флюидодинамической напряженности — интенсивные восходящие разгрузки разнообразных подвижных компонентов (солей, нефтей, газов, рассолов). Одно из наиболее ярких проявлений разгрузки — «осадочный» вулканизм: грязевой, газовый, соляной, рассольный, смешанный. Грязевой вулканизм был чрезвычайно широко распространен в позднеплиоценовое время, особенно в Северо-Синайской зоне, в том числе непосредственно вблизи западного и юго-западного обрамлений Мертвого моря (см. рис.3), где сформировал мощные покровные комплексы известной «формации Хатрурим» [7—9]. Интенсивные голоценовые выходы углеводородов запечатлены в виде многочисленных скоплений асфальта вокруг Мертвого моря (возможно, фрагментов сплошных покровов). Выбросы углеводородных газов неоднократно наблюдались и в наши дни непосредственно в грабене. Зафиксированы они и при бурении мелких скважин, в том числе у самой горы Седом [7, 8]. Важнейший тип восходящих разгрузок — источники глубинных рассолов, питающие Мертвое море и развитые на его побережьях.

Еще одно следствие и косвенное свидетельство флюидодинамической активности — дискретный рост соляных поднятий, обусловленный реологической неустойчивостью в недрах легких и пластичных соляных масс. Так, рост купола Седом, фиксированный ступенчатыми террасами, уступами, карстовыми и другими образованиями, за последние 10 тыс. лет составил примерно 100 м (в том числе поднятия на 70 м произошли сравнительно недавно) [15]. Неравномерный рост соляных куполов продолжается и ныне. Видимо, отражением сеймотектонической и флюидодинамической напряженности недр служат и разнонаправленные колебания уровня Мертвого моря.

Все вместе позволяет сопоставить структуру Мертвого моря с глубочайшим палеокотлованом, заполненным соляными массами, рассолами, возможно углеводородами, которые находятся в условиях флюидодинамической напряженности, повышенных температур и давлений и представ-

ляют собой геологически неустойчивую, а возможно и взрывоопасную систему.

### Уникальное Мертвое море

*Тяжелые воды мертвы и темны.  
Насыщены солью и зноя полны.  
Но чудо живет в этой мертвой судьбе.  
Несет оно трепеты жизни в себе*  
Илья Меерсон

**Соленосное чудо.** Этот образ обычно подразумевает собственно Мертвое море — рассольный водоем, необычный по многим показателям. И хотя в действительности он — лишь верхняя видимая часть значительно более крупного соленосного объекта, понятие «чуда» все же отождествляется именно с ним. И это во многом справедливо. Современное Мертвое море представляет собой заполненный рассолами глубокий бессточный озерный водоем [3, 14] — самый низкий участок глубочайшей на Земле депрессии. По данным на 2011 г., поверхность озера и его побережий находится на отметке -425.5 м, а дно — под слоем рассолов мощностью до 378 м, т.е. на 750—800 м ниже ур. м. Рассольное озеро располагается в грабеновой впадине площадью около 2.0 тыс. км<sup>2</sup> (шириной до 20 км и протяженностью ~200 км), ограниченной ступенчатыми разломами амплитудой более 4—6 км. Озеро занимает значительную часть этой впадины. Его площадь еще в середине XX в. составляла около 1000 км<sup>2</sup> (длина около 70 км, ширина до 14—18 км). До недавнего времени оно было лишь частично разделено выступом п-ова Эль-Лисан на две неравные части: северную (более 80% площади, глубоководную, до 300—378 м) и южную мелководную (до 5 м). За последние десятилетия в связи с паде-

нием уровня рассолов площадь поверхности озера сократилась почти на треть (в 2007 г. она оценивалась в 650 км<sup>2</sup> [19]). Северный бассейн отделился от южного, глубина которого уменьшилась до 2—3 м.

С севера и юга к озеру примыкают прибрежные внутриграбеновые равнины. Западные и восточные берега крутые, скалистые. Высота Палестинского и Трансиорданского плато, обрамляющих озеро с этих сторон, достигает 790 м над ур. м. [3, 14]. На расстоянии всего 10—12 км перепад высот от бортов до поверхности рассолов составляет около 1200 м, до дна озера — более 1500 м, а до погребенного под осадками дна грабена — 8—10 км (рис. 4).

Впадина, занятая рассолами, представляет собой надсолевую депрессию, которая осложняет поверхность соляного массива, заполняющего грабен.

Рассолы Мертвого моря знамениты высочайшей концентрацией солей, их плотностью и своеобразием состава (табл.). Соленые воды «самого низкого в мире озера дрожат в нестерпимом зное»\*. Их соленость (до 330—336 г/л в глубоких слоях) почти в 10 раз больше солености океанических вод (36 г/л), достигая, а порой и превышая концентрацию насыщенных по NaCl рассолов (320—330 г/л [20]). Ныне Мертвое море — самый соленый в мире озерный водоем столь уникальной глубины.

Общий объем хлоридных Na-Mg-Ca-типа рассолов в 60—80-х годах XX в. оценивался в ~140—160 млрд м<sup>3</sup>, а количество заключенных в них солей — 50·10<sup>9</sup> т. В их составе из анионов преоблада-

\* Мертвое море // Бакстер Дж., Кларксон П., Крюис Э., Риффенбург Б. Чудеса природы / Пер. А.Можаяева. М., 1996. (Серия «Атлас чудес света»).

**Таблица**  
**Состав рассолов на разных глубинах Мертвого моря**

Компоненты	Кондиции микроэлементов	Океанская вода	Мертвое море					
			среднее	поверхностные воды	глубина, м			
					35	45	100	310
ΣМ, г/л		36.0	315.04	273.41	296.41	314.36	332.45	336.15
Na, г/л		11.03	34.94	33.50	37.32	37.05	38.18	38.60
K	0.35—1	0.40	<b>7.56</b>	<b>6.30</b>	<b>7.27</b>	<b>8.19</b>	<b>8.52</b>	<b>8.54</b>
Ca		0.42	15.80	13.00	13.57	14.55	15.81	16.08
Mg	1—5	1.33	<b>41.96</b>	<b>34.50</b>	<b>37.68</b>	<b>41.08</b>	<b>44.35</b>	<b>44.54</b>
Cl		19.83	208.02	180.80	195.20	207.74	219.55	221.95
SO <sub>4</sub>		2.77	0.54	0.90	0.48	0.49	0.37	0.71
HCO <sub>3</sub>		0.14	0.24	0.25	—	—	—	—
Br	0.25—0.50	0.066	<b>5.40</b>	<b>4.10</b>	<b>4.64</b>	<b>5.01</b>	<b>5.39</b>	<b>5.45</b>
Sr	0.30	0.0139	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25
Li, мг/л	10—20	0.2	<b>22</b>	—	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>25</b>
Rb	3	0.12	<b>60</b>	<b>60</b>	—	—	—	<b>80</b>
Cl/Br		292.0	35.1	~45	~42	~41	41	~41

ΣМ — суммарная минерализация. Полу жирным выделены промышленные концентрации (выше кондиционных) микрокомпонентов; прочерк — нет данных. Составлено по [15, 17, 20—22].

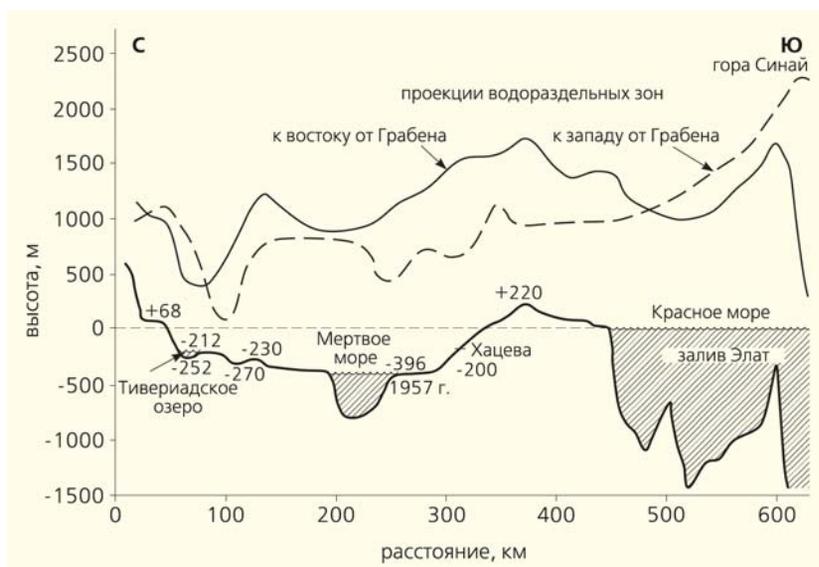


Рис.4. Продольный (меридиональный) гипсографический профиль вдоль оси грабена Мертвого моря и проекции гипсометрических профилей его бортовых зон [17].

ет  $Cl^-$  (194.4—221.9 г/л), из катионов —  $Mg^{2+}$  (37,0—44,5 г/л) и  $Na^+$  (36.5—38.6 г/л). Характерны высокие концентрации  $K^+$  (7.3—8.5 г/л),  $Ca^{2+}$  (13.8—16.1 г/л) и  $Br^-$  (до 8.0 г/л). Содержание всех этих компонентов увеличивается с ростом общей минерализации от поверхностных зон к глубинным (рис.5).

Толща рассолов стратифицирована. Четко выделяются два слоя. Для мощного нижнего типичны максимальные значения концентраций большинства макро- и микроэлементов, резко восстановительная обстановка, относительная пространственная однородность состава и сезонная стабиль-

ность температуры. Верхний слой отличается несколько более низкими значениями тех же показателей, окислительной обстановкой, а также заметными вариациями солености и температуры. Правда, в последние десятилетия, судя по публикациям, рассолы северного бассейна перемешиваются, и стратификация сглаживается.

Одна из отличительных особенностей состава рассолов — высочайшие для поверхностных водоемов концентрации  $K$ ,  $Mg$  и особенно  $Br$ . Они более чем на порядок превышают промышленные кондиции (см. табл.). Содержания  $Li$ ,  $Rb$  и  $Sr$  также несколько выше кондиционных. Рассолы Мертвого моря с полным основанием можно отнести к «жидким рудам», а по концентрации брома Мертвое море — «самый бромный» в мире открытый водоем. Показателен и очень низкий (41—42)  $Cl/Br$ -коэффициент, типичный для глубинных высококонцентрированных рассолов.

Возраст рассолов (как и верхнего слоя осадков), по данным изотопного анализа  $C^{14}$  определяется в 12—15 тыс. лет [15, 17].

Поверхностное водное питание Мертвого моря, помимо скудных атмосферных осадков, осуществляют главным образом воды впадающего в него Иордана и 50—55 более мелких, обычно пересыхающих водотоков. Воды Иордана в основном пресные. Их соленость в верхнем течении не превышает 0.05 г/л, в среднем — 0.5 г/л и лишь вблизи Мертвого моря под влиянием восходящих рассольных источников возрастает до 1.3 г/л. Поверхностный сток Иордана в 1960-е годы оценивался в 1.25 млрд  $m^3/год$  [17, 20], в 80-е — в 0.85 млрд  $m^3/год$ , а с 2000-х годов составляет всего 0.1 млрд  $m^3/год$  [23].

В питании Мертвого моря помимо поверхностного принимает участие и подземный сток, в составе которого доминируют высококонцентрированные рассолы (выщелачивания и восходящие глубинные). Их многочисленные источники распространены вдоль берегов (особенно западного) и на дне моря.

Упоминания о Мертвом море привычно сопровождается эпитет «самое»: самое низкое, самое со-

**и состав воды р.Иордана, источников и Тивериадского озера**

р.Иордан, у г.Иерихона	Скважина 1, г.Сдом	Источник Тамил, г.Сдом	Среднее из 3 источников, г.Сдом	Тивериадское озеро
1.310	437.40	386.12	370.57	0.507
0.253	23.10	26.60	24.81	0.131
0.015	<b>30.10</b>	<b>14.90</b>	<b>15.99</b>	0.007
0.080	85.20	40.90	37.24	0.049
0.071	<b>21.10</b>	<b>41.00</b>	<b>41.67</b>	—
0.474	274.80	259.03	247.72	0.283
0.174	следы	следы	0.11	0.034
0.238	следы	0.38	0.13	—
0.004	<b>3.10</b>	<b>3.31</b>	<b>2.90</b>	0.002
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
109.3	88.3	~88.3	85.5	~140

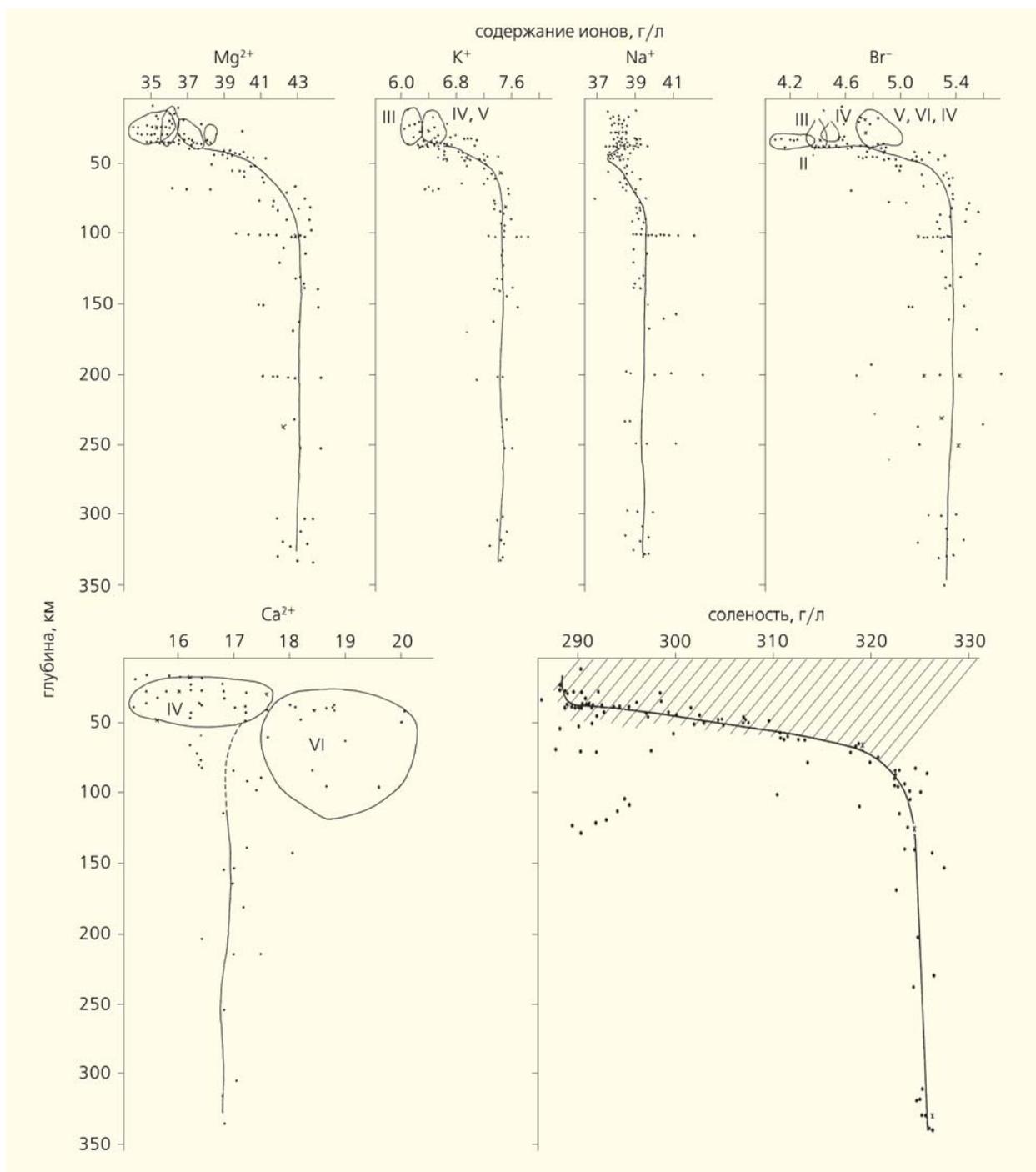


Рис.5. Вертикальное распределение основных ионов и солёности в рассолах Мертвого моря. Заштрихована верхняя зона стратифицированных рассолов. Точки — единичные пробы, кресты — объединённые, контуры I—VI — групповые результаты отдельных рейсов.

ленное, а из солёных — самое глубокое, самое безжизненное, самое целебное и, наконец, самое легендарное. Правда, «соперники» у него все же есть. Из всех перечисленных особенностей по-настоящему уникально его самое низкое положение на поверхности суши. Следующая по абсолютной глубине Данакильская впадина с рассольным озером

Ассале «отстает» от него более чем на 250 м, находясь на отметках «всего» –153 м. А вот площадь современной поверхности Мертвого моря даже среди других рассольных водоемов занимает далеко не первое место. Хотя она все же весьма значительно (на порядок) превышает площади многих рассольных озер, в том числе наддиапировых в При-

каспийской впадине, в большом каталоге крупнейших озер мира (общем для пресноводных и рассольных) Мертвое море — самое маленькое и находится на пределе попадания в список. Даже в середине XX в. по площади (составлявшей около 1 тыс. км<sup>2</sup>) оно было в два-три раза меньше озер Чаны и Поопо, в 3,5 раза меньше Чудского, в 10 раз — Онежского, в 18—20 — Ладожского, в 30 — Байкала и в 400 — Каспийского. Впрочем, и солянокупольный бассейн Мертвого моря один из самых маленьких. Такой вот миниатюрный соляной гигант.

**Что в имени твоём...** Многие из важнейших и уникальных особенностей Мертвого моря и связанные с ним события и легенды нашли отражение в его названиях-эпитетах: Соляное, Асфальтовое, Мертвое, Содомское (море Лота). Для нас важно, что большинство из них имеет ярко выраженную геологическую основу.

*Соляное*, естественно, связано с его знаменитыми рассолами, а также с растущими буквально на глазах прекрасными соляными кристаллами (рис.6). Но не только с ними. Еще и с соляными берегами, горами, столпами, с кусками соли на побережье и др. Царство, где соль везде: и в воде, и на суше, и в воздухе, и под землей. Благодаря экстремальным концентрациям солей рассола Мертвого моря с их высоким удельным весом (они в 1,3 раза тяжелее воды) создают широко известный эффект «невесомости»: способность удерживать лежащих на их поверхности людей. Было бы справедливо назвать соляной и саму грабеновую структуру — своеобразную природную «солонку» планеты.

*Асфальтовое* — другое распространенное название (именно оно значит как основное в Библейской энциклопедии) обязано своим происхождением обилию находящихся здесь самых разных видов скоплений асфальта — «живых» и «мертвых» [24], связанных с прошлыми и современными смоляными ключами, выходами и истечениями нефти. Еще в начале нашей эры крупнейший древнегреческий географ и путешественник Страбон писал: «Озеро полно асфальта. Время от времени асфальт извергается на поверхность из самой глубины с пузырями газа, как будто происходит кипение воды. Поверхность воды, вздуваясь, получает вид холма. Вместе с асфальтом поднимается на поверхность большое количество похожей на дым копоты\*». Многие участки прибрежных долин покрыты



Рис.6. Асфальтовое озеро Пич-Лейк [25; <http://mygeography.ru>].

ямами с черной слизистой смолой, а осадки интенсивно пропитаны асфальтом. Поднимаясь со дна, громадные глыбы, целые острова асфальта плавают на поверхности моря. Большие куски разбросаны и на его берегах. А в окрестностях горы Седом истечения асфальта и сегодня цементируют современное русло водотока [8]. Систематическое описание выходов нефти и битумов, их типов и масштабов приведено Ф.Клаппом [25] — одним из первых исследователей геологии региона. Автор неоднократно подчеркивает отчетливую связь интенсивности истечений с сейсмической активностью. Во время землетрясений асфальт буквально застилает поверхность моря. Издавна здесь асфальт добывался и с поверхности моря, и из копей, вскрывающих более древние излияния.

Говоря об асфальте Мертвого моря, замечу, что это не такая уж и редкость. По масштабу его скопления весьма серьезно уступают (правда, возможно, лишь из-за фрагментарной сохранности) асфальтовым массам знаменитого нефтяного озера Пич-Лейк на о.Тринидад (т.е. тоже асфальтового: «пич» с языка индейцев — асфальт). Это озеро «движущегося дегтя» глубиной до 80 м пополняется за счет интенсивных излияний из недр (рис.6). Широко известны крупные нефтяные озера на Сахалине, Ближнем Востоке, побережьях Мексиканского залива, в Калифорнии, Азербайджане и других нефтегазоносных и соленосных регионах мира, где часто сочетаются с активным грязевым и соляным вулканизмом. Открыты и масштабные подводные асфальтовые излияния.

Наименование *Мертвое* ныне узаконено на всех географических картах (рис.7). Причина

\* Цит. по: *Барашков А.И.* Катастрофы Ветхого Завета. Гибель Содомы и Гоморры // Знак вопроса. 1991. №10. С.25.

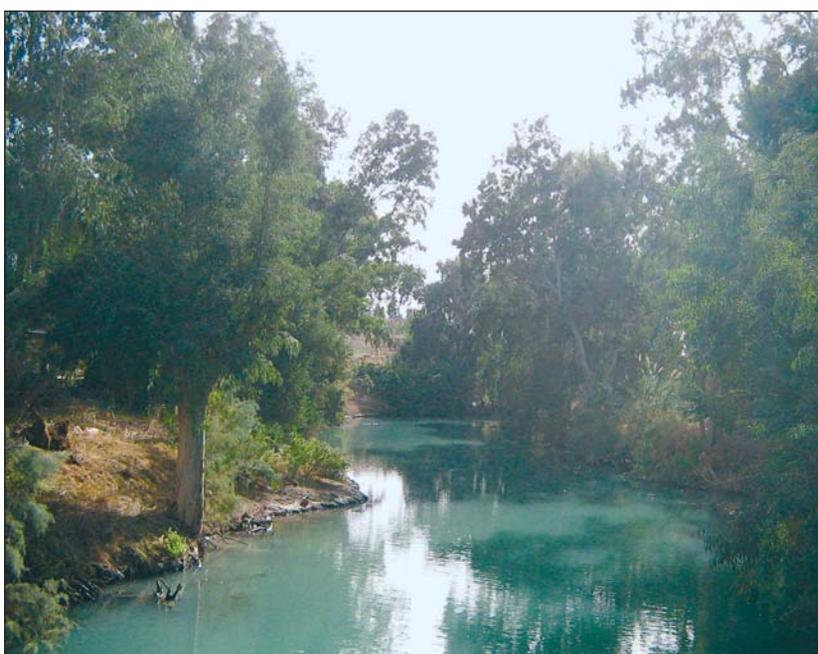
тому — отсутствие в рассолах видимой жизни. Из-за высочайших концентраций солей здесь не живут ни рыбы, ни другие макроорганизмы, нет ни макрофауны, ни макрофлоры. «Почти ни одно живое существо не водится в водах этого моря или на берегах его, и все вокруг него является мрачным, бесплодным и как бы омертвевшим. Из означенного громадного мрачного водохранилища поднимаются ядовитые испарения, убийственно действующие на всякую жизненную силу... На берегах его попадаются нередко выброшенные рыбы и раковины, очевидно занесенные сюда водами Иордана и тотчас же умирающие, лишь только они попадали в соленую воду моря»\*. Ядовитые испарения, источники, запах сероводорода препятствуют заселению даже прибрежных областей. Берега преимущественно пустынные, лишь с редкими оазисами. Отсюда и неизменные эпитеты этого места: странное, мрачное, завораживающее, а то и зловещее.

И все же название «Мертвое» во многом несправедливо (как несправедливо и название «белая смерть» для такого замечательного вещества как соль, без которой по сути нет и жизни). Мертвое море вовсе не безжизненно. Жизнь здесь «кишит». В рассолах установлено несколько видов солелюбивых бактерий и микроводорослей. В поверхностном слое моря на  $1 \text{ м}^3$  воды приходится  $8.9 \times 10^6$  красных галофильных цианобактерий и  $4 \times 10^4$  жгутиковых зеленых водорослей рода *Dunaliella* (красного цвета). В последние годы здесь обнаружено около 70 видов оомицетов и высших микроскопических грибов [23]. Бактериальными сообществами переполнены донные грязи, а цианобактериальные маты выстилают многие участки дна [14]. Разнообразные и высокоэффективные целительные свойства



\* Библейская энциклопедия. М., 1990.

Рис.7. Панорамы Мертвого моря и река Иордан.



Мертвого моря делают его настоящим «источником жизни», одной из наиболее популярных мировых здравниц. Сама соль считается естественным антидепрессантом. Она усиливает аппетит, улучшает настроение, повышает артериальное давление... Рассолы с высокими концентрациями множества целебных компонентов и микроэлементов (правда, нередко превышающими необходимые лечебные, а порой и допустимые нормы), прибрежные и донные осадки черной грязи, термальные и сероводородные источники, действуя совместно, способствуют избавлению от многих болезней. Целебное действие усиливает жаркий сухой климат (50–100 мм осадков в год) и особенно уникальный воздух. Насыщенный солями и бромом (на порядок больше, чем в любом другом месте планеты) и дополнительно «подсушенный» солью (известным активным поглотителем влаги), он обладает сильнейшим успокаивающим терапевтическим эффектом, положительно влияя на нервную систему.

Сочетание лечебных грязей, рассолов, солнца, воздуха (правда, тоже нередко в чрезмерных дозах, на грани отравления; ведь и для самой соли зазор между ее жизненно необходимой и смертельной дозами составляет всего 25–30 г!) оказывается благодатным при лечении почти любых заболеваний. Все это сделало Мертвое море всемирно известным целительным и даже оживляющим местом. «У Мертвого моря — живая судьба!» (И. Меерсон).

Ну а, кроме того, напряженная и высокоинтенсивная внутренняя «жизнь» самих недр, в любой момент способных к разрядке, составляет еще одну важнейшую черту Мертвого моря, противоречащую его названию.

Так что по очень многим и столь разным показателям Мертвое море скорее чрезвычайно «живое» и уж во всяком случае «живительное».

В дополнение к известным эпитетам Мертвое море заслуживает и еще одно: *Серное* — за его многочисленные горячие серные и сероводородные источники, особенно частые на западном берегу (крупнейший из них Зохар Серный, находится к северу от горы Седом); за усеивающие берега крупные куски самородной серы (нередко черной от пропитывающей ее нефти); за древние серные копи; за сероводород в его расколах. Еще Страбон писал, что

в воде Мертвого моря чернели медь, серебро, все блестящие предметы и даже золото. А легендарный «серный огонь» от Господа — «дождь серы и огня», «пролившийся» на грешные города Мертвого моря и запечатленный в знаменитом символе библейской Содомской катастрофы — серно-соляном столпе «Жена Лота»! С ним связано и еще одно название — *море Лота* (иногда — *Содомское*).

Да и питающая Мертвое море река Иордан, при своих весьма

небольших размерах — едва ли не самая известная в мире. Удивительный природный тандем: рассольное Мертвое море и питающая его святая пресная река.

Вот такое многоликое море: соляные диапиры, рассолы, асфальт, сероводород, сера... Еще и весьма своеобразная гамма цветов: белого (соль, гипс, арагонит), черного (грязи, асфальт), ярко-желтого (сера самородная). И все это Мертвое море — сложная многокомпонентная «галофильная аномалия». ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 09-05-11511-с, 10-05-00555-а.**

## Литература

1. Беленицкая Г.А. Природные соляно-нафтидные узлы // Природа. 2013. №1. С.11—23.
2. Колман Р. Красное море: малый океанический бассейн, образованный континентальным растяжением и спредингом морского дна // Докл. XXVII Международн. геолог. конгресса. Т.6. Ч.II. М., 1984. С.58—73.
3. Бейли В. Проблема Мертвого моря (рифтовая, или рамповая долина) / Ред. Н.С.Шатский. Л., 1934.
4. Zak I., Bentor Y.K. Some new data on the salt deposits of the Dead Sea area, Israel // Geol. of saline deposits. Proc. Hanover Symp. Earth sciences. V.7. Hanover, 1968. P.137—144.
5. Обстановки осадконакопления и фации / Ред. Х.Рединг. Т.1—2. М., 1990.
6. Хаин В.Е., Короновский Н.В. Геомифология — новое направление в науке // Природа. 2009. №4. С.9—17.
7. Gilat A. Hidrothermal activity and hidro-explosions as a cause of natural combustion and pyrolysis of bituminouse rocks: the case of Pliocene metamorphism in Israel (Hatrumim formation) // Geol. Surv. Israel. Curr. Res. 1998. V.1. P.96—102.
8. Гилат А. Содом и Гоморра: гидротермальные взрывы и самовозгорание горючих газов, вызванные землетрясением? // Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. М., 2010. С.112—114.
9. Сокол Э.В., Новиков И.С., Вапник Е., Шарыгин В.В. Горение газов грязевых вулканов как причина возникновения высокотемпературных пирометаморфических пород формации Хатрурим (район Мертвого моря) // Докл. АН. 2007. Т.413. №6. С.803—809.
10. Копп М.Л., Леонов Ю.Г., Аджамян Ж. Деформации запада Аравийской плиты как результат сдвиговых перемещений по Левантскому разлому // Геотектоника. 1994. №3. С.52—65.
11. Трифонов В.Г., Караханян А.С. Геодинамика и история цивилизаций / Отв. ред. Ю.Г.Леонов. М., 2004.
12. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Вып.1: Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. М., 1971.
13. Otara S. Diapiric structures in Egypt and Syria // Bull. Amer.Assoc.Petrol.Geol. 1964. V.48. №7. P.1116—1125.
14. Atlas of Israel: cartography, physical geography, human and economic geography, history. Jerusalem, 1970.
15. Bentor Y.K. Salt deposits of the Dead Sea region // The Geological Soc. of America. Spec.Paper. 1968. P.139—156.
16. Tectonics of Sedimentary Basins: From Crustal Structure to Basin Fill // Tectonophysics. 2002. V. 346. №1—2.
17. Neev D., Emery K.O. The Dead Sea depositional processes and environments of evaporates. Jerusalem, 1967.
18. Янишин А.Л., Жарков М.А. Фосфор и калий в природе. Новосибирск, 1986.
19. Shalev E., Lyakhovskiy V., Yechieli Y. Is advective heat transport significant at the Dead Sea basin? // Geofluids. 2007. №7. P.292—300.
20. Bentor Y.K. Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1961. V.25. P.239—260.
21. Зайцев И.К., Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. М., 1972.
22. Анциферов А.С. Ресурсы уникальных хлор-кальциевых рассолов Сибирской платформы и проблемы их освоения // Разведка и охрана недр. 2004. № 8, 9. С.30—32.
23. Long-Term Changes in the Dead Sea. Israel Marine Data Center. 2011.
24. Леворсен А. Геология нефти и газа. М., 1970.
25. Clapp Frederick G. Geology and bitumens of the Dead Sea Area, Palestine and Transjordan // Bull. AAPG. 1936. V.20. Iss.7. P.881—909.

# Долина Москвы-реки и почвы столицы

Т.В.Прокофьева, О.А.Варава

**Р**ечные долины, участвующие в распространении и перемещении живого вещества по поверхности планеты, играют важную роль в ее биосфере. Вдоль рек расселяются и мигрируют многие животные и растения. Хорошо известно также, что река формирует природно-экологические условия расположенного на ней города, влияет на его хозяйство, экономику и зачастую дает ему имя. Долины рек с их уникальными ландшафтами и почвами участвуют в поддержании устойчивого функционирования экосистемы города. Москва-река (вместе с притоками), на которой возник город, обусловила характер и исторические особенности его застройки и до сих пор создает уникальную природно-ландшафтную основу городской среды. Сохранившиеся на территории Москвы долины малых рек обеспечивают ценный резерв для озеленения и саморегуляции городского природного комплекса.

## Освоение пойм и речных долин

С древнейших времен плодородные пойменные почвы широко использовались в сельском хозяйстве. Первобытные племена активно воздействовали на растительность и почвенный покров в окрестностях своих поселений, затронув большей



**Татьяна Вадимовна Прокофьева**, кандидат биологических наук, доцент кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ им.М.В.Ломоносова. Основные научные интересы — генезис, география, классификация и экология почв, в том числе городских.



**Ольга Александровна Варава**, кандидат биологических наук, заведующая сектором экологического мониторинга Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. Область научных интересов — почвоведение, экология, экологическая геохимия.

частью именно земли приречных территорий. Так, поймы и низкие террасы Москвы-реки осваивались в первую очередь и только потом, в XIV—XV вв., началась распашка высоких террас и водораздельных пространств [1].

Использование плодородных пойменных почв диктовалось прежде всего нуждами горожан в продуктах питания. Здесь выращивались овощи и кормовые культуры, а заливные пойменные луга обеспечивали сенокос. Постепенно в ходе освоения человеком древесная и кустарниковая растительность в поймах практически исчезла. Зачастую проводимая на этих территориях мелиорация сопровождалась перемещением огромных почвенных масс, засыпкой понижений для выравнивания поверхности.

С развитием городов реки стали еще и главными дорогами, соединяющими их с внешним миром. В прибрежных посадах и слободах рядом с причалами и затонами возникали торговые районы и площади. Строительство флота и градостроительные реформы, предпринятые Петром I, усилили торгово-промышленное, транс-

портное, а в ряде случаев и военное значение рек. Началось укрепление берегов деревянными сваями и земляными откосами, которые во второй половине XVIII в. сменились гранитными набережными. Позже реки утратили значение главных осей города (в том числе и военно-стратегическое), сохранив лишь транспортное и энергетическое. С началом индустриализации наступил новый этап освоения долин — возросла роль малых водотоков, на которых возникали цепочки текстильных, бумажных и других фабрик [2].

В современном городе антропогенное преобразование ландшафта направлено на градостроение. Регулирование стока рек сократило поступление наносов на поверхность пойм [3], ослабило процессы затопления. В пределах города для увеличения строительных площадей долины малых рек и ручьев часто засыпаются, а реки заключаются в трубы. Они продолжают жить в виде потоков подземных вод, которые сопровождают коллекторы. По-прежнему продолжается разрушительная работа водотоков в засыпанных оврагах и ручьях, вызывающая образование пустот в грунтах или, наоборот, накопление наносов в коллекторах, что уменьшает их диаметр и увеличивает риск аварий [4].

Усиливается техногенное загрязнение и захламление пойменных почв промышленными и бытовыми отходами, тяжелыми металлами и нефтепродуктами. Это связано с поступлением неочищенных сточных вод, сбрасываемых промышленными и коммунальными предприятиями, с возникновением стихийных свалок в понижениях рельефа. Кроме того, глубокие речные долины, пересекающие крупные промышленные центры, способствуют образованию локальных атмосферных потоков, в которых скапливаются техногенные загрязнители, а затем оседают на поверхность почв и вод [5].

### **Современный облик долины**

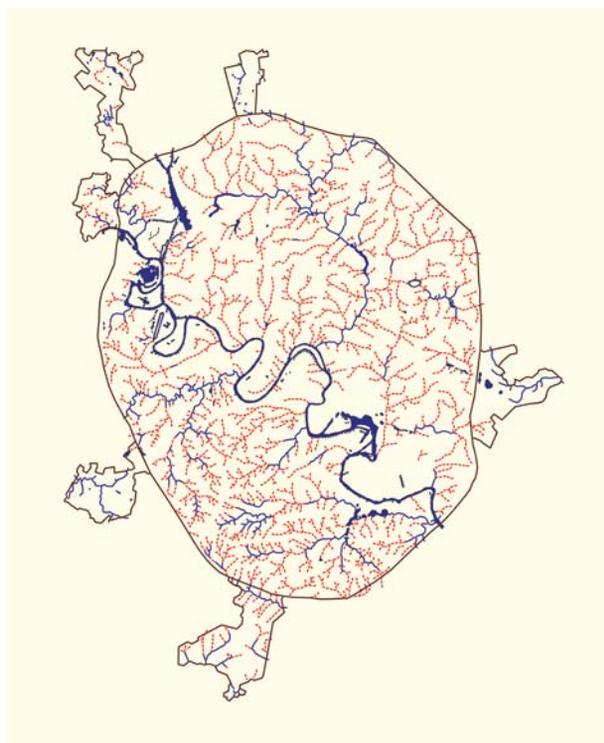
В бассейне Москвы-реки насчитывается более 1500 рек, речек и ручейков. Формирование речной долины, начавшееся еще в карбоне [4], определялось известняковыми породами с повышенной трещиноватостью. Сегодня в пределах долины выделяют три надпойменных и пойменную (трехуровневую) террасы. Самая древняя, высокая и широкая из них — третья надпойменная (ходынская, или боровая). Она сильно расчленена овражной сетью и эродирована, образовавшиеся фрагменты — это главные «холмы» столицы. Ширина второй (мневниковской) значительно меньше. Первая же (серебряноборская), как и третья, фрагментарна. Пойма, площадь которой существенно сокращена антропогенной трансформацией русла и долины, сохранилась в виде участков, вытянутых вдоль реки.

Москва возникла на высоком холме в месте слияния Москвы-реки и ее притоков Яузы и Неглинной [1] и вначале город занимал узкую полосу вдоль русла. Во второй половине XIII и в XIV вв., в период укрепления русского государства, Москва быстро отстроилась и ее территория расширилась до границ современного Кремля и Китай-города. В XV в. город перешагнул за Яузу, а кое-где и за Москву-реку, образовав Заяузье, Занеглименье и Заречье.

Проложенный в 1783—1786 гг. вдоль центральной излучины р.Москвы водоотводный канал во время половодий разгружает основное русло реки. Трасса канала проходит по заболоченной низине, когда-то притеррасному понижению со старичным озером. В конце XIX в. набережную облицевали камнем, а многие малые реки засыпали или убрали в коллекторы. В далеком прошлом берега были на 4—5 м ниже, чем теперь (в некоторых центральных районах города — на 15—20 м). Заболоченный левый берег часто затоплялся наводнениями, и вода в черте города поднималась почти на 9 м. Большие половодья случались в Москве каждые 10 лет, а самое бедственное и разрушительное — в 1908 г. [6].

Сооруженный в 1937 г. 128-километровый канал Москва—Волга существенно изменил гидрологическую сеть города: обводнил обмелевшую и загрязненную Москву-реку, а также Сходню, Яузу и Лихоборку. Гидроузлы в Карамышеве и Переве обеспечили в городе судоходные глубины (3—5 м), при этом урез воды в р.Москве повысился со 115 до 120 м над ур.м. На водосборе ее верхнего участка созданы четыре водохранилища — Можайское, Рузское, Озернинское и Истринское (зарегулированность стока на этом участке около 80%). Ширина Москвы-реки изменяется от 110 до 250 м, глубина от 3 до 8 м. Скорости течения очень низкие (0.1—0.3 м/с). Москва-река в черте города образует несколько излучин, часть которых спрямлена каналами. Сегодня столица ежегодно получает из канала Москва—Волга для водоснабжения 800 млн м<sup>3</sup> воды, для обводнения реки — 1 млрд м<sup>3</sup> [6].

Современная гидрологическая сеть города состоит из основной водной артерии (Москвы-реки), ее главных (Яузы, Сходни) и второстепенных (около 130) притоков. Территории речных долин в целом занимают около 40%, а поймы составляют около 10% от площади города [4]. К настоящему времени более трети рек и ручьев заключены в подземные коллекторы или полностью засыпаны. На значительных отрезках русел сооружены бетонные набережные. В долинах многих рек полностью уничтожены гидро- и овражно-балочная сети, понижения и заболоченные участки, сглажены перегибы террас. В ходе строительства уровень поймы Москвы-реки местами повысился до уровня первой (серебряноборской) террасы [4]. Глубина залегания грунтовых вод в долине Москвы-реки



Речная сеть Москвы: действующие водотоки — синяя сплошная линия, погребенные — красная пунктирная (по: Насимович Ю.А. Сколько рек было и сохранилось в Москве? // Экология и жизнь. 1997а. Весна-лето. С.75—80).

в среднем не превышает 3 м, и лишь на отдельных участках опускается до 5 м. Таким образом, поднятие поверхности поймы за счет подсыпок и прекращение паводкового режима в пределах города искусственно повысили уровень воды в русле и, как следствие, — грунтовых вод.

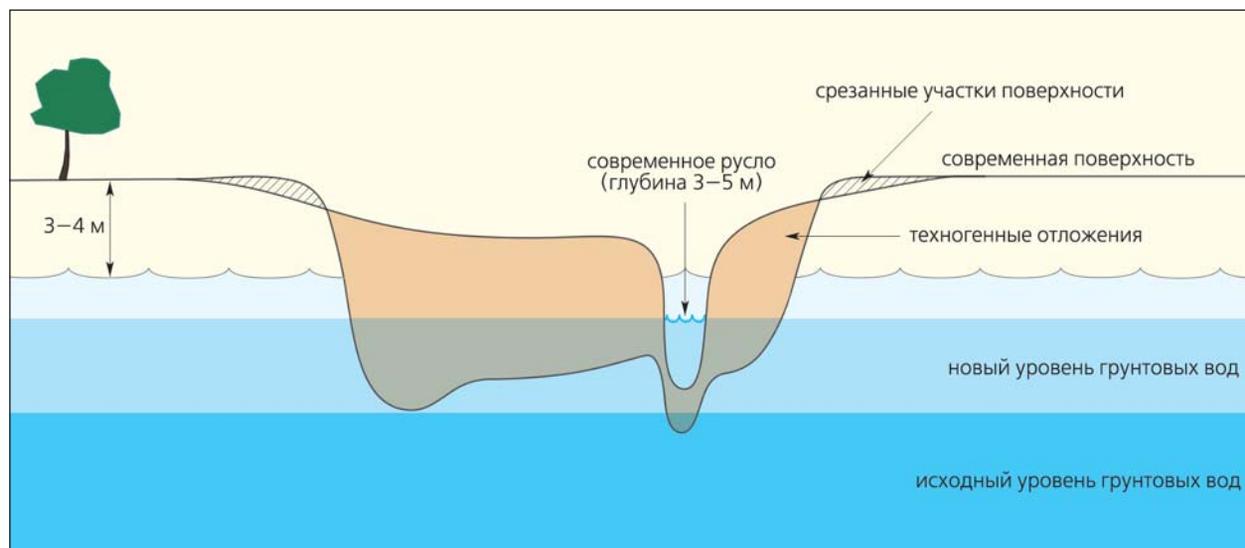
## Природные почвы

Периодическое и длительное затопление пойм привело к формированию специфических пойменных почв [7], которые постепенно «растут» вверх за счет регулярных речных отложений. С аллювием приносится огромная масса, в том числе важных для жизни растений и животных макро- и микроэлементов, так как талые воды смывают с земной поверхности прежде всего плодородные горизонты. Обнажающиеся в бортах оврагов и на крутых склонах породы тоже интенсивно размываются полыми и паводковыми водами.

В геоморфологическом профиле поймы видно, что у самого русла, где скорость потока максимальна, откладывается больше крупного аллювия (песка, гальки, а иногда и крупных камней), уровень поверхности выше, чем на линии сочленения с первой террасой. В целом гранулометрический состав аллювия центральной поймы более тяжелый — пылеватый или суглинистый. На ее стыке с первой незатапливаемой речной террасой откладываются самые тонкие частицы аллювия. Местами в притеррасном понижении долго застаиваются поёмные воды. Здесь сильная увлажненность поддерживается и близким залеганием грунтовых вод.

Почвы прируслового вала (наиболее дренированной части поймы с непродолжительным затоплением) — серогумусовые (дерновые). У них малая мощность гумусового горизонта, легкий гранулометрический состав и непрочная структура. Разные слои речного осадка чередуются с погребенными почвенными гумусовыми горизонтами.

Длительное затопление паводковыми водами способствует формированию серогумусовых глеевых (луговых) почв. Гумусовый слой (30—50 см)



Трансформация долины р. Москва.

отличается зернистой структурой и тяжелым гранулометрическим составом. В нижней части профиля постепенно нарастают признаки переувлажнения. Луговые пойменные почвы по сравнению с другими типами наиболее плодородны. Это обеспечивается устойчивой увлажненностью, удовлетворительной аэрацией и значительным запасом питательных веществ.

Для болотных и лугово-болотных почв при-террасных болот характерны избыточная влажность и плохая аэрация. Поэтому здесь в верхней части почвенного профиля образуется торф, а в нижней появляется глеевый горизонт (слабо структурированная масса сизого цвета).

Надпойменные террасы также сложены древнеаллювиальными часто супесчаными отложениями, на которых формируется осветленный горизонт подзолов и дерново-подзолов. Третья надпойменная терраса р.Москвы сложена песками днепроовско-донского оледенения. Благодаря их богатому минералогическому составу в поверхностных слоях под воздействием биоты происходит интенсивное выветривание и обогащение почв веществами, препятствующими развитию подзольного горизонта. Почвы здесь бурые лесные супесчаные (по современной классификации — ржавоземы) [8].

## Эволюция ландшафта и почв

На территории поселений почвы формируются на культурных слоях — городских техногенных отложениях, образующихся в результате хозяйственной деятельности человека. Городские почвы, как и аллювиальные (пойменные), «подрастают вверх».

Проведенные нами исследования позволили выделить основные направления и этапы трансформации почв долины Москвы-реки от природных к типичным городским — урбаноэмам [9, 10]. Длительность и множество видов антропогенной нагрузки вместе с природными условиями создают там весьма широкое почвенное разнообразие. Исходные аллювиальные почвы в городе сохраняются лишь на территории природных парков, в поймах небольших рек с незарегулированным или частично регулируемым стоком. Это преимущественно серогумусовые и глеевые почвы с характерными профилями, в которых распространены погребенные, часто пахотные горизонты, свидетельствующие об интенсивном сельскохозяйственном использовании в прошлом.

На первом этапе антропогенной трансформации долин в результате сведения лесов, распашки территории и превращения ее в кормовые угодья на поймах и низких террасах лугов и полей воз-

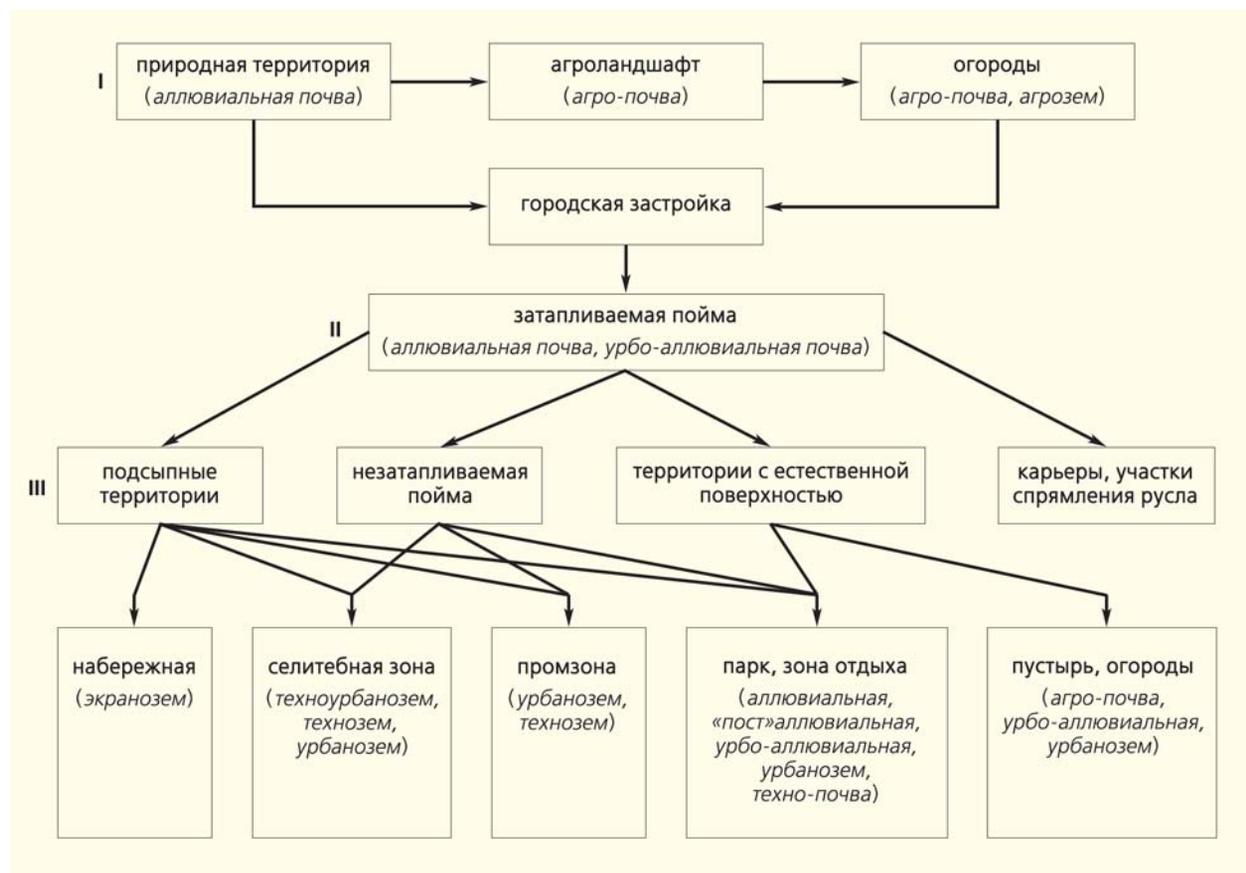
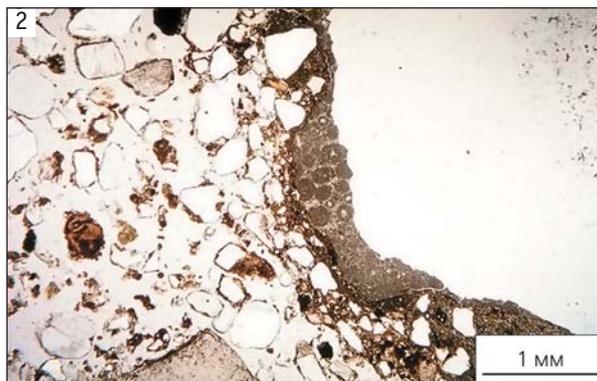
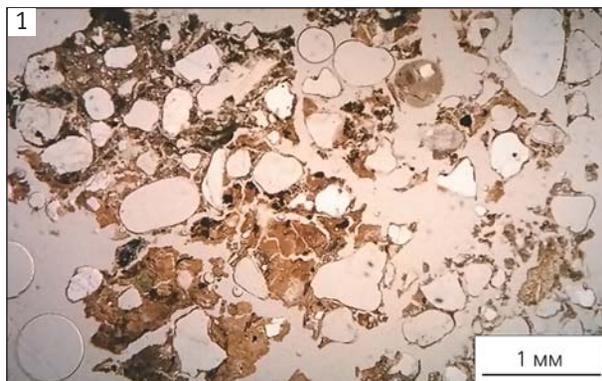


Схема антропогенной трансформации почв.



Урбо-аллювиальные серогумусовые глеевые почвы под микроскопом: карбонатная корка на карбонатно-глинистой пленке (1); сочетающиеся фрагменты тонкодисперсного материала — серого карбонатного и желтовато-охристого глинистого (2).  
Здесь и далее фото авторов

никает агроландшафт. Большие площади природных преобразуются в агропочвы. Это — наиболее продолжительная и масштабная стадия.

Когда поселение расширяется и среда становится урбанизированной, вместо обширных сельскохозяйственных полей в долине появляются небольшие частные огороды, прилегающие к территориям деревень. И сегодня на незастроенных участках пойм в Москве можно найти остатки таких огородов. От природных аллювиальных почв эти участки отличаются мощным (25–40 см) поверхностным темноокрашенным горизонтом с почти ровной нижней границей.

На втором этапе почвенный покров полностью преобразуется и приобретает особые свойства. Река несет аллювий, содержащий антропогенные материалы, пыль и городской мусор поступают на поверхность круглый год. И хотя в результате образуются на первый взгляд природные аллювиальные почвы, они содержат антропогенные включения — бытовой и строительный мусор. Последний, будучи источником карбонатных соединений, меняет свойства почв. Их называют урбо-аллювиальными (например, урбо-аллювиальные серогумусовые, дерновые), чтобы подчеркнуть совместное действие природных и антропогенных факторов в ходе почвообразования.

Почвы низких, но незатопляемых террас уже на этой стадии представлены агроземами и урбаноземами, характерными для городской среды. Часто специфические городские горизонты залегают поверх агропочв.

*Урбаноземы* мы встречали на всех исследуемых участках долины в пределах разных функциональных зон городской территории. Основной для этих почв горизонт урбик постепенно формируется на поверхности в результате накопления и преобразования различных субстратов под влиянием биоклиматических факторов. Главные признаки урбиков — горизонтальная делимость структуры, пылеватость в сочетании с облегченным гранулометрическим составом; серовато-бу-

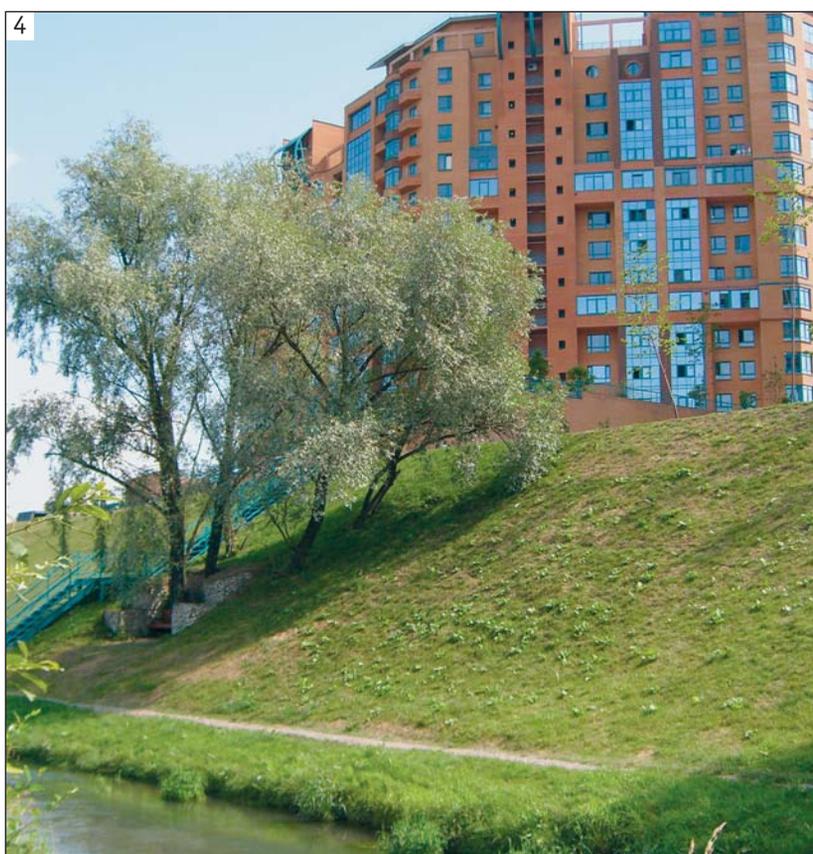
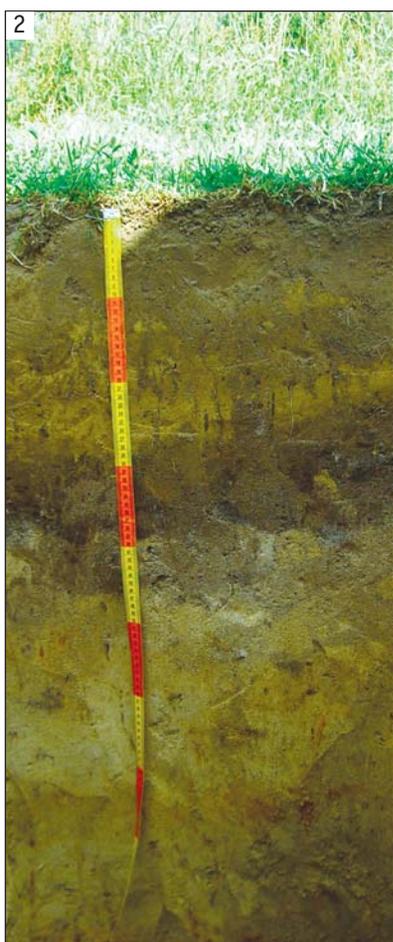
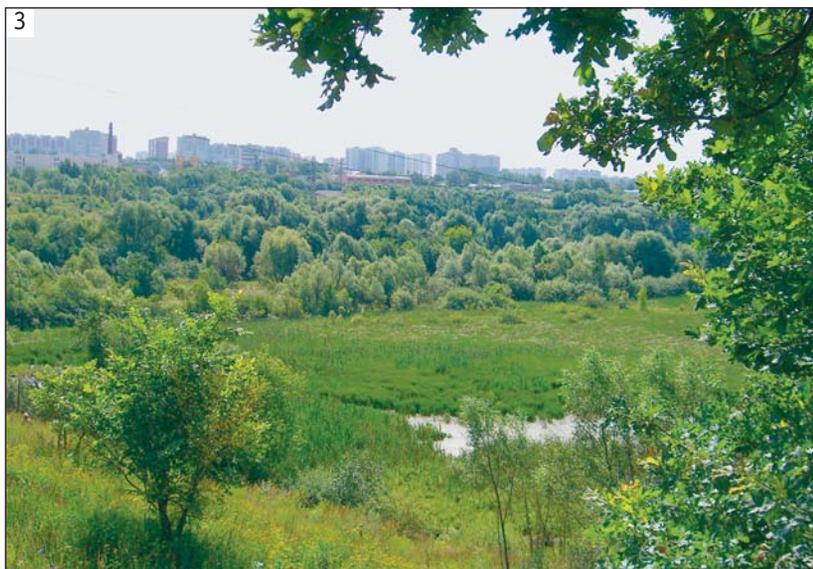
рые тона окраски, свидетельствующие об относительно высоком содержании гумуса; большое количество фосфора и антропогенных включений. Реакция среды в этих горизонтах нейтральная с некоторым сдвигом к щелочной, а содержание химических загрязнителей часто превышает предельно допустимые значения или приближается к ним [11].

Очевидно, что формирование урбаноземов и урбо-почв начинается с возникновением поселения и продолжается все время его существования. Обычно самые мощные культурные слои, включающие погребенные и современные городские почвы, приурочены к центру города [4]. Такая закономерность прослеживается и в Москве.

В долинах рек подстилающей породой для урбаноземов служат аллювиальные отложения поймы и террас. Мы обнаружили их на территории бывшей деревни Татарово. При строительстве Ледового дворца они послужили благоприятной основой для рекультивации почв и последующего озеленения. Вскрыты они и в центре города на Болотной площади — глубже одного метра под асфальтовым покрытием найдены створки диатомовых водорослей и раковины раковинных амёб, обитающих в очень влажных условиях пойменных болот.

Погребенные горизонты естественных зональных почв в антропогенных профилях на первой и второй террасах редки. Отсутствие признаков природных почв можно объяснить древностью освоения московских земель и земледельческой активностью на обследованных участках (Братеево с XI или XIII вв., Крылатское—Татарово с XII или XIII вв.), а также слабой устойчивостью к антропогенному воздействию супесчаных почв.

В срединных горизонтах пойменных урбаноземов в центре Москвы и на древних поселениях, вошедших в современную городскую черту, но сформировавшихся до прекращения аллювиального режима, есть признаки и антропогенно-городской и пойменной слоистости, характерные



Ландшафты и почвы московских пойм и террас. Урбо-аллювиальная серогумусовая глеевая почва в пойме р.Чермянки (1; Лианозово); аллювиальная дерновая (серогумусовая) нерегулярно затопляемая супесчаная почва в пойме р. Москвы (2; крылатский берег); сходненский «Ковш» — участок долины р.Сходни (3); берег р. Раменки (4); русло р. Москвы в центральной части города (5; вид с Саввинской набережной); формирующиеся техногенные отложения в пойме Москвы-реки (6); захламленная малая река (7); реплантозем (рекультивированное почвоподобное образование) на слоистом аллювии комплекса низких террас (8; Крылатский берег); ржавозем супесчаный на третьей террасе р. Москвы в парке Покровское-Стрешнево (9).



для урбо-аллювиальных почв. В верхних горизонтах современным городским седиментогенезом уже полностью вытеснен аллювиальный. Однако известно, что на втором этапе трансформации долины вблизи реки возможно и обратное — при усилении половодий аллювиальные процессы становятся преобладающими и вытесняют застройку из поймы. Это отмечено для средневековых поселений верхнего Днепра [12] и нами на территории Болотной площади (для периода до строительства обводного канала) [10].

В современных условиях начинается застройка за пределами исторических городских земель. Однако новые жилые кварталы в основном занимают возвышенные пространства, тогда как в пойменных массивах нередко уцелевшие природные и агроландшафты. Эти территории застраиваются позднее при нехватке свободных площадей. На периферии города, на невысоких террасах и в поймах, часто сохраняются почти природные условия почвообразования, многие участки там продолжают затопляться. Таким образом, второй этап трансформации городских долинных ландшафтов заканчивается в центральной части города, когда сток практически зарегулирован. Однако его черты прослеживаются в молодых городских районах и в природоохранных зонах.

На третьем этапе условия почвообразования в поймах и на низких террасах рек с зарегулированным стоком очень сходны, так как верхние горизонты развиваются без затопления. Дальнейшее антропогенное почвообразование за счет накопления техногенных отложений и образования урбаноземов накладывает на сформировавшийся гидрологический режим долины. В верхних почвенных горизонтах протекают процессы, характерные для автоморфного почвообразования (под влиянием атмосферной влаги), в нижних частях (глубже 1 м) появляются следы периодического переувлажнения, а нередко сизые или осветленные переувлажненные глеевые горизонты.

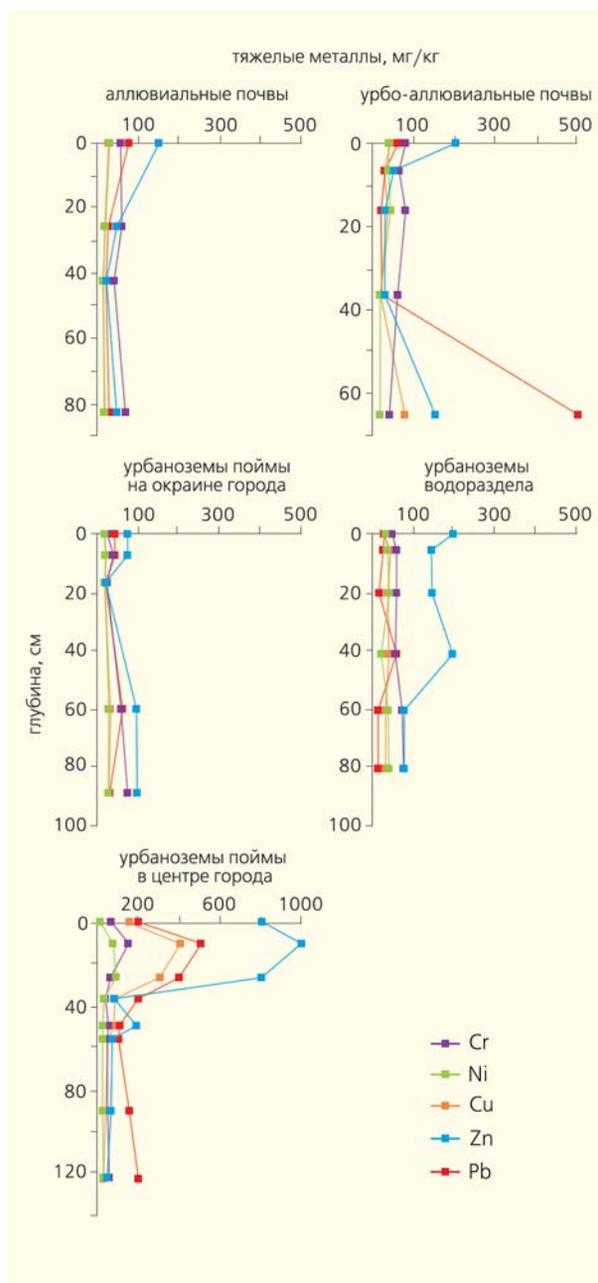
На участках поймы Москвы-реки в парках и на пустырях вскрыты посталлювиальные почвы, морфологически близкие к природным пойменным, но без регулярного затопления в XX в. Очевидно, что их эволюция будет определяться использованием территории: либо они по своим свойствам приблизятся к природным почвам водоразделов, либо вследствие накопления антропогенного осадка там образуются урбаноземы.

В настоящее время обширные территории долины, в основном пониженные участки пойм и террас, подсыпаются. Аллювиальные почвы и грунты покрываются мощными техногенными отложениями, которые включают бытовой и строительный мусор. В Москве их основная масса образуется из перемещенных с первоначальных мест захламленных и переуплотненных естественных грунтов и почв. Почвоподобные тела, создаваемые на их поверхности в ходе рекультивации, на-

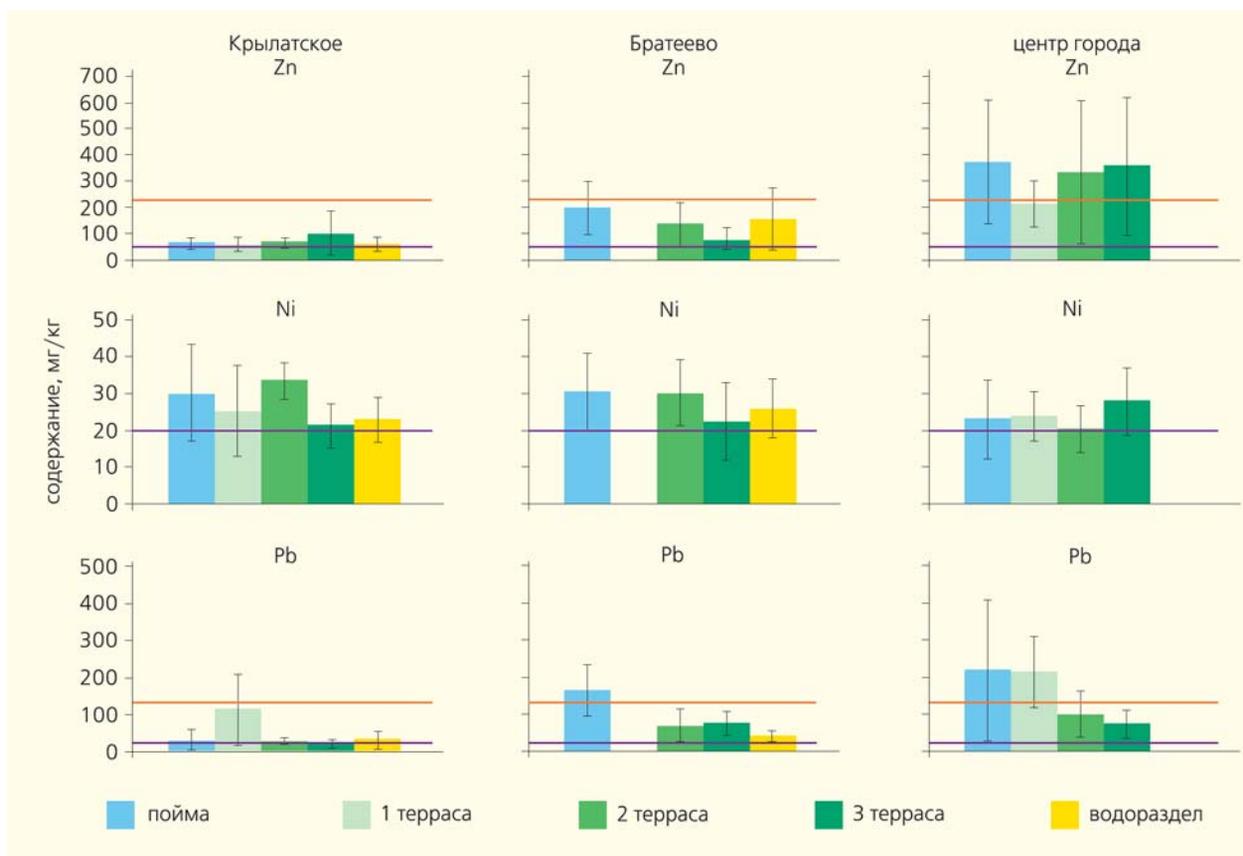
зываются техноземами. При дальнейшем развитии городских кварталов формируются урбико-вые горизонты.

### Химические и физико-химические свойства почв

Изученные нами природные аллювиальные почвы (затапливаемые и не затапливаемые) имеют слабокислую реакцию среды, но в нижних подтопленных горизонтах pH повышен до 6.5–7. Это связано с подщелачиванием грунтовых вод. Со-



Распределение по профилю некоторых тяжелых металлов.



Тяжелые металлы в поверхностном слое почв в городских речных долинах. На гистограммах приведены усредненные величины; оранжевая линия — ориентировочно допустимая концентрация металлов в суглинистых почвах, фиолетовая — в супесчаных.

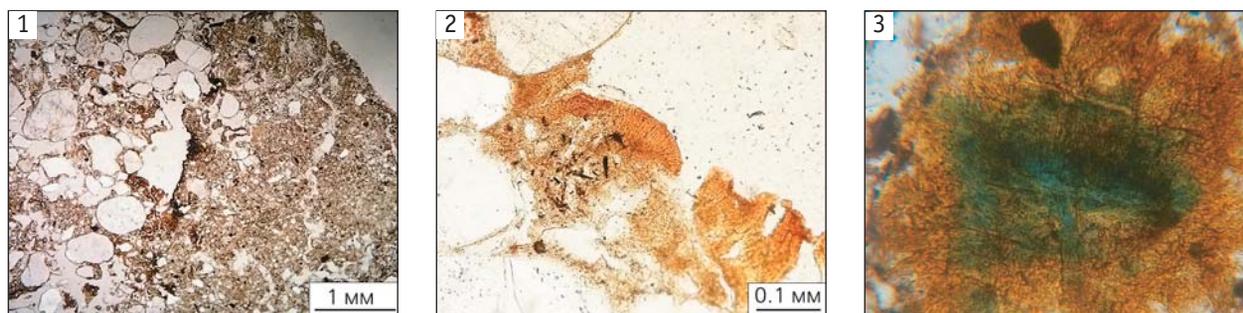
держание  $C_{орг}$  в верхних горизонтах почв с сохранением аллювиального режима не выше 1–2% и до 4% в посталлювиальных. Количество питательных элементов для растений в этих почвах соответствует описанным в литературе [7]: для фосфора ( $P_2O_5$ ) оно составляет 6–25 мг/100 г и азота ( $NO_3^- + NH_4^+$ ) от 2 до 6 мг/100 г. Если азот распределяется равномерно, то фосфора больше в нижних горизонтах, что, возможно, связано с его аккумуляцией из загрязненных городских грунтовых вод.

Для урбо-аллювиальных почв характерна повышенная величина pH (до щелочных значений), а содержание органического вещества и питательных элементов в верхних горизонтах относительно невысоко.

Урбаноземы всех изученных участков и элементов ландшафта имеют нейтральную и щелочную реакцию и достаточный уровень обеспеченности питательными элементами. Содержание фосфатов во всех антропогенных почвах сильно повышено (максимальные концентрации достигают 150–200 мг/100 г), что указывает на загрязнение этими соединениями. Кроме того, в большинстве горизонтов концентрация карбонатов составляет от 0.25 до 10%. В почвах историческо-

го центра города появляется поглощенный  $Na^+$  (3–5 ммоль/100 г) как следствие высокой минерализации грунтовых вод. Особенно много его в почвах под асфальтобетонным покрытием.

В горизонтах непосредственно над грунтовыми водами много железо-фосфорных образований. О современном гидроморфизме свидетельствуют минералы фосфатов железа: зеленоватоголубоватые хорошо оформленные кристаллы  $\alpha$ - и  $\beta$ -керченита, который в окислительной среде быстро переходит в ржавые аморфные формы (босфорит, оксикерченит). В урбаноземах и урбопочвах встречаются также конкреции радиально-лучистой волокнистой структуры. Опираясь на данные электронной микроскопии, мы предполагаем, что это ассоциации того же изоморфного ряда фосфатов железа, но вместе с его гидроксидами и кальцием. Возникновение новых минеральных ассоциаций (при переменном окислительно-восстановительном режиме, в присутствии карбонатов и фосфатов, попадающих в почву из загрязненных вод) обусловлено сочетанием специфической городской геохимической среды, активных почвообразующих процессов и подтопления, связанного с жизнью действующих и погребенных речных долин.



Микрофотографии урбиковых горизонтов: микрофрагменты аллювиального и антропогенного генезиса (1); минералы кальций-фосфата железа (2) и фосфата железа (3, увел. в 200 раз).

Для аллювиальных почв характерно довольно равномерное распределение загрязняющих веществ с небольшими концентрациями элементов загрязнения Cu, Zn и Pb повышено и в нижних горизонтах, и в верхних, причем в последних это может быть связано с загрязнением полых вод. В мощных урбаноземах, расположенных на окраине города (как в пойме, так и на первой террасе), количество Cr, Ni, Cu, Zn, Pb тоже повышено. Расположение разрезов недалеко от русла и приуроченность максимального загрязнения к обводненным глеевым горизонтам позволяют говорить о гидрогенном типе загрязнения, хотя нельзя отрицать и возможность поверхностного.

В урбаноземах центральной части города максимальное содержание разных элементов приурочено к поверхностным горизонтам. Такой характер распределения объясняется тем, что скорость накопления загрязнителей на поверхности почвы, как правило, превышает скорость их доставки грунтовыми водами в нижнюю часть профиля.

Таким образом, в городских автоморфных почвах со слабощелочной реакцией загрязнение связано преимущественно с поступлением веществ на поверхность. Часто загрязнители не мигрируют в растворах по профилю, а доставляются в нижнюю часть грунтовыми водами [9, 13]. В целом концентрация тяжелых металлов (Cr, Ni, Zn, реже Cu, Pb) в изученных нами гидроморфных почвах часто превышает предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации.

В поверхностных горизонтах почв на разных участках долины Москвы-реки мы обнаружили несколько повышенный уровень Zn, Ni, Cu и Pb. Содержание Zn и Ni в пойменных почвах незначительно выше, чем на территории водораздела. Заметно больше Cu и Pb в почвах пойменных территорий и низких террас. Эти элементы поступают в верхние горизонты почв в основном воздушным путем, а причина их распределения по рельефу — направление воздушных потоков по градиенту температур и влажности. Это подтверждает небольшое участие поверхностного стока (его практически нет в городской среде) в перерас-

пределении элементов. Кроме того, в центре города повышенное количество тяжелых металлов в верхних горизонтах может быть обусловлено и перемешиванием (при строительстве) культурных слоев, несущих «историческое» загрязнение.

### Особенности использования и охраны долин рек в городе

Итак, антропогенная трансформация почв долинных территорий включает: длительный этап сельскохозяйственного использования; быструю потерю природных почв при небольшом увеличении воздействия; одновременный аллювиальный и городской седиментогенез (накопление рыхлых отложений) на определенной исторической стадии; формирование почв, типичных для городских ландшафтов.

Как известно, в крупных городах происходит значительная деградация и трансформация экологических функций почв [14]. Антропогенное воздействие негативно сказывается на почве и экосистемах речных долин.

Массовая засыпка малых рек в городе повреждает естественную дренажную сеть. Заключенные в трубы реки продолжают значительно воздействовать на гидрологический режим почв. В результате этого и повышения меженного уровня воды в русле Москвы-реки активизируется подтопление почв в поймах и низких надпойменных террасах. Уничтожение малых водотоков вызывает катастрофические последствия на прилегающих территориях: просадки и провалы грунта, разрушения фундаментов зданий. При отсутствии документов по истории землепользования на местности не всегда можно выявить наличие этих угроз. Следовательно, необходимы почвенно-геоэкологические исследования при строительстве даже вне пределов современных долин в целях прогнозирования риска для несущих конструкций.

В нижней части профилей, находящихся под влиянием загрязненных и высокоминерализованных грунтовых вод, создается опасность коррозии строительных конструкций и трубопроводов.

Значит, при масштабном строительстве в долинах рек нужно учитывать возможную нестабильность среды и коррозионную угрозу.

Можно с уверенностью сказать, что регуляция паводков и увеличение стока Москвы-реки — основной водной артерии города — совершенно необходимы для нормальной жизни столицы и организации судоходства. Засыпать малые водотоки, особенно в новых районах города, противопоказано. Сохранение речной сети на поверхности может существенно уменьшить площадь и активность подтопления. Необходимо по возможности охранять природные территории в пределах прирусловых ландшафтов долин. Благоустройство участков с выравниванием рельефа и созданием набережных на малых реках также должно быть ограничено. Это разрывает естественные связи в ландшафте, нарушает геохимические потоки вещества, приводит к постепенному уничтожению сложившихся биосистем и полному вытеснению природы с берегов рек и других водоемов [15].

При проведении мониторинга нужно исследовать профильное загрязнение почв, позволяющее составить реальную картину их экологического состояния. Накопление как излишнего количества питательных элементов, так и опасных концентраций тяжелых металлов создает риск загрязнения сопредельных с почвой сред (воды в реке, донных отложений). Значит, когда в речных долинах проектируются водоохранные зоны, инженерные со-

оружения, проводится функциональное зонирование территории и реабилитация природного комплекса, необходима разработка систем управления и поверхностными, и подземными водами.

Речная долина (особенно ее пойма и низкие террасы) усложняет хозяйственную деятельность. Сложности неизбежны и при полном уничтожении долин засыпкой. Но следует помнить, что к числу их наиболее важных функций относятся сохранение микроклимата и условий для очищения атмосферы, мест для обитания животных и растений, а также для отдыха горожан. Именно это назначение долин, как элемента урбанизированной среды, и необходимо поддерживать.

Основными элементами экологического каркаса служат «ядра» — крупные природные территории и связывающие их «коридоры», по которым может распространяться биота. На обширных территориях, освоенных человеком, сеть речных долин с их экологическим и почвенным разнообразием может и должна выступать как система таких биокоридоров [15, 16]. Территории, примыкающие к открытым руслам рек, должны превратиться в зону охраняемого ландшафта — часть природно-заповедного городского фонда.

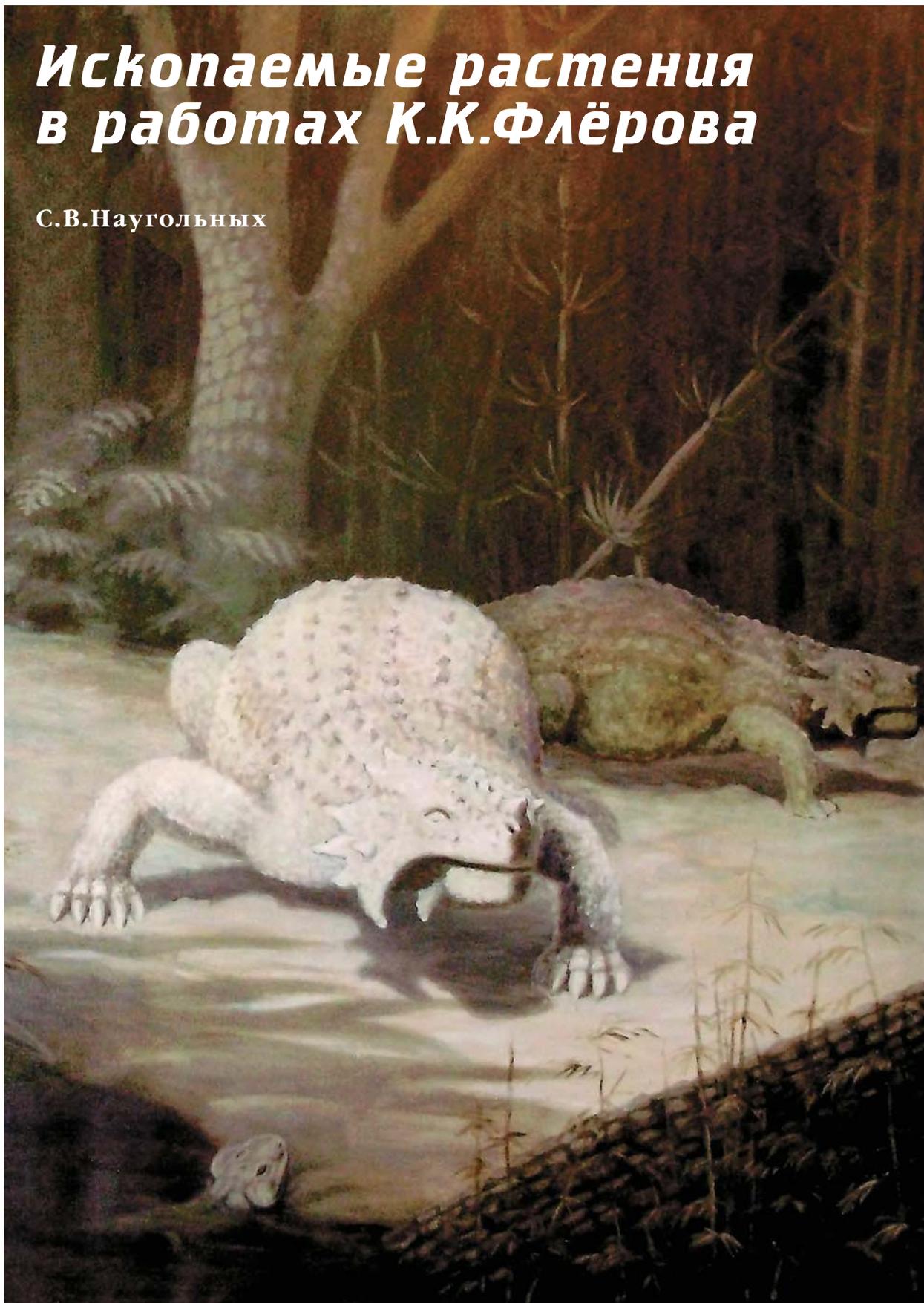
Из всего сказанного вывод простой: речные долины, участвующие в распространении и перемещении живого вещества, играющие важную роль в биосфере, нельзя приспосабливать к минутным потребностям. ■

## Литература

1. Культура средневековой Москвы. Исторические ландшафты. Т.1. Расселение, освоение земель и природная среда в округе Москвы XII—XIII вв. / Отв. ред. Н.А.Кренке, С.З.Чернов. М., 2004.
2. Бабурин В.Л. Малые реки — каркас цивилизации / Малые реки России // М., 1994. С.19—27.
3. Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Жидков М.П. и др. Город — экосистема. М., 1997.
4. Москва: геология и город / Гл. ред. В.И.Осипов, О.П.Медведев. М., 1997.
5. Трифонова Т.А. Развитие бассейнового подхода в почвенных и экологических исследованиях // Почвоведение. 2005. №9. С.1054—1061.
6. Иохельсон С.Б., Ровинский Ф.Я. Река Москва: чистая вода. Л., 1985.
7. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. 2-е изд. М., 2005.
8. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск, 2004.
9. Варава О.А. Почвы речных долин городских территорий (на примере г.Москвы). Автореф. дис. канд. биол. наук. М., 2009.
10. Прокофьева Т.В., Варава О.А., Седов С.Н., Кузнецова А.М. Морфологическая диагностика почвообразования в поймах рек на территории г.Москвы // Почвоведение. 2010. №4. С.399—411.
11. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / Под ред. Г.В.Добровольского. Смоленск, 2003.
12. Bronnikova M.A., Zazovskaya E.P., Bobrov A.A. Local landscape evolution related to human-impact of an early medieval pre-urban center in the upper Dnieper region (Central Russian Plain): an interdisciplinary experience // Revista Mexicana de Ciencias Geologicas. 2003. V.20. №3. P.245—262.
13. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Власов М.Н. Гидрогенное загрязнение тяжелыми металлами аллювиальных почв г.Пермь / Почвоведение. 2008. №11. С.1399—1408.
14. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М., 1990.
15. Авилова К.В. Не Москва ль за нами? Об охране живой природы Москвы // Охрана дикой природы. 2004. №2 (28).
16. Шраг В.И. Пойменные почвы, их мелиорация и сельскохозяйственное использование. М., 1969.

# *Ископаемые растения в работах К.К.Флёрова*

С.В.Наугольных



Первая встреча с палеонтологией у всех происходит по-разному. Кто-то поднимет странную окаменелую ракушку на берегу реки, кто-то, вчитываясь в строчки «Затерянного мира», откроет для себя мир древних ящеров... И конечно же, многие приходят к палеонтологии от произведений искусства — увидев в детстве (а может быть, и в зрелом возрасте) реконструкции доисторических ландшафтов, украшающие стены музеев и научно-популярные книги об истории жизни на нашей планете, а то и прочитав солидные монографические работы. Современным детям выпало счастье наблюдать на экранах доисторические организмы, которые «ожили» не только в анимационных, но даже в художественных фильмах — благодаря компьютерным спецэффектам.

Как правило, животных, изображенных на этих реконструкциях, назвать просто, но вот какие растения их окружают? Когда мы обсуждаем ландшафтную реконструкцию, созданную палеоботаником, можно получить вполне аргументированный и подробный ответ\*, но ископаемые растения — это элемент не только палеоботанических работ. Чудеса древнего растительного мира можно увидеть на полотнах и графических работах выдающихся анималистов, к числу которых принадлежит К.К.Флёров.

Для меня знакомство с работами Флёрова, художника и ученого, началось с иллюстраций в книге «Плутония» В.А.Обручева\*\* и в 1-м и 2-м изданиях «Детской энциклопедии».

С особым увлечением мы вместе с моим школьным товарищем Костей Бушиным, тоже увлекавшимся палеонтологией,

\* Мейен С.В. За кулисами доисторического ландшафта // Знание — сила. 1983. №7. С.23—26.

\*\* Обручев В.А. Плутония. М., 1953; 1957.



**Сергей Владимирович Наугольных**, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Геологического института РАН. Область научных интересов — палеоэкология, систематика и эволюция высших растений, изучение палеопочв. Постоянный автор «Природы».

рассматривали в «Детской энциклопедии» палеогеографические карты, составленные на фиксизмской\*\*\* тектонической основе, которые современные специалисты неизбежно забраковали бы. Но миниатюрные изображения древних животных и растений, с большим художественным вкусом размещенные на этих картах, были выполнены точно и реалистично.

На позднепалеозойской карте изображены сигиллярии, древовидные папоротники, птеридоспермы и хвойные. На южных материках показаны глоссоптериды — настоящий палеоботанический символ Гондваны [1]. Не менее эффектны гинкго, араукарии и беннеттиты на палеогеографической карте мезозоя. Карты дополнялись вкладками с мастерскими реконструкциями различных древних животных, под которыми скромно размещалась подпись художника — К.К.Флёров.

Простое перечисление академических регалий и научных заслуг Константина Константи-

\*\*\* Фиксизм — устаревшая геологическая теория, исходящая из представлений о неизбежности (фиксированности) положений континентов на поверхности Земли и о решающей роли вертикально направленных тектонических движений в развитии земной коры. Фиксизму противопоставлен мобилизм, предполагающий большие (до нескольких тысяч километров) перемещения крупных литосферных плит.

новича Флёрова (1904—1980), доктора биологических наук, сотрудника Палеонтологического института АН СССР, ученика и соратника выдающегося российского художника-анималиста В.А.Ватагина, заняло бы не одну страницу. Не останавливаясь подробно на биографических данных, с которыми можно познакомиться в статье В.И.Жегалло\*\*\*\*, сразу перейду к теме статьи. Знакомство и, не скрою,

\*\*\*\* Жегалло В.И. Палеомиры Константина Флёрова // Палеомир. 2009. №1(6). С.50—62.



Константин Константинович Флёров. 1937 г. Фото из фондов Государственного Дарвиновского музея (Москва).

искреннее восхищение работами Флёрова побудило меня взглянуть на его творчество не просто глазами поклонника и ученика (хотя мы никогда и не встречались, я себя считаю таковым), а, скорее, взглядом профессионального палеоботаника. Я глубоко убежден в том, что реконструкции древних растений, так же как и композиционные решения в графических и живописных работах Флёрова, выстраивались совсем не случайным образом, а были результатом вдумчивых размышлений и взвешенных решений. Решения эти касались и отбора таксонов, и выбора базовой реконструкции растения для изображения в древнем ландшафте.

### Каменноугольный ландшафт

Если рассматривать работы в последовательности от прошлого к настоящему, то первым будет каменноугольный ландшафт с древним земноводным птероплаксом. Изображения тропических и экваториальных «лесоболот» каменноугольного периода — одна из наиболее излюбленных тем в живописи на палеонтологические сюжеты. На картине Флёрова, украшающей авантититул прекрасной книги Б.А.Трофимова «Жизнь в глубинах веков» (1957), мы видим заболоченную протоку, в которую с берега по стволу упавшего дерева ползет птероплакс — гигантское земноводное, достигавшее в длину 4,5–5 м. (Иногда его называют «эогирирус», однако это имя сейчас рассматривается в качестве младшего синонима.)

Птероплакс, описанный из среднекаменноугольных отложений Великобритании, сейчас считается исключительно водным животным, однако амфибия, изображенная Константином Константиновичем ползущей по поваленному стволу, выглядит вполне органично.

В отношении точности реконструкции животного в рабо-

те Флёрова можно не сомневаться: контуры тела, пропорции и положение конечностей практически идеально соответствуют реконструкции скелета эогирируса в работе Д.М.С.Уотсона [2], позднее воспроизведенной в «Основах палеонтологии» [3]. А что можно сказать об окружающих его растениях?

На стволе какого дерева уютно расположилась амфибия? Вряд ли кто-то будет возражать против того, что это ствол древовидного плауновидного, которыми изобиловали низкоширотные леса каменноугольного

периода. Несмотря на некоторую стилизацию изображения, можно дать и более точное определение. Ромбический узор на стволе дерева образован листовыми подушками с поперечно вытянутыми (а не продольными, как у хорошо известных лепидодендронов) очертаниями. Листовые подушки таких пропорций характерны для плауновидных рода лепидофлюоз. Это были высокие (до 20–30 м) деревья, произраставшие в болотах данного периода геологической истории вместе с лепидодендронами.



Каменноугольный ландшафт с птероплаксом. Из книги Б.А.Трофимова «Жизнь в глубинах веков».

Рядом с птероплаксом возвышается мощный ствол — он покрыт крупными овальными рубцами от опавших ветвей. Его интерпретация не столь очевидна, как в случае с лепидофлойозом, и, тем не менее, систематическое положение этого растения тоже особых сомнений не вызывает. Когда стволы такого типа встречаются в каменноугольных и нижнепермских отложениях в изолированном состоянии, их относят к формальному роду каулоптерис [4; 5. С.568. Рис.70]. Принадлежали эти стволы древовидным мараттиевым папоротни-

кам. Один из них виден на картине на среднем плане справа от центра. Это растение легко узнается по прямому стволу, увенчанному плюмажем из перистых листьев, один из которых — молодой — еще скручен в спираль.

Представление о физиономическом облике каменноугольной растительности можно получить, взглянув на задний план ландшафта. Здесь показаны растения-эдификаторы\* низкоши-

\* Эдификатор — доминирующий вид растений в сообществе, определяющий его особенности.

ротных болот этого геологического периода. В центре — лепидодендрон с повторно дихотомизирующими ветвями кроны, а слева от него — три сигиллярии, их легко узнать по неветвящимся стволам с облиственными верхушками (они напоминают гигантские пушечные шомполы) и свисающим стробилам, прикрепленным прямо к верхней части стволов (как плоды у современной папайи). Кстати сказать, это явление очень характерно для современных тропических растений. Оно называется каулифлорией.



Кора сигиллярии из среднего карбона Донбасса. Коллекция автора.

Фото автора



Пример современной каулифлории — папайя с плодами (Гуанчжоу, Южный Китай).

Фото автора

Рассказ о реконструкции каменноугольного ландшафта, выполненной Константином Константиновичем, не будет полным, если не отметить еще одну любопытную деталь. На переднем плане из болотистой воды выглядывают пара десятков странных образований. Их, наверное, можно было бы приписать фантазии автора, однако эти таинственные структуры очень напоминают воздушные корни современных мангровых растений. Они встречаются и на других реконструкциях болотных ландшафтов работы Флёрова (см. упоминавшуюся статью Жегалло). Я думаю, что здесь мы имеем дело с прекрасным примером научной интуиции. Это подтвердили и современные данные, которые были получены в ходе параллельного изучения древних (палеозойских) и современных мангровых сообществ Южного Китая. Выяснилось, что экологические осо-

бенности растений из этих сообществ и модусы их адаптивных морфологических решений имеют много общего [6]. Но при этом фитоценозы разных геологических периодов, конечно же, в систематическом плане кардинально различаются.

### Пермские ландшафты

Сделаем один шаг в геологической истории и перенесемся из каменноугольного периода в пермский, в конец палеозойской эры.

Рассматривая картину Флёрова, изображающую ландшафт середины пермского периода и опубликованную во втором издании книги Ю.А.Орлова «В мире древних животных» (1968), можно тоже с большой долей уверенности назвать растения, которые мы видим на картине, несмотря на очевидную, но очень изящную, выполненную с большим

вкусом стилизацию. Но сначала — несколько слов о животных.

В центральной части картины изображены два титанофонеуса (крупные хищные зверообразные диноцефалы — рептилии из группы титанозухий). Некоторая намеренная схематичность изображений сделана как бы в пику, в противовес сверхдетальной графической реконструкции этих же ящеров (см., например, [7. С.53. Рис.15]), выполненной А.П.Быстровым — творческим «антиподом» Флёрова. Однако в работе Флёрова морфология титанофонеусов при всей лаконичности изображения обозначена настолько четко, что «персонажи» легко узнаются. Животное слева, ближе к переднему плану, еще отдыхает в тени, приподняв голову с легким оскалом. Второй ящер уже вылез под яркие лучи жаркого пермского солнца. Игра света и тени на картине создает впечатление, не уступающее по глубине тому, кото-



Пермский ландшафт с титанофонеусами [8].

рое дарят лучшие работы классиков импрессионизма.

Слева и справа от титанофонеусов видны странные низкорослые (высотой около 2 м) растения с прямыми неветвящимися побегами, которые увенчаны чем-то вроде шишек. Конечно, для ботаника такой информации маловато, но типологическая модель угадывается: эти формы очень напоминают плевромейи, древние плауновидные с неветвящимися стволами и шишками-стробилами, расположенными на верхушке побега.

Однако плевромейя — род триасовых растений. Включение их в пермский ландшафт могло бы показаться неуместным, если бы опять-таки не открытия последних лет.

Как выяснилось, семейство плевромейевых уходит филогенетическими корнями глубоко в пермский период [8]. Первые научные реконструкции плевромейевых из перми Русской

платформы и Приуралья появились только в последние годы, хотя ископаемые остатки плауновидных из отложений, синхронных слоям с ископаемыми остатками титанофонеусов и их ближайших родственников, были известны уже в 30-х годах прошлого века.

Рискну предположить, что Флёров с его широчайшим кругозором знал об этих находках и, основываясь на своем чутье биолога, изобразил «плевромейи» вместе с титанофонеусами.

Слева на переднем плане есть еще несколько интересных растений с колоннообразными стволами и крупными перистыми листьями на верхушке. Скорее всего это уже знакомые по каменноугольному ландшафту древовидные папоротники, но, пожалуй, не мараттиевые, а осмундовые. Конечно, по обобщенной реконструкции папоротник не определишь, но именно осмундовым принадле-

жали крупные минерализованные стволы, встречающиеся в верхнепермских отложениях Русской платформы и Приуралья. Так что присутствие этих растений на картине Флёрова отнюдь не случайно.

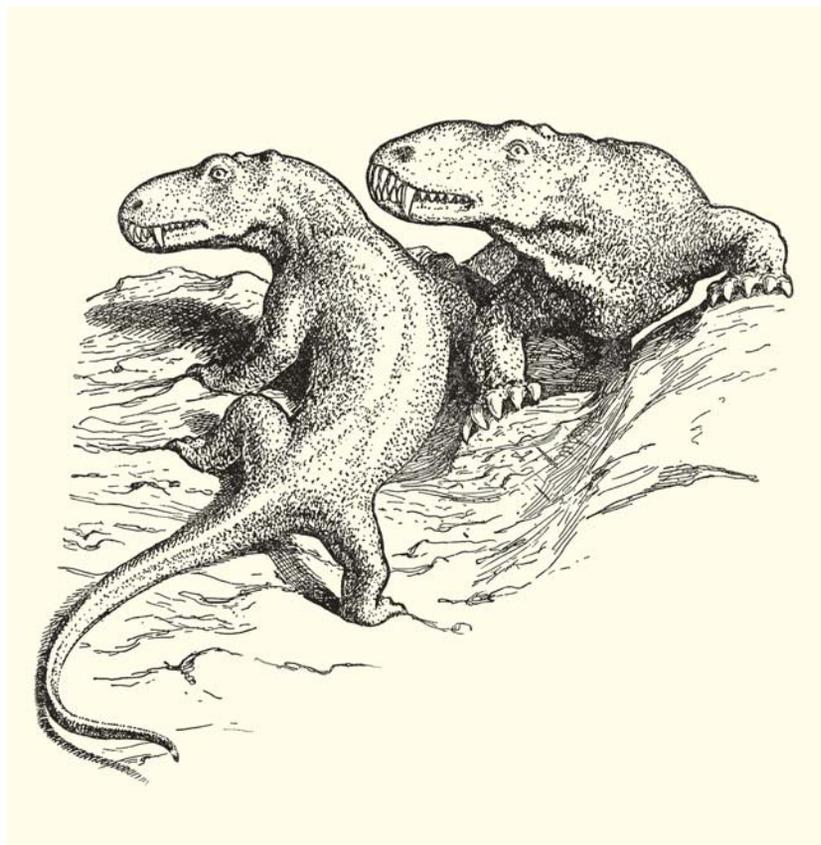
И наконец, перейдем к главным, доминирующим в этом пермском ландшафте растениям. Они мастерски выписаны на заднем плане синеватыми силуэтами величественных деревьев, вздымающих свои кроны на дальнем берегу пермского озера или лагуны.

Искушенный в ботанике читатель без труда определит, что перед ним хвойные. Форма крон, как ее показал Константин Константинович, очень напоминает современные араукарии, «живые ископаемые», сохранившиеся в современной растительности с мезозоя. Но в пермском периоде араукариевых еще не было. Так о каких же хвойных речь?

В позднепермскую эпоху на смену относительно примитивным хвойным семейства вальчиевых (их иногда называют утрехтиевыми или лебахиевыми) пришли хвойные семейства вольчиевых, настоящий расцвет которых пришелся на триасовый период. Побеги, шишки и семена вольчиевых нередко встречаются в верхнепермских отложениях европейской части России [9]. Думается, именно вольчиевые и показаны на реконструкции.

Посетители Государственного Дарвиновского музея\* в Москве подолгу задерживаются перед монументальным полотном Флёрова «Пермский период». Эта картина, очень интересная как с точки зрения содержания, так и композиционно, заставляет сделать небольшой экскурс в историю науки.

Картина была написана в 1939 г., когда в научной «палеоживописи» утвердился жанр



Реконструкции титанофонеусов. Рисунок А.П.Быстрова [9].

\* Я искренне признателен дирекции музея за любезное разрешение использовать в статье хранящиеся в его фондах фотографии К.К.Флёрова.



Пермский ландшафт с иностранцевией и скутозавром. Экспозиция Государственного Дарвиновского музея.

«обобщенных ландшафтных реконструкций», корни которого уходят в XIX в., к первым попыткам воссоздать картины древнего мира. Создание обобщенных ландшафтных реконструкций было обусловлено двумя основными факторами. Во-первых, и в научно-популярной литературе, и в музейных экспозициях существовал запрос на некую генерализацию, позволяющую широкими мазками показать основные группы фауны и флоры, характеризующие ту или иную геологическую эпоху; обозначить главные тенденции в эволюции, свойственные разным этапам развития органического мира. Во-вторых, комплексные реконструкции экосистем геологического прошлого, в которых сочетались бы животные и растения, соседствовавшие в одних и тех же биоценозах,

в то время были большой редкостью, да и местонахождения-лагерштетты\*, позволяющие делать такие реконструкции, были еще буквально наперечет.

Анализ картины стоит начать с рассмотрения ее композиционного каркаса. Изображение состоит из трех почти равновеликих цветовых зон: двух темных, в зеленоватых тонах, и одной светло-бежевой, образующей центральную диагональную полосу. Смысловая нагрузка бежевой и темно-зеленых полос очень контрастна,

\* Лагерштетт (Lagersstätte, нем. — залежное место, место залежи) — особый тип местонахождения, который содержит ископаемые остатки исключительной сохранности, не представленные в большинстве обычных местонахождений, а также остатки тех существ, которые обычно не оставляют окаменелостей.

что гармонирует как с цветовым решением, так и с замыслом автора картины.

Центральная часть картины хорошо согласуется с современными представлениями о сезонно-сухих семиаридных условиях, характерных для многих пермских биот Северного полушария во второй половине пермского периода. Идеально вписываются в ландшафт двое его обитателей — зверозубый ящер иностранцевия и анапсидная рептилия (парарептилия\*\*)

\*\* По одним представлениям, парарептилии — это подкласс пресмыкающихся, объединяющий формы с анапсидным типом строения черепа, по другим — подкласс рептилиоморф, независимо происходящий от амфибий. Существует также мнение, что это сборная или даже искусственная группа. Современные парарептилии — черепахи.

скутозавр. Ископаемые остатки этих животных были найдены в конце XIX в. знаменитым русским палеонтологом В.П.Амалицким в верхнепермских отложениях, обнаженных на правом берегу р.Малой Северной Двины. Возможно, не менее органично смотрелись бы в таком семиаридном ландшафте зверозубые ящеры и парейазавры из верхней перми Южной Африки.

Растения и животные, изображенные в темно-зеленых секторах, отражают совершенно иные ландшафтно-климатические условия.

Отвлечемся ненадолго от картины и вспомним, как началось изучение органического мира пермского периода.

Официальное признание пермской системы состоялось в 1841 г. после изучения пермских красноцветов в Пермской губернии Р.И.Мурчисоном. Но еще до этого геологи изучали слои того же возраста в Западной Европе. Немецкие геологи называли эти отложения диасом, т.е. толщей, состоящей из двух частей. Верхняя часть европейской перми (цехштейн), как и на европейской территории России, отражала семиаридные или даже аридные условия осадконакопления, но вот нижняя пермь (ротлигенд, «красный лежень») в Западной Европе сформировалась совершенно в иных климатических условиях. В ротлигенде найдено довольно много остатков влаголюбивых растений. Здесь есть крупные каламиты, гигрофильные папоротники и птеридоспермы и даже крупные древовидные плауновидные! Они и видны на реконструкции Флёрва на переднем и заднем плане. Именно из нижнепермских отложений европейского ротлигенда происходят остатки земноводных — архегозавров и брахиозавров, которые показаны на фоне гигрофильной растительности. Открыв учебники палеонтологии и исторической геологии 30-х годов прошлого века (см., например,

[10. С.225, 226]), в главах о позднем палеозое мы в первую очередь видим именно этих вымерших амфибий.

Я далек от желания критиковать работу Флёрва за ее «сборность» и «биологическую эклектичность». Наоборот, считаю большим достоинством то, что художнику удалось на одном живописном полотне отразить дух представлений науки того времени об органическом мире пермского периода. И разумеется, мне, как палеоботанику, очень импонирует возможность, внимательно всматриваясь в блестяще проработанные детали

строения пермских растений, узнавать среди них своих знакомых, отпечатки которых я не раз встречал на плитках пермских песчаников и аргиллитов.

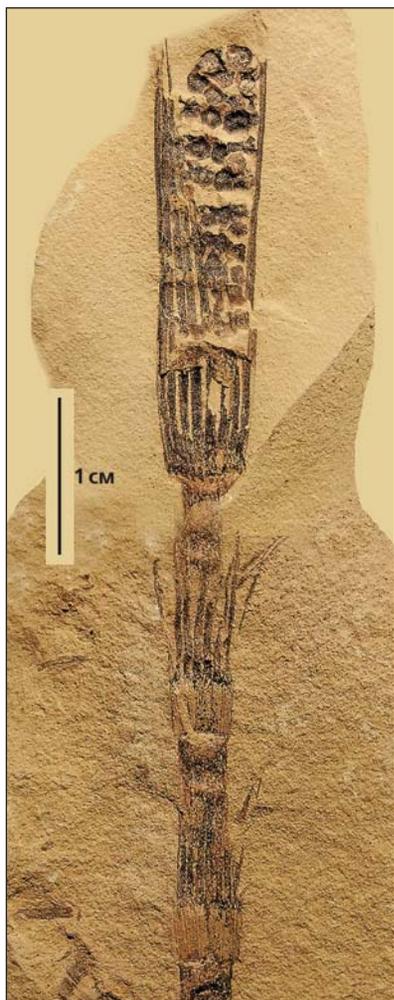
## Мезозойские ландшафты

Следующий шаг переносит нас в мезозой — эру гигантских ящеров.

И в этом времени нас снова встречают старые знакомые — древовидные папоротники. В серии блестящих по исполнению графических миниатюр Флёрва из «Плутонии» эти растения

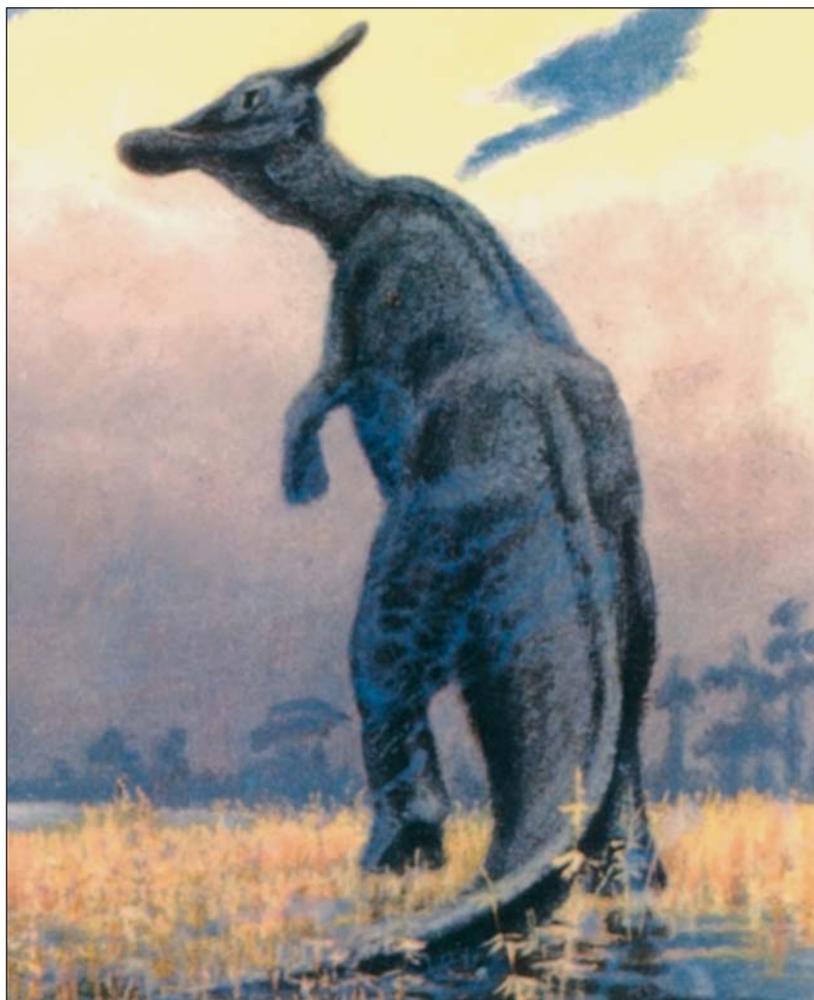


Мезозойские рептилии: игуанодон, трицератопс и стегозавр. Иллюстрации из книги В.А.Обручева «Плутония».



Хвощ рода *Equisetum* из юры Забайкалья.

Фото автора



Фрагмент картины «Зауролофы и хвощи». Меловой период. Цветная вклейка к статье Б.П.Вьюшкова «Тафономия — новая отрасль знания» (Вокруг Света. 1952. №6. С.33—36).

легко узнаются по скрученным в спираль молодым листьям.

В околородных мезозойских ландшафтах Флёров охотно использует еще один элемент — растения с тонкими членистыми побегами и мутовчато расположенными на них боковыми ветвями и листьями.

«Да это же хвощи!» — скажет читатель, и будет, в общем-то, прав. Однако это вопрос не такой простой, как может показаться на первый взгляд.

Если под словом «хвощи» понимать всех представителей семейства хвощевых, то нужно признать, что история этих растений началась в конце палеозойской эры, в пермский пери-

од, с появления рода неокаламитес [11, 12]. Сразу же оговорюсь, что этот род, так же как и многие другие пермские и триасовые хвощевидные (например, роды паракаламитес и паракаламитина), никакого отношения к настоящим каламитам не имеет. Произошли неокаламиты, древнейшие представители данного семейства, от других хвощевидных — семейства черновиевых, чрезвычайно широко распространенного в каменноугольном и пермском периодах на древнем материке Ангариды, от Урала до Верхоянья на севере до Монголии и Северного Китая на юге. В последние годы появились сведения о находках иско-

паемых остатков черновиевых в пермских отложениях Гондваны, т.е. в Южном полушарии.

Так какие же именно хвощи изображены на мезозойских ландшафтах Флёрова? Я думаю, что там нарисован представитель рода хвощ (*Equisetum*), который уже доминировал в юрских и меловых околородных растительных сообществах и дожил до современности. Ископаемые остатки юрских хвощей найдены в местонахождении Усть-Балей, находящимся в Сибири, в Забайкалье. В них легко узнается облик нашего современника хвоща полевого — даже не двоюродного, а родного брата мезозойских хвощей.



Махайрод, нападающий на кабана. Четвертичный период. Экспозиция Палеонтологического музея им.Ю.А.Орлова (Москва).

\* \* \*

Завершу этот экскурс в художественный мир Флёрова плейстоценовыми (четвертичными) ландшафтами, которые Константин Константинович изобразил с особой любовью и знанием дела. В них для палеоботаника на первый план выходят уже даже не сами растения, а, скорее, типы сообществ, в которых проходила эволюция плейстоценовой биоты и встал на ноги (в прямом и переносном смысле) человек палеолита. Буквально на всех рисунках и картинах Флёрова, посвященных четвертичному периоду, мы найдем побеги злаков, создавших в кайнозойе новый тип биомов — обширные степи. Именно в них прошли первые, наиболее важные стадии процесса антропогенеза.

Во многих московских музеях и частных коллекциях хранятся работы Флёрова, замечательного художника и выдающегося ученого. Может быть, пора подготовить и издать альбом работ мастера, который, я уверен, по достоинству оценят не только палеонтологи, но и художники, и искусствоведы, да и все образованные и интеллигентные люди с хорошим вкусом. ■

## Литература

1. *Наугольных С.В.* Символ Гондваны. Природа. 2012. №12. С.49—59.
2. *Watson D.M.S.* The Carboniferous Amphibia of Scotland // *Palaeontol. Hung.* 1926. V.1. P.221—252.
3. Основы палеонтологии. Земноводные, пресмыкающиеся и птицы. М., 1964.
4. *Zeiller R.* Elements de paleobotanique. Paris, 1900.
5. Основы палеонтологии. Водоросли, мохообразные, псилофитовые, плауновидные, членистостебельные, папоротники / Ред. В.А.Вахрамеев, Г.П.Радченко, Г.П.Тахтаджян. М., 1963.
6. *Naugolnykh S.V., Jin J.* The Early Carboniferous Huadu flora (Southern China): taxonomy and palaeoecology // The 2nd Sino-Russian seminar on evolution and development of Eastern Asian flora based on palaeobotanical data. Proceedings. Guangzhou, 2012. P.61—66.
7. *Ефремов И.А.* Предварительное описание новых форм пермской и триасовой фауны наземных позвоночных СССР. М.; Л., 1940. (Труды ПИН АН СССР. Т.Х. Вып.2).
8. *Наугольных С.В.* Новый лепидофит из кунгура Среднего Приуралья // *Палеонтол. журн.* 1994. №4. С.131—136.
9. *Meupen S.V.* Permian conifers of Western Angaraland // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 1997. V.96. P.351—447.
10. *Яковлев С.А.* Учебник геологии. Л.; М., 1938.
11. *Naugolnykh S.V.* A new fertile *Neocalamites* from the Upper Permian of Russia and equisetophyte evolution // *Geobios.* 2009. V.42. P.513—523.
12. *Ян Т., Наугольных С.В., Сунь Г.* Новый представитель рода *Neocalamites* Halle из верхнепермских отложений Северо-Восточного Китая (свита Джефанцунь) // *Палеонтол. журн.* 2011. №3. С.95—105.

# *Сильное извержение вулкана Пик Сарычева*

**С.Ю.Гришин,**  
*кандидат биологических наук  
Биолого-почвенный институт ДВО РАН  
г.Владивосток*



В июне 2009 г. на уединенном острове Матуа, в Центральных Курилах, неожиданно для специалистов произошло особо мощное извержение. Столь крупных событий на архипелаге не было уже два-три десятка лет. Судя по спутниковым снимкам, половина острова внезапно превратилась в безжизненную вулканическую пустыню. Фантастические виды катаклизма, полученные из космоса, заинтересовали не только вулканологов, но и биологов, экологов, географов, а также многих путешественников и любителей природы. Не так уж часто на планете происходят сильные и впечатляющие извержения. Неординарное природное событие требовало срочного обследования района. Надо было изучить последствия вулканической катастрофы для экосистем острова буквально по горячим следам и выявить очень редко наблюдаемые особенности начальных этапов восстановления живой природы. Мне довелось принять участие в экспедиции 2010 г. — кратко обследовать район извержения и оценить последствия катаклизма для растительного покрова острова.

© Гришин С.Ю., 2013

## Природные условия

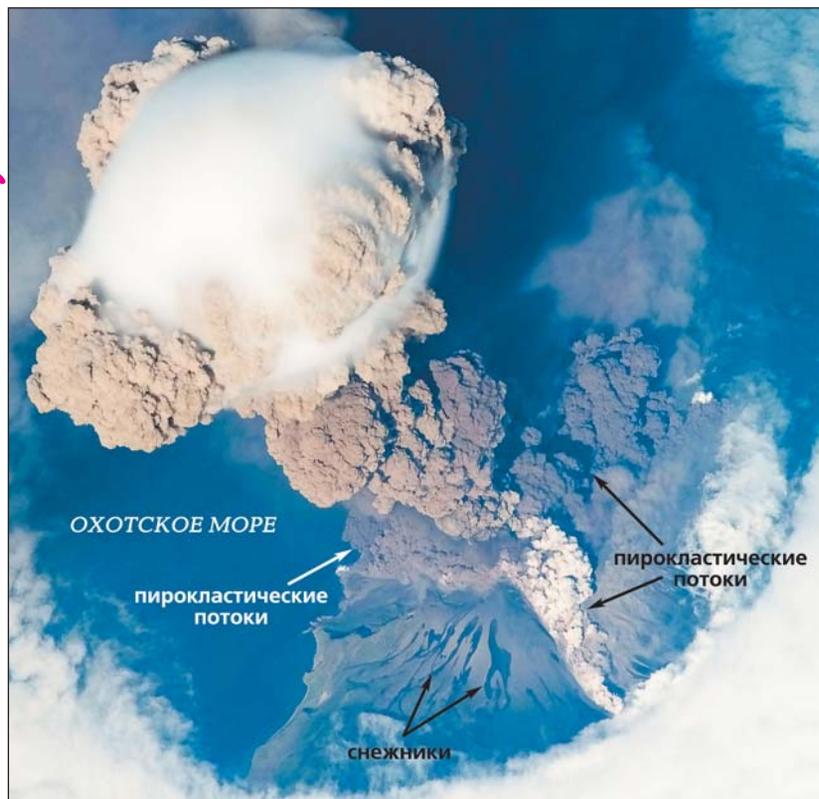
Матуа в ряду других островов Курильского архипелага сравнительно небольшой — длиной 12 км, шириной 6 км и площадью 52 км<sup>2</sup>. Северо-западная, расширенная, половина острова занята активным стратовулканом — Пиком Сарычева (высота 1446 м). Его склоны ограничены морем со всех сторон, кроме юго-восточной. Пологий юго-восточный склон кальдеры покрыт древними заросшими лавовыми потоками. Матуа находится в длительной (по крайней мере с позднего плейстоцена) географической изоляции. От ближайших островов с развитой растительностью (Шиакотана и Расшуа) он отделен обширными проливами шириной 88 и 28 км. Исследования, проведенные в 2010 г., дали неожиданный результат: современный активный вулкан Пик Сарычева сформировался лишь 400—500 лет назад [1]. За последние три столетия для него известно не менее 10 извержений. В XX в. произошло четыре довольно сильных: в 1928, 1930, 1946 и 1976 гг. Последнее событие описано вулканологами [2]. Однако последствия извержений для экосистем острова никогда не изучались.

*Вести из экспедиции*



Вулкан Пик Сарычева, восточное побережье острова. Видны новые территории, возникшие от внедрения мощных пирокластических потоков в море. Береговая линия отодвинулась на 400 м. Август 2010 г.

Фото автора



Извержение вулкана Пик Сарычева. Фрагмент фото с борта МКС от 12 июня 2009 г.

Для Матуа характерны аномально холодный (для 48° с.ш.) климат Северных Курил, с высоким количеством осадков (1223 мм/год), преобладание облачности и частых туманов, постоянные и сильные ветры. Хотя зима сравнительно мягкая (среднемесячная температура января равна  $-6.3^{\circ}\text{C}$ ), лето холодное. Температура наиболее теплого месяца августа всего  $+10.9^{\circ}\text{C}$ . Показатели теплообеспеченности в вегетационный период очень низкие: сумма среднесуточных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  равна  $406^{\circ}\text{C}$  — это наиболее низкое значение для Курил.

Первые сведения о растительном покрове острова приведены в донесении казачьего сотника И.Черного от 1769 г. Среди прочего он сообщал, что «лесу, кроме кедрового сланца, ольховника и рябинника небольшого, нет» [3]. Японский геоботаник М.Татеваки, поднимавшийся 5 сентября 1928 г. по склону Пика Сарычева, кратко описал растительные сообщества и подчеркнул, что они выглядят как недавно сформировавшиеся [4]. Кроме того, он отметил отсутствие кедрового стланика (который полутора столетиями ранее зафиксировали русские исследователи).

В годы Второй мировой войны на острове размещался крупный гарнизон японских войск. Затем более полувека здесь находились советские (российские) пограничные и другие военные подразделения. С 2000 г. остров необитаем.

Сравнительно регулярно Матуа стал посещаться научными экспедициями лишь последние 15 лет. Доступными для высадок были только бухты низменной юго-восточной части, и все исследования проводились там же. Поскольку полевые работы почти все экспедиции вели методом кратких (одно-трехдневных) высадок, многие удаленные районы острова (включая конус вулкана) никогда не обследовались. В.Ю.Баркалов, побывавший на Матуа, отметил бедность и однообразие растительности. В своей сводке [5] он приводит для острова 214 видов сосудистых растений, тогда как на соседнем Расшуа описано на 50 видов больше.

### Первые данные и первые свидетели

Информация о катаклизме в июне 2009 г. на о.Матуа появилась в результате спутникового мониторинга. А благодаря невероятной удаче в разгар извержения были сделаны фотоснимки и с борта Международной космической станции. По местному времени съемка проводилась утром 13 июня, в 11:15. Остров был покрыт облаками, но колоссальный поток тепловой энергии из кратера «пробил» этот слой и образовал «окно». За минуту, пока станция пролетала над островом на высоте около 350 км, космонавты отсняли несколько десятков уникальных снимков. На них можно разглядеть сектор юго-западного побережья острова, южный и отчасти восточный склоны конуса, над которым возвышалась гигантская, многокилометровая эруптивная колонна\*. Из ее краевых частей на постройку обрушивались пирокластические потоки: склоны конуса, особенно в верхней части, были покрыты свежими вулканическими отложениями. Темные контуры на склоне — снежники, присыпанные увлажнившейся от тающего снега тефрой (вулканическим песком). На снимках хорошо просматриваются зеленые склоны подножия вулкана и побережье, еще не засыпанные пирокластическим материалом, что свидетельствует о начале наиболее активной стадии извержения. А на фотографиях, выполненных со спутника «Terra Aster»\*\* вскоре после катаклизма, видно, что половина острова уже превратилась в вулканическую пустыню.

\* <http://earthobservatory.nasa.gov>.

\*\* Там же.

Случайно оказались и очевидцы извержения. Рано утром 14 июня к Матуа подошло судно «Профессор Хромов» с туристами на борту. Капитан и старший помощник наблюдали светящийся поток, спускающийся по северо-восточному склону вулкана. Позднее туристов высадили на расположенный вблизи о.Топорковый (Матуа был закрыт низкой облачностью). Биолог Ю.Б.Артюхин, участвовавший в рейсе, отметил на больших листьях борщевика тефру, похожую на крупномолотый кофе. Около 11 ч раздался мощнейший взрыв, после которого со стороны вулкана непрерывно слышался грохот. Руководство рейса сочло за благо не мешкая отойти от островов в открытый океан...

Сахалинские вулканологи оперативно организовали экспедицию и спустя две недели после извержения уже были на Матуа. Ограничения по времени пребывания (три дня), плохая погода и опасность работы на горячих отложениях не позволили им детально обследовать остров. Однако собранные материалы, в том числе многочисленные фотографии, дали первые наземные данные, характеризующие событие. На фотоснимках, любезно предоставленных участницей той экспедиции Н.Г.Разжигасовой, видны мощные многометровые парящие отложения, которые перекрыли береговые террасы, и вулканическая пус-



Тефра извержения 2009 г. на листьях борщевика. 14 июня 2009 г.

Фото Ю.Б.Артюхина

тыня, простирающаяся прямо от берега моря до вершины вулкана. Анализы продуктов извержения показали, что последние относятся к андезибазальтам [6].

По космическим снимкам мы впервые выделили лавовые потоки, обмерили их и оценили время истечения лавы [7]. Общий объем извергнутых вулканических продуктов (важнейший параметр любого извержения) по нашей оценке составил



Парящие отложения пирокластических потоков на побережье острова. 28 июня 2009 г.

Фото Н.Г.Разжигасовой

суммарно около 200 млн м<sup>3</sup> [8], а по оценке сахалинских вулканологов превысил 400 млн м<sup>3</sup> [9]. По данным спутниковой съемки было определено, что наиболее активная и мощная фаза извержения вулкана пришлось на 12–15 июня [8, 10]. Тогда же отмечались и самые сильные взрывы, при которых верхняя кромка эруптивного облака достигала высоты 11–16 км, а во время сильнейшего взрыва — даже 20 км [10].

### Экспедиция 2010 г.

В августе 2010 г. почти одновременно на остров высадились две экспедиции: камчатских краеведов (под руководством Е.М.Верещаги), прибывших на пограничном корабле, и сахалинских вулканологов (руководитель А.В.Рыбин), добравшихся до Матуа на паруснике «Надежда». Я работал в составе первой экспедиции. За 18 дней пребывания на острове в погожие дни удалось совершить несколько дальних маршрутов, обследовать растительность как в восточной половине острова, почти не пострадавшей от извержения, так и в северо-западной — зоне сплошного поражения. Был обследован район языка одного из лаво-

вых потоков, выявленных ранее по космическим снимкам. Впечатляли ветви ольховника, обточенные раскаленными пирокластическими потоками, которые действовали как адский пескоструйный аппарат. После их «работы» вместо зарослей рослых, слегка изогнутых трех-четырёхметровых стволов-ветвей, увенчанных кроной листьями, из вулканического песка торчали короткие заостренные штыри с ободранной и обугленной древесиной. Попутно нам удалось обнаружить немало интересного, в том числе 19 новых для Матуа видов сосудистых растений [11]. Сенсационной стала находка кедрового стланика, известного на острове в XVIII в. и затем исчезнувшего [12]. Наблюдали мы и очень редкое явление — масштабное поражение древесной растительности газовыми выбросами вулкана. На площади около 1,5 км<sup>2</sup> был обнаружен погибший ольховник. Однако это произошло еще до извержения 2009 г., вероятно в 2007 г.

Мощные газово-паровые выбросы из кратера, явно с участием сернистого газа (SO<sub>2</sub>), постоянно происходили и в августе 2010 г. Однажды мы с коллегой были вынуждены бросить работу на высоте 450 м и бежать по руслу ручья вниз, спасаясь от едкого газа...



Остатки стволов ольховника на склоне, по которому прошли разрушительные пирокластические волны. Август 2010 г.

Фото автора



Куртина молодого кедрового стланика, обнаруженная на о. Матуа. Август 2010 г.

Фото автора

## Растительность острова

Для Матуа характерна обедненная растительность Северных Курил. Она состоит из субальпийского ольхового стланика (*Alnus fruticosa*), лугов, верещатников и несомкнутых группировок растений на вулканических отложениях [11]. Самая существенная черта распределения растительного покрова — асимметрия и фрагментарность пояса стлаников. До извержения 2009 г. сплошной массив стланика площадью около 24 км<sup>2</sup> простирался к юго-востоку от конуса и на его восточных и северо-восточных подножиях. Кроме того, отдельные участки (до 1—1,5 км в поперечнике) молодых зарослей встречались к западу, юго-западу и северо-западу от конуса. На западном и северном склонах вулкана основными в растительном покрове были сообщества и группировки травянистых и кустарничковых растений, существовавших на вулканогенных субстратах. В 2007 г. на молодом конусе вулкана, сплошь покрытом шлаком и вулканическими бомбами, почти до вершины доходили разреженно растущие травянистые виды — камнеломка Мерка (*Saxifraga merkitii*) и пеннелиант кустарниковый (*Pennellianthus frutescens*) [13].

Почти незатронутая извержением растительность юго-восточной половины острова располагается в пределах нескольких ландшафтно-поясных образований. Снизу вверх здесь выделяются: скалы и галечниковые пляжи побережий, приморские террасы, а также пологие склоны древнего вулканического комплекса, смыкающиеся с конусом активного вулкана. На приморских террасах преобладают разнообразные луга, шикшевики (в последних доминируют вересковые кустарнички, главным образом шикша *Empetrum nigrum*) и низкий (1,5—2 м) ольховый стланик. Большая часть склонов (100—700 м над ур.м.) сложена древними (возрастом более 1000 лет) лавовыми потоками. На них располагаются луга и заросли ольховника с некоторым участием кустарниковой рябины (*Sorbus sambucifolia*). Узловая ассоциация зрелых сообществ представлена ольховником папоротниковым, в котором в травяном ярусе доминирует щитовник расширенный (*Dryopteris expansa*). Это сомкнутые заросли высотой до 3—4 м, диаметр основания стволов ольховника до 10—20 см. Выше пояса стлаников идет кайма горных лугов, преимущественно несомкнутых, часто расположенных на скелетных вулканических почвах.



Ива Накамуры (*Salix nakamura*) на южном склоне вулкана Пик Сарычева (высота около 800 м над ур. м.). Листья поражены вулканическими газами. Август 2010 г.

Фото автора

По спутниковым снимкам были определены верхние границы растительного покрова до извержения 2009 г. Максимальных отметок (900 м) разреженный травяно-кустарничковый покров достигал на южном склоне, а минимальных (около 350 м) — на северо-восточном и юго-западном. Сплошные заросли ольховника доходили до высоты 500 м на юго-восточном склоне.

К началу извержения (12 июня 2009 г.) природа острова находилась в фазе перехода от весны к лету. На подножиях вулкана уже появились зеленые массивы, но на самом конусе еще лежали крупные снежники протяженностью до 3 км. После событий 13—15 июня на западном, северном и северо-восточном склонах вулкана почти весь растительный покров был уничтожен. На южном и юго-восточном склонах граница контакта между шлаковой пустыней и стланиковой растительностью снизилась на 100—150 м и проходит сейчас на высоте около 400 м. Расстояние от нее до кратера составляло около 2,5 км. К северо-западу же пустыня дошла до моря (расстояние до него 3,5—4 км).

Растительность на острове сильно пострадала, а местами просто уничтожена пирокластическими и лавовыми потоками, лахарами (вулканогенными селями) и пеплопадом. Последний был довольно умеренным (особенно вне конуса Пика Сарычева) и привел к отложению на юго-восточной окраине



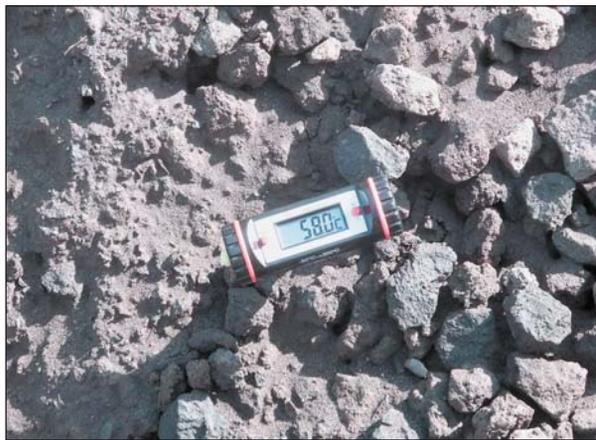
Остров Матуа после извержения. 2 августа 2009 г. Фото со спутника «Quickbird-2».

острова слоя тefры толщиной всего 1–2 см. Такое ее количество (как отмечали участники летних экспедиций 2009 г.) не нанесло существенного ущерба ни травянистой, ни стланиковой растительности. Основное количество пепла, видимо, выпало за пределами острова — на некоторых Курильских о-вах, на южном Сахалине, в Хабаровском крае, в акватории Тихого океана [10].

### Формы вулканического воздействия

Главную роль в изменении рельефа на склонах вулкана Пик Сарычева, а также в воздействии на природную среду острова играли *пирокластические потоки*, представляющие собой смесь раскаленного обломочного материала и газа. Это — крайне разрушительное вулканическое явление, опасное внезапностью схода, масштабностью зон поражения и высокой температурой отложений. По нашим подсчетам, в 2005–2011 гг. на Камчатке и Курилах пирокластические потоки вулканов Шивелуч, Безымянный, Пик Сарычева перекрыли своими отложениями территорию более 100 км<sup>2</sup>.

В результате извержения Пика Сарычева в 2009 г. потоки с высокой скоростью прошли по крутым (более 30°) склонам и подножиям вулкана, а затем обрушились в море. На снимках теплового излучения поверхности острова видно, что горя-



Поверхность отложений пирокластического потока, оставшаяся местами горячей и спустя 14 мес. после извержения. Август 2010 г.

Фото автора

чие отложения перекрыли главным образом западную часть вулкана, а также секторы на северном и восточном склонах, местами внедрившись далеко в море и сформировав новую сушу. Пирокластический материал мощностью несколько метров занял территорию около 13–15 км<sup>2</sup>. На трех участках береговая линия отодвинулась на 400 м, а суммарная наращенная площадь соста-



Погубленная пирокластическими волнами стланиковая растительность. Южный склон вулкана. 6 августа 2009 г.

Фото Е.М.Верещаги, И.В.Витер



Ствол ольховника с частично ободранной корой и опаленной древесиной — результат воздействия пирокластической волны. Август 2010 г.

Фото автора

вила 1—1.5 км<sup>2</sup>. Даже через две недели после извержения температура излившихся пород достигала нескольких сот градусов [9], а через 14 мес с поверхности они оставались еще горячими. Это неудивительно: мощные (десятки метров) толщи могут остывать многие годы. Так, Г.С.Горшков в 1954 г. отмечал бурно парящие фумаролы на поверхности отложений 1946 г. [14].

Год спустя на пирокластических отложениях 2009 г. еще не было даже единичных растений: субстрат оставался слишком неблагоприятным для их поселения. По моим наблюдениям на вулкане Шивелуч сосудистые растения на пирокластическом потоке 2005 г. стали появляться только через три года после извержения.

Часто пирокластические потоки сопровождаются *пирокластическими волнами* — турбулентными вихрями из смеси раскаленных вулканических газов и тонкой пирокластики. Подобно лавинам, они со скоростью несколько десятков метров в секунду несутся по склонам. Если потоки двигаются по понижениям в рельефе, то отложения волн перекрывают прилегающие склоны, включая возвышенные поверхности.



Нижний предел прохождения пирокластических волн. 1 — приустьевая часть, перекрытая отложениями лахара, заросли стланника содраны, 2 — кайма погибших и ошкуренных лахаром стволов ольховника, 3 — мертвые заросли ольховника на склоне, погибшие в результате воздействия пирокластических волн (кора и тонкие ветви не повреждены), 4 — живые заросли ольховника, уцелевшие с «теневого», по отношению к движению пирокластических волн, стороны холма. Август 2010 г.

Фото автора

Пирокластические волны уничтожили существенную часть растительности на вулканах Сент-Хеленс (США, 1980), Унзен (Япония, 1991), Суффриер (о.Сент-Винсент, 1997), Мерапи (Индонезия, 1994, 2010), Чайтен (Чили, 2008). Это относительно редкая, опасная и почти неисследованная форма вулканического воздействия на экосистемы в Камчатско-Курильском регионе.

При обследовании склонов вулкана Пик Сарычева в августе 2010 г. мы обнаружили, что зоны прохождения волн четко маркируются зарослями погибшего ольховника. Пирокластические газопо-песчаные волны обуглили и ободрали стволы ольховника, оставив на склонах обширные массивы мертвых зарослей. Как было определено на вулкане Шивелуч [15], наиболее интенсивное воздействие волн происходит на высоте до 2–3 м от земли. На склонах Пика Сарычева максимально пострадали именно низкорослые (1–4 м) заросли ольховника. Незадолго до извержения сошел снег, обнажив ветви, и на них начала разворачиваться молодая листва. Мощные (по-видимому, неоднократные) термические и механические удары, а также химическое отравление и частич-

ное погребение высокотемпературным материалом привели к практически полной гибели стланника на площади около 5 км<sup>2</sup>, что существенно превысило потери ольховника, вызванные другими вулканическими явлениями.

Ко времени нашей экспедиции травяной покров местами начал восстанавливаться. Скорее всего часть растений в период извержения еще не начала вегетировать и, возможно, была защищена от термического воздействия прослойкой холодного пепла, выпавшего в начальной фазе извержения, или остатками снега. Какая-то часть трав начала восстанавливаться из семян, находившихся в почве.

Отложения раскаленных пирокластических потоков и волн привели к катастрофическому таянию мощных снежников. На спутниковом снимке от 31 мая 2009 г. видно, что перед извержением три четверти снегового покрова располагалось на юго-восточных склонах вулкана. Длина снежников достигала 2–3 км, а ширина — 400 м. Их массовое таяние стало причиной образования мощных *лахаров*. Запас снега в зоне схода крупнейшего из них к началу извержения оценивался



Зона аккумуляции лахара (верхняя часть). Август 2010 г.

Фото автора



«Следы» лахара: содранные растительный и почвенный покровы и обнаженные скрытые «лисы норы» — убежища японцев в годы Второй мировой войны. Поток прошел и по верхней части склона, погубив полосу ольховника. Высота обнажения около 10 м. Август 2010 г.

Фото автора

в 0.7 млн м<sup>3</sup>, а запас воды — в 0.4—0.5 млн м<sup>3</sup>. При извержении шлаковые пирокластические потоки узкими полосами достигли высоты 450 м, перекрыв снежники, а пирокластические волны широкими фронтами прошли по склонам, прилегающим к руслам. Раскаленные отложения вызвали бурное таяние снега.

Сформировавшаяся селевая масса состояла как из свежих вулканических продуктов, так и из ранее извергнутых вулканитов, которые покрывали склоны конуса или находились в районе транзита лахара. Селевой поток узкой (до 50 м) полосой прошел на юг по старому заросшему распадку. В зоне питания и в верхней зоне транзита, где угол падения склона превышал 15°, лахар сильно разогнал. Если в верхней части зоны транзита высота заплесков не превышала 3—6 м над современным дном русла, то в местах поворотов она взлетала до 10—15 м. Поток уничтожил растительность в русле ручья и на пологой равнине, где растеклись веером отложения конуса выноса. Водно-грязевая масса сдираала рыхлый грунт, почвенный и растительный покровы, обнажая местами склоны до скальных выходов древних лав. Ко-

нус выноса лахара достиг бетонной полосы японского аэродрома, расположенного на низменной приморской террасе. Поток перенес и отложил около 0.2 млн м<sup>3</sup> твердого материала — преимущественно слабосвязанного шлака, песка и мелких валунов. Мощность отложений в зоне аккумуляции составила около 1 м, а в узкой осевой части русла — 2—3 м.

В результате схождения только одного крупнейшего лахара растительность погибла на территории 0.2 км<sup>2</sup>. В целом же после воздействия четырех обследованных лахаров растительный покров был поврежден на площади около 0.3 км<sup>2</sup>. Через год в русле большого лахара мы обнаружили единичные случайные растения, иногда перенесенные с кусками дернины, которые лахар сорвал со склонов. Чаще всего встречались крупные, немного похожие на ананасы, корневища папоротника щитовника расширенного, перенесенные потоком со склонов долины. Некоторые из них оправившись в неблагоприятных условиях безжизненного русла и выпустили листья (вайи). Находились побеги и других травянистых растений — вейника Лангсдорфа и лабазника камчатского,

анафалеса жемчужного, остролодочника вдавленного, двулепестника альпийского, а также всходы ольховника.

В северо-восточном секторе вулкана на снимках, сделанных с борта МКС 17 и 18 июня 2009 г., я выявил два *лавовых потока*, истоки которых почти сливались. А.К.Клитин в августе 2007 г. обнаружил, что кратер Пика Сарычева до бровки заполнен твердой лавовой пробкой, на поверхности которой действовали полтора десятка фумарол [13]. При извержении она разрушилась. Лавовый поток на северо-восточном склоне прошел по глубокой ложбине и закончил свое движение на абсолютной высоте около 220 м. Светящуюся лаву, которая спустилась на две третьих вниз по склону, рано утром 14 июня наблюдали капитан и старпом судна «Профессор Хромов». Они также видели горящий ольховый стланик. Еще один (северный) поток двигался сначала на север, затем из-за рельефа на высоте 850 м отклонился примерно на 40° к западу и завершил свое движение на высоте около 420 м.

Положение лавовых потоков было уточнено по снимкам теплового излучения поверхности остро-

ва со спутника «Aster Terra», а также по зимним снимкам острова — на горячих лавах отсутствовал снеговой покров. По снимкам мы определили параметры потоков: длину (с учетом крутизны склона — около 2.4 и 2.7 км), ширину (100 и 150 м) и общую площадь (0.8 км<sup>2</sup>). Скорость движения северо-восточного потока была не менее 67 м/час, а общий расход лавы составил около 70 м<sup>3</sup>/с [7]. Лава погребла растительный покров на склонах, который состоял здесь из зарослей ольхового стланика, лугов, верещатников и несомкнутых группировок растений на вулканических отложениях.

\* \* \*

Таким образом, при крупном извержении вулкана Пик Сарычев в июне 2009 г. был уничтожен растительный покров северо-западной половины о-ва Матуа на территории 25—30 км<sup>2</sup>. Из пяти крупных извержений вулканов Курильских о-вов, произошедших за последние 40 лет (Алаид, 1972 и 1981; Тятя, 1973; Чикурачки, 1986; Пик Сарычева, 2009), это извержение стало самым разрушительным из-за массового и масштабного схода раскаленного пирокластического материала.



Кратер вулкана, заполненный твердой лавовой пробкой. Август 2007 г.

Фото А.К.Клитина

Мощное извержение 2009 г. стало катастрофой для экосистем вулкана на о-ве Матуа. Что можно ожидать дальше? Конус вулкана, покрытый шлаками и пирокластическими отложениями, обновил свою поверхность и, вероятно, в течение одного-трех десятилетий снова покроется разреженно растущими травянистыми пионерными растениями. Восстановление же в ходе вторичной сукцессии сообществ стланиковой растительности может занять 50–100 лет. Однако ввиду крайне высокой активности вулкана сукцессии скорее всего прервутся очередным катаклизмом, после которых начнется новый этап восстановления.

Постоянно и мощно действующий эксплозивный и эффузивный вулканизм глубоко изменил природный комплекс острова. Кроме снижения

верхнего предела растительного покрова, наблюдается постоянно существующая асимметрия его поясов. Природный комплекс вулкана является собой редкий пример крайне динамичной экосистемы. Растительность острова регулярно испытывает поражения разного масштаба, но в определенной мере адаптировалась к этим катастрофам, достаточно быстро восстанавливая сомкнутый покров на значительной части о.Матуа.

Извержение 2009 г., как редкое природное событие, требует основательного изучения. Очень важно побывать на острове снова, и желательно не один раз, чтобы выявить специфику процессов восстановления растительного покрова и экосистем в целом в жестких природных условиях тихоокеанских островов. ■

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты 10-05-01015, 11-05-98604), а экспедиционная ее часть – при содействии Е.М.Верещаги и И.В.Витер.**

## Литература

1. Арсланов Х.А., Мелекесцев И.В., Разжигаяева Н.Г. и др. Возраст почвенно-пирокластического чехла и хронология вулканической активности на о.Матуа (Центральные Курилы) в голоцене // Квартер во всем его многообразии. Фундам. пробл., итоги изуч. и осн. направл. дальн. исслед. Апатиты, СПб., 2011. Т.1. С.44–46.
2. Андреев В.Н., Шапцев А.Е., Хренов А.П. и др. Извержение вулкана Пик Сарычева в 1976 г. // Бюл. вулканол. станций. 1978. №55. С.35–40.
3. Русские экспедиции по изучению северной части Тихого океана во второй половине XVIII в.: Сб. документов. М., 1989.
4. *Tatewaki M.* On the plant communities in the Island of Matsuwa in the Middle Kuriles // Sapporo, 1929. V.11. Pt.1. P.25–30.
5. Баркалов В.Ю. Флора Курильских островов. Владивосток, 2009.
6. Дегтярев А.В. Пирокластические отложения извержения вулкана Пик Сарычева (о. Матуа) в июне 2009 г. // Вулканолог. и сейсмолог. 2011. №4. С.60–68.
7. Гришин С.Ю., Мелекесцев И.В. Лавовые потоки (извержение 2009 г.) вулкана Пик Сарычева (Центральные Курилы) // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. №1. С.232–239.
8. Гришин С.Ю., Гирина О.А., Верещага Е.М., Витер И.В. Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестн. ДВО РАН. 2010. №3. С.40–50.
9. Левин Б.В., Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г. и др. Комплексная экспедиция «Вулкан Сарычева-2009» (Курильские острова) // Вестн. ДВО РАН. 2009. №6. С.98–104.
10. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Коротеев И.Г. Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах // Вестн. ДВО РАН. 2010. №3. С.64–71.
11. Гришин С.Ю., Терехина Н.В. Растительный покров острова Матуа (Курильские острова) // Комаровские чтения. Вып.59. Владивосток, 2012. С.188–229.
12. Гришин С.Ю. Кедровый стланик на острове Матуа (Курилы): факторы его выпадения из растительного покрова в XVIII в. и пути появления в XXI в. // Изв. РГО. 2012. №4. С.51–63.
13. Клитин А.К. Курильский дневник // Вестн. Сахалинского музея. Южно-Сахалинск, 2008. №15. С.337–353.
14. Горшков Г.С. Вулканизм Курильской островной дуги. М., 1967.
15. Гришин С.Ю. Гибель леса на вулкане Шивелуч под воздействием палящей пирокластической волны (Камчатка, 2005 г.) // Экология. 2009. №2. С.158–160.

# Интересная книга о российском арктическом мореплавании

В.С.Корякин,  
доктор географических наук, почетный полярник  
Москва

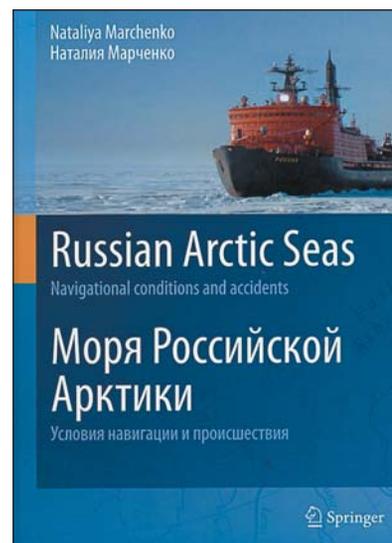
В 2012 г. немецкое издательство «Шпрингер» опубликовало книгу Н.Марченко «Моря Российской Арктики. Условия навигации и происшествия». Книга издана на русском и английском языках, богато иллюстрирована многочисленными фотографиями (большая их часть публикуется впервые) и картами, библиография весьма представительна.

Несколько слов об авторе. Наталия Адольфовна Марченко окончила географический факультет Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова в 1988 г. (кафедра физической географии СССР), защитила кандидатскую диссертацию в 1992 г. С 2006 г. она научный сотрудник университетского центра на о.Шпицберген (Университетский центр Свальбарда, UNIS), где и проживает с семьей.

Чтобы взяться за написание такой книги, автор должна была проявить как смелость, так и самостоятельность, поскольку у нее имелись именитые предшественники. Достаточно назвать книгу М.С.Боднарского «Великий Северный морской путь» (1926), три издания работы В.Ю.Визе «Моря Советской Арктики» (1936, 1939 и 1948) и, наконец, четыре тома «Истории открытия и освоения Северного морского пути» М.И.Белова и Д.М.Пинхенсона (1956—1969). И это не считая трудов заслуженных арктических капитанов — мастеров ледового мореплавания, таких как М.П.Белоусов, М.В.Готский и др. Матери-

алы из всех этих книг частично использованы в работе Марченко. Казалось бы, что можно внести нового в данной области после столь монументальных и исчерпывающих изданий? Хочу сразу с удовлетворением отметить, что Марченко это удалось в полной мере — благодаря сочетанию в работе природного и исторического направлений исследований, причем сочетанию такому удачному, что одно направление не подавляет другое.

Уже само название книги указывает на взаимосвязь исторических событий и природных условий мореплавания. В принципе такой подход не нов, но в трудах историков (М.И.Белова, В.М.Пасецкого и ряда других) природная обстановка выступает лишь неким общим фоном, а в работах моряков опыт предшественников упоминается только для подтверждения собственного. В рецензируемой книге впервые удалось соединить природную ситуацию и события в равном соотношении. Цели и задачи своего труда автор определила так: обобщение опыта мореплавателей и систематизация «знаний о ледовых условиях и поведении людей в экстремальных ситуациях для обеспечения безопасности транспортных и других операций в Арктике, устойчивого развития региона, правильной эксплуатации природных богатств» (с.vi). Можно с уверенностью сказать, что такой подход нов, — это в значительной мере и определяет достоинства книги. «Собранная в итоге коллекция сведений



**N.Marchenko.** RUSSIAN ARCTIC SEAS: NAVIGATIONAL CONDITIONS AND ACCIDENTS / **Н.Марченко.** МОРЯ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ. УСЛОВИЯ НАВИГАЦИИ И ПРОИСШЕСТВИЯ.

Berlin; Heidelberg: Springer, 2012. 294 p.

© Корякин В.С., 2013

о морских происшествиях и опыте мореплавателей — это комбинация географических, исторических, технологических и психологических данных» (там же).

В издании широко использована информация, известная специалистам, но в советское время по идеологическим причинам скрывавшаяся от широкого читателя (в частности, обстоятельства гибели целого ряда судов). Утаивание было особенно широко распространено в послевоенное время и в годы холодной войны, когда все связанное с Арктикой, казалось, исчезло со страниц советских изданий и лишь иногда появлялось в изрядно урезанном виде после обработки в канцеляриях Главлита. Возможность сегодня без купюр рассказать историю работ в Арктике не только придает тексту ценность, но и в значительной мере определяет его драматизм изложения. Главное же состоит в том, что полнота освещения позволяет утвердить российский приоритет в освоении Северного морского пути — важнейшей морской транспортной магистрали, значению которой в мировой экономике еще только предстоит раскрыться в обозримом будущем. С этих позиций хочу отметить, что, читая книгу, нельзя не почувствовать заслуженную гордость за героический труд наших моряков в морях Ледовитого океана, за их выдающиеся успехи, в числе которых достижение Северного полюса атомоходом «Арктика» в августе 1977 г.

Само появление книги подобной направленности свидетельствует об интересе западной общественности (включая научные и деловые круги) к событиям и природе Российского Севера. Ясно, что интерес этот в первую очередь чисто прагматический. Связан он с усилением нашего арктического мореплавания в последние годы, благодаря чему возрастают перспективы перевозок между европейскими странами и Дальневосточным регионом по Севморпути — национальной транспортной магистрали. Хочется надеяться, что западному чита-

телю книга позволит лучше оценить трудности мореплавания по этой трассе, а нашему — поможет осмыслить собственные достижения и неудачи. Книга Марченко будет, несомненно, интересна не только начинающему полярнику, которого нужно ввести в курс дела, но и читателю, познавшему, так сказать, «почем фунт полярного лиха» на собственном опыте и потому обладающему личным взглядом на многие события прошлого.

Открывает книгу предисловие, выполняющее традиционную роль представления читателю. За ним следуют две общие главы, предназначенные в первую очередь тем, кому еще только предстоит серьезное знакомство с Арктикой.

Первая глава («Общие свойства морей Российской Арктики») представляет собой по сути физико-географический обзор окраинных шельфовых морей северного побережья России. Рассмотрены природные условия, особенности берегов и морского дна, климата и гидрологического режима. Особое внимание уделено главной проблеме — специфике ледовой обстановки в каждом из морей. В этой главе есть разделы, имеющие практическую направленность: «Основные трудности и организация навигации» и «Основные трассы Северного морского пути».

Вторая глава («Основные этапы развития арктического мореплавания и судостроения») с исторических позиций подводит читателя к проблемам практического использования Северного морского пути, эксплуатация которого в нашей стране продолжается на протяжении более пяти веков (хотя и не по всей его протяженности от Кольского п-ова до мыса Дежнёва). К большому сожалению, в главе отсутствует раздел, посвященный научным предпосылкам освоения трассы, нет и обзора событий, в ходе которых был накоплен опыт эксплуатации этой транспортной магистрали. А ведь именно тогда создавалась сеть полярных станций, организовывалась ледовая воздушная

разведка и проводились другие не менее важные мероприятия, без чего нормальная работа Севморпути была бы просто невозможна. Выделение исторических эпох в книге основано на типах используемых судов (деревянных парусных, деревянных и металлических с паровым двигателем и т.д.). Завершается перечень эпох атомных линейных ледоколов, с которыми связано будущее развитие этой морской магистрали. Представляется, что автор все-таки недостаточно уделила внимания классификации судов транспортного назначения в зависимости от их приспособленности к работе во льдах, а ведь это определяло многие события прошлого. Читатель книги должен отчетливо представлять разницу между ледоколом, не перевозящим груз, и транспортным судном ледового класса, которому принадлежит ведущая роль в перевозке грузов по Северному морскому пути, а главное — понимать их взаимодействие в новых экономических условиях России.

Особое внимание читателя привлекут следующие разделы второй главы: «Экономические трудности перехода к рыночным отношениям» и «Современная ситуация и перспективы», в которых широко использованы количественные показатели. Так, отмечено общее падение грузоперевозок по Северному морскому пути с 6,3 млн т в 1988 г. до 3 млн т в 1993 г., когда содержание ледокольного флота в нашей стране стало нерентабельным. Неизменным остался только объем грузоперевозок (свыше 1 млн т) на Дудинку для обслуживания Норильского горно-металлургического комбината, что очевидно объясняется особым значением этого предприятия в экономике страны. Автор специально отмечает признаки возрастания грузоперевозок, обозначившиеся в последние годы. Но изменения к лучшему на трассе обязательно должны затронуть и обеспечение мореплавания, которое сегодня недостаточно, несмотря на широкое использование дистанционных

космических методов. Укажу лишь, что из 67 полярных станций в настоящее время, по данным Марченко, в строю остаются всего 16. О той же тенденции свидетельствуют приведенные в книге сведения о численности населения арктических портов.

Региональная характеристика условий мореплавания представлена в последующих главах книги по отдельным морям трассы Северного морского пути. Описания даны по единой схеме: географическая характеристика; границы и рельеф дна (батиметрия); климат и динамика вод; гидрологические особенности; морские льды; условия навигации; особенности навигации; плавания по основным рекомендованным путям; происшествия, включая описания вынужденных зимовок и дрейфа судов, а также повреждения разного рода (преимущественно ото льдов) и гибель судов.

Характеристику условий мореплавания по Северному морскому пути автор совершенно справедливо начинает с новоземельского рубежа, т.е. исключает Баренцево море, что соответствует общепринятым канонам. Однако освоение арктических морей началось именно с этого моря, где и был получен нашими моряками первый полярный опыт и оценки ледовой обстановки, и использования новой техники (ледоколов или воздушной ледовой разведки). Как раз в Баренцевом море произошли первые контакты западноевропейских моряков и экипажей поморских судов, обмен опытом жизни и деятельности в полярных условиях. Кроме того, именно здесь впервые прошло плавание в зимних условиях — на ледоколе «Красин» в марте 1933 г. По моему мнению, включение в работу Баренцева моря, сыгравшего особую роль в развитии российского арктического мореплавания, лишь обогатило бы содержание книги Марченко.

Перейдем теперь к существенным местам в региональных разделах. Глава «Карское море» по своему значению занимает в книге особое место, поскольку именно

в этой арктической акватории во второй половине XIX в. мореплавание стало регулярным благодаря рейсам к устьям сибирских рек. Неудивительно, что здесь-то и был получен самый ценный опыт ледового мореплавания. Но оно сопровождалось многочисленными чрезвычайными происшествиями, число которых (31!) значительно больше, чем в остальных морях Российской Арктики. Все это впервые в полной мере представлено в книге Марченко. Автор убедительно показала, как требования экономики заставили именно в Карском море впервые перейти к круглогодичной навигации, когда лед, препятствующий движению судов, одновременно облегчил их разгрузку. Это отражено в специальном разделе «Разгрузка на припай и зимняя навигация». Отмечу, что зимняя навигация — это также важнейший вклад отечественных моряков в освоение Северного морского пути, не имеющих аналогов в мировой практике мореплавания. Признание нашего полярного опыта привело к привлечению отечественных судов ледового класса для продления навигации на р.Святого Лаврентия в Канаде. К сожалению, в книге об этом не сказано, как и об использовании арктического опыта в антарктических рейсах и спасательных операциях.

Раздел «Происшествия» в региональных главах включает описания вынужденных зимовок, аварий, а также случаев гибели судов. Если учесть, что ранее эта информация была закрыта, опубликованные сведения представляют несомненный интерес и весьма поучительны для широкого круга читателей, а главное, свидетельствуют о небольшом количестве таких эпизодов. В послевоенное время на трассе Северного морского пути погибло шесть судов: «Моссовет» (1947), «Казахстан» (1948), «Севан» (1956), «Витимлес» (1965), «Брянсклес» (1980) и «Нина Сагайдак» (1983). На общем фоне использованного транспортного флота такие потери могут считаться в пределах допустимого, особенно в сравнении

с другими акваториями Мирового океана. Количество чрезвычайных происшествий восточнее мыса Челюскина, по данным Марченко, демонстрирует интересную тенденцию: сначала оно снижается до 17 (в море Лаптевых), затем возрастает до 21 (в Восточно-Сибирском море) и достигает 25 (в Чукотском). Этому есть свои объяснения, частично освещенные в книге.

Первая причина — во время сквозных рейсов (особенно в пионерных плаваниях «Веги», «Сибирякова» и, конечно, «Челюскина») еще в процессе плавания по западным морям накапливались задержки и повреждения, совокупные последствия которых как раз в Чукотском море приобретали необратимый характер. Должен отметить, что для судов, следующих с запада, эта опасность сохраняется и в настоящее время. Вторая причина — сама специфика ледового режима Чукотского моря, которое расположено на границе двух генеральных систем дрейфа льдов Северного Ледовитого океана, затрудняющего прогноз ледовой обстановки.

Особая роль в книге принадлежит «Заклучению», несмотря на его ограниченный размер. Богатая библиография отсылает читателя к первоисточникам, так что интересующиеся проблемами, описанными в книге, имеют возможность проверить выводы автора и сформировать собственное мнение. Приведено немало книг, не переиздававшихся в последние десятилетия, но сохранивших свое значение. Среди них, например, известный трехтомник издательства «Правда», который посвящен событиям, связанным с походом и гибелью парохода «Челюскин» и спасением его экипажа и пассажиров нашими летчиками. Сегодня многие оценивают этот источник как чисто пропагандистское издание, но это неверно, поскольку он содержит массу информации, отсутствующей в последующих публикациях. Даны также ссылки на источники, опубликованные в Интернете, которым пока еще недостаточно

уверенно пользуются многие читатели старшего поколения, — важный материал о походах к Северному полюсу в отчетах экспедиции «Полярштерн»; отчет Северо-Восточной экспедиции Наркомвода (1934), написанный известным полярным капитаном А.П.Бочком. Для историка Арктики знание этих работ тем более необходимо, что в начале 30-х годов прошлого века разные организации — Главное управление Северного морского пути и подразделение ОГПУ (НКВД) Дальстрой — предлагали два разных подхода в освоении полярных окраин нашей страны. Хорошо представлены в библиографии и зарубежные издания известных полярников из многих стран, чьи труды у нас издавались с многочисленными сокращениями и даже искажениями, нередко по идеологическим мотивам. Для читателя будет полезно узнать о сайтах, регулярно публикующих

в Интернете сведения о состоянии ледовой обстановки в арктических морях.

К сожалению, в книге отсутствуют ссылки на работы известного полярного моряка Н.И.Евгенова — автора первой «Лоции Карского моря и Новой Земли» (1930). А ведь именно Евгений описал первые зимние рейсы на Новую Землю, хотя и с баренцевоморского побережья, которое не рассматривается в книге. Нет мемуаров А.А.Афанасьева «На гребне волны и в пучине сталинизма» (2003). Нет трудов В.А.Русанова\*, сыгравшего своими принципиальными предложениями немалую роль в организации арктического мореплавания. Нет и книги Н.Н.Сибирцева и В.А.Ити-

\* Его работы были опубликованы посмертно в книге: Русанов В.А. Статьи, лекции, письма: литературное наследство выдающегося русского полярного исследователя начала XX века. М.; Л., 1945.

на «Северный морской путь и Карские экспедиции» (1936), хотя именно в ней впервые выдвинута идея «ледовой оппозиции» на Северном морском пути, суть которой заключается в противоположном характере развития ледовой обстановки в арктических морях на трассе Севморпути. Пишу об этом не для того, чтобы, отмечая недостатки, принизить достоинства труда Марченко в целом, а чтобы показать автору и читателям перспективы будущих исследований.

Автор заканчивает книгу следующими строками: «Я искренне желаю читателям найти нужные им сведения, использовать их в работе или просто получить удовольствие от соприкосновения с загадками Арктики и восхититься героизмом и самоотверженностью первооткрывателей Севера» (с.254). По мнению рецензента, для подобного утверждения есть все основания. ■

## Зоология

**В.Б.Голуб, М.Н.Цуриков, А.А.Прокин.**

КОЛЛЕКЦИИ НАСЕКОМЫХ: СБОР, ОБРАБОТКА И ХРАНЕНИЕ МАТЕРИАЛА. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. 339 с.

Биологические (в том числе энтомологические) коллекции широко используются в учебном процессе, при выполнении фундаментальных и прикладных исследований, в дизайне помещений, в работе по природоохранному и эстетическому воспитанию детей. В многих областях биологии они служат основным рабочим материалом. Без коллекций животных, включая насекомых, невозможно глубокое освоение материала студентами биологических специальностей в вузах. Готовые энтомологические коллекции, имеющие научную, практическую, культурно-просветительскую, учебно-воспитательную и эстетическую ценность, представляют собой итог большой и кропотливой работы, принципы и методы которой выработывались в течение двух сотен лет.

В книге последовательно изложен весь процесс составления энтомологических коллекций. Описаны различные приспособления, в том числе оригинальные, для сбора наземных, амфибиотических и водных насекомых и приемы работы с ними. Показаны способы монтирования насекомых на энтомологические булавки, расправления бабочек и других насекомых, консервирования в жидкостях. Дан ряд методик приготовления макро- и микропрепаратов насекомых. Уделено внимание способам и приемам постановки и оформления коллекций различного назначения, правилам их хранения и пересылки.

В.Б. Голуб, М.Н. Цуриков, А.А. Прокин

**КОЛЛЕКЦИИ НАСЕКОМЫХ:  
сбор, обработка  
и хранение материала**



## История науки

ОТТО ЮЛЬЕВИЧ ШМИДТ В ИСТОРИИ РОССИИ XX ВЕКА И РАЗВИТИЕ ЕГО НАУЧНЫХ ИДЕЙ / Под ред. О.А.Глинко. М.: Физматлит, 2011. 680 с.



Книга посвящена научному вкладу, государственной и общественной деятельности, а также развитию идей выдающегося ученого, Героя Советского Союза академика О.Ю.Шмидта (1891—1956). Шмидт был известным математиком-алгебраистом и одним из создателей теории групп, а также крупным геофизиком и эффективно использовал математические методы в решении теоретических и прикладных задач. Он внес неоценимый вклад в исследование и освоение Арктики, поставил на современную основу комплекс наук о Земле, заложил фундамент планетной космогонии во взаимосвязи с геофизикой. Хорошо известна также выдающаяся научно-организационная и просветительская деятельность Шмидта. Сборник содержит научные статьи его учеников и последователей — сотрудников созданного им и носящего его имя Института физики Земли РАН и других родственных институтов, а также воспоминания о Шмидте десятков людей, среди которых известные деятели науки и культуры и его сыновья.

Книга состоит из трех частей, восьми глав и справочного раздела. Первая часть книги посвящена научной деятельности самого Шмидта и развитию его идей и начинаний. В представленных публикациях отражен широчайший диапазон его научного творчества — от глобального теоретического изучения нашей планеты до практического использования ее недр, показан его вклад в математику, в геофизику, астрономию, географию. Ряд статей его последователей отражает современное состояние исследований строения, происхождения и эволюции Земли и планет. Во второй части представлена деятельность Шмидта как организатора и непосредственного участника исследований в области освоения Арктики. Вспомним самые известные его работы: две экспедиции на ледокольном пароходе «Георгий Седов», научная полярная станция на Земле Франца-Иосифа, проход на ледоколе «Сибиряков» из Архангельска в Тихий океан за одну навигацию, создание и руководство Главным управлением Северного морского пути, эпопея парохода «Челюскин», первая проводка на ледорезе «Литке» советских военных кораблей северным путем в 1936 г., воздушная экспедиция на Северный полюс, создание первой дрейфующей станции и ее последующая эвакуация. Здесь же рассказано о Шмидте как просветителе — руководителе Госиздата и создателе Большой советской энциклопедии. Напомним, что с 1952 по 1956 г. Отто Юльевич был главным редактором журнала «Природа» и спас журнал от лысенковщины. Все материалы, приведенные в первой и второй частях книги, публикуются впервые. Третья — мемориальная и документальная — содержит воспоминания сотрудников и учеников Шмидта, посвященные ему выступления выдающихся ученых. Самая большая глава этой части — это воспоминания историка С.О.Шмидта об отце. В завершающей книгу главе представлены уникальные материалы — от юношеского дневника Шмидта до доносов на него в годы политических репрессий.

Материалы книги раскрывают масштабность, разносторонность и высокие человеческие достоинства личности Шмидта, создавая целостный портрет уникального человека, ученого и государственного деятеля.

# «От биологии к биотехнии»: траектория одной научной биографии

О.П.Белозеров,

кандидат биологических наук

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

О Михаиле Михайловиче Завадовском никак нельзя сказать, что он фигура малоизвестная или полузабытая. «Птенец гнезда Кольцова»\*, впоследствии директор Московского зоосада (зоопарка), профессор МГУ, основавший здесь кафедру и лабораторию динамики развития организма, действительный член и вице-президент (1935—1938) ВАСХНИЛ, он известен как автор новаторских работ в различных областях биологии — в физико-химической биологии, паразитологии, но прежде всего в эндокринологии.

В научной карьере Завадовский прошел путь, который удачно описывает название одной из его публикаций в журнале «Природа», — «От биологии к биотехнии\*\*» [1]. Начав с работ академического характера, он во второй половине научной жизни переключился на проблемы прикладные. Разработка им метода искусственного многоплодия сельскохозяйственных животных (позволявшего увеличить число детенышей, вынашиваемых самкой за одну беремен-



Михаил Михайлович Завадовский. Первая половина 1920-х годов.

Здесь и далее фото из личного архива М.М.Завадовской-Саченко

ность) имела огромный хозяйственный эффект и была отмечена Сталинской премией в 1946 г. Завадовский занимал в советской науке довольно серьезные административные посты и был участником важнейших событий, происходивших в советском биологическом сообществе. Поэтому он остался в памяти и трудах историков науки.

Но некоторые важнейшие стороны его деятельности до сих пор не получили достаточного освещения. В первую очередь нужно упомянуть историю создания Михаилом Михайловичем новой дисциплины — динамики развития организма, це-

лю которой должно было стать изучение индивидуального развития. Сам этот термин в исторических работах вроде как упоминается, но, так сказать, всуе. Поэтому кратко вспомним этапы жизни Завадовского, уделив особое внимание белым пятнам его научной биографии.

## Путь в науку

Завадовский родился 4 (16) июля 1891 г. в с.Покровке Елисаветградского уезда Херсонской губернии и был третьим из четырех детей небогатого дворянина Михаила Владимировича Завадовского и дочери местного священника Марии Лаврентьевны Завадовской (урожд. Коцюбинской). В 1895 г. отец умер, и мать с детьми перебралась в ближайший крупный город Елисаветград (ныне Кировоград, Украина), где и прошли детство и отрочество Михаила. Среднее образование он получил в местном реальном училище, которое окончил в 1908 г. Завадовский мечтал о поступлении в университет, причем обязательно Московский, однако в силу разных обстоятельств смог осуществить свою мечту только год спустя. В студенческие годы на него наибольшее влияние оказали два человека — уже упоминавшийся биолог Н.К.Кольцов (1872—1940) и физик П.Н.Лебедев (1866—1912).

С Кольцовым Завадовский познакомился вскоре после поступления в университет и быстро выделил его из общей массы

\* О Николае Константиновиче Кольцове и его научной школе см. специальный выпуск журнала «Природа» (2012, №10).

\*\* Термином «биотехния» Завадовский называл только формирующуюся, по его мнению, отрасль знания, целью которой должна была стать разработка методов управления живым организмом для удовлетворения нужд сельского хозяйства, медицины и т.д.

преподавателей. Ученик известного орнитолога и специалиста в области сравнительной анатомии М.А.Мензбира, в начале XX в. Кольцов покинул круг научных интересов своего учителя и начал работать в области цитологии и физико-химической биологии, став вскоре лидером этих направлений в России. Его научные интересы включали изучение природы и структуры клеточного скелета, физических свойств цитоплазмы, физиологического действия ионов и механизмов движения клеток. В конце 1910-х годов к ним также добавляются генетика, евгеника, механика развития, теоретические проблемы биологии.

Еще большим был вклад Кольцова как педагога и организатора в развитие науки в России. Под его руководством в науку вошла целая плеяда крупных ученых, среди которых кроме М.М.Завадовского были А.С.Серебровский, С.Н.Скадовский, Г.В.Эпштейн, Г.И.Роскин, П.И.Живаго, И.Г.Коган, И.Л.Кан и др. Педагогические методы Кольцова были во многом новаторскими для российской высшей школы того времени и наряду с такой традиционной формой обучения, как лекции, включали оригинальную исследовательскую работу на практикумах и коллоквиумы.

Благодаря Кольцову не меньшую роль, чем Императорский Московский, в жизни Завадовского сыграл Московский городской народный университет им.А.Л.Шанявского — независимое учреждение, куда Кольцов перенес всю свою работу после ухода из Московского университета в 1911 г. Именно здесь Завадовский прошел практикумы и выполнил первые научные исследования, а в 1914—1919 гг. работал ассистентом.

Влияние Петра Николаевича Лебедева было другого рода — кратким и эмоциональным. По оценке Михаила Михайловича — даже более глубоким, чем кольцовское. На примере Лебедева он увидел, какими личными



М.М.Завадовский, предположительно в Университете им.А.Л.Шанявского. Вторая половина 1910-х годов.

и профессиональными качествами должен обладать ученый, чтобы добиться успеха в избранной области. Памяти Лебедева — «художника мысли и научного опыта» — посвящена первая монография Завадовского «Пол и развитие его признаков» [2].

Первоначально научные интересы Михаила Михайловича лежали в области физико-химической биологии. Тему первого научного исследования он нашел, когда весной 1911 г. проходил большой практикум в кольцовской лаборатории. Выполняя рутинные задания по изучению яиц паразитического червя *Ascaris megaloccephala*, он обратил внимание на огромные различия картин дробления на фиксированных препаратах и у живых дробящихся яиц, и прежде всего на изменения, происходящие с оболочкой: если у живых яиц в оболочке присутствовал мощный внутренний волокнистый слой, то у фиксированных не было никаких его следов.

Природа биологических оболочек и механизмы транспорта веществ через них были в то время предметом серьезных

дискуссий. Согласно одной из наиболее популярных гипотез, главным пропонентом\* которой был Ч.Э.Овертон, клеточная оболочка образована жироподобными веществами (липоидами\*\*) и ее проницаемость для различных веществ тем выше, чем они лучше растворяются в липоидах (и растворяют их). Завадовский решил посмотреть, является ли оболочка яйца аскариды полупроницаемой, а в случае положительного ответа — образована ли она липоидами и выполняются ли в этом случае закономерности, установленные Овертоном для других клеточных оболочек.

Итогом его усилий стала дипломная работа «О липоидной полупроницаемой оболочке яйца *Ascaris megaloccephala*» [3].

\* Пропонент (от лат. *propono* — предлагаю) — тот, кто поддерживает и аргументирует тезис в дебатах, антоним оппонента. Также употребляется в общем смысле как «защитник».

\*\* Липоиды (от греч. *λίπος* — жир и *είδος* — вид) — природные жироподобные вещества, в современной терминологии — липиды.



М.М.Завадовский предположительно со слушателями Университета им.А.Л.Шанявского. Вторая половина 1910-х годов.

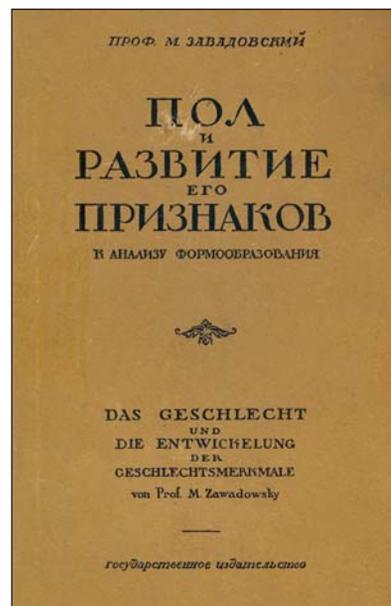
Изучив развитие яиц в различных средах (дистиллированной воде; растворах солей, в том числе безусловно летальных для живых организмов; «загнившей» воде) и поведение яиц при высушивании и в гипертонических растворах, он показал, что оболочка яиц аскариды действительно обладает свойствами полупроницаемости. Дальнейшие исследования ее морфологии позволили выделить в ней пять слоев, а эксперименты показали: свойствами полупроницаемости обладает «волоконистый» слой, и существуют веские основания считать, что он построен из липидов.

### Изучение механизмов определения пола

Работу с яйцами аскариды Завадовский продолжает и после окончания университета, однако в это время его научные интересы меняются: он отходит от

физико-химической биологии и все больше внимания уделяет механизмам определения пола у животных и вопросам индивидуального развития в целом. Внешним выражением этой внутренней эволюции стали новаторские исследования, проведенные Михаилом Михайловичем в 1919–1921 гг. в заповеднике Аскания-Нова и крымском Таврическом университете. Отрезанный волею обстоятельств от Москвы фронтом Гражданской войны, он провел детальный анализ «той роли, которую имеет половая железа в образовании признаков пола» [4. С.265]. Основным экспериментальным объектом были куры, для которых характерен ярко выраженный половой диморфизм и которые «весьма устойчивы при применении ножа» [1. С.17], а также фазаны и утки. Подробный отчет об этих исследованиях опубликован в трех работах, вышедших в 1922–1924 гг. [2, 4, 5].

Методы, применявшиеся Завадовским, включали кастрацию самцов и самок, гомотрансплантацию (пересадку предваритель-



Обложка книги М.М.Завадовского «Пол и развитие его признаков» (1922).

но кастрированным животным половых желез того же пола и вида), гетеротрансплантацию (пересадку половых желез противоположного пола в пределах одного вида), получение искусственных гермафродитов (самцов с дополнительными яичниками и самок с семенниками), пересадку половых желез одного вида животным другого вида.

Из наблюдений над оперированными животными Завадовский сделал вывод, что все вторичные половые признаки можно разделить на «независимые» (формирующиеся без участия половой железы, хотя под влиянием последней их развитие может быть остановлено или модифицировано) и «зависимые», или истинно вторичные половые признаки, формирующиеся только под воздействием половой железы. У кур независимые вторичные половые признаки — шпоры, тип пигментации и форма пера, зависимые — головной убор, пение, поведение. Так, в случае полной кастрации петуха, не достигшего половой зрелости, гребень, бородачки и сережки сохраняют у него ювенильную бледность и малый размер, корпус имеет более пологое по сравнению с нормой положение (птица не выпячивает грудь), хвост направлен горизонтально, окраска и форма пера в целом остаются самцовыми. Радикально меняется поведение — кастрат не преследует и не топчет кур, не поет, не предупреждает об опасности. Куры же после кастрации при очередной линьке надевают петушиный наряд (как по форме пера, так и по его окраске). На ногах у них вырастают шпоры. Таким образом, «результаты кастрации петухов и кур приводят нас к выводу, что кастрат-самец до деталей подобен кастрату-самке» [2. С.43].

Для объяснения результатов своих экспериментов Завадовский предположил, что семенники вырабатывают особый мужской гормон *маскулинизин*, а яичник — женский гормон *фе-*

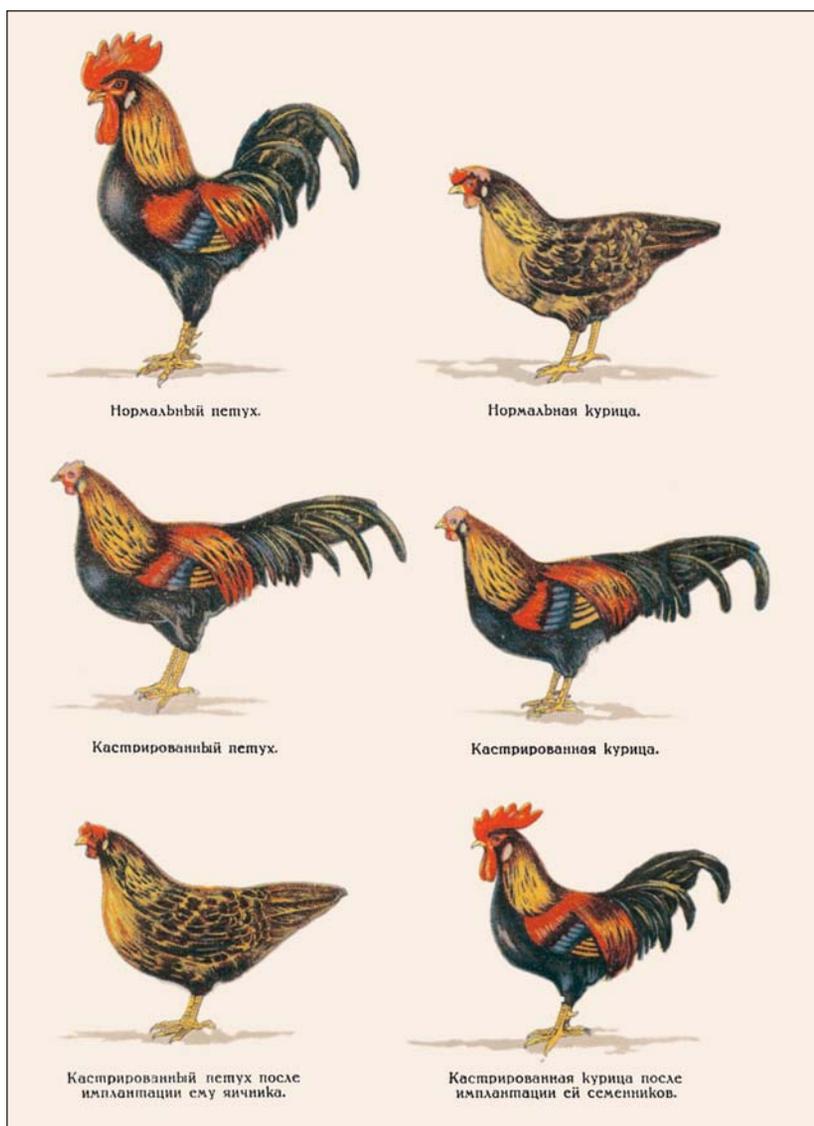


Иллюстрация из книги М.М.Завадовского «Пол и развитие его признаков» (табл.VI), демонстрирующая изменение внешности птиц в результате манипуляций с половыми железами.

*минизин*. Тогда логичным будет вывод, что первый гормон стимулирует у самцов развитие «зависимых» вторичных половых признаков (например, мощного гребня), а второй — тормозит рост шпор и петушиного пера. Схематично эту мысль Михаил Михайлович выразил формулой  $X + Y \rightarrow A$ , где X — реагирующая ткань, Y — раздражитель, A — формирующийся признак. Относительно природы этих гормонов в тот момент он ничего определенного сказать не мог, но обсудил некоторые из воз-

можных вариантов. Работы, проведенные в 1919—1921 гг., имели решающее значение для его научной карьеры, из них как из зародыша выросли позднейшие исследования.

### Во главе Московского зоосада

В 1921 г., после взятия Крыма Красной Армией, Завадовский возвращается в Москву и находит временное пристанище в Московском зоосаде, где пыта-



Здание, в котором размещалась Лаборатория экспериментальной биологии Московского зоопарка.

ется организовать научную работу. Он восстанавливается на работе в 1-м МГУ (бывший Императорский Московский университет). В 1923 г. принимает предложение возглавить зоосад в качестве директора (этот пост он занимает вплоть до 1927 г.). В 1924 г. его назначают также профессором кафедры общей биологии медицинского факультета 2-го МГУ (бывшие Московские высшие женские курсы).

Став директором зоосада, Завадовский все силы отдает его реконструкции и организации здесь исследовательской лаборатории. Для улучшения материального положения зоосада он инициирует его передачу из системы Наркомпроса в ведение Моссовета. Добивается передачи некоторых прилегающих территорий и курирует масштабное строительство на них новых объектов — «Острова зверей» (сооружения, имитирующего горный хребет и предназначенного для содержания хищных животных) и «Полярного мира», ставшего домом для белых медведей. При реконструкции был учтен немецкий опыт: в феврале—марте 1925 г. Михаил Михайлович совершил поездку в Германию с целью озна-

комления с организацией зоопарков в этой стране, покупки животных и оборудования, а также для знакомства с научно-исследовательскими центрами и ведущими учеными в области экспериментальной биологии. Переход зоосада на новый качественный уровень был ознаменован его переименованием в 1925 г. в зоопарк.

Благодаря грамотному управлению Завадовскому удалось в несколько раз увеличить посещаемость вверенного ему учреждения, при нем здесь был организован знаменитый Кружок юных биологов зоопарка (КЮБЗ), ставший трамплином в науку для многих видных советских биологов. Однако любимым детищем Михаила Михайловича была, безусловно, Лаборатория экспериментальной биологии (ЛЭБ), ставшая основной базой для работ Завадовского и его учеников. За короткое время она превратилась в один из ведущих исследовательских биологических центров СССР и получила известность не только внутри страны, но и за рубежом. Этому немало способствовало то обстоятельство, что с 1926 г. стали выходить «Труды Лаборатории экспе-

риментальной биологии Московского зоопарка», ставшие для Михаила Михайловича и его школы основной трибуной; был налажен обмен литературой со многими российскими и зарубежными научными центрами. Лаборатория Завадовского стала обязательным пунктом в программе визитов зарубежных ученых, прибывающих в Москву, среди ее гостей были такие известные биологи того времени, как П. Каммерер, Р. Гольдшмидт, К. Бриджес, Л. Данн, Г. Эванс, А. Златаров и некоторые другие.

### Динамика развития организма

В те же годы начала складываться оригинальная исследовательская программа Завадовского, получившая после ряда лингвистических экспериментов название *динамика развития организма*. Ее целью должно было стать изучение развития организма, однако она не была синонимом эмбриологии или созданной усилиями главным образом В. Ру механики развития, объект которой — индивидуальное развитие живых организмов. Обосновывая создание нового исследовательского направления, Михаил Михайлович отмечает, что с конца 19-го столетия в биологии накопилось огромное количество экспериментальных данных, которые нуждаются в систематизации. Но это достижимо только в том случае, если будет найдена объединяющая их основная идея. Таковой, по его мнению, должна стать «идея развития», смысл которой в том, что «всякое наблюдаемое в данный момент явление, и в том числе форма и организация животного, которая служила главным объектом исследования зоолога, представляет собою лишь этап на пути бесконечного непрерывного процесса. Любой признак животного, которым интересуется зоолог, образуется в процессе развития и существует во всех сво-

их деталях лишь малое время. Образовавшись из ему предшествующего признака, он тотчас же превращается в свое производное. Любой признак любого индивидуума является звеном в цикле индивидуального развития; любой признак, характеризующий вид, является звеном в процессе развития вида. Индивидуальное и видовое развитие связывается воедино цепью явлений наследования; последние маскируют наличие двух самостоятельных движений в общем клубке процессов жизни» [б. С.3—4]. Завадовский полагал, что накопление биологических знаний происходит по шести основным «направлениям-наукам»: анатомия с гистологией — учение о структуре организма; физиология — учение о функциях организма; эмбриология — учение об изменениях в структуре на протяжении жизни индивидуума; механика развития — учение о причинах индивидуального развития; генетика — учение о распределении признаков в потомстве (менделизм) и учение о механике наследования (морганизм); учение об эволюции — палеонтология и механика происхождения видов животных и растений.

Эти направления-науки, по его мнению, можно разделить на «динамические» и «статические». «Динамические» науки — физиология, механика развития, генетика и учение об эволюции — изучают причины изменения живого и пользуются экспериментальными методами; «статические» — анатомия и эмбриология — изучают формы живого и используют описательные методы. Завадовский считал, что три «динамические» науки столь тесно взаимосвязаны, поскольку делают акцент на изменении, текучести живого, что для его более успешного познания их необходимо объединить в одну междисциплинарную отрасль знания, которая и получила название динамики развития организма. Вот его слова: «Нам мыслится, что меха-

ника развития, генетика и учение об эволюции объединятся в единое целое, если жизненную форму и функцию данного момента рассматривать как звено непрерывной цепи явлений, если на форму и функцию взглянуть не со статической, а с динамической точки зрения. <...> Изучение цикла превращений, начиная от яйцеклетки и до зрелого организма и от последнего до иначе построенного организма... по праву называется нами в целом учением о динамике развития» [б. С.4—5].

Из самого определения динамики развития хорошо видно, в чем ее отличие от механики развития, — последняя всего лишь одна из частей первой. В книге 1931 г. Завадовский еще раз возвращается к вопросу, почему он отказался от уже устоявшегося термина Ру, хотя, по его собственному признанию, основной упор в своей работе он делал все-таки на изучении индивидуального развития.

Во-первых, его взгляды развивались в малой связи с идеями школы Ру, в своих теоретических построениях он не следовал за ходом анализа Ру и не пользовался терминологией его школы.

Во-вторых, по мнению Завадовского, по крайней мере в СССР распространено мнение, что объектом механики развития являются только ранние (пренатальные) стадии развития, которыми занимался сам Ру. Михаил Михайлович же интересовался преимущественно постэмбриональными стадиями.

В-третьих, Завадовский уделял большое внимание проблеме наследственного осуществления, т.е. установлению того, каким образом наследственные зачатки (гены) управляют ходом индивидуального развития и определяют формирование признаков организма. Эта проблема выходила далеко за пределы интересов Ру, а Завадовский отвел ей в рамках динамики развития отдельный, специально посвященный этому раз-

дел — *морфогенетику*. В частности, как эндокринолог, он полагал, что «мостом» между генами и признаками могут быть гормоны особого типа — морфогормоны: если «обычные» гормоны контролируют физиологические функции организма, то морфогормоны — образование структур. В этой схеме гены каким-то образом контролируют образование морфогормонов, а последние — формирование признаков.

В-четвертых, в отличие от механики развития, в рамках динамики развития большое внимание уделяется проблемам теории эволюции.

Внимание Завадовского к вопросам генетики и теории эволюции понятно, коль скоро динамика развития задумывалась им как синтез этих наук с механикой развития. Однако Михаил Михайлович мог указать конкретные подходы лишь к слиянию генетики и механики развития в виде морфогенетики, и важность этой проблемы признавалась как генетиками, так и механиками развития. Слияние же механики развития и учения об эволюции осталось чистой декларацией. Видно, что Завадовский сам плохо понимал, как это могло бы выглядеть, недаром посвященная этому вопросу глава в книге 1931 г. содержит лишь набор элементарных сведений по теории эволюции.

## Перемены в судьбе

Несмотря на все научные успехи Завадовского, в 1927 г. в результате закулисной борьбы в партийно-хозяйственном аппарате зоопарка он был отстранен от руководства этим учреждением, но за ним сохранился пост директора Лаборатории экспериментальной биологии и заведующего научным отделом зоопарка. Годом позже, в 1928 г., он подал в отставку с поста профессора 2-го МГУ.

Эти события совпали во времени с началом радикальных



М.М.Завадовский с сотрудниками кафедры динамики развития биологического факультета МГУ. Стоят (слева направо): С.Д.Юдинцев, Л.В.Крушинский, М.С.Мстиславский. Сидят: Б.А.Кудряшов, Т.А.Детлаф, М.М.Завадовский. 1930-е годы.

изменений во всех сферах жизни СССР. В стране началось движение, позднее названное историками «культурной революцией\*», имевшее для науки как отрицательные последствия, так и положительные. Среди последних — масштабная реорганизация старых и основание новых научно-исследовательских и образовательных учреждений, в которых Завадовскому довелось работать. В частности, в 1929 г. была организована Всесоюзная академия сельскохозяйственных наук им.В.И.Лени-

на (ВАСХНИЛ), а годом позже в ее составе — Всесоюзный институт животноводства (ВИЖ), куда и передали Лабораторию экспериментальной биологии, переименованную в Лабораторию физиологии развития. В том же 1930 г. в 1-м МГУ прошла большая реорганизация, в ходе которой университет перестал называться Первым и пополнился несколькими факультетами, в частности биологическим, в рамках которого Завадовский создал новую кафедру динамики развития организма.

Принадлежность лаборатории Завадовского к отраслевому НИИ потребовала переориентации на решение задач более прикладного характера. Профилю ВИЖа вполне соответствовали работы по изучению витаминов, влияния искусственного ультрафиолетового излучения на развитие организмов, исследования биологии паразитических червей, а вот эндокринологическая тематика потребовала большей коррекции. Как ее изменить, Михаилу Михайловичу было в принципе ясно: можно было научиться «регулировать деятельность организма... путем полного или частичного удаления органов или пересадки добавочных органов, введения экстрактов этих органов, стимуляции или торможения их путем химических, физических и физиологических воздействий» в нужном зоотехнику направлении, например, чтобы «вызывать ожирение или истощение организма, усиливать или уменьшать лактацию, стимулировать или угнетать рост волос и шерсти, кладку яиц, половую потенцию и др.» [7. С.28]. Однако на поиски конкретной исследовательской ниши у него ушла практически вся первая половина 1930-х годов.

### Решая прикладные задачи

В конце 1931 г. Завадовский организует специальную бригаду из сотрудников Лаборатории физиологии развития для оцен-

\* Культурная революция — коренной переворот в духовном развитии страны, составная часть социалистических преобразований. Включает создание социалистической системы народного образования и просвещения; перевоспитание буржуазной и формирование новой, социалистической интеллигенции; преодоление влияния старой идеологии и утверждение марксистско-ленинской; создание социалистической культуры; перестройку быта. В первые же месяцы советской власти была создана сеть органов партийно-государственного управления культурной жизнью общества. Учреждения культуры национализировали, свободу печати отменили. В области идеологии была широко развернута атеистическая пропаганда, начались гонения на религию. Для подготовки трудящейся молодежи к поступлению в вузы создали широкую сеть рабочих факультетов. В целях воспитания новой интеллектуальной элиты учредили Коммунистический университет, Истпарт (Комиссию по истории Октябрьской революции и РКП(б), научный и издательский центр), Коммунистическую академию, Институт красной профессуры. Для привлечения «старых» научных кадров создавались комиссии по улучшению быта ученых, издавались соответствующие декреты. Одновременно принимались репрессивные меры по устранению политических противников среди интеллигенции. С конца 1920-х годов проводилось «вытеснение» буржуазных специалистов («Академическое дело», «Шахтинское дело», «Дело Промпартии» и т.п.). С 1929 г. начали свою деятельность «шарашки» — организованные органами внутренних дел особые технические бюро из заключенных для проведения важных научно-исследовательских и конструкторских работ. — *Прим. ред.*

ки возможности экспериментального возбуждения у млекопитающих овуляции, течки и «охоты» с помощью ряда гормональных препаратов (фолликулина, пролана, гравидана), цельной мочи беременных женщин, а также препаратов из тканей животных (лизатов) и фенола. Опыты проводились с овцами, коровами, кроликами и морскими свинками. Проверялась также возможность влияния на лактацию и вес животных. Работа бригады продолжалась два года (1932—1933) и проходила в Москве, Аскании-Нова, Крыму, на Северном Кавказе и на Средней Волге.

В наиболее полном виде результаты этой работы были опубликованы в 1935 г. в девятом томе «Трудов по динамике развития» (так с 1931 г. стали называться «Труды Лаборатории экспериментальной биологии»). Она оказалась успешной лишь частично: если управлять овуляцией оказалось относительно просто (у подопытных животных удавалось вызывать овуляцию на самых разных стадиях жизненного цикла), то в управлении течкой и «охотой» определенных положительных результатов (да и то нестабильных) удалось добиться только у коров. Противоречивыми были и данные о влиянии гормональных препаратов на лактацию и прирост живого веса.

В 1934 г. в арсенале Завадовского и его сотрудников появляется новое средство — сыворотка жеребых кобыл (СЖК), благодаря которому удалось добиться искусственного многоплодия у сельскохозяйственных животных. Это направление быстро становится главным для Михаила Михайловича и его сотрудников. Работы охватили разные регионы, виды и породы животных, постоянно росло и количество животных, на которых проводились эксперименты. Наконец, в 1940—1941 гг. благодаря поддержке тогдашнего наркома внешней торговли А.И.Микояна, проявившего к работам Завадов-

ского большой интерес, состоялись испытания метода экспериментального многоплодия в системе Главпушнины Наркомвнешторга СССР в промышленных масштабах: под опыт были пущены около 200 тыс. овец.

Особую актуальность метод приобрел с началом Великой Отечественной войны: хозяйство военного времени требовало все больше продуктов животноводства — шерсти, мяса, кож. Войну Завадовский встретил в Москве, а когда боевые действия приблизились к городу, то с семьей эвакуировался в Омск, намереваясь продолжить свою работу в одном из крупных животноводческих регионов востока страны. Дальнейший выбор был сделан в пользу Казахстана: прибыв в Алма-Ату, Михаил Михайлович встретился с председателем местного совнаркома, с которым обсудил план своей возможной работы. В Казахском филиале АН СССР (КазФАН) Завадовский в конце 1941 г. (по другим данным, в 1942 г.) на время эвакуации создал небольшую Лабораторию динамики развития и размножения сельскохозяйственных животных. Михаил Михайлович был также завсектором зоологии и зоотехнии КазФАН, который по своему статусу приравнивался к академическому институту. Здесь к нему присоединились некоторые из его московских сотрудников и учеников.

Работы проводились в девяти областях Казахстана, частично в Узбекистане, Туркмении и Киргизии. За небольшой срок (около полутора лет) Завадовскому удалось сделать очень много для внедрения и популяризации своего метода. Его стали применять в системе Казкаракультреста Наркомвнешторга СССР, в совхозах различного подчинения и колхозах. Метод был эффективен на овцах каракульской и курдючной пород, а также на метисах. Обнадеживающие результаты были получены и на козах, и на коровах. Важную роль метод экспери-

ментального многоплодия сыграл также при ускоренном размножении архаро-мериносов — породы овец, выведенной Казахским филиалом АН СССР.

В 1943 г. Михаил Михайлович возвращается в Москву, где обнаруживает, что базу для работы нужно в значительной мере строить заново. За время его отсутствия Лаборатория физиологии развития в ВИЖе — одна из двух его рабочих площадок — была ликвидирована, и ему пришлось перенести всю работу на кафедру динамики развития в Московском университете. Потеря лаборатории отчасти скрашивается пришедшим, наконец, официальным признанием его деятельности — в 1944 г. Завадовский получает орден Трудового Красного Знамени за подготовку кадров, а два года спустя Сталинскую премию — за разработку гормонального метода стимуляции многоплодия овец.

\* \* \*

Однако еще через два года плодотворная научная деятельность Завадовского прервалась по причинам, собственно к науке отношения не имеющим. В 1948 г. состоялась инициированная Т.Д.Лысенко августовская сессия ВАСХНИЛ, основным результатом которой стали разгром генетики и разного рода репрессии как самих генетиков, так и сочувствовавших им. Среди пострадавших был и Завадовский — многолетний оппонент Лысенко и однокурсник и друг видного отечественного биолога С.А.Серебровского.

С Лысенко Завадовского судьба свела в 1935 г. когда был объявлен первый состав действительных членов ВАСХНИЛ, включавших их обоих; Михаил Михайлович, кроме того, стал и вице-президентом этой академии. Занимая столь высокий пост, он не мог остаться в стороне от разгоравшейся борьбы между классической и «мичуринской» генетикой. Сам сказавший о себе: «Я не генетик по специальности; я лишь близкий

сосед и отношусь с большим уважением к завоеваниям [этой] науки», Завадовский недвусмысленно встал на сторону генетиков. Более того, поскольку «целый ряд специалистов генетиков уклонялся от этого боя» (отстаивания принципов классической генетики перед лицом лысенковцев), он «считал себя обязанным... не молчать там, где положение дел не позволяет этого делать» [8. С.399]. В частности, он написал две работы: «Генетика, ее достижения и

блуждания» [9. С.69—93] и «Против загибов в нападках на генетику» [9. С.94—109], в которых подробно разобрал преимущества классической генетики перед представлениями Лысенко и его группы, не умолчав о трудностях, стоящих перед этой наукой. Когда в 1938 г. Лысенко стал президентом ВАСХНИЛ, Завадовский не счел возможным далее исполнять обязанности вице-президента этой академии. Так что его устранение в 1948 г. из науки было для групп

Лысенко шагом вполне логичным.

После 1948 г. Завадовский шесть лет был безработным пенсионером, тяжело переживал свое отлучение от науки. Возможность работать он вновь получил только в 1954 г., когда во Всесоюзном институте животноводства была восстановлена его Лаборатория физиологии развития. Долго работать там, однако, ему не пришлось — 28 марта 1957 г., в возрасте 65 лет, Михаил Михайлович умер от инфаркта. ■

## Литература

1. Завадовский М.М. От биологии к биотехнии // Природа. 1934. №1. С.110—112.
2. Завадовский М.М. Пол и развитие его признаков. М., 1922.
3. Завадовский М.М. О липоидной полупроницаемой оболочке яйца *Ascaris megaloccephala* // Ученые записки Московского городского народного университета им.А.Л.Шанявского. Труды биологической лаборатории. 1915. Т.1. Вып.1. С.5—122.
4. Завадовский М.М. Экспериментальные исследования 1919—1920 гг. в зоопарке Аскания-Нова // Аскания-Нова. Степной заповедник Украины / Ред. М.М.Завадовский, Б.К.Фортунатов. М., 1924.
5. Завадовский М.М. Пол животных и его превращение. М., 1923.
6. Завадовский М.М. Динамика развития организма. М., 1931.
7. Завадовский М.М. Биология на службе животноводства // Проблемы животноводства. 1932. №11—12. С.22—30.
8. Спорные вопросы генетики и селекции. Работы IV Сессии Академии 19—27 декабря 1936 года / Отв. ред. О.М.Таргульян. М., 1937.
9. Сборник дискуссионных статей по вопросам генетики и селекции / Отв. ред. О.М.Таргульян. М., 1936.

# ПРИРОДА

Над номером работали

Ответственный секретарь

**Е.А.КУДРЯШОВА**

Научные редакторы

**О.О.АСТАХОВА**

**М.Б.БУРЗИН**

**Т.С.КЛЮВИТКИНА**

**К.Л.СОРОКИНА**

**Н.В.УЛЬЯНОВА**

**О.И.ШУТОВА**

Выпускающий редактор

**Л.П.БЕЛЯНОВА**

Литературный редактор

**Е.Е.ЖУКОВА**

Художественный редактор

**Т.К.ТАКТАШОВА**

Заведующая редакцией

**И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА**

Перевод:

**С.В.ЧУДОВ**

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 17.05.2013  
Формат 60×88 1/8  
Офсетная печать  
Заказ 1316  
Набрано и сверстано в редакции

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