

ПРИРОДА

6 15



В НОМЕРЕ:**3 Галечян Г.А.****Стимулирование осадков**

На нашей планете все больше мест, где ощущается нехватка пресной воды. Но сегодня наука вооружила нас достаточно надежными способами управления погодой. С помощью различных «агентов» можно вызвать осадки искусственным путем.

12 Измайлов С.Ф.**Загадка симбиотической мембраны**

При внутриклеточном симбиозе микрочастицы надежно защищены специальной мембраной, в образовании которой участвуют мембранные структуры обоих симбионтов. Роль такой симбиотической мембраны трудно переоценить. От ее работы зависит, будет ли симбиоз взаимовыгодным или антагонистическим.

18 Северцов А.С., Шубкина А.В.**Эволюционное значение хищников**

В экспериментальном исследовании выявлен ранее не известный механизм распознавания хищниками доступности жертвы. Индикатором ее неблагоприятия служит изменение состава поверхностной микрофлоры, модулирующей запах особи.

28 Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т.**Атмосферные осадки: химический состав и кислотность**

В нашей стране по химическому составу воздуха и атмосферных осадков одной из самых чистых территорий считается Приокско-Террасный заповедник. Здесь отсутствуют локальные источники загрязнения воздуха, а наблюдения за составом осадков и их кислотностью ведутся уже более 30 лет. Как же влияют на химические параметры дождевой воды изменения основных характеристик климата?

37 Мухина И.В., Пимашкин А.С. Казанцев В.Б.**Аниматы: от нейробиологии до робототехники**

Один из подходов к исследованию механизмов работы мозга на нейронном уровне предполагает создание адаптивных нейрогибридных систем на основе живых клеток. Мобильные роботы управляются нейронными сетями, построенными из культур диссоциированных клеток мозга и взаимодействующими с внешней средой.

46 Веселовская Е.В., Хартанович М.В.**Портретная реконструкция С.П.Крашенинникова: история создания**

Степан Крашенинников — знаменитый российский исследователь, буквально положивший свою жизнь на изучение Восточной Сибири и Камчатки. Как были обретенны его останки и восстановлен облик ученого методом антропологической реконструкции М.М.Герасимова?

Вести из экспедиций**53 Бобров В.В.****В степях Восточной Монголии**

Политова Н.В., Ключевкин А.А.

Белое море мое (60)

Точка зрения**69 Хлебович В.В.****Зарождение жизни и животных****Времена и люди****72 Сурдин В.Г.****Большой взрыв сэра Фреда Хойла**

К 100-летию со дня рождения

Наука и общество**81 Голубовский М.Д.****Генетика и призрак Лысенко****90 Новости науки**

Загадки криосферы Венеры. **Беляев Д.А.** (90). Паровая машина вулкана Горелый. **Кулаков И.Ю., Кузнецов П.Ю.** (91). Маленькая люцифераза с большим будущим. **Маркова С.В.** (92). Сорбент торфяной для ликвидации аварийных разливов нефти. **Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Сысоева Л.Н., Трунова Н.М.** (93).

Рецензии**94 Комаров В.Н.****Дело всей жизни**

(на кн.: В.Б.Караулов. Стратиграфия, геологические формации, тектоника: Избранные труды)

CONTENTS:**3 Galechyan G.A.****Stimulating Precipitation**

There are increasingly more and more places on our planet where deficiency of fresh water became a problem. But now science provides us with sufficiently reliable methods of weather control. Using different «agents» it is possible to induce precipitation artificially.

12 Izmailov S.F.**The Riddle of Symbiosome Membrane**

In intracellular symbiosis the microsymbiont is reliably protected by a special membrane in forming of which the membrane structures of the both symbionts are involved. The role of such membrane is hard to overvalue. Its function defines whether the symbiosis will be mutually beneficial or antagonistic.

18 Severtsov A.S., Shubkina A.V.**Evolutionary Meaning of Predators**

An experimental study revealed a previously unknown mechanism of detection of available prey by predators. An indicator of the unfortunate prey is the shift of normal microflora of body surface, modulating the individual odor.

28 Svistov P.F., Pershina N.A., Pavlova M.T.**Atmospheric Precipitation: Chemical Composition and Acidity**

Prioksko-Terrasny Reserve is viewed as one of the cleanest territory in our country. Local sources of air pollution are absent here and observations of precipitation chemical composition and its acidity have been conducting for more than 30 years. Let us try to assess how chemical parameters of the rain water are influenced by changing of the main climate characters.

37 Mukhina I.V., Pimashkin A.S., Kazantsev V.B.**Animates: From Neurobiology to Robotics**

One of the approaches to study mechanisms of the brain function at neuronal level implies the creation of adaptive neurohybrid systems based on live cells. Mobile robots are controlled by neuronal nets built from the cultures of dissociated brain cells and interacting with environment.

46 Veselovskaya E.V., Khartanovich M.V.**Portrait Reconstruction of S.P. Krasheninnikov: History of Creation**

Stepan Krasheninnikov is a famous Russian explorer who literary sacrificed his life to study Eastern Siberia and Kamchatka. How his remains were obtained and physiognomy of the scientist was recovered using method of anthropological reconstruction by M.M. Gerasimov?

Notes from Expeditions**53 Bobrov V.V.****In the Steppes of Eastern Mongolia****Politova N.V., Kluytkin A.A.****My White Sea (60)****Point of View****69 Khlebovich V.V.****Origin of Life and Animals****Times and People****72 Surdin V.G.****Big Bang of Sir Fred Hoyle
To Centenary of Scientist****Science and Society****81 Golubovsky M.D.****Genetics and Phantom of Lysenko****90****Science News**

Riddles of Venus Cryosphere. **Belyaev D.A.** (90). Steam Engine of Gorely Volcano. **Kulakov I.Yu., Kuznetsov P.Yu.** (91). A Little Luciferase with Big Future. **Markova S.V.** (92). Peat Sorbent for Liquidation of Emergency Oil Spills. **Alekseeva T.P., Burmistrova T.I., Sysoeva L.N., Trunova N.M.** (93).

Book Reviews**94 Komarov V.N.****A Lifework**

(on book: V.B. Karaulov. Stratigraphy, Geologic Formations, Tectonics: Selected Works)

Стимулирование осадков

Г.А.Галечян

Число регионов в мире, в той или иной степени испытывающих недостаток пресной воды, постоянно увеличивается, что связано с естественным ростом населения земного шара. Осваиваются новые земли, требующие искусственного орошения, получают распространение отрасли промышленного производства, потребляющие большое количество воды. Нехватка пресной воды ограничивает хозяйственную деятельность человека, препятствует развитию промышленности, росту городов и интенсификации сельского хозяйства. Многие страны, засушливые регионы оказываются в катастрофически тяжелом положении из-за недостатка осадков. Отсутствие урожая, питьевой воды, электроэнергии — удел этих областей.

Следует отметить, что вопрос водоснабжения в цивилизованном мире обсуждается достаточно часто. Менее развитые страны всегда испытывали недостаток чистой питьевой воды, особенно бедная часть населения. На конференции ООН 2006 г. был представлен доклад, в котором сообщалось, что 20% мирового населения не имеет доступа к питьевой воде.

Чтобы вызвать дождь, когда люди обращались к жрецам и шаманам (впрочем, иногда такая практика встречается и сейчас). Но в наше время естественно обратиться к научным подходам в решении проблемы. Искусственным путем спровоци-



Георгий Ашотович Галечян, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института прикладных проблем физики Национальной Академии наук Армении. Область научных интересов — физика плазмы, акустика, управление процессами конденсации в атмосфере.

ровать осадки можно с помощью различных «агентов». Стимулирование возможно разными путями.

...Засевом облаков реагентами

Первые экспериментальные исследования в данном направлении были выполнены еще в начале 1931 г. в Нидерландах (как можно прочесть в книге [1]): размельченная твердая углекислота распылялась с самолета в переохлажденные облака, где она становилась катализатором, ускоряющим конденсационные процессы паров воды.

Интерес к этому способу возник после Второй мировой войны и особенно после экспериментов Винсента Дж.Шеффера (1946) с переохлажденными облаками в замкнутой камере. Желая быстрее снизить ее температуру до необходимой, он бросил туда кусочки сухого льда (твердой углекислоты, CO_2) и увидел, что вдоль траектории падения мелких гранул образовалась цепочка крошечных ледяных кристалликов. После этого Шефферу стало ясно, что чрезвычайно низкая температура возле поверхности кристалликов сухого льда (-78°C) привела к замерзанию капелек воды вдоль траектории их падения. В итоге он решил проверить этот метод в свободной атмосфере, о чем подробно рассказано в книге [2].

Летом 13 ноября 1946 г. Шеффер сбросил около 1.5 кг гранулированного сухого льда с легкого самолета в переохлажденное чечевицеобразное слоисто-кучевое облако вблизи Беркширских гор на западе Массачусетса. Примерно через 5 мин оно превратилось в облако снежинок, которые опустились приблизительно на 600 м в слой сухого воздуха, после чего полностью испарились.

В дальнейшем этот метод стал интенсивно развиваться, начались поиски альтернативы сухому льду, который не так уж просто производить, хранить и транспортировать. Исследования привели к выводу: в атмосфере важные процессы возникают вследствие избытка или недостатка льдообразующих ядер, которые для управления этими явлениями следует доставить туда искусственным путем. Надо отметить, что данным вопросом занимались еще до Великой Отечественной войны. Так, в СССР в 1932 г. для выяснения возможности активного влияния на погоду был создан Институт искусственных осадков. Подобные работы широко проводились во многих странах, искали претенденты на роль искусственных льдообразующих ядер. Сотрудник научно-исследовательского института лаборатории «Дженерал электрик» Бернард Воннегут в химических таблицах выискивал твердые вещества с кристаллической структурой, похожей на структуру льда. Анализируя постоянные кристаллической решетки, он убедился, что неэффективность большинства естественных ядер льдообразования обусловлена большой разницей в расстояниях между атомами в поверхностном слое ядра и первом слое молекул воды, составляющих структуру льда. Изучив имеющуюся литературу, Воннегут предложил в качестве самого перспективного соединения йодистое серебро (AgI). В гексагональной кристаллической решетке этого соединения атомы располагаются таким же образом, как и атомы кислорода в кристаллах льда, и разница в расстояниях между атомами невелика.

Детальные опыты с йодистым серебром в камере Вильсона показали, что кристаллы AgI действительно работали как льдообразующие ядра. После лабораторных исследований были выполнены натурные эксперименты на переохлажденных облаках в свободном пространстве с использованием установленных прямо на самолетах генераторов, производящих кристаллики AgI. Результаты полностью повторили данные Шеффера по сухому льду, при этом в слоях переохлажденных облаков образовывались разрывы, сквозь которые наблюдалось падение снежинок. Так была доказана возможность воздействовать на погоду. В настоящее время такие воздействия преимущественно основаны на изменении фазового состояния облака при «засеве» его некоторыми реагентами, в частности теми же твердой углекислотой и дымом йодистого серебра или йодистого свинца. При испарении измельченной углекислоты в переохлажденных водяных облаках создается сильное охлаждение (ниже -40°) и пересыщение, что приводит к кристаллизации. Облака превращаются в смешанные, приобретают вследствие этого коллоидальную неустойчивость и дают осадки, как это бывает естественным образом в смешанных облаках.

Аэрозоль дыма йодистого серебра также приводит к замерзанию переохлажденных капель,

действуя в качестве ядер замерзания или ядер сублимации. В мощных кучевых облаках появление твердой фазы, а также укрупнение капель могут быть вызваны впрыскиванием в облака распыленной воды, капли которой растут благодаря коагуляции. Гигроскопические частички или капли (растворов солей), вводимые в облака, могут вызвать выпадение из облака осадков без твердой фазы.

Микроскопические частицы йодистого серебра захватываются переохлажденными каплями, превращаясь в кристаллы, которые становятся искусственными зародышами града. Последние вступают в конкуренцию с естественными зародышами града за содержащуюся в облаке влагу и не дают возможности градинам вырасти до крупных размеров. В результате этого в облаке лавинообразно образуется громадное число мелких градин, которые при выпадении из облака успевают растаять в теплой части атмосферы и достигают земли уже в виде дождя.

Реагенты вводятся в облака путем засева облака гранулированной твердой углекислотой с самолета, путем создания дымов йодистого серебра в специальных генераторах (они называются аэрозольными), путем запуска ракет, содержащих взрывчатое вещество с примесью йодистого серебра, и т.д.

Есть информация, что в США и в СССР исследовали возможность воздействия на гидрометеорологические процессы в военных целях. В частности, войска США искусственно вызывали ливневые дожди во время войны во Вьетнаме.

После Второй мировой войны работы по стимулированию осадков сбросом реагентов в облака возобновились; они выполнялись во многих странах и сопровождалась расчетами и анализом полученных результатов [1]. В дальнейшем для искусственного получения осадков стали использовать и другие методы: акустические волны [3–6], ударные волны [7, 8], отрицательные ионы [9].

...Акустическими волнами

Рассмотрим стимулирование осадков акустическими волнами. Метод заключается в том, что при распространении звука в упругой среде, в частности в воздухе, происходит механическое возвратно-поступательное движение молекул, сопровождаемое процессом сжатия и разрежения. При этом повышается частота столкновений частиц в уплотненном слое, в результате чего растет частота слипания молекул воды, увеличивается масса капель, и под действием гравитационных сил они начинают осаждаться.

Под влиянием звуковых волн в атмосфере периодическое сжатие и расширение воздуха приведет к термодинамическим пульсациям, которые отразятся на процессах испарения капель. Капли

до определенного критического размера могут испаряться при повышении температуры, а более крупные сохраняют свою температуру и под действием мощного акустического поля, как выяснилось, могут дальше укрупняться. На основе стохастического подхода и численного моделирования был выполнен расчет изменения распределения капель по размерам в однородном тумане под влиянием акустических волн. Показано, что при действии звуковых волн частотой 300 Гц и интенсивностью 140 дБ в течение 5 с на облако с содержанием паров 2 г/м³ наблюдается тенденция к сдвигу максимума размеров капель облака в сторону больших диаметров, а через 15 мин возникает второй максимум размеров частиц, соответствующих осадкам (~500 мкм). Анализ процессов взаимодействия акустических волн со взвешенными частицами свидетельствует: в системе развивается неустойчивое равновесие, которое приводит к коагуляции капель. Механизм коагуляции в данном случае определяется не парным притяжением двух частиц, а общим полем, создаваемым гидродинамическим взаимодействием частиц [10].

Натурные эксперименты продемонстрировали, что на расстоянии 30–40 м от источника звуковых волн наступало значительное изменение свойств облачных капель. Звуковые волны с интенсивностью 150 дБ и частотой 100–300 Гц вызвали изменение микроструктуры тумана, с увеличением силы звука влияние волны на туман усиливалось, эффективность воздействия оказывалась тем больше, чем выше водность тумана.

Проанализируем процессы, происходящие в атмосфере при распространении акустических волн. Модельный расчет позволяет определить зависимость амплитуды смещения частиц из положения равновесия под влиянием звуковой волны от частоты последней [4].

Звуковая волна в воздухе создает периодические изменения среднего статистического давления, которое можно представить в виде:

$$p' = p_0 \pm p_{зв}, \quad (1)$$

где p' — атмосферное давление при наличии звуковой волны, Па; p_0 — атмосферное давление в отсутствии звуковой волны; $p_{зв}$ — звуковое давление.

Верхний знак (+) в формуле (1) соответствует давлению при наличии акустической волны в уплотненных слоях, нижний (–) — в разреженных.

Зависимость звукового давления от интенсивности звука имеет вид:

$$p_{зв} = \sqrt{2J\rho v_{зв}}, \quad (2)$$

где J — интенсивность звуковой волны, Вт/м²; ρ — плотность газа, кг/м³; $v_{зв}$ — скорость звуковой волны, м/с.

Под влиянием звуковой волны частицы воздуха (как микроскопические — атомы, молекулы газа и воды, электроны, ионы, так и макроскопические — капли воды, градинки) совершают колеба-

ния около положения равновесия с акустической скоростью, определяемой формулой:

$$v_a = 2\pi f z, \quad (3)$$

где f — частота звуковых колебаний, Гц, z — амплитуда смещений частиц воздуха из положения равновесия, мм.

Акустическую скорость можно представить также в виде:

$$v_a = p_{зв}/(\rho v_{зв}). \quad (4)$$

Из (3) и (4) получим выражение для амплитуды смещения частиц из положения равновесия:

$$z = p_{зв}/(2\pi\rho v_{зв}f). \quad (5)$$

Если в (5) подставить выражение (2), можно найти зависимость амплитуды смещения частиц в газе от интенсивности звуковой волны:

$$z = \frac{1}{\pi f} \sqrt{\frac{J}{2\rho v_{зв}}}. \quad (6)$$

На рис.1 представлены эти зависимости для частот 100 и 300 Гц, из которых видно, что при интенсивности 150 дБ звука частотой 100 Гц амплитуда смещения частиц в воздухе $z = 3.4$ мм. Снижение интенсивности приводит к резкому уменьшению смещения частиц из положения равновесия: при $J = 100$ дБ величина $z = 0.011$ мм.

Смещение из положения равновесия — величина, усредненная по всем частицам в атмосфере. Частицы вовлекаются звуковыми волнами в колебательный процесс по-разному в зависимости от своей массы. При фиксированной частоте звука в колебательное движение эффективно включаются частицы с массой, близкой к средней массе воздуха (массе азота). Чем частица тяжелее, тем труднее заставить ее колебаться и сдвинуться из положения равновесия. Под влиянием звуковой волны в полидисперсной среде происходит сме-

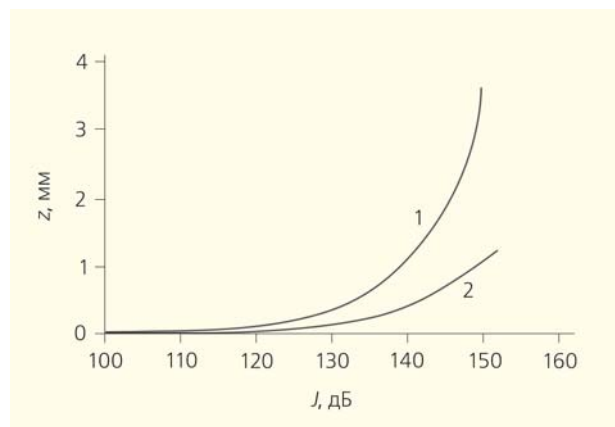


Рис.1. Зависимость амплитуды смещения частиц в воздухе из положения равновесия от интенсивности звука при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и 0°С; 1 — частота 100 Гц; 2 — частота 300 Гц.

щение частиц относительно друг друга, что повышает вероятность их столкновений с последующей коагуляцией. Когда частицы тумана с различной массой капель движутся под влиянием периодического смещения воздушного потока от зоны уплотнения в зону разрежения и наоборот, создаются условия воздушного обтекания частиц и развития различного рода гидродинамических эффектов [10]. В результате попадания частиц в область повышенного давления происходит изменение условий конденсационного равновесия системы «капля — водяной пар», главным образом из-за изменения температуры тумана.

Основной принципиальной трудностью успешного развития акустического метода стимулирования осадков остается ослабление интенсивности звука по мере удаления от источника. При изотропном распространении акустической волны от источника, даже если звук не рассеивается и не поглощается, интенсивность убывает пропорционально квадрату расстояния от точки возбуждения. Однако в природе наблюдаются и рассеяние и поглощение, особенно в тумане, где эти процессы проявляются сильнее, чем в воздухе, и ослабление звука происходит быстрее.

Для устранения затухания звуковой волны при ее распространении в тумане следует воспользоваться явлением усиления звука в слабоионизированном молекулярном газе. Этот эффект заключается в том, что при распространении акустической волны в среде из молекул, находящихся на колебательно-возбужденных уровнях, происходит их безызлучательная релаксация. Энергия возбужденных состояний молекул переходит в волну, и интенсивность звука увеличивается (доказано экспериментально для разряда в смеси азота с кислородом [11]).

Чтобы получить среду с колебательно-возбужденными молекулами на пути распространения звуковой волны, надо обеспечить слабую ионизацию воздуха, тогда молекулы и атомы будут возбуждаться при столкновении с электронами. Такую ионизацию в тумане можно создать СВЧ-волнами или лазерными лучами, и тогда звуковая волна при распространении будет не ослабевать, а усиливаться.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований в лабораторных и приземных природных условиях показывают: хотя воздействие интенсивных акустических волн и приводит к сдвигу максимума распределения капель в сторону больших размеров, для стимулирования осадков необходимо длительное воздействие акустических волн значительной интенсивности, что весьма проблематично. Поэтому в последнее время стали развиваться импульсные методы получения акустических волн, основанные на взрыве [7, 8]. В результате созданы установки, генерирующие ударные волны для предотвращения града и стимулирования осадков.

...Ударной волной

Недавно в вопросе стимулирования осадков появились новые основания для оптимизма [8]: оказалось, что ударная волна, образованная на поверхности Земли и направленная вертикально вверх, при своем распространении достигает высоты 100 км и по пути генерирует акустические волны, которые взаимодействуют со всеми слоями атмосферы, где могут располагаться облака. Это взаимодействие будет приводить к акустической коагуляции водяных паров и вызывать выпадение осадков. Так решается вопрос доставки акустических волн к облакам — их приносит ударная волна.

Принцип действия подобной антиградовой установки заключается в создании мощной вертикальной ударной волны после поджига ацетилено-воздушной горючей смеси в камере сгорания, расположенной в основании пушки. При подаче искры зажигания в камеру сгорания в последней образуется взрывная смесь с высоким давлением, которая вытекает через конический рупор пушки (длиной 4 м, диаметром на выходе 0.8 м) со сверхзвуковой скоростью, формируя мощную ударную волну с избыточным давлением на выходе $p = 3.8$ кПа ($J = 166$ дБ). Ее параметры таковы: длительность импульса — около 20 мс (установка работает в импульсно-периодическом режиме с частотой следования 6 с), средняя энергия в импульсе — 600 кДж. Основное назначение



Противоградовая установка для генерации ударной волны.

описанного устройства — рассеивать градовые облака и вызывать искусственные осадки.

На приведенной фотографии можно видеть такую систему для генерации ударной волны. В результате экспериментальных исследований получено, что через 70 с после выстрела противорадовой пушки и образования ударной волны на вход радиометра, установленного на земной поверхности (возле пушки), поступил отклик в виде электромагнитной волны (осциллограмма показана на рис.2). Радиометр настроен на частоту 15 ГГц. С учетом скорости распространения ударной и акустической волн в атмосфере можно оценить, что электромагнитная волна возникла на высоте ~100 км. Известно: в ионосфере на такой высоте есть сильный градиент концентрации ионов и электронов [13]. При достижении акустической волной указанной области (плазмы с соответствующими градиентами) в ионосфере образуется вихревое движение заряженных частиц, в ходе которого генерируются электромагнитные волны, поступающие на вход наземного радиометра [12, 14].

Итак, установлено, что вертикально направленная ударная волна, образованная противорадовой пушкой на поверхности земли, достигает высоты ~100 км — следовательно, на всем этом пути образованные ею акустические волны могут оказывать соответствующее воздействие на облака (вызывать осадки). Генерируемые в процессе распространения ударной волны акустические волны были зарегистрированы микрофоном. Изменение интенсивности и частоты этих звуковых волн во времени представлено на рис.3 в трехмерном изображении. Видно, что самые высокие частоты акустической волны, детектируемые микрофоном, составляют около 4200 Гц. Однако измеряемая интенсивность к концу четвертой секунды уменьшается до очень малой величины. За 4 с звуковая волна проходит вертикально вверх расстояние примерно в 1300 м. По-видимому, звук с больших высот поступает столь малой амплитуды, что не отражается на графике вследствие затухания акустической волны в атмосфере. При низких частотах, до 200—300 Гц, генерируются акустические волны достаточно высокой амплитуды, которые и используются при стимулировании осадков звуком. Анализ данных по частотным характеристикам, приведенным на рис.3, позволяет условно подразделить их на четыре диапазона: до 600; от 900 до 1500; от 2000 до 3000; от 3500 до 4200 Гц. Следует отметить, что на больших высотах (выше 1300 м) также будут образовываться акустические волны, которые при взаимодействии с соответствующи-

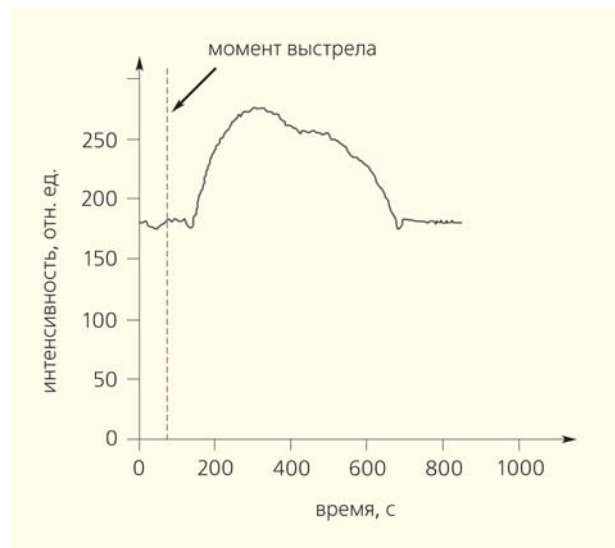


Рис.2. Осциллограмма электромагнитной волны, детектированной радиометром на частоте 15 ГГц. Электромагнитная волна поступила на вход радиометра через 70 с после выстрела противорадовой пушкой ударной волны.

ми переохлажденными, градусодержащими туманами будут вызывать выпадение осадков.

Рассмотренный метод образования звука ударной волной позволяет получать акустические волны на всех высотах, на которых образуются облака (до 5000 м), с оптимальной для эффективной конденсации паров воды частотой.

Основной механизм акустического стимулирования осадков — возвратно-поступательное движение атмосферы при наличии звука, приводящее к коагуляции паров воды, увеличению массы капли, и последующее ее движение вниз под действием гравитации. Еще в работе [15], которая выполнялась под руководством П.Л.Капицы, была обнаружена коагуляция и осаждение аэрозолей

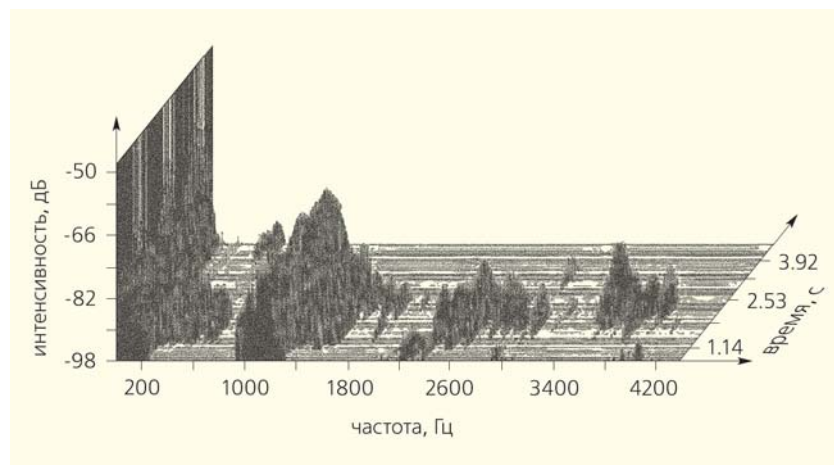


Рис.3. Трехмерное изображение зависимости изменения интенсивности и частоты звука от времени при распространении ударной волны.

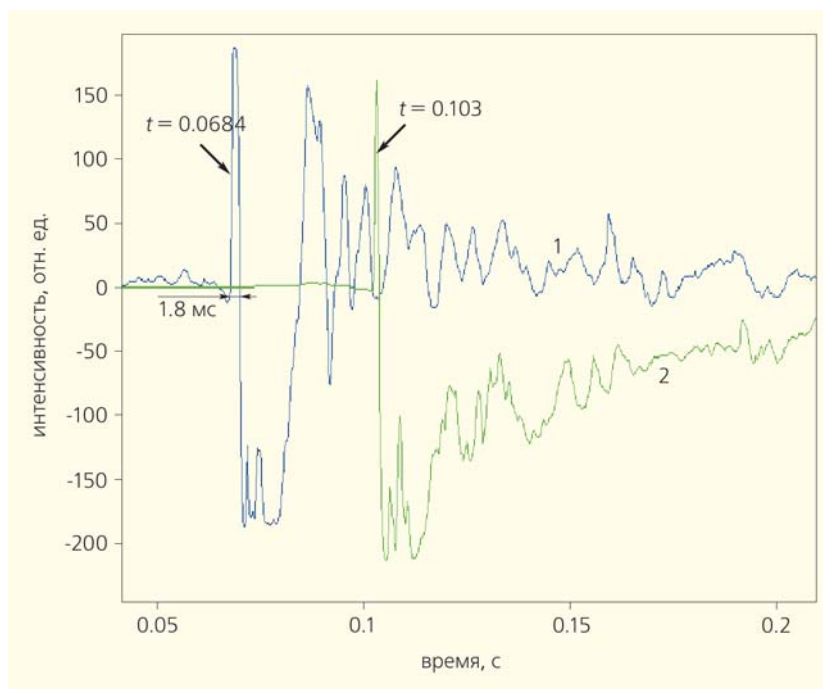


Рис.4. Осциллограммы с двух микрофонов, детектирующих акустические волны: 1 — сигнал с микрофона, расположенного внизу около установки на расстоянии 8 м от наружного конца рупора; 2 — сигнал с микрофона на высоте 30 м.



Эффект Прандтля—Глоерта.

в объеме трубки под действием акустических волн, причем при появлении ударной волны скорость коагуляции резко возрастала. При распространении ударной волны за ее фронтом образуется разрежение с изменением температуры и условий конденсации. В процессе эксперимента с ударными волнами в атмосфере в периодическом режиме с интервалом Δt с действительно удалось добиться выпадения осадков.

Практическое использование описанной антиградовой установки показало, что ее применение

приводит к рассеиванию градовых облаков и вызывает выпадение осадков.

Приведем результаты измерения скорости распространения ударной волны двумя микрофонами, один из которых располагался возле установки, а второй на высоте 30 м (расстояние между ними составляло 24 м) [7]. На рис.4 изображены осциллограммы, на которых представлены оба сигнала. Видно, что первые положительные импульсы обоих сигналов имеют малую длительность (порядка 1 мс). В сигнале с верхнего микрофона после короткого положительного импульса следует глубокая продолжительная (порядка 200 мс) область пониженного давления (за тонким передним фронтом ударной волны). Временной промежуток между передними фронтами нижнего и верхнего сигналов составляет около 35 мс. Учитывая расположение микрофонов, по осциллограмме можно определить скорость распространения

ударной волны, которая оказывается равной 650 м/с. Следует отметить, что при работе антиградовой установки в периодическом режиме имеется разброс параметров ударной волны в силу разности наполнения камеры сгорания газовой топливной смесью, поэтому и скорости различаются от импульса к импульсу. Соответственно была рассчитана средняя скорость по пяти осциллограммам, которая составила 1100 м/с.

В процессе распространения ударной волны вверх действует еще один механизм конденсации паров воды в атмосфере. Он аналогичен известному эффекту Прандтля—Глоерта, благодаря которому на хвосте самолета, летящего с околозвуковой скоростью в условиях повышенной влажности, образуется облако. Физический механизм эффекта заключается в следующем: летящий на высокой скорости самолет создает область повышенного давления воздуха впереди себя и область пониженного давления позади. После пролета машины область пониженного давления начинает заполняться окружающим воздухом. При этом в силу высокой инерции воздушных масс сначала вся область низкого давления заполняется воздухом из близлежащих областей, прилегающих к области низкого давления. Если влажность воздуха велика, температура может понизиться до такого значения, что окажется ниже точки росы. Тогда содержащийся в воздухе водяной пар конденсируется в виде мельчайших капелек, которые образуют небольшое облако.

...Отрицательными ионами

В последние годы особенно активно развивается метод стимулирования осадков отрицательными ионами. Летом 2010 г. в пустыне, недалеко от города Абу-Даби, швейцарскими специалистами из компании «International Meteor System» были построены пять комплексов, каждый из которых состоит из 20 гигантских ионизаторов, укрепленных на опорах высотой 10 м. При подаче на ионизатор высокого напряжения (порядка 100 кВ) происходит эмиссия электронов, которые легко захватываются кислородом воздуха, образуя отрицательные ионы. При наличии влажной атмосферы последние гидратируются (т.е. покрываются оболочкой из нескольких молекул воды) тем эффективнее, чем меньше температура воздуха. Кроме того, ионы могут объединиться с крупными аэрозолями (пылью). В таком виде, под действием атмосферного электрического поля (оно дает перепад потенциалов 300 кВ между землей и ионосферой и направлено вниз, т.е. положительные заряды двигаются к земле) и сильной конвекции, вызванной горячими потоками воздуха с поверхности земли, отрицательные ионы будут подниматься вверх от эмиттера на высоту в несколько километров (времена рекомбинации ионов могут достигать десятков минут). Там их присутствие может способствовать конденсации влаги и выпадению осадков. Огромное устройство из 100 ионизаторов вызвало искусственные осадки, даже когда метеослужба не прогнозировала ни дождя, ни облачности.

На фотографии комбинированного комплекса RAINSTIM, предназначенного для предотвращения градопадения и стимулирования дождей, видны восемь рупоров противорадовых установок, генерирующих ударную волну, и ионизатор, укрепленный на 120-сантиметровых изоляторах на высоте 3 м от Земли [9]. Ионизатор состоит из четырех куполов-эмиттеров конической формы, на которые намотан тонкий провод диаметром 0.18 мм; вдоль заземленной части изолятора укреплена сетка (анод). На ионизатор от высоковольтного источника тока подается электрическое напряжение 100 кВ, под действием которого пробивается коронный разряд. Измеренная величина тока коронного разряда для ионизатора такой конструкции составила около 3 мкА при напряжении 100 кВ.

На расстоянии 5 м от ионизатора и 11 м от земной поверх-

ности на кронштейне был установлен ионометр MAC-01, который позволял измерять концентрацию отрицательных ионов (до 10^6 см^{-3}), двигающихся от инжектора к облакам. Ионометр соединялся с компьютером, поэтому вся поступающая информация записывалась. Наибольшее значение концентрации, измеренное ионометром, было получено при токе коронного разряда 3 мкА и соответствовала $7 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$.

Понять, что происходит с этими ионами дальше, позволяет модельный расчет распределения их концентрации по высоте над земной поверхностью. Было принято, что концентрация отрицательных ионов около ионизатора составляет 10^5 см^{-3} и что под действием атмосферного электрического поля они дрейфуют (при отсутствии ветра) вертикально вверх. Средняя вертикальная составляющая напряженности электрического поля у земной поверхности, согласно справочным данным, составляет 130 В/м, а с высотой уменьшается до 40 В/м на уровне 1 км. Для оценки считалось, что от земной поверхности до высоты 1 км она постоянна и равна 100 В/м.

Кроме того, учитывалось, что под влиянием ионизатора в атмосфере воздуха образуются и молекулярные отрицательные ионы кислорода (O_2^-), и атомарные (O^-). В газовом разряде кислорода при низких и средних давлениях 90% составляют первые, 10% — вторые. Точных данных о процентных соотношениях между молекулярными и атомарными отрицательными ионами в воздухе нет, поэтому расчет выполнялся для ионов обоих типов. Вследствие объемной рекомбинации концентрация отрицательных ионов уменьшается от величины 10^5 до $2 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ на вы-



Комплексная установка «RAINSTIM», состоящая из восьми противорадовых установок и четырех инжекторов заряженных частиц.

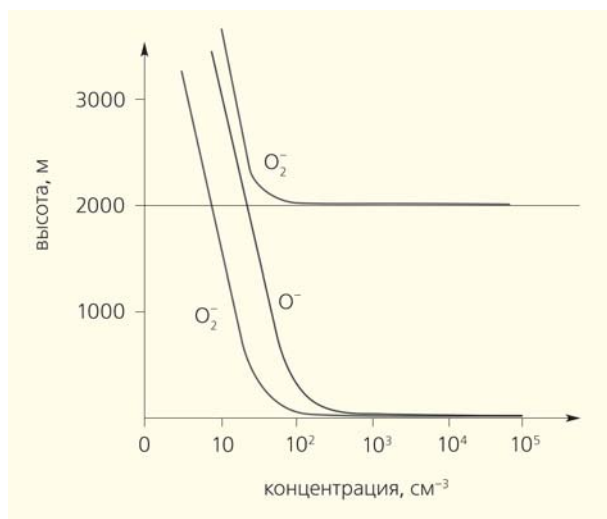


Рис.5. Зависимости концентрации отрицательных ионов от высоты при их образовании на земной поверхности и дрейфе вверх до 3 км.

соте около 30 м и до $2 \cdot 10^2 \text{ см}^{-3}$ на высоте 150 м. На уровень 2 км доберутся отрицательные ионы с концентрацией $3.5 \cdot 10 \text{ см}^{-3}$ (расчет выполнен для случая, когда инжектор установлен на высоте уровня моря, при атмосферном давлении 760 мм рт. ст.) Следовательно, основное уменьшение концентрации отрицательных ионов происходит на высоте примерно до 200 м. На больших высотах гибель отрицательных ионов происходит значительно реже.

На рис.5 представлены зависимости концентрации отрицательных ионов в атмосфере воздуха, образующихся на земной поверхности и дрейфующих до 3 км, от высоты. Приведен также график для случая, когда инжектор установлен на высоте 2000 м над ур. м. (на высоте оз. Севан) при атмосферном давлении 600 мм рт. ст. Эти результаты показывают, что концентрация отрицательных ионов на отметке в 1000 м выше Севана будет значительно больше и конденсация паров воды значительней, чем в точке на 1000 м выше инжектора, расположенного на уровне моря. Поэтому в горах подобные системы должны работать эффективнее.

Дождик, дождик, пуще...

Различные методы воздействия на атмосферные процессы, о которых шла речь в данной статье, широко используются по всему миру. Так, давно и с большой эффективностью осадки стимулируют путем введения реагентов в верхние слои атмосферы в Китае, Индии, Австралии, США и других странах и регионах. Основная цель — вызвать искусственные дожди и создать соответствующую погоду на сельскохозяйственных угодьях. При

этом могут возникать неординарные ситуации. Например, в 1952 г. садоводы из штата Вашингтон, чтобы избежать ущерба, наносимого дождями в период созревания вишни, наняли эксперта по активному воздействию на погоду (тот утверждал, что у него есть способ прекращения дождей с использованием секретного химического вещества). Одновременно ряд фермеров, выращивающих пшеницу в том же районе, заключили договор с фирмой об увеличении осадков с помощью генератора AgI [2].

Известно, что в ряде городов в праздничные дни или при различных крупных спортивных мероприятиях специально разгоняют облака, вызывая дожди на подступах к городу. Так поступали в Москве в праздничные дни и в Пекине в период Олимпийских игр 2008 г.

В Москве для воздействия на погоду используется установка, созданная на основе патента С.А.Протопопова и А.П.Тихонова «Способ управления атмосферными процессами» (1997). Основной узел в этом устройстве — конвективная ячейка-ионизатор, где генерируются отрицательные ионы, вызывающие осадки на соответствующих высотах. Данная система была изготовлена и в стационарном, и в мобильном варианте.

Экспериментальная модель разработанной установки в 1996—1997 гг. успешно обеспечивала метеозащиту аэродрома «Домодедово» от влияния туманов, облаков, осадков и других неблагоприятных погодных ситуаций. В январе 1998 г. был проведен удачный опыт по длительному удержанию летной погоды на аэродроме «Тушино» (по сравнению с другими аэропортами Москвы наблюдался явный контраст). Работа была организована по заказу Федеральной авиационной службы России и наглядно продемонстрировала возможности системы. В 2000 г. установка помогла отрядам МЧС Российской Федерации потушить пожары в Павлово-Посадском р-не Московской обл. А в начале 2003 г. по просьбе фермеров коллектив специалистов под руководством Тихонова провел эксперимент по вызыванию дождей в одном из засушливых регионов Австралии.

Во Франции, Аргентине, Армении, Иране, Нагорном Карабахе для защиты сельскохозяйственных угодий от града широко используют антиградовые установки, генерирующие ударные волны. В Ереване в инновационном центре BARVA изготавливают противорадоговые установки ZENITH, выполняющие свои функции с высокой эффективностью (об этих установках и рассказывалось в статье; более подробно познакомиться с ними можно в статьях [7, 8] и на сайте центра*). За последние восемь лет на предприятии BARVA изготовлены 400 таких установок, из которых 30 экземпляров поставлены в Иран, 80 — в Карабах, а остальные установлены на фермерских участках

* www.barva.am

в Армении. У нас каждую весну в апреле-мае бывают сильные грозы и, как правило, град, который может легко погубить урожай. Неоднократно случалось, что народ Армении оставался без абрикосов, персиков, винограда и других плодов. Прежде действовали антиградовые установки, состоящие из пушек, которые во время Карабахской войны были отправлены для выполнения своих прямых функций, и сельскохозяйственные поля оказались «обескровлены». Теперь задачу борьбы с градом решают ударные волны, причем, по мнению фермеров, очень эффективно, хотя количество дейст-

вующих установок пока недостаточно (одна установка защищает площадь примерно в 100 га сельскохозяйственных полей).

Описанные результаты стимулирования осадков отрицательными ионами в Абу-Даби свидетельствуют, что такой способ получения искусственных дождей может быть использован повсюду.

Итак, сегодня мы вооружены достаточно надежными современными способами управления погодой; для повсеместного их использования нужны лишь соответствующие материальные ресурсы. ■

Литература

1. Качурин Л.Г. Физические основы воздействия на атмосферные процессы. Л., 1990.
2. Деннис А. Изменение погоды засевом облаков. М., 1983.
3. Галечян Г.А. К вопросу стимулирования осадков акустическими волнами // Журнал технической физики. 2005. Т.75. Вып.9. С.85—90.
4. Галечян Г.А. Влияние акустических волн на стимулирование дождей // Альтернативная энергетика и экология. 2005. Т.28. №8. С.56—61.
5. Nalbandyan O. The cloud microstructure and the rain stimulation by acoustic waves // Atmospheric and Climate Sciences. 2011. V.1. P.86—90.
6. Тулайкова Т.В., Мищенко А.В., Амирова С.Р. Акустические дожди. М., 2012.
7. Варданян А.А., Галечян Г.А., Перепелкин В.Г., Чунчужов И.П. О генерации ударной волны в установке градовой защиты // Журнал технической физики. 2011. Т.81. С.144—146.
8. Арамян А.Р., Арамян Г.Р., Ароян К.П. и др. Исследование звуковых волн, генерируемых ударной волной антиградовой пушки // Акустический журнал. 2011. Т.57. №3. С.426—430.
9. Варданян А.А., Галечян Г.А. Потоки отрицательных ионов для стимулирования осадков // Альтернативная энергетика и экология. 2012. Т.35. №8. С.86—90.
10. Немцов Б.Е., Эйдман В.Я. Коллективный эффект конденсации капель под действием звука // Акустический журнал. 1989. Т.35. Вып.5. С.882—886.
11. Галечян Г.А. Усиление звука в ионизованном газе // Природа. 1996. №7. С.74—79.
12. Галечян Г.А. Звук управляет плазмой // Природа. 1994. №3. С.65—75.
13. Лазарев А.Л., Коваленок В.В., Авакян С.В. Исследование Земли с пилотируемых космических кораблей. Л., 1987.
14. Галечян Г.А. Акустические волны в плазме // Успехи физических наук. 1995. Т.165. С.1309—1332.
15. Гуляев А.И., Кузнецов В.М. Коагуляция аэрозолей под действием периодических ударных волн // Акустический журнал. 1962. Т.8. С.473—475.

Загадка симбиосомной мембраны

С.Ф.Измайлов

В 1885 г. К.А.Тимирязев назвал свою популярную лекцию, посвященную лишайникам, «Растение-сфинкс». Речь шла о малоизученном тогда симбиотическом сожительстве двух разнородных организмов — водоросли и гриба, о преимуществах совместного проживания партнеров, обеспечивающего им взаимный обмен питательными веществами, защиту от неблагоприятных факторов внешней среды и в конечном итоге успех в борьбе за существование.

Сегодня о симбиозе известно достаточно много. Его изучают на ценотическом, популяционном, межвидовом, организменном, вне- и внутриклеточном, молекулярном и геном уровнях. Отношения симбионтов могут быть самыми разными: взаимовыгодными (мутуализм), антагонистическими (паразитизм), а также односторонне выгодными и несущественными для другого партнера (комменсализм). Здесь мы рассмотрим только один уровень организации — внутриклеточный, называемый эндосимбиозом, в который могут вступать практически все представители прокариот и эукариот и при котором возможны все варианты взаимоотношений: эукариоты с эукариотой, эукариоты с прокариотой и даже прокариоты с прокариотой.

Важнейшая особенность эндосимбиоза — это формирова-



Станислав Федорович Измайлов, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией азотного обмена Института физиологии растений им.К.А.Тимирязева РАН. Лауреат научных премий Президиума РАН, всероссийских и международных научных обществ. Область научных интересов — симбиотическая азотфиксация, азотный обмен растений.

ние вокруг проникшего в клетку хозяина микропартнера новой мембраны. Она образуется при вдавливании внутрь плазматической мембраны хозяйской клетки и может сомкнуться полностью или частично. Тогда в инфицированной клетке возникает новая клеточная органелла, симбиосома (рис.1).

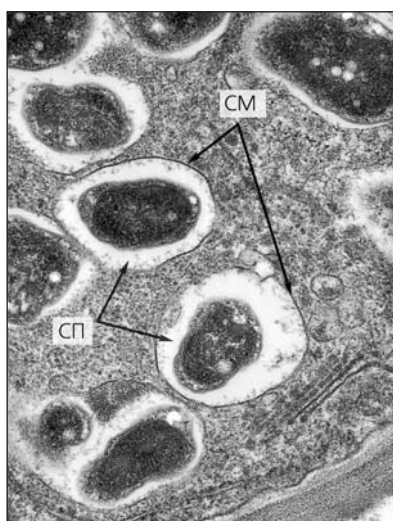


Рис.1. Электронная микрофотография симбиосом (слева) и корни бобовых растений с клубеньками, образованными азотфиксирующими бактериями. СМ — симбиосомная мембрана, СП — симбиосомное пространство.

Немного истории

Образование симбиосомы и, соответственно, симбиосомной мембраны в ходе эволюции жизни на Земле обычно связывают с появлением эукариотической клетки, возраст которой примерно 2.5 млрд лет. У растений такая клетка помимо ядра обладает клеточными органоидами — хлоропластами и митохондриями, которые ограничены дополнительной внешней мембраной. Она и служит историческим прообразом симбиосомной мембраны.

Сегодня мы располагаем огромным фактическим материалом, подтверждающим правильность идеи, высказанной в 1867 г. А.С.Фаминцыным и О.В.Баранецким о симбиотическом происхождении хлоропластов. В 1905 г. К.С.Мережковский эти положения творчески осмыслил и оформил как теорию симбиогенеза, которую в 1920-е годы развивал Б.М.Козо-Полянский. Он предположил, что симбионты — это не только хлоропласты, но и другие органоиды клетки. Эта расширенная и конкретизированная теория симбиогенеза получила свое второе рождение в 60-х годах XX в. на основе накопленных данных по биохимии и электронной микроскопии в трудах Л.Маргелис. К сожалению, исследователь даже в своей последней монографии «Роль симбиоза в эволюции клетки», переведенной на русский язык в 1983 г., не ссылается на основополагающие работы наших соотечественников [1]. Что ж, история, как всегда, о многом умалчивает...

В 2004 г. Дж.Лейк высказал предположение, что возникновение эукариотической клетки — это не первый акт симбиогенеза в эволюции жизни. Поводом для такого рода суждений послужило наличие у граммотрицательных бактерий двух мембран, внешняя из которых могла образоваться в результате симбиогенеза. Если это так, то первый этап симбиотической эволюции — возникновение граммотрицательных бактерий, а второй — эукариотической клетки на их основе. В обоих случаях вещественным доказательством свершившихся великих событий в жизни на Земле служит наличие дополнительной внешней мембраны у микроорганизмов и клеточных органоидов.

Рождение

Уже самые первые электронно-микроскопические измерения, проведенные на корневых клубеньках бобовых, показали, что общая площадь симбиосомной мембраны в десятки раз больше внешней плазматической мембраны (плазмалеммы) растительной клетки. Аналогичные примеры можно привести и для других эндосимбиозов у растений и животных. Отсюда напрашивается очевидный вывод: одна плазмалемма не может выдать «на гора» столько симбиосомной мембраны.

Ее окрашивание специфическими для плазмалеммы красителями подтверждает такое предположение. Окрашивались только некоторые участки симбиосомной мембраны, что создавало впечатление появления «заплат». Следовательно, в ее образовании должны участвовать другие мембранные структуры клетки хозяина, и их роль может быть не менее значимой, чем плазмалеммы. Действительно, во время проникновения бактерий *Rhizobium* в корневую клетку бобовых и при их дальнейшем размножении сильно увеличиваются размеры других мембранных структур хозяина. Прежде всего это относится к эндоплазматическому ретикулуму и аппарату Гольджи. По площади они становятся значительно больше плазмалеммы. На электронно-микроскопических снимках отчетливо видны контакты и слияние симбиосомной мембраны с данными мембранными структурами, т.е. ее построение — функция всего мембранного аппарата инфицированной клетки с участием самого микропартнера.

Это подтвердили проведенные в нашей лаборатории биохимические и иммунохимические анализы состава (белков и жирных кислот) симбиосомной мембраны, плазмалеммы и самих бактериоидов, которые представляют собой видоизмененные внутриклеточные формы бактерий. Оказалось, что в первой среди основных жирных кислот есть пальмитиновая (содержащаяся и в плазмалемме) и олеиновая (как в бактериоидах). Аналогична ситуация и для белков. Сходные результаты получили наши коллеги в Гарвардском университете [2]. Важно, что в этих работах бактериальные белки были функционально охарактеризованы и таким образом доказано их не растительное происхождение. Все это говорит о том, что своим рождением симбиосомная мембрана обязана естественному процессу, напоминающему отдаленную гибридизацию. Следовательно, мы вправе назвать эту мембрану гибридной и не только симбиосомной, но и симбиотической, т.е. построенной с участием прокариот и эукариот в ходе развития симбиотических отношений (рис.2).

Такое происхождение состава симбиосомной мембраны чрезвычайно важно для осмысления природы существующих симбиозов, в частности взаимовыгодной или антагонистической их направленности. Если в построении этой мембраны участвует не только макро-, но и микропартнер, то векторное приложение «сил» со стороны каждого из них может сдвигать равновесие в ту или иную сторону. Иными словами, решение судьбы симбиоза может стать прерогативой только или преимущественно одного партнера в ущерб интересам другого. Значит, от степени участия партнеров в построении симбиосомной мембраны будет зависеть характер их дальнейших взаимоотношений. Рассмотрим этот важный тезис на конкретных результатах, полученных при изучении азотфиксирующего симбиоза у бобовых культур.

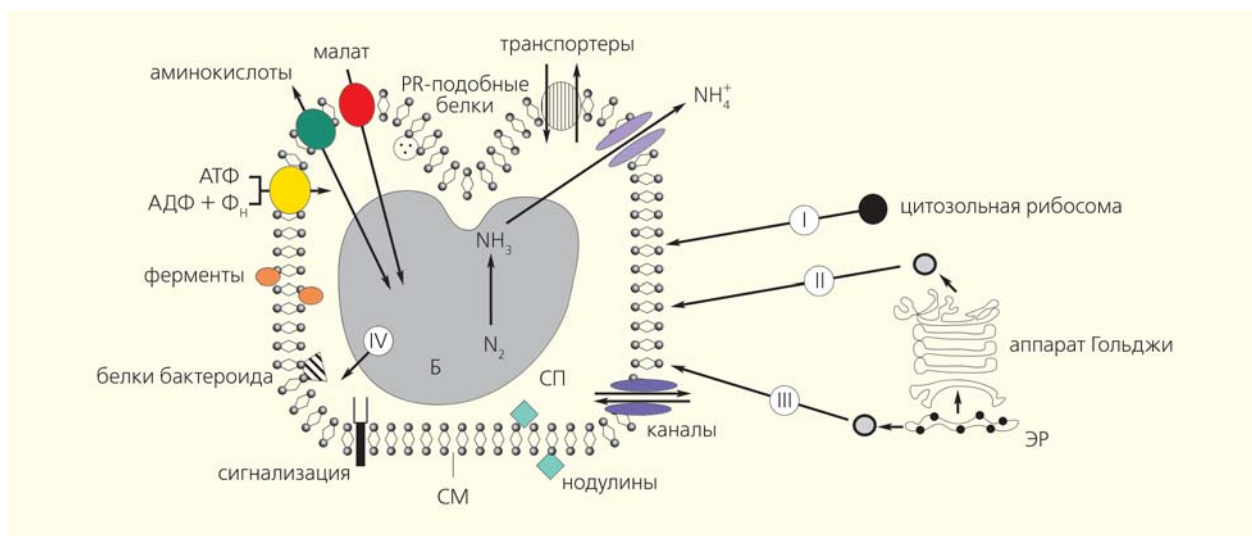


Рис.2. Схема строения сформированной симбиосомной мембраны (СМ) люцерны *Medicago truncatula* [2]. Структуры, которые участвуют в образовании СМ (обозначены римскими цифрами), это мембранные фрагменты плазмалеммы, аппарата Гольджи и эндоплазматического ретикулума (ЭР), а также и бактериоида (Б), расположенного в симбиосомном пространстве (СП). Главная функция СМ — перенос органических соединений и ионов из клетки-хозяина к бактериоиду с помощью специальных транспортеров и каналов, локализованных на мембране. На схеме упомянуты белки, связанные с патогенезом (PR-белки); нодулины, необходимые для формирования клубеньков; белки, ответственные за сигнальные процессы, поддерживающие взаимоотношения партнеров, а также блок энергетического обеспечения (АТФ); из двух дикарбоновых кислот указана только яблочная кислота (малат).

Симбиосомная мембрана — барьер и регулятор

Почти одновременно и независимо друг от друга в лабораториях США, Австралии, Франции и России (в нашем институте) из клубеньков разных видов бобовых были получены изолированные симбиосомы. Это позволило изучать на них (а также на выделенных из симбиосомной мембраны везикулярных препаратах) не только состав мембраны, но и ее основные функции, прежде всего транспортную [3, 4].

Выяснилось, что симбиосомная мембрана обладает высокой избирательной способностью по отношению к органическим веществам и ионам, транспортируемым из растения к бактериоидам. Из широкого набора сахаров, органических кислот и аминокислот через эту мембрану проходят преимущественно яблочная и янтарная кислоты (дикарбоновые кислоты). С их помощью осуществляется обмен веществ в бактериоидах: фиксация молекулярного азота воздуха и его последующее преобразование в аммиак (NH_3). Именно он служит тем субстратом, который экспортируется через симбиосомную мембрану к растению и обеспечивает его азотное питание.

Бактериальная мембрана проницаема для гораздо большего набора соединений — сахаров, органических кислот и аминокислот. Расположенные в ней специализированные транспортные системы осуществляют перенос тех же дикарбоновых кис-

лот, причем с более высокими скоростями, чем через симбиосомную мембрану. Однако *in situ* (т.е. на месте, в клетке) весь потенциал реализоваться не может, поскольку на пути транспортного потока стоит барьер и регулятор в виде симбиосомной мембраны. Таким образом, мы вправе говорить о ее ключевой распределительной роли во взаимоотношениях партнеров азотфиксирующего симбиоза, обеспечивающей физиологическое превосходство растительной клетки над бактериоидом.

Примечательно, что на самой ранней стадии формирования такого симбиоза, когда бактериоиды еще не развили способность к азотфиксации, симбиосомная мембрана проницаема (как показали наши эксперименты) не только для двух упомянутых кислот, но и для аминокислот, необходимых для синтеза азотфиксирующего фермента — нитрогеназы. По способу питания микроорганизм проявляет паразитарные свойства, чему макроорганизм не противодействует. У стареющих клубеньков в основном идут дегенеративные процессы, ведущие к потере их азотфиксирующей активности. У растений же возрастает метаболическая изоляция бактериоидов: доставка в них через симбиосомную мембрану продуктов обмена становится минимальной. В результате симбиоз распадается. Отсюда следует, что во временном интервале (молодые → зрелые → старые клубеньки) транспортная функция симбиосомной мембраны не статична. Она определяет выбор метаболических взаимоотношений партнеров в ходе онтогенеза:

паразитизм → мутуализм → комменсализм.

На примере работы симбиосомной мембраны мы рассмотрели, как складываются взаимовыгодные отношения при азотфиксирующем симбиозе у бобовых в связи с импортом к бактериоидам органических веществ. Возникает вопрос, может ли такой тип симбиоза поддерживаться и за счет ионов, входящих в состав минеральных веществ. Проведенные нами исследования позволяют дать утвердительный ответ. Для этого обратимся к результатам исследований, полученным при выращивании растений на различных дозах кальция [5].

Для нормальной жизнедеятельности растений и животных в цитоплазме их клеток должна поддерживаться очень низкая концентрация ионов кальция. Нарушение данного правила приводит к негативным последствиям в обмене веществ, а далее к преждевременному старению и гибели клеток. Один из основных механизмов, поддерживающих низкую концентрацию кальция в цитоплазме, — его накопление в вакуоли. У растений эта органелла занимает 90% объема клетки и составляет главное депо Ca^{2+} . Но ведь при инфицировании клеток корня ризобиями вакуолярный аппарат сильно сокращается (у бобов), а иногда исчезает совсем (у люпина). В таком случае, какую же стратегию адаптации «выбирает» для себя симбиотическая система?

Как следует из наших результатов электронно-микроскопических исследований, в инфицированной клетке роль альтернативного депо для кальция берет на себя симбиосома [6] (рис.3). Механизмы же, направленные на реализацию ее запасной роли, локализованы на симбиосомной мембране. Целенаправленные опыты по расшифровке механизмов аккумуляции ионов кальция в симбиосоме привели к следующим выводам. На ее мембране функционирует специальная помпа — Ca^{2+} -АТФаза, осуществляющая активный импорт кальция в симбиосому. По выявленным характеристикам этот фермент оказался сходным с Ca^{2+} -АТФазой плазмалеммы, что лишний раз подчеркивает родство этих двух мембран [7–9].

Каково же значение запасаения Ca^{2+} для микрорпартнера? Выдерживается ли тут принцип партнерской взаимной выгоды? Выявлено, что у бактериоидов активность нитрогеназы напрямую зависит от поступления в симбиосому кальция. Здесь его высокая концентрация служит одним из условий позитивной регуляции фермента. Но постоянно накапливающиеся ионы кальция могли бы и там привести к необратимым негативным про-

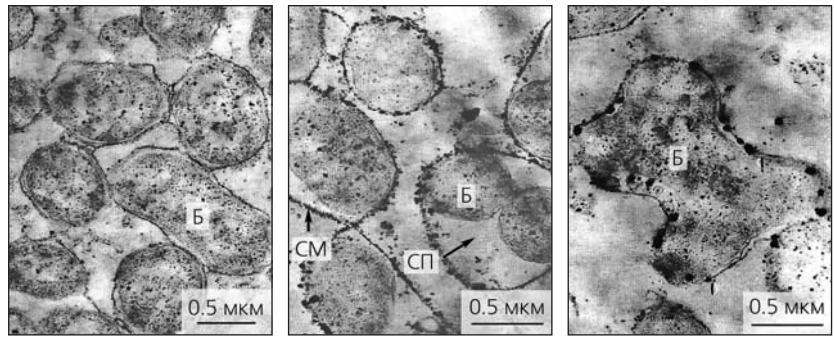


Рис.3. Микрофотографии инфицированных клеток в клубеньках кормовых бобов, выращенных при разном содержании экзогенного кальция в сосуде. При наименьшем уровне Ca^{2+} (2 ммоль на вегетационный сосуд; слева) его ионы (видны в виде черных точек) локализованы на симбиосомной мембране (СМ), в цитозоле бактериоидов (Б) и растительной клетки. При увеличенном содержании (7 ммоль; в середине) кальций проникает также и в симбиосомное пространство (СП). Когда уровень Ca^{2+} составляет 12 ммоль (справа), его ионов больше всего в СП, где они видны как крупные гранулы.

цессам. Наши исследования показывают, что этого не происходит. В симбиосомной мембране работает другой хорошо изученный механизм, связанный с функционированием специализированных ионных каналов. Он в нужное время и в необходимых дозах выводит кальций из симбиосомы. Разумеется, при постоянном избыточном питании растений кальцием не срабатывают и эти механизмы защиты.

Таким образом, за счет регулирующей роли симбиосомной мембраны достигается не только энергетическое и субстратное обеспечение симбиотической азотфиксации и сопряженного с ней обмена веществ, но и поддержание постоянства содержания ионов. А это и есть необходимое условие их участия в обменных процессах инфицированной клетки.

Территория содружества и борьбы

Растительные и животные организмы наполнены невероятным многообразием форм организации в виде органов, тканей, клеток, органелл, которые зачастую размежеваны системами управления в виде барьеров [10]. В инфицированной клетке клубеньков бобовых над мембраной бактериоида располагается пространство, окруженное симбиосомной мембраной, которая отделяет его от растительной клетки [11]. Это область раздела, пограничная полоса, назначение которой долгое время вызывало лишь догадки. Но лед, похоже, тронулся, и ситуация проясняется.

Электронно-микроскопическими исследованиями, проведенными в нашей лаборатории, показано, что объем симбиосомного пространства и, что еще важнее, его соотношение с объемом цитоплазмы хозяина зависит от генотипов бобо-

вых культур, их возраста и от условий окружающей среды. Здесь действует правило: чем менее эффективна симбиотическая система, тем доля симбиосомного пространства больше. Его объем увеличивается (как при старении клетки, так и при неэффективном симбиозе) за счет сокращения объема цитоплазмы и числа ее органелл. Еще предстоит уточнить, насколько выдвинутые положения универсальны для разных растений. Но если это так, то эффективность симбиотических отношений зависит от размера симбиосомного пространства, что весьма существенно. Принимая это положение как постулат, мы должны обосновать его физиологическую роль.

В период наиболее высокой азотфиксирующей активности клубеньков размер симбиосомного пространства невелик. В нем встречаются два разнонаправленных потока: яблочной и янтарной кислот, мигрирующих к бактериоидам, и аммиака — к растению (рис.4). Скорость первого потока напрямую зависит от эффективности фотосинтеза — продуцента сахаров и, следовательно, образующих из них кислот, а также от быстроты работы их переносчика, располагающегося в симбиосомной мембране.

Транспорт аммиака осложнен тем, что ни бактериальная, ни симбиосомная мембраны не имеют специальных систем для его ускоренной доставки в растительную клетку. Вот тут-то и проявляется важная роль симбиосомного пространства как своего рода кислотной ловушки для аммиака. В это пространство с помощью H^+ -АТФазы, локализованной в симбиосомной мембране, попадают

протоны и закисляют его среду. Тем самым создаются все необходимые условия для перевода поступающего из бактериоидов аммиака в ионы аммония (NH_4^+) (см. рис.4). Теперь его экспорт из симбиосомного пространства к растению через симбиосомную мембрану проходит по ионным каналам и с гораздо большими скоростями, чем в случае с диффузно распределяющимся аммиаком. В итоге обмен основными продуктами метаболизма бактериоида и растения можно рассматривать как физиологически адекватный.

В последующих фазах онтогенеза роль симбиосомного пространства не менее важна. Его размеры увеличиваются с началом старения клеток клубенька, изменяются и его функции. Особенно отчетливо это наблюдается, когда заканчивается цикл плодоношения и созревают семена. Тогда у растений резко снижается потребность в биологическом азоте как главным источником построения белка. Бактериоиды, прежде находившиеся длительное время «под защитой» симбиосомного пространства, лишаются ее. Объясняется это следующим. Обычно в нем содержатся гидролитические ферменты (α -гликозидазы, липазы, протеазы и др.), которые расщепляют полисахариды, липиды и белки. Активность этих ферментов в период высокой азотфиксации сдерживается специальными ингибиторами. Но картина существенно меняется с началом старения клубеньков. Растения снимают блокаду ингибиторов, гидролазы резко активируются, и запускаются процессы автофагии (переваривания) бактериоидов. Этому способствуют все более частые контакты симбиосомной

мембраны с гранулярным эндоплазматическим ретикулумом и аппаратом Гольджи, которые приносят в симбиотическое пространство свою долю гидролитических ферментов. Провоцирующим началом активации могут быть не только внутренние, но и внешние сигналы — дефицит или избыток влаги, высокие или пониженные температуры, темнота и т.д.

На основании приведенных данных можно сделать обобщающий вывод о ведущей роли макропартнера — хозяина — в формировании литического статуса симбиосомного пространства. Чрезвычайно сложно устроенная азотфиксирующая система, лишенная вакуолярного аппарата (в растительной клетке это главное депо гидролитических ферментов), передает его функции промежуточной зоне, расположенной на путях взаимодействия симбион-

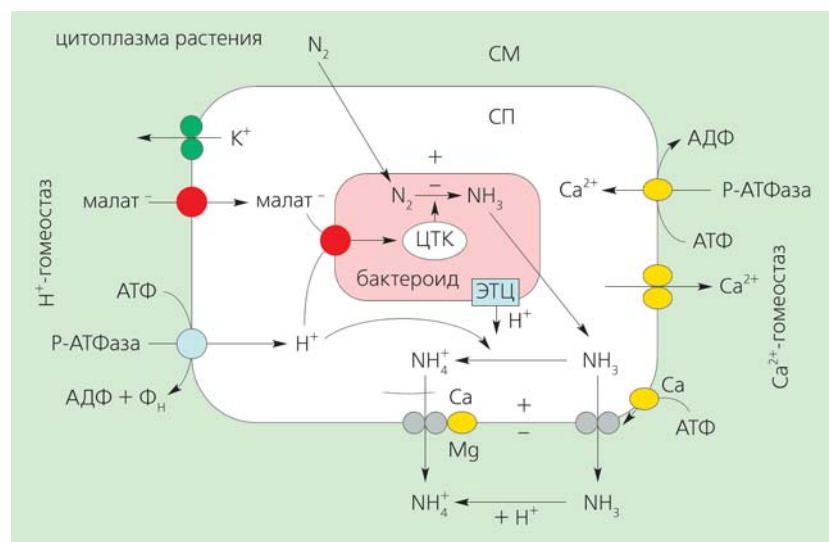


Рис.4. Схема метаболических и ионных потоков через симбиосомную мембрану (СМ), обеспечивающих взаимоотношения партнеров при азотфиксирующем симбиозе бобовых [11]. Видны два разнонаправленных потока: мигрирующий к бактериоидам и от них в цитоплазму растительной клетки. СП — симбиосомное пространство, ЦТК — цикл трикарбоновых кислот, ЭТЦ — электронтранспортная цепь, яблочная кислота обозначена как малаат.

тов. Локализация бактериоидов в симбиосомном пространстве, наделенном литическими свойствами, позволяет клетке хозяина постоянно контролировать внедрение и дальнейшее функционирование бактерий, а в случае неблагоприятных условий решать судьбу симбиоза. В живой природе равенства нет.

Из сказанного следует, что не только от особенностей формирования и работы симбиосомной мембраны, но и от симбиосомного пространства зависит, будет ли симбиоз мутуалистическим или антагонистическим со всеми их промежуточными состояниями. Выбор немалый и дорогого стоит. Если создать азотфиксирующую симбиотическую систему растений со статично заданными свойствами симбиосомной мембраны и пространства исключительно мутуалистического типа, то будет сделан шаг к приданию симбиосоме признаков постоянной, а не временной органеллы. А это ни много, ни мало — новая зеленая революция в сельскохозяйственном производстве. Благодаря ей отпадет необходимость в дорогостоящих и экологически небезопасных азотных удобрениях, почвы обогатятся биологическим азотом, увеличится продуктивность культур и т.д.

Сама природа напоминает: подобные прецеденты были в ее истории, когда на основе симбиогенеза возникли хлоропласты, митохондрии. Будем оптимистами. Наука сейчас способна осуществить то, на что природе понадобились целые геологические эпохи. В недавних исследованиях немецких и английских ученых [12] выяснено, что модификация гена, кодирующего биосинтез мембранного белка SYMRK (SYMBiosis Receptor Kinase — симбиотическая рецепторная киназа), возможно, приводит к переходу от симбиоза растений с арбускулярными грибами к эндосимбиозам с ризобиями и актинобактериями.

В случае паразитизма борьба, как известно, нередко завершается победой микропартнера. Проявление вирулентности, т.е. болезнетворных свойств, инфекционного агента — его способность к созданию симбиосомы как экологической ниши для внедрения, сохранения и своего воспроизводства. Главное в этом и есть биогенез и функционирование симбиосомной мембраны для обеспечения инфекционного агента питательными веществами и выведения в цитоплазму хозяина продуктов обмена — токсинов.

Исходя из сказанного, возникает идея о новой стратегии лечения паразитарных заболеваний. Для ее воплощения необходимо разработать способы, которые, с одной стороны, могли бы активировать литический потенциал симбиосомного пространства, с другой — лишили бы патоген питания, получаемого через симбиосомную мембрану. К решению второй задачи наука подошла как никогда близко: при некоторых заболеваниях (сальмонеллезе, малярии, кокцидиозе, бруцеллезе и др.) успешно изучается состав симбиосомной мембраны. Это может привести к обнаружению в ней мишеней для атаки на патоген — белков и других веществ, связанных с ее биогенезом и поддержанием отношений паразитарного типа. А значит, появится основа для разработки новых технологий по подбору и созданию адресных лекарственных препаратов для профилактики и эффективного лечения инфекционных заболеваний. ■

Исходя из сказанного, возникает идея о новой стратегии лечения паразитарных заболеваний. Для ее воплощения необходимо разработать способы, которые, с одной стороны, могли бы активировать литический потенциал симбиосомного пространства, с другой — лишили бы патоген питания, получаемого через симбиосомную мембрану. К решению второй задачи наука подошла как никогда близко: при некоторых заболеваниях (сальмонеллезе, малярии, кокцидиозе, бруцеллезе и др.) успешно изучается состав симбиосомной мембраны. Это может привести к обнаружению в ней мишеней для атаки на патоген — белков и других веществ, связанных с ее биогенезом и поддержанием отношений паразитарного типа. А значит, появится основа для разработки новых технологий по подбору и созданию адресных лекарственных препаратов для профилактики и эффективного лечения инфекционных заболеваний. ■

Литература

1. Маргелис Л. Роль симбиоза в эволюции клетки. М., 1983.
2. Catalano C.M., Lane W.S., Sherrier D.J. Biochemical Characterization of Symbiosome Membrane Proteins from *Medicago truncatula* Root Nodules // *Electrophoresis*. 2004. V.25. P.519—531.
3. Измайлов С.Ф. Физиология симбиотических взаимоотношений в клубеньках бобовых: биогенез и роль перибактероидной мембраны // *Физиология растений*. 1996. Т.43. С.773—791.
4. Udvardi M.K., Day D.A. Metabolite Transport Across Symbiotic Membranes of Legume Nodules // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 1997. V.48. P.493—523.
5. Измайлов С.Ф. Взаимоотношения партнеров симбиоза у бобовых на основе кальция: роль перибактероидной мембраны // *Физиология растений*. 2003. Т.50. С.621—635.
6. Andreeva I.N., Andreev I.M., Dubrovo P.N. et al. Calcium Stores in Symbiosomes from Yellow Lupin Root Nodules // *J. Plant Physiol.* 1999. V.155. P.357—363.
7. Andreev I.M., Dubrovo P.N., Krylova V.V., Izmailov S.F. Calcium Uptake by Symbiosomes and the Peribacteroid Membrane Vesicles Isolated from Yellow Lupin Root Nodules // *J. Plant Physiol.* 1998. V.153. P.610—614.
8. Andreev I.M., Dubrovo P.N., Krylova V.V., Izmailov S.F. Functional Identification of ATP-Driven Ca²⁺ Pump in the Peribacteroid Membrane of Broad Bean Root Nodules // *FEBS Lett.* 1999. V.447. P.49—52.
9. Krylova V.V., Andreev I.M., Zartdinova R.F., Izmailov S.F. Biochemical Characteristics of the Ca²⁺ Pumping ATPase in the Peribacteroid Membrane from Broad bean Root Nodules // *Protoplasma*. 2013. V.250. P.531—538. doi:10.1007/s00709-012-0436-0
10. Измайлов С.Ф. Азотный обмен в растениях. М., 1986.
11. Измайлов С.Ф. Симбиосомная мембрана (Должено на 74-м Тимирязевском чтении) / Ответств. ред. Вл.В.Кузнецов. М., 2014.
12. Markman K., Giczey G., Parniske M. Functional Adaptation of a Plant Receptor Kinase Paved the Way for the Evolution of Intercellular Root Symbioses with Bacteria // *Plos Biology*. 2008. V.5. №3. P.68.

Эволюционное значение хищников

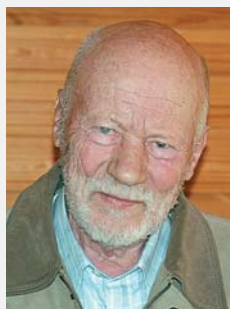
А.С.Северцов, А.В.Шубкина



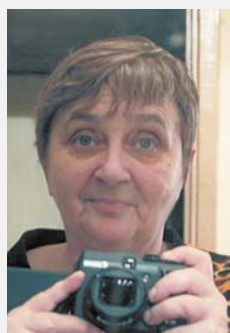


Атака львицы на одно из крупных животных в середине стада.

Фото О.С.Бартенева



Алексей Сергеевич Северцов, доктор биологических наук, профессор кафедры биологической эволюции Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Область научных интересов — эволюционная экология, популяционная экология амфибий, теория естественного отбора, эволюция онтогенеза.



Анна Владимировна Шубкина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем экологии и эволюции им.А.Н.Северцова РАН. Изучает поведение хищных млекопитающих животных, эволюционное значение системы хищник–жертва.

Согласно Дарвину, естественный отбор — это основной эволюционный процесс, в результате которого в популяции увеличивается число наиболее приспособленных особей. Но что такое приспособленность? Одним из фильтров, оценивающих это свойство животных, служат хищники. Точнее, взаимодействие хищник–жертва — один из механизмов естественного отбора, действующих в популяциях травоядных.

Влияние хищников на популяции жертв включает две составляющие. Оно сказывается на их численности, однако хищники не могут уничтожить всех животных, на которых охотятся, ведь чем их меньше, тем выше энергетические затраты на их добывание. Когда эти затраты становятся слишком велики, хищники вынуждены переключиться на другую добычу. Кроме того, они влияют на структуру популяций, территориальное распределение особей, при этом воздействие на виды животных и их сообщества ограничено эффективностью охоты.

Хищник почти никогда не оказывается основным фактором смертности, но изъятия из популяций части особей, служащих его пищевым ресурсом, не случайны [1–3]. Хищник изымает доступных ему менее приспособленных особей, а выживают и оставляют потомство адаптированные. Иными словами, он модулирует состав популяций жертв, хотя и не всегда явным образом. Эволюционное значение хищничества состоит в том, что охота хищников избирательна. Выживание наиболее приспособленных жертв означает сопряженную эволюцию хищника и жертвы, т.е. формирование коадаптаций, защищающих потенциальных жертв от хищников и стимулирующих эволюцию хищников.

© Северцов А.С., Шубкина А.В., 2015

Избирательность и успешность

Для характеристики эволюционного значения хищников ключевыми считаются два понятия: избирательность изъятия (элиминации), т.е. доля жертв с признаками сниженной приспособленности, и успешность охоты — доля добычи от числа попыток преследований. В природе эти количественные оценки сделать сложно: хищник нападает далеко не на каждую обнаруженную им потенциальную жертву, а ловит еще меньше.

По разным данным, успешность охоты составляет от 6 до 94%. Она отличается у хищников разных видов, у одного вида в разные сезоны и при охоте на разные виды жертв [4–6]. Для ее правильной оценки необходим точный подсчет числа состоявшихся преследований и добытых животных, что редко удается выполнить. Например, успешность охоты гепарда при многолетних наблюдениях [4] представлялась почти втрое выше, чем при точной GPS-регистрации всех охот [7].

Выяснить, насколько избирателен отбор хищниками жертв в природе, еще труднее, а часто и вообще невозможно. Нельзя установить индивидуальные особенности убитых жертв — хищники съедают свою добычу. То, что они не доели, уничтожают падальщики, оставшееся перерабатывают бактерии и грибы. Тем не менее показано, что гиены убивают преимущественно недостаточно упитанных вот-вот сами умрут от голода. Сходные данные есть об оленях, убитых волками. Хищники чаще уничтожают животных и птиц, зараженных гельминтами, обладающих пониженным иммунитетом, страдающих инфекционными заболеваниями, они избирательно элиминируют молодых и старых животных [3, 5]. Трудность оценки избирательности изъятия обусловлена тем, что по останкам невозможно характеризовать состояние внутренних органов. Мягкие ткани съедают в первую очередь, отнимать добычу у хищников нереально.

Модельная система

Для того чтобы иметь возможность изучать не останки, а всю добычу хищника, была разработана модельная система, имитирующая охоту волков и шакалов, в меньшей степени гиеновых собак и гиен. Мы использовали борзых в качестве модельного хищника при поиске и преследовании свободноживущих животных двух видов — зайцев-русаков (*Lepus europaeus*) и сайгаков (*Saiga tatarica*) [8].

Борзые — единственная группа пород охотничьих собак, добывающих жертву без помощи людей и без выстрела. Охота с борзыми включает поиск, преследование и поимку добычи в открытых пространствах: в лесостепи, степи и полупустыне. Преследование соответствует одному из типов

охоты волков («в угон») и называется скачкой. При этом борзые могут развивать высокую, до 17 м/с (примерно 60 км/ч), скорость. С борзыми охотятся на зайцев, чаще русаков (вид, типичный для степи и лесостепи), и лисицу. Раньше борзых использовали также для охоты на волков и некрупных антилоп (сайгаков, джейранов, дзеренов).

Достоинство борзых как модели диких хищников (загонщиков) — возможность получать для изучения их добычу, наблюдать и документировать весь процесс поиска и преследования. Основное ограничение этой модели состоит в том, что селекция борзых всегда была направлена на преследование любой добычи, оказывающейся в поле их зрения. Поэтому у борзых отсутствует предварительная оценка целесообразности нападения, свойственная диким хищникам. При поиске и преследовании зайца борзые в той или иной мере координируют свои действия. Нередко при преследовании они прогнозируют направление бегства жертвы и оптимизируют скорость и направление движения, чтобы отрезать ее от возможных укрытий либо повернуть на других собак. Эти приемы в упрощенной форме соответствуют более сложным маневрам членов волчьей стаи или стаи гиеновых собак.

Примерно в четверти преследований борзые способны повлиять на маршрут зайца, вынуждая его резко изменить направление и скорость движения. Следует учитывать, что жертва обычно маневреннее хищника. Это связано с тем, что, преследуя «в угон», т.е. догоняя, хищник должен развить большую скорость, чтобы догнать жертву, а потому тормозит медленнее и поворачивает по большему радиусу [6]. Этому способствуют и различия массы тела: например, заяц-русак весит 3–6 кг, борзые — 20–40 кг (в зависимости от породы). При приближении борзой заяц резко меняет направление, иногда останавливается, припав к земле, или, наоборот, прыгает высоко вверх, пропуская собак под собой, а борзые по инерции проносятся мимо (рис.1). Пока они тормозят, поворачивают и вновь разгоняются, заяц успевает скрыться в высокой траве или перелеске либо набрать скорость, что позволяет ему вновь увеличить дистанцию до преследователя. Эту ситуацию в русской охотничьей литературе называют угонкой. За одно преследование может быть несколько угонок.

Состояние жертвы

Этические ограничения были и остаются неотъемлемым элементом нашей работы. Полевые работы проводили в конце осени — начале зимы, что исключало наличие молодняка, беременных самок, саму возможность массового ухудшения состояния диких животных от бескормицы и других неблагоприятных факторов и т.п. Работали только в тех регионах, где изъятие особей вида-

жертвы не могло оказать негативного воздействия на благополучие популяций. Для сравнения использовали животных, отстрелянных местными охотниками в те же сроки и в тех же угодьях.

Для оценки избирательности изъятия применяли полное и частичное патологоанатомическое вскрытие, а также анализировали количество микроорганизмов на поверхности тела.

Детальное обследование сайгаков, добытых борзыми, сделано во время двух экспедиций в Калмыкии в 80-х годах прошлого века [8]. За три месяца работ борзые поймали 38 антилоп; еще 40 сайгаков отстреляли сотрудники Госохотнадзора Калмыкии для определения доли больных животных в популяции. Патологоанатомическое вскрытие антилоп проводили два ветеринарных врача, участвовавших в экспедициях. У всех сайгаков, пойманных борзыми, обнаружены патологии внутренних органов, а среди отстрелянных таких антилоп было только около трети (рис.2). Более того, у 52% сайгаков, пойманных борзыми, отмечены старые (не относящиеся к моменту поимки) кожные шрамы без проникающих травм мягких тканей, т.е. не влияющие на состояние мускулатуры и двигательную активность животных. Среди отстрелянных антилоп таких было всего 15%.

Обследование показало, что существуют значимые различия выборок по состоянию внутренних органов и встречаемости следов старых поверхностных травм, свидетельствующих о многочисленных, хотя и не смертельных ошибках этих особей в течение предшествующей жизни. При этом выборки сайгаков не различались по массе тела и половозрастному составу. Борзые, в отличие от людей, безошибочно выделяли неблагополучных сайгаков, т.е. действовали с высочайшей избирательностью.

Для характеристики зайцев сравнивали величину жировой



Рис.1. Угонка. При существенном сокращении дистанции борзыми заяц резко тормозит, а собаки проносятся по инерции. Пока они разворачиваются, он успевает спрятаться — залечь в траве. Место, где затаился заяц, выделено прямоугольником и приведено в увеличенном масштабе.

Фото А.В.Шубкиной

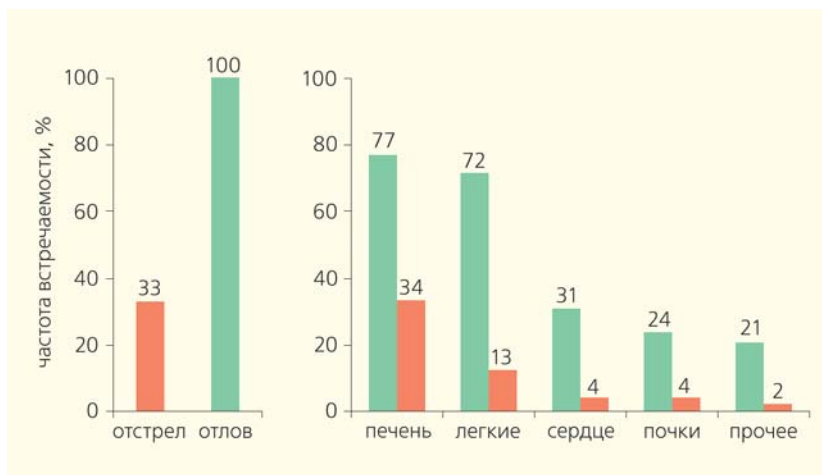


Рис.2. Доля больных сайгаков (а) и выявленных у них патологий органов (б) в выборках «отлов» и «отстрел». Видно, что среди отстрелянных сайгаков только у трети обнаружены патологии, а среди пойманных борзыми — у всех.

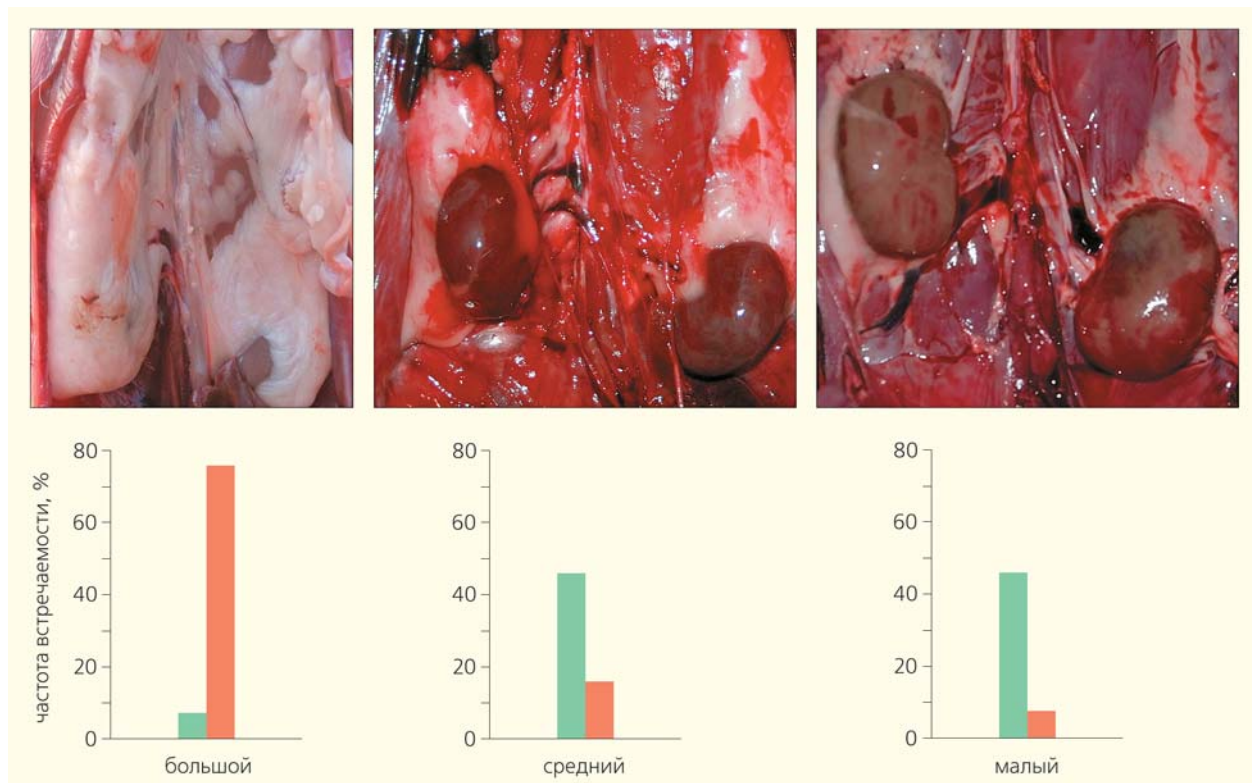


Рис.3. Встречаемость разной по объему (большому, среднему и малому) жировой капсулы почек ($p < 0.05$) у зайцев, пойманных собаками (зеленые столбики, $n = 56$) и добытых охотниками (красные столбики, $n = 37$).

капсулы почек (рис.3). Показатель характеризует общее состояние животных, а не только упитанность. У зайцев, пойманных борзыми, отсутствие или слабое развитие капсулы наблюдалось значительно чаще, чем у отстрелянных. У части зайцев, пойманных борзыми, также обнаружили старые подкожные рубцы.

Многообразные отклонения в состоянии внутренних органов (у сайгаков), снижение величины жировой капсулы (у зайцев) и следы старых травм (у сайгаков и зайцев) свидетельствуют о наличии у этих животных долговременной адаптационной реакции, т.е. стресса, развившегося задолго до помки. Однако применять стандартные (по уровню

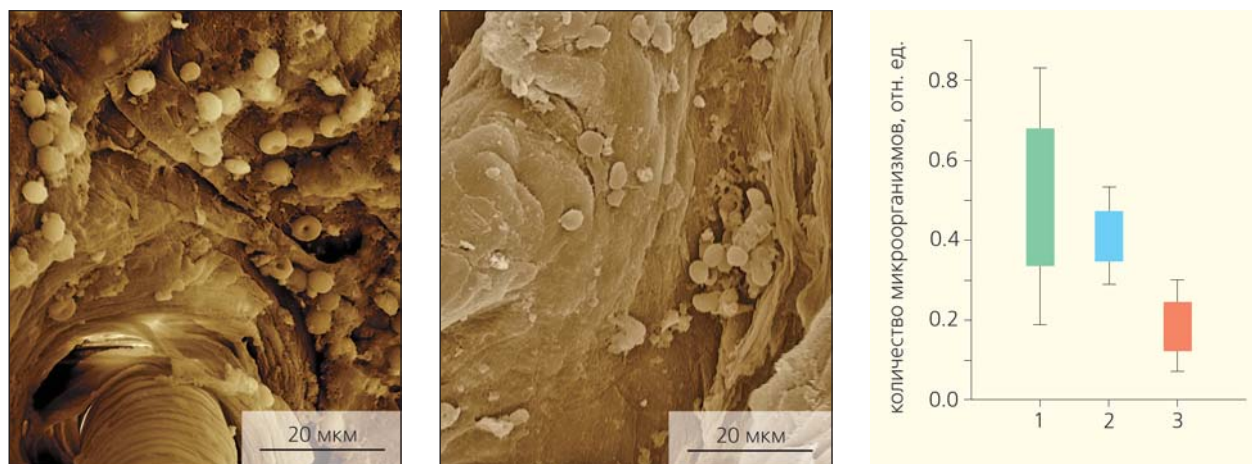


Рис.4. Микрофотографии кожи носа зайца, на поверхности которой видны микроорганизмы, и количество микроорганизмов, обнаруженных у зайцев трех групп: 1 — пойманных борзыми ($n = 46$), 2 — в состоянии долговременного стресса ($n = 18$), 3 — добытых охотниками ($n = 22$). Количество микроорганизмов оценивалось по оптической плотности смыва с отпечатка, инкубированного на мясопептонном агаре.

Таблица

Параметры движения борзых в естественных условиях (по данным GPS-регистрации) [11]

Результат преследования / число записей	Дистанция, м	Длительность, с	Скорость, м/с	
	средняя (от–до)		средняя ($p < 0.01$)	максимальная (от–до)
с поимкой $n = 19$	1340 (389–2297)	130 (40–234)	10.06±0.36	14.54 (13–15.8)
без поимки $n = 21$	1707 (411–2674)	157 (41–253)	10.82±0.28	14.62 (13.34–16.22)

гормонов или гистологии надпочечников) методы оценки выраженности стресса невозможно: при преследовании и поимке у жертвы происходит сильнейший выброс адреналина.

Стресс — это не только состояние организма, но и механизм регуляции количественного и качественного состава микрофлоры, населяющей любой макроорганизм. Выброс адреналина является фактором, нарушающим стабильность кожных микробных ассоциаций [9]. Смена бактериальных сукцессий занимает более суток, кратковременный стресс поимки не успевает повлиять на их состав и численность. Поэтому для характеристики благополучия зайцев наиболее целесообразным оказался микробиологический метод оценки состояния стресса — подсчет числа колоний микроорганизмов на отпечатке с поверхности кожи.

Метод использовали для характеристики отстрелянных и пойманных зайцев (применяли удобную для взятия проб часть тела — мочку носа (рис.4). Также взяли дополнительную контрольную группу — зайцев, подвергнутых мягкому стрессу иммобилизации (размещению в тесных клетках в течение трех суток). Среднее количество микроорганизмов на отпечатке с кончика носа не различается у пойманных борзыми и подвергнутых мягкому стрессу зайцев, но значительно ниже у отстрелянных.

Успешность преследования и параметры движения

Учитывая, что борзые — самые быстрые собаки, прежде всего следовало установить, насколько успех их охоты зависит от скорости, длины и длительности преследования. Для решения этой задачи на ошейниках собак разместили специально разработанные маленькие GPS-регистраторы (10×5×1.5 см, масса 70 г), которые обеспечивали посекундную регистрацию координат. Их применение позволило дать количественную оценку поведения борзых во время поиска и преследования. Максимальную

скорость собаки этих пород развивают в начале преследования. В дальнейшем она меняется каждые несколько секунд в зависимости от условий: рельефа и микрорельефа местности, растительности, поведения зайца и др.

Оказалось, что у борзых, как и у гепарда, успех достигается во всем диапазоне возможных скоростей, при разной дистанции и длительности преследования (табл.). Иными словами, прямая зависимость успеха охоты от средней и максимальной скорости, дистанции и длительности преследования отсутствует (рис.5). Более того, средняя скорость безуспешных преследований значительно выше, а наличие при этом угонок доказывает, что скорость у борзых выше, чем у зайца.

GPS-регистрация перемещений оказалась чрезвычайно эффективной: она позволила объективно описать ситуации, доказавшие использование борзыми обоняния, а не только зрения. При движении охотников с собаками нередко случалось, когда у борзых усиливается ориентировочная реакция за десятки секунд и даже минуты до подъема зайца, когда его еще нельзя увидеть, при отсутствии зрительных и акустических стимулов. Активация поискового поведения происходит как в свободном поведении собак, так и при его ограничении (движении на поводке). На графике скорости

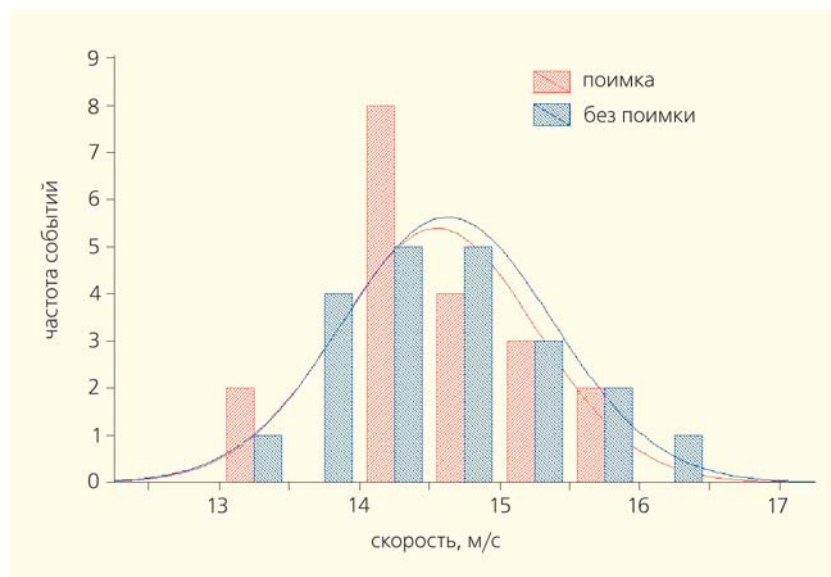


Рис.5. Максимальная скорость преследований с поимкой ($n = 19$) и без ($n = 21$) не различается.

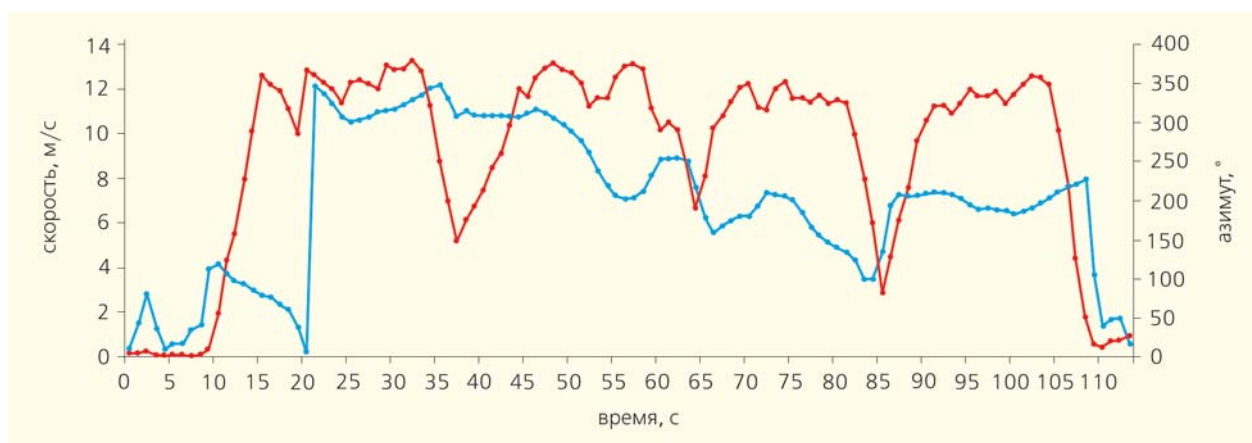


Рис.6. Азимут и скорость борзой при старте и во время преследования. При преследовании скорость и направление борзых изменяются каждые несколько секунд вследствие поворотов жертвы и адаптации движения к рельефу и микрорельефу.

Фото А.В.Шубкиной

и направления движения (рис.6) это отражается как резкие колебания азимута до начала преследования. Наиболее вероятно, что такая реакция связана с пересечением следов зайца (набродов) перед лежкой, т.е. обусловлена обонятельными раздражителями.

С помощью GPS установлено, что борзые во время погони способны к очень тонкой координации своих действий. Они могут учитывать особенности рельефа, движение других преследующих собак (чтобы избежать столкновений) и, конечно, перемещение и поведение жертвы. Несомненно, приближаясь к добыче, они получают и используют информацию о ее состоянии.

В результате селекции, исключаящей прогоны жертвы и наблюдение за ней из засады, преследование включает не только атаку, но и элементы прогона — определения перспективности нападе-

ния. Как это может происходить? Нередко, проскакав несколько сотен метров и показав превосходство скорости относительно зайца, собаки прекращают погоню (рис.7). Как правило, это происходит после одной или нескольких угонок, когда собаки оказываются очень близко к зайцу. Преследование может прекращаться и в первых за день скачках, и в последующих (т.е. определяется не утомлением собак), потому становится очевидным, что в процессе скачки они определяют перспективность продолжения преследования.

Многолетние наблюдения и анализ архивных данных свидетельствуют о низкой и изменчивой (колеблющейся по дням) успешности преследования зайца борзыми. Для статистического анализа использовали данные шести крупнейших всероссийских состязаний по оценке рабочих качеств борзых [11]. В испытаниях, проходивших

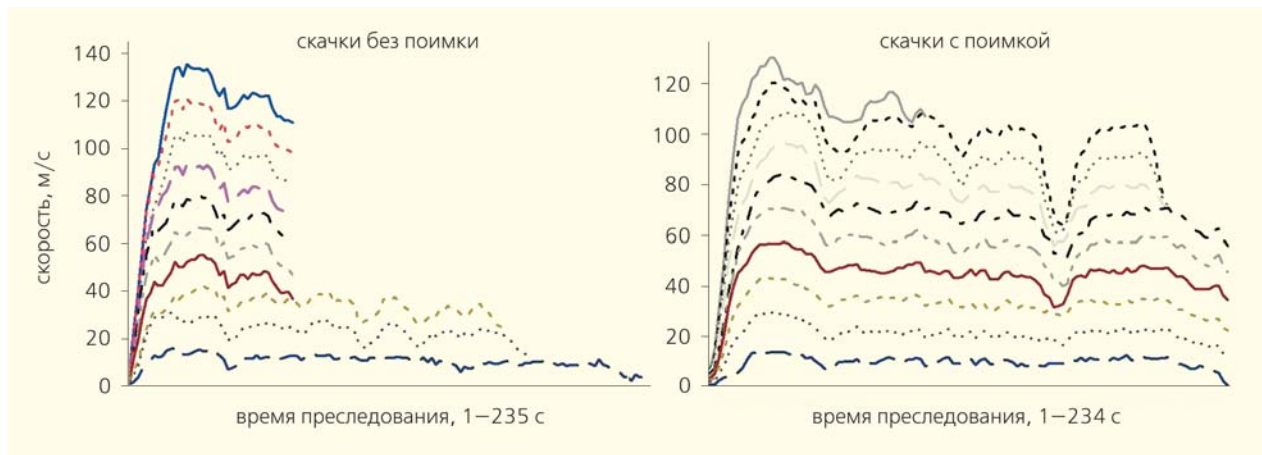


Рис.7. Динамика скорости преследования при разных результатах преследований. Накопительные диаграммы. Снижения скорости соответствуют угонкам. Линии показывают динамику скорости отдельных собак. Отобраны записи скачек, в которых прекращение преследования не было обусловлено особенностями рельефа (наличием оврагов, перелесков и т.п.).

в 2001—2009 гг. в угодьях с высокой плотностью зайца, участвовали 60—130 борзых, которых отбирали специально, т.е. они представляли собой лучшую часть известных рабочих собак этих пород. Их поведение оценивало в течение 3—5 дней большое количество наблюдателей, обеспечивавших контроль местности и описывающих преследования зайцев с разных пространственных точек. На этих мероприятиях 596 борзых за 282 преследования поймали 35 зайцев (средняя успешность преследований относительно числа собак 6%, относительно числа преследований 12%). Это соответствует данным, полученным в Великобритании по другому виду зайца 15% [10]. Наблюдатели не могут визуально прогнозировать результат преследования.

Успешность охоты борзых на сайгака составила 27% от числа преследований. Наблюдатели смогли визуально прогнозировать выбор жертвы только в 2% из 211 преследований.

Таким образом, у модельного вида хищника оценка доступности/недоступности жертвы происходит в ходе преследования, однако параметры движения и внешний вид жертвы не позволяют установить, какое животное будет поймано.

Механизмы избирательности

Возможны два механизма дистантного распознавания в ходе преследования: зрительный и обонятельный. Значение зрительного трудно недооценить, что подтверждается стремлением борзых к преследованию любой увиденной ими добычи. Но доля животных-жертв с визуально различимыми аномалиями состояния и локомоции невелика, по крайней мере в данном сезоне работ. Наблюдения за преследованием сайгаков [8] позволяют объяснить эту ситуацию.

Преследуя сайгаков, борзые часто ошибались — успешными были менее трети преследований. Сокращение дистанции не гарантировало перехода к нападению, атаке. Особенно ярко это проявлялось при преследовании взрослых гонных, сильно пахнущих самцов, подпускавших борзых близко: собаки сокращали дистанцию до нескольких корпусов, но обычно не переходили к атаке (пойманы два из 18 таких сайгаков, что значимо ниже доли поимок из небольших групп). Вопреки ожиданиям, собаки выбирали и успешно атаковали не отстающих животных, а тех, которые оказались в начале или в середине группы (рис.8). Ее величина и пространственное распределение также влияли на результат: успешными были преследования сайгаков из небольших, неплотно сбитых групп. При пуске по плотно сбитому или большому стаду собаки приближались, но не атаковали сайгаков. Только в небольших и/или рассеянных/разреженных группах борзые могли различать доступных им жертв (доля поимок из стада значимо ниже). Успешность охоты снижалась в условиях, затрудняющих использование обоняния: при сильном ветре, в сухую погоду. Это соответствует наблюдениям за охотой диких хищников: в большом стаде или плотно сбитой группе невозможно выделить объект нападения [12].

Теоретически обонятельное распознавание доступности или недоступности потенциальной жертвы менее надежно, чем зрительное. Это связано с тем, что на распространение запаха влияет много непредсказуемых факторов: направление ветра, влажность воздуха, растительность, взаимное расположение хищника и объекта нападения и т.п. Тем не менее запах действительно сигнализирует о физиологическом состоянии объекта охоты. Что же это за запах?

Напомним, покровы и внутренние полости тела животных и человека служат средой обитания

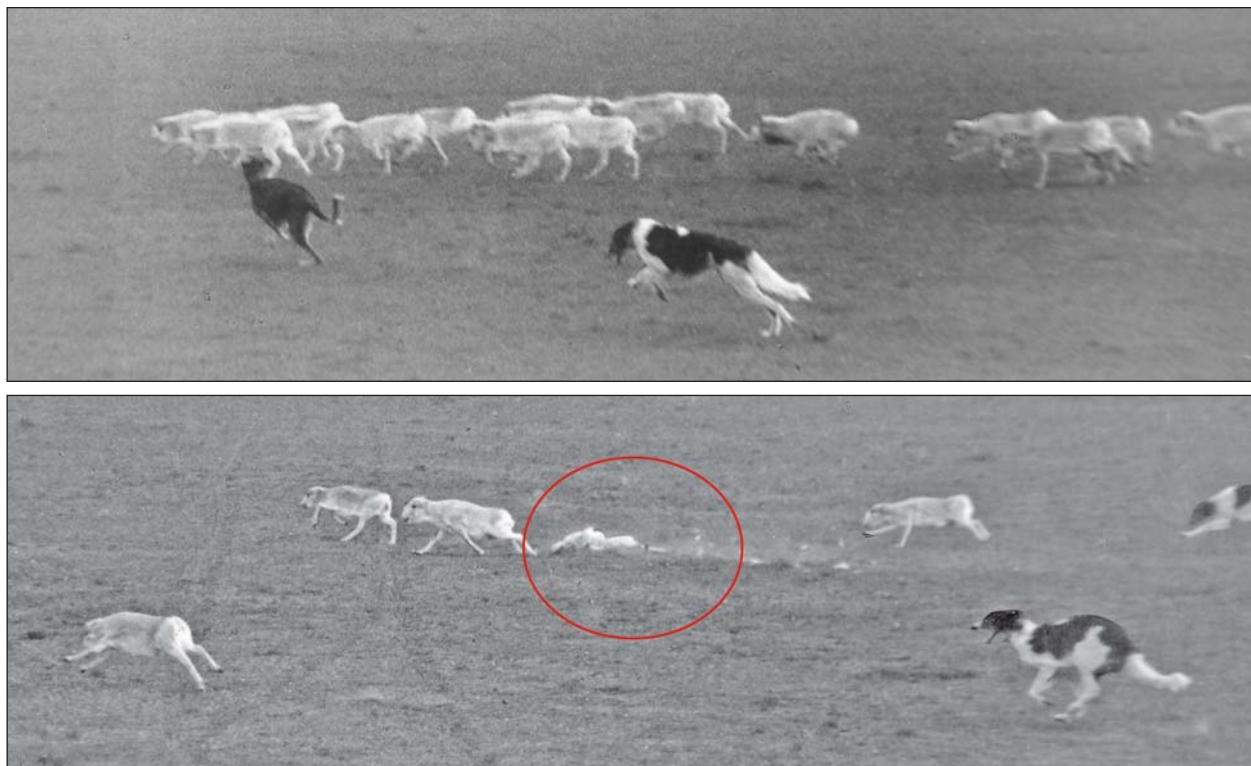


Рис.8. Преследование сайгаков. Ориентация преследования — на головку стада, но не на отстающих (вверху). Момент помки из середины группы с падением борзой.

Фото И.И.Гневашева

для миллиардов микроорганизмов. Установлено, что микрофлора человека включает на порядок большее количество бактериальных и дрожжевых клеток, чем число клеток собственно организма. В результате переработки продуктов его экскреции микроорганизмами формируется запах их хозяина. Наблюдения за поведением собак указывают на значение (хотя и не исключительное) обонятельных факторов, не всегда обеспечивающих правильный выбор, но весьма эффективных. Количество и состав микрофлоры не постоянны. При ухудшении физиологического состояния организма количество бактерий увеличивается, а затем изменяется их состав. Соответственно меняется интенсивность и характер запаха.

Общей характеристикой любых физиологических и психологических перегрузок организма считается стресс. Гиперпродукция кортико-стероидных гормонов стимулирует кровоток, усиливает метаболизм, влияет на иммунный ответ [13], что сказывается на составе микрофлоры на поверхности тела. У борзых существует предпочтение запаха микрофлоры, изолированной с мочки носа зайцев и других животных и культивированной на мясопептонном агаре [9, 11]. Индикатором любых проявлений неблагополучия жертвы служит изменение состава микрофлоры, а следовательно, и запаха особи, обусловленное продолжительным стрессом. Борзые

и, конечно, дикие хищники используют эти изменения, чтобы оценить перспективность перехода к атаке. Совокупность фактов позволила определить один из древнейших механизмов выбора жертвы — при участии микробиоты, выполняющей медиаторную функцию [6].

* * *

Использование модели в сочетании с анализом литературных данных позволило нам расшифровать механизмы и эволюционное значение взаимодействий хищников и их жертв в цепях питания. Таким образом был выявлен ранее неизвестный механизм распознавания хищниками доступности жертв. Хищники (во всяком случае сухопутные млекопитающие) используют ольфакторную (запаховую) информацию о физиологическом состоянии потенциальной добычи — и тем самым делают вывод о целесообразности нападения на нее. Эта информация обусловлена долговременным стрессом, сформировавшимся задолго до начала взаимодействия жертвы и хищника. Стресс любой этиологии влияет на состав и численность микрофлоры поверхности тела животных, что, в свою очередь, изменяет запах неблагополучного травоядного и информирует хищника о том, что данная особь отличается от здоровых конспецификов и может стать доступной добычей. Это отличие служит сигналом, провоцирующим нападе-

ние. Сказанное означает, что взаимодействие хищника и жертвы вовсе не парное, а как минимум трех- (два макроорганизма и микрофлора жертвы) или даже четырехкомпонентное (микроорганизмы есть и у хищников). Роль микробиоты в цепях питания и ее значение в коадаптивной эволюции консументов первого и второго порядков ждет своего исследования. Наши данные дают основания полагать, что причиной изъятия жертвы из популяции может стать снижение приспособленности различной этиологии, маркируемое развитием стресса.

Ольфакторные сигналы о неблагополучии и относительно более высокой доступности объекта нападения не зависят от причины (причин) долговременного стресса, вызывающего изменения численности и сукцессию состава микрофлоры на поверхности тела жертвы. Именно этим объясняется разнообразие причин снижения приспособленности животных, ставших добычей хищников. Другой причиной такого разнообразия может служить множественность экологических и этологических ситуаций, влияющих на эффективность как нападений хищников, так и избегания этих нападений потенциальными жертвами. В любом случае потенциальная добыча становится жертвой, если в данной ситуации ее приспособленность недостаточна для предотвращения или

избегания нападения. С эволюционной точки зрения хищник — универсальный селекционер, изымающий из популяций потенциальных жертв, т.е. особей с пониженной приспособленностью, независимо от того, что стало тому причиной.

Относительно низкая успешность охоты означает высокие затраты времени и энергии для определения доступной жертвы. Несмотря на это, хищник проводит очень жесткий отбор (очищает популяции от любых недостаточно приспособленных организмов), который по действию близок к очищающему отбору, действующему на молекулярном уровне. Отбор хищником сохраняет и поддерживает популяционную норму аналогично тому, как очищающий отбор сохраняет и поддерживает нормальную структуру нуклеиновых кислот [14]. Низкая эффективность отбора хищником обусловлена многообразием факторов, снижающих приспособленность фенотипов особей популяций жертв и низкой наследуемостью большинства сложных признаков. Вместе с тем, в отличие от стабилизирующего отбора, сохраняющего отдельные признаки, адаптивное значение которых остается неизменным в череде поколений [15], отбор хищником стабилизирует фенотип как единое целое. Низкая успешность такого отбора означает медленность коадаптивной эволюции в цепях питания. ■

Литература

1. *Slobodkin L.B.* Growth and regulation of animal populations. N.Y., 1961.
2. *Sinclair A.R.E., Mduma S., Brashares J.S.* Patterns of predation in a diverse predator—prey system // *Nature*. 2003. V.425. P.288—290. doi:10.1038/nature01934
3. *Филонов К.П.* Копытные животные и крупные хищники на заповедных территориях. М., 1989.
4. *Curio E.* The ethology of predation. Berlin; N.Y., 1976.
5. *Северцов А.С., Шубкина А.В.* Хищник и жертва — взаимодействие на индивидуальном уровне. Роль хищников в процессе естественного отбора // *Зоол. журн.* 2014. Т.93. №6. С.768—777. doi:10.7868/S0044513414060130
6. *Северцов А.С., Шубкина А.В.* Хищник и жертва — взаимодействие на индивидуальном уровне. Хищник — механизмы избирательности // *Зоол. журн.* 2014. Т.93. №8. С.1010—1019. doi:10.7868/S0044513414080108
7. *Wilson A.M., Lowe J.C., Roskilly K. et al.* Locomotion dynamics of hunting in wild cheetahs // *Nature*. 2013. V.498. P.185—189. doi:10.1038/nature12295
8. *Соколов В.Е., Северцов А.С., Шубкина А.В.* Моделирование селективного воздействия хищника на жертву: использование борзых собак для отлова сайгаков // *Зоол. журн.* 1990. Т.69. Вып.10. С.117—125.
9. *Соколов В.Е., Ушакова Н.А., Шубкина А.В., Неклюдова Т.И.* Стресс — как фактор, нарушающий стабильность кожных микробных ассоциаций // *ДАН СССР*. 1991. Т.317. №3. С.764—768.
10. *Reid N., Magee C., Montgomery W.I.* Integrating field sports, hare population management and conservation // *Acta Theriologica*. 2010. V.55. P.61—71.
11. *Шубкина А.В., Северцов А.С., Чепелева К.В.* Факторы, влияющие на изъятие жертвы хищником: моделирование с использованием борзых собак // *Изв. РАН. Сер. Биол.* 2012. №1. С.78—90. doi:10.1134/S1062359012010074
12. *Павлов Д.С., Касумян А.О.* Сенсорные основы пищевого поведения рыб // *Вопр. ихтиологии*. 1990. Т.30. №5. С.720—732.
13. *Padgett D.A., Glaser R.* How stress influences the immune response // *Trends Immunol.* 2003. V.24. №8. P.444—448. doi:10.1016/S1471-4906(03)00173-X
14. *Кунин Е.В.* Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М., 2014.
15. *Шмальгаузен И.И.* Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. Избранные труды. М., 1982.

Атмосферные осадки: химический состав и кислотность

П.Ф.Свистов, Н.А.Першина, М.Т.Павлова

Попадание в атмосферу загрязняющих веществ никогда не проходит бесследно. Одни из них оказываются вредными или даже губельными для живой природы, другие влияют на физические свойства и процессы в атмосфере. Поэтому перед природоохранными организациями стоит задача контролировать состояние воздуха и выявлять тенденции к изменению содержания в нем наиболее действенных примесей. На международном уровне такие исследования входят в систему Глобальной службы атмосферы (ГСА), включающую заповедники и специальные станции фоновоего мониторинга. Программа ГСА рассчитана на заблаговременные предупреждения о любых изменениях химического состава и связанных с ним физических характеристик атмосферы, которые могут не только оказать пагубное воздействие на природную среду, но и привести к изменениям климата.

В Российской Федерации по химическому составу воздуха и осадков одной из самых чистых территорий считается Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник. Здесь отсутствуют локальные источники загрязнения воздуха, что дает возможность хотя бы качественно оценить воздействие на состав осадков некоторых климатических параметров.

© Свистов П.Ф., Першина Н.А., Павлова М.Т., 2015



Петр Филиппович Свистов, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела мониторинга и исследований химического состава атмосферы Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова (Санкт-Петербург), химик-аналитик. Многие годы занимается химической географией атмосферных вод.



Наталья Алексеевна Першина, заместитель начальника информационно-аналитического центра той же обсерватории, ведущий специалист в области внедрения современной измерительной техники. Область интересов — мониторинг загрязнения природной воды.



Маргарита Тихоновна Павлова, ведущий химик-аналитик того же центра. Научные интересы связаны с разработкой и совершенствованием методов химического анализа природных вод.

Наблюдения за химическим составом атмосферных осадков ведутся в заповеднике с 1983 г.: до 2000 г. ежемесячно, затем еженедельно. Все измерения приведены к месячному сроку таким образом, что разность суммы анионов и катионов (эквивалентная) не превышает 10% (табл.1).

Таблица 1

Результаты наблюдений за химическим составом осадков в заповеднике в разные периоды времени

Параметры	Значение в недельных осадках 2001–2013 гг.			Среднее за 1983–2013 гг.
	минимальное	максимальное	среднее	
Сумма ионов, мг/л	1.7	21.8	5.7	5.5
Сумма осадков, мм	0.7	91.6	16.6	640.5
Проводимость, мкСм/см	4.0	68	13.6	17.1
Величина pH	4.0	7.5	5.7	5.6
SO ₄ ²⁻ , мг/л	0.1	7.0	1.4	2.0
HCO ₃ ⁻ , мг/л	0.1	9.8	0.9	0.8
NO ₃ ⁻ , мг/л	0.01	10.2	1.4	1.5
NH ₄ ⁺ , мг/л	0.05	6.7	0.4	0.6
Cl ⁻ , мг/л	0.04	6.8	0.7	0.7

Абсолютно минимальная минерализация (сумма ионов) осадков составляет 1.7 мг/л и поддерживается содержанием в воздухе углекислого газа, газовых примесей и аэрозолей (жидких и твердых частиц в атмосфере). Естественные источники могут повысить ее до 3 мг/л. Этот интервал называют *глобальным фоном*. Периодичность таких выпадений в Приокско-Террасном заповеднике — одна из самых высоких в России (от 1 до 15%, в среднем около 3%).

Величина естественного фона искажается из-за деятельности человека, поэтому на региональном уровне кислотность, минерализация осадков и влажные выпадения веществ превышают минимальный природный фон примерно в 4–5 раз. В заповеднике же такое превышение значительно ниже, чем на других станциях. Среднегодовая минерализация в интервале от 3 до 15 мг/л (так называемый *региональный фон*) встречается здесь в 80–90% случаев. Это значит, что *за период с 1983 по 2013 г. в Приокско-Террасном заповеднике чаще всего выпадали глобально или регионально фоновые осадки*.

Повторяемость глобального фона оказывает влияние на среднюю минерализацию. В 83% недельных осадков она определяется повторяемостью минимальных значений. В осадках за месяц эта связь наблюдается не так часто. На распределение и величину минерализации влияет также сумма осадков. Обычно чем чаще выпадают осадки, тем они чище и кислее. Хотя это положение справедливо только при наличии локальных источников загрязнения воздуха, которых около заповедника практически нет.

Коэффициент линейной корреляции между суммой осадков и их минерализацией, по не-

дельным, месячным и среднегодовым наблюдениям, составляет -0.2 , т.е. связь между этими величинами фактически отсутствует, и это еще одна важная особенность Приокско-Террасного заповедника. В многолетнем ходе наибольшим колебаниям подвержена именно годовая сумма осадков, отклонение от среднего значения которой достигает 40%. После резкого падения минерализации осадков в 1990-х годах значимые изменения со временем (тенденции) проявляются в основном у отдельных компонентов. Следовательно, в заповеднике имеются все условия для сравнительно надежных оценок изменения химического состава осадков в зависимости от климатических характеристик.

Интересно проследить связь выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в Центральном федеральном округе с выпадением осадков в Приокско-Террасном заповеднике. Коэффициент корреляции выпадений в Центральном округе и в заповеднике изменился от 0.7 до 0.51. Следовательно, произошло уменьшение влияния региональ-



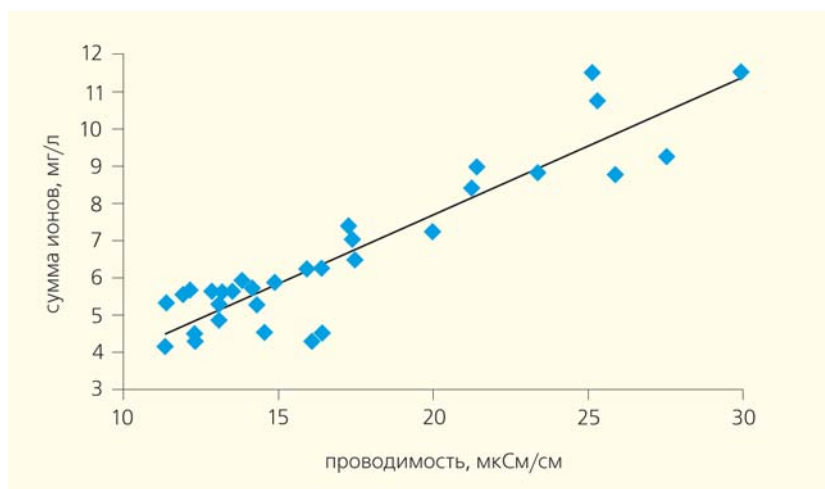
Повторяемость осадков с фоновой минерализацией и средняя сумма ионов.



Многолетний ход минерализации и среднегодовой суммы осадков в заповеднике.



Изменение выбросов и выпадений загрязняющих веществ в Центральном федеральном округе и выпадений в заповеднике [1].



Зависимость проводимости осадков от суммы ионов по средним за год значениям в Приокско-Террасном заповеднике.

ных источников загрязнения на осадки в заповеднике примерно в два раза (с 51 до 25%).

Влажные выпадения в обоих случаях рассчитывались по минерализации. При этом необязательно определять содержание каждого компонента и брать их сумму. Достаточно измерить электрическую проводимость осадков*. Она определяется суммой ионов, из которых большая часть измеряется непосредственно. Однако в растворе присутствуют и другие токопроводящие компоненты (в том числе органические). Поэтому зависимость между минерализацией и проводимостью осадков измеряют отдельно для каждой станции. Отметим, что все максимальные среднегодовые значения суммы ионов (от 8 до 11 мг/л) были зафиксированы в 1990-х годах.

Ионный состав осадков

В настоящей статье представлены данные по общей минерализации, содержанию сульфатов, нитратов и аммония за последние 10 лет. Более ранние измерения опубликованы в 2013 г. [2].

Среднемесячные значения минерализации осадков изменяются в интервале от 1.7 до 21.8 мг/л при средней величине 5.7 мг/л. В 16% случаев сумма ионов не превышает 3.5 мг/л, а средняя сумма минимальных значений близка к абсолютно фоновой. На минерализацию от 4 до 8 мг/л приходится около 70% измерений. Некоторое увеличение повторяемости максимальных значений приходится обычно на весенне-летний период и, возможно, связано с повсеместной традицией сжигать отходы.

Концентрации сульфатов изменяются от 0.1 до 7.0 мг/л.

* Подробнее о связи минерализации осадков и их электропроводности см.: Свистов П.Ф., Полищук А.И. Атмосферные осадки над городами и регионами России // Природа. 2014. №3. С.28—36.

В 65% случаев они не превышают 1.5 мг/л, в 22% — не опускаются ниже 0.5 мг/л. Максимальные значения наблюдаются всего в 3 (и менее) процентах всех измерений и также характерны для начала теплого сезона. Экспериментальные наблюдения показывают, что основным источником сульфатов в осадках служит диоксид серы, который через сульфиты окисляется полностью до сульфатов в течение 7–10 сут и таким образом постепенно выводится из равновесия: диоксид серы воздуха — сульфиты облачных капель — сульфаты облаков и осадков.

Концентрация *нитратов* в осадках находится главным образом в интервале 0.5–4.0 мг/л, хотя в отдельных случаях наблюдаются и более высокие значения. Так, в марте 2005 г. она составляла 7.6 мг/л, а в июне 2013 г. достигала 10.2 мг/л. Средняя доля нитратов в осадках примерно равна сульфатной, а их происхождение также связывают с оксидами азота в воздухе.

Содержание *аммония* невелико из-за аномально высокой растворимости и химической активности аммиака. В диапазоне 0.1–3.2 мг/л примерно 90% значений не превышают 0.7 мг/л. Среднемесячные и среднегодовые (многолетние) величины изменяются незначительно — от 0.2 до 0.5 мг/л. Аммиак, выделяясь повсеместно в результате жизнедеятельности и окислительно-восстановительных реакций, легко взаимодействует с парами воды и другими газами. Время пребывания его в атмосфере оценивается примерно в одни сутки, в отличие от оксидов серы и азота (от 4 до 7 сут).

Содержание *гидрокарбонатов* $[\text{HCO}_3^-]$ в растворе нередко называют щелочностью. В идеальных условиях (минерализация меньше или равна 5 мг/л) щелочность связана с кислотностью $[\text{H}^+]$ капель в облаках соотношением:

$$[\text{HCO}_3^-] \approx K_1 K_2 p / [\text{H}^+],$$

где K_1 и K_2 — табличные константы равновесия, $K_1 = 0.045$ моль/л·атм (моль на литр при давлении газа в одну атмосферу), $K_2 = 3.8 \cdot 10^{-7}$ моль/л, p — содержание диоксида углерода в воздухе (0.03% = 0.0003 атмосферы).

Средняя многолетняя концентрация гидрокарбонатов близка к единице и регулируется кислотностью осадков, поэтому наметившийся в 1996 г. рост щелочности заметно отражается на уменьшении их кислотности. Естественно, средние за год абсолютно минимальные концентрации $[\text{HCO}_3^-]$ не совпадают с абсолютно максимальной кислотностью осадков. Такое возможно только в индивидуальных пробах. Главные источники

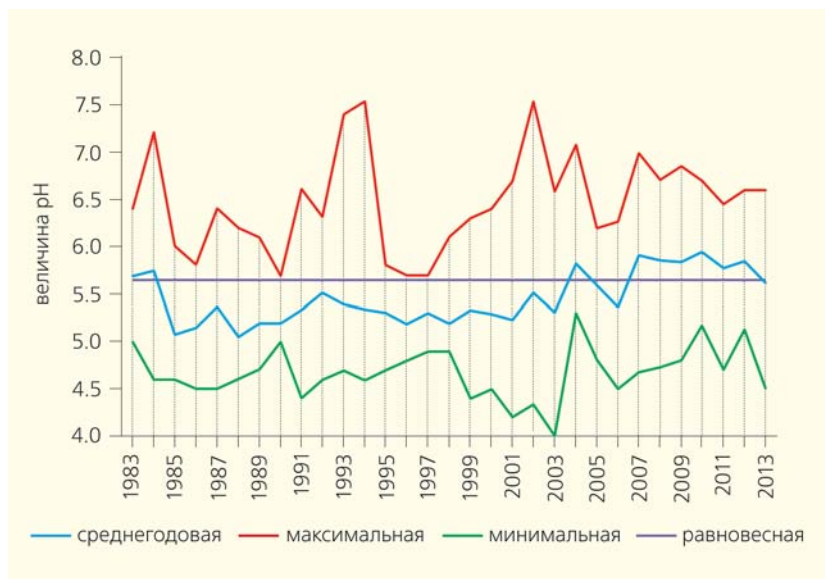


Многолетний ход концентрации гидрокарбонатов.

гидрокарбонатов — углекислый газ и карбонаты аэрозолей. Карбонатная составляющая будет, по видимому, возрастать с развитием транспортных средств и освоением земель под сельскохозяйственные нужды. При величине $\text{pH} \geq 4.8$ содержание гидрокарбонатов в осадках стремится к нулю. Максимальные значения щелочности в заповеднике достигают 10 мг/л.

Широко известный рост диоксида углерода в атмосфере происходит в четвертом знаке после запятой, если концентрацию выражать в объемных процентах ($0.0300 \pm 0.0005\%$). Такие отклонения, скорее всего, еще не влияют на изменения химического состава осадков. Незначительно их воздействие и на парниковый эффект. Другое дело, что в связанных с ним моделях по колебаниям климата берутся заведомо высокие содержания углекислого газа. Если над дистиллированной водой повысить концентрацию диоксида углерода до 0.1%, ее величина pH снизится до 5.2 (при 18°C); далее при 1% — до 4.9. При равновесном значении 5.7 кислотность атмосферных осадков может возрасти с 2 до 12.6 мкг/л. При такой кислотности современные ракообразные и рыбы гибнут в течение нескольких часов, микроорганизмы и бактерии видоизменяются [3]. Предельно допустимая разовая концентрация углекислоты в рабочей зоне — 1.4%, что в растворе соответствует величине $\text{pH} = 4.8$, т.е. гидрокарбонаты в нем будут полностью отсутствовать. Возвращаясь к реальным измерениям, видим, что их взаимное влияние по среднегодовым значениям приходится на значения $\text{pH} > 5.1$.

В 2003 г. в отдельном выпадении *кислотность* осадков достигла абсолютно максимального значения $\text{pH} = 4.0$ (или 100 мкг/л). Перед этим рекордом величина pH единичных осадков последовательно в течение четырех лет была ниже 4.5. В настоящее время она близка к 5.0 (в единичных осадках).

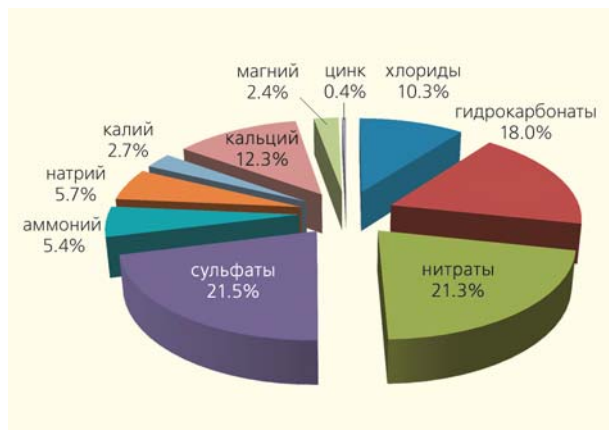


Изменение величины pH осадков в заповеднике.

Влажные выпадения ионов

Количество вещества, которое вымывается осадками на одном квадратном километре (влажные выпадения) получают умножением концентрации компонента (переменная величина) на сумму выпавших осадков (постоянная), поэтому соотношение между ионами в анализируемом растворе и во влажных выпадениях одинаково.

Выпадения суммы ионов в Приокско-Террасном заповеднике составляют примерно 4 т/км² в год. По вкладу отдельных веществ они располагаются в ряд: сульфаты и нитраты (43%), гидрокарбонаты и хлориды (28%), кальций, натрий, аммоний, калий и магний (29%), цинк (менее 0.1%). Три первых иона составляют более 60% суммы выпадений. Около 70% из них приходится на теплый период. Выпадение сульфатной серы не превышает



Среднегодовые выпадения ионов с атмосферными осадками за период 2004—2013 гг.

0.3 т/км² в год, что в 6.5 раза меньше критического значения 2 т/км² в год. Вместе с тем суммарного азота (нитратного и аммиачного) поступает 0.4 т/км² в год, что не только больше нагрузки от серы, но и всего в 2.5 раза ниже критического уровня (1 т/км² в год).

Тренд основных компонентов. По линейному тренду сумма выпадений в заповеднике уменьшается каждые 10 лет примерно на 1 т/км². Заметные изменения произошли в выпадениях серы и азота. При начальном превышении серы (более 30%) с внедрением газового топлива преобладающими становятся выпадения суммарные выбросы соединений азота. По сравнению с выпадением суммы ионов скорость снижения азота и серы значительно меньше 0.2 т/км² за 10 лет, а коэффициенты линейной корреляции — 0.7 и 0.85 соответственно для суммарного азота и серы.

В 2010 г. влажные выпадения обоих компонентов и суммы ионов стали синхронно возрастать, что, вероятно, связано с увеличением суммы осадков и с возможным появлением других источников загрязнения (например, пожаров).

По *средним за год* значениям максимальные кислые осадки (pH = 5.05) соответствуют небольшим выпадениям гидрокарбонатов. Минимальное вымываемое количество гидрокарбонатов (в том числе углекислого газа из воздуха) близко к 0.02 т/км², а максимальное — к 1 т/км² в год. При естественном фоновом состоянии атмосферы по легко измеряемой величине pH можно оценить содержание гидрокарбонатов и других составляющих карбонатной системы в осадках. Для заповедника коэффициент корреляции между pH и гидрокарбонатами составляет 0.75, и это значит, что они взаимно связаны всего на 56%. Поскольку равновесная величина pH близка к 5.6, возрастание ее от pH = 5.0 считают благоприятным событием.

Перенос воздушных масс. В качестве иллюстрации роли переноса воздушных масс при поступлении кислых компонентов на территорию заповедника из последних 20 лет выбраны два года: с абсолютно высокой суммой осадков (2013 г., 894 мм) и с абсолютно низкой (2009 г., 487.2 мм).

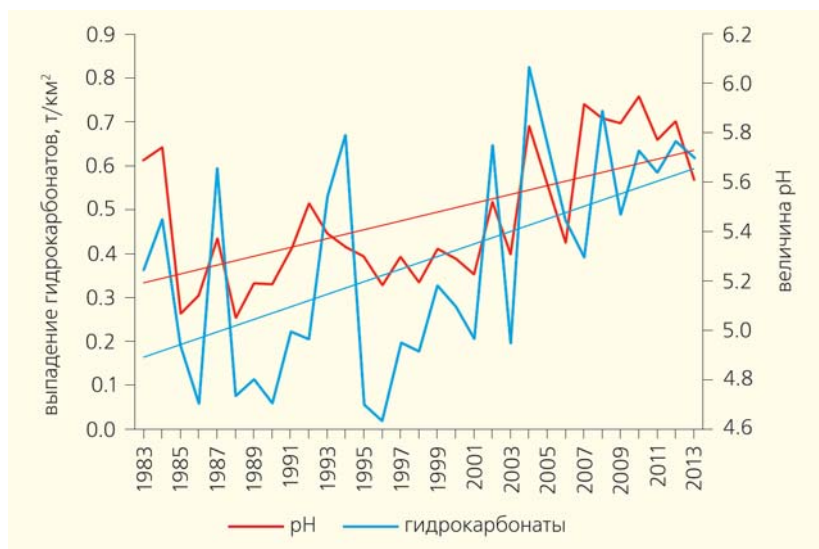
В более сухой год чаще, чем в дождливый, осадки выпадают при полном безветрии (до 10% случаев за год). С юго-западного, южного и юго-восточного направлений повторяемость их поступления примерно одинакова (от 13 до 16.5%). Наибольшее же количество осадков приходит из юго-восточного сектора в сухой год и из северо-северо-восточного — в дождливый. Максимальное количество

во закисленных осадков в обоих случаях поступает с южного и юго-восточного направлений. Все четыре распределения свидетельствуют о более устойчивом состоянии погоды в 2009 г.

В дождливый год повторяемости направлений и большего количества осадков качественно совпадают, но диаметрально противоположны: север—северо-восток и юго-запад—юг—юго-восток. Максимальное число закисленных осадков (до 30%) поступает с востока, т.е. с направления, откуда осадки вообще приходят сравнительно редко (менее 10%). Экстремальные значения количества кислых выпадений находятся в пределах от 2 до 30%.

Следует заметить, что многолетняя роза ветров на метеостанции Серпухов, расположенной вблизи западного фронта, выглядит иначе. В январе здесь преобладают юго-западные ветры (число штилей — 10), в июле — северо-восточные (32 штиля), а в целом за год — юго-западные (в среднем 18 штилей).

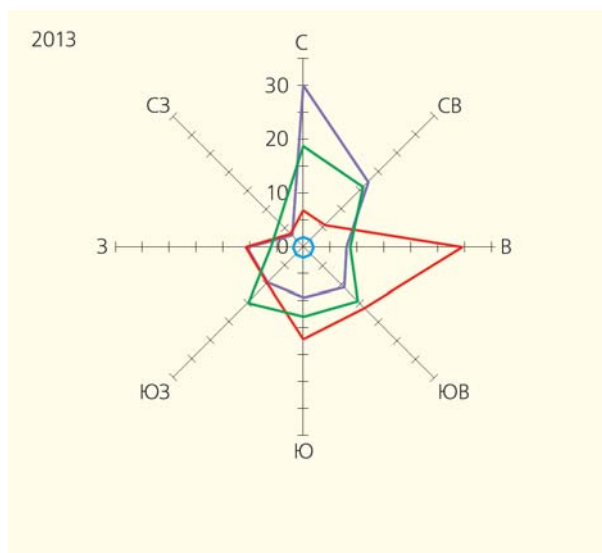
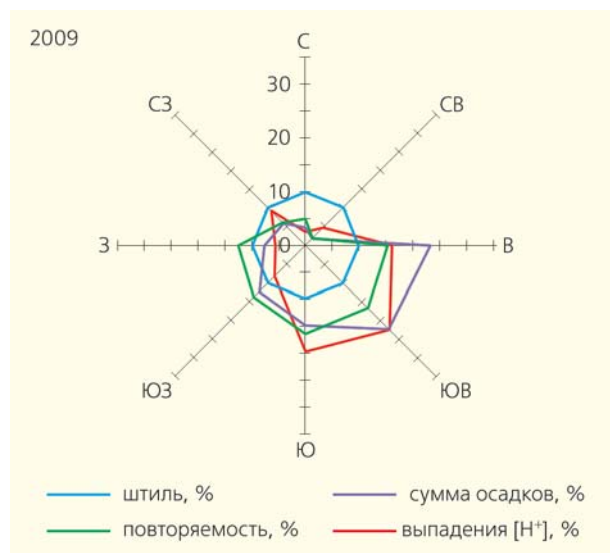
Штиль относится к довольно редким событиям — около 1% случаев в самый дождливый и до 10% в самый сухой год. Но оценить распределения кислотности и величины pH в осадках во время отсутствия ветра также представляется интересным. Минимальная величина pH или максимальная кислотность (январь, июнь и декабрь), как правило, не совпадает с максимальным количеством закисленных выпадений (июль, август), по-



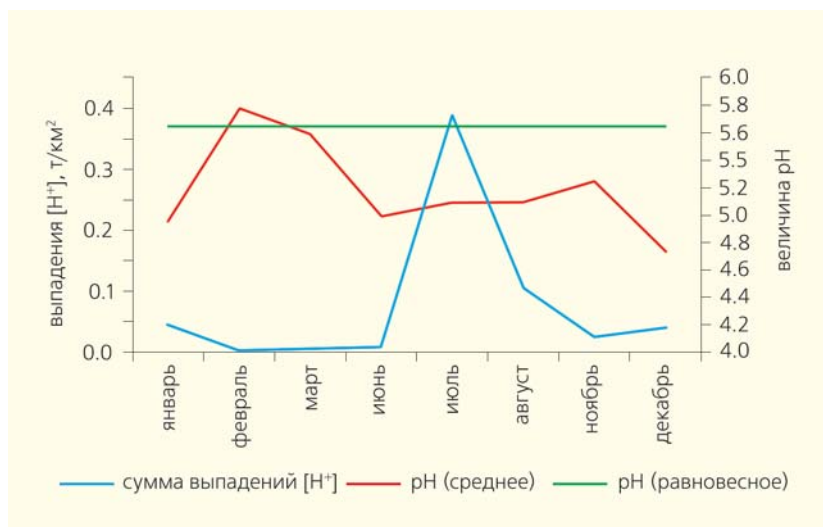
Изменение величины pH и выпадений с осадками гидрокарбонатов (прямыми показаны линии тренда).

скольку определяющая роль принадлежит сумме атмосферных осадков.

Подтверждаются данные прошлых наблюдений о приближении к абсолютно фоновым значениям состава и кислотности осадков в зависимости от их продолжительности и повторяемости. Но проявляется, возможно, еще один фактор — погодный. Кислотность осадков возрастает с повышением температуры за счет увеличения влагосодержания (усиления испарения и роста влагоемкости атмосферы). Получается, что в условиях недостаточного увлажнения обильные дожди способствуют закислению подстилающей поверхности. Однако представленные материалы показы-



Повторяемость по направлениям числа случаев выпадения осадков, их суммы и влажных выпадений кислых компонентов [H⁺] в сухой (2009) и влажный (2013) годы.



Влажные выпадения ионов водорода [H⁺] и рН атмосферных осадков в период отсутствия ветра (штиль).

вают, что присутствие в атмосфере мелких карбо-натных частиц, плохо вымываемых осадками, в конце концов приводит к увеличению их щелочности.

Колебания климатических характеристик.

В связи с широким интересом к проблемам климата и его колебаниям [4, 5] рассмотрим наблюдаемые изменения химического состава атмосферных осадков. При отборе для этих целей исходных (месячных) данных на результаты измерений было наложено единственное ограничение — проводимость осадков не должна превышать 30 мкСм/см (минерализация 15 мг/л), что делает их глобально и регионально фоновыми. При этом около 300 случаев по каждому компоненту распределяются по нормальной или логнормальной кривой. В качестве опорного параметра принята среднегодовая (реже среднемесячная) величина, отклонения от которой и представлены далее.

При определении тренда в многолетнем ходе компонента наиболее важной представляется оценка его значимости. Для этой цели используют критерий Стьюдента: $t = [r^2(n - 2)/(1 - r^2)]^{0.5}$, где r — коэффициент корреляции ($r^2 = R^2$ — коэффициент детерминации), n — число случаев. Тренд имеется, если значение t будет больше критического, которое при выбранном уровне значимос-

ти определяется по таблице. При уровне значимости 0.05 и числе случаев 31 критическое значение критерия равно 2.0. Это означает, что направленность изменений со временем значима для всех выбранных компонентов (табл.2), кроме месячной и годовой суммы осадков. Однако, если доверительный интервал уменьшить с 95 до 88%, тенденция возрастания с повышением температуры прослеживается и у суммы осадков. Эту связь оценивают по-разному, иногда с абсолютно противоположными выводами [4–7]. Основным источником различий служит расхождение роли двух факторов: связь компонентов и влагосодержания с температурой в пределах одного пункта

и связь в пункте (или районе) с глобальными изменениями температуры через атмосферную циркуляцию. С другой стороны, колебания происходят в пределах факторов, формирующих облака и осадки. Нередко изменения температуры и осадков почти полностью сопряжены с перемещениями воздуха. Так, О.А.Дроздов [6], коррелируя осадки с температурой для отдельных пунктов по годам для разных месяцев, получил отрицательные коэффициенты для летних месяцев. Другими словами, повышение температуры приводило к уменьшению осадков. Однако зимой рост температуры становится причиной увеличения количества осадков. В переходные сезоны изменение знака корреляции происходит примерно по линии снежного покрова (рост температуры — увеличение осадков над снежным покровом; рост температуры — уменьшение осадков при отсутствии снежного покрова). В рассматриваемом случае связь температуры с проводимостью и содержанием сульфатов и хлоридов оказалась отрицательной; с величиной рН, гидрокарбонатами и суммой осадков — положительной.

Сравнительно просто объяснить тесную связь проводимости и сульфатов, поскольку сульфаты преобладают в сумме ионов. Труднее установить причину резкого уменьшения количества самих

Таблица 2

Химический состав осадков в связи с изменениями климатических характеристик

	Температура, °С	Сумма осадков за месяц, мм	Проводимость, мкСм/см	рН	НСО ₃ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л
Среднее значение за 31 год	5.3	52.2	15.9	5.4	0.6	2.1	0.6
Уровень надежности (95%)	0.36	3.24	1.44	0.11	0.14	0.43	0.03
Коэффициент корреляции, r	0.49	0.30	-0.77	0.68	0.53	-0.89	-0.52
Величина t	3.03	1.69	6.50	4.99	3.37	10.51	3.28

сульфатов с 1983 по 2005 г. Возможно, это результат борьбы с выбросами.

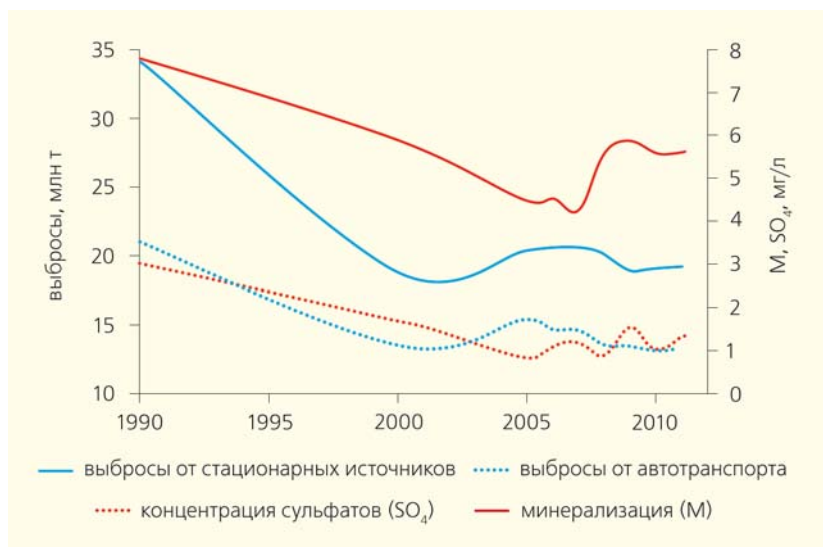
Связь суммы ионов, а также концентрации сульфатов в осадках заповедника с общими выбросами по РФ отсутствует. Коэффициент линейной корреляции сульфатов и диоксида серы составляет 0.46, и относится он к той ветви кривой, где содержание сульфатов изменяется со временем очень слабо.

Резкое уменьшение сульфатов могло быть вызвано возрастанием запыленности воздуха, которая благодаря наличию карбонатов уменьшает закисление осадков и приводит к повышению величины рН. Однако коэффициент линейной корреляции в одних и тех же пробах между гидрокарбонатами и сульфатами составляет -0.3 . В то же время более 80% снижения кислотности осадков обеспечивается присутствием именно гидрокарбонатов ($r = 0.9$).

Данные по содержанию хлоридов в осадках заповедника указывают на значимое сокращение выноса «циклических солей», под которыми подразумевают морские аэрозоли. Обычно основная масса хлорида натрия и сульфата магния выпадает недалеко от побережья — максимум в 100-километровой полосе, чему способствуют высокая гигроскопичность и хорошая растворимость этих солей в воде. Оставшиеся морские соли, возможно, служат ядрами конденсации или просто вымываются при сухом и влажном выпадении, создавая на континенте фон хлоридов в осадках около 0.6–1.0 мг/л или 10% суммы ионов. Для абсолютного большинства внегородских станций России, расположенных в лесной и лесостепной зонах, выполняются все три сценария временного хода концентрации хлоридов: их содержание в осадках возрастает, уменьшается либо остается неизменным. По многочисленным исследованиям, интенсивность выноса морских аэрозолей связывают с вол-



Многолетний ход отклонений от средней величины температуры воздуха и месячной суммы осадков (а), проводимости осадков и концентрации сульфатов (б), величины рН, концентрации гидрокарбонатов и хлоридов (в).



Суммарные выбросы по РФ от стационарных источников и автотранспорта в сравнении с минерализацией и концентрацией сульфатов в атмосферных осадках Приокско-Террасного заповедника [1].

нением, прибором, а также с температурой воздуха и поверхностью воды.

По данным о химическом составе осадков вполне определенно можно говорить о возрастании фоновой запыленности воздуха в центре европейской территории России, что, как известно, может привести к изменению радиационных характеристик атмосферы (похолоданию). Эти результаты не согласуются с данными по сульфатам и сумме ионов, содержание которых снижается. Возможно, карбонатов поступает в атмосферу

больше при вырубке лесов под пашни и при пожарах. В сферу оценки выбросов от стационарных предприятий и автотранспорта эти источники вряд ли попадают.

Таким образом, подводя итоги 30-летних наблюдений, можно сделать следующие выводы. В заповеднике главным образом выпадают глобально и регионально фоновые осадки, которые за год вымывают из воздуха около 4 т различных веществ и более 1 т/км² углекислого и других газов.

За весь период наблюдений минерализация осадков и, возможно, загрязнение воздуха снизились примерно в 2 раза. Закисление осадков по среднему за год значению понизилось на 75%. Вызвано оно, по-видимому, сокращением газового и возрастанием пылевого загрязнения воздуха от региональных и дальних источников.

Литература

1. Охрана окружающей среды в России в 2012 году. М., 2013.
2. Першина Н.А., Павлова М.Т. Фоновая составляющая атмосферных осадков // Труды Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова. 2013. Вып.569. С.116–142.
3. Виноградов Г.А. Процессы ионной регуляции у пресноводных рыб и беспозвоночных. М., 2000.
4. Будыко М.И., Бютнер Э.К., Винников К.Я. и др. Антропогенные изменения глобального климата // Метеорология и гидрология. 1981. №8. С.5–14.
5. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т.39. №2. С.166–187.
6. Дроздов О.А., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л., 1971.
7. Крышнякова О.С. Пространственно-временная изменчивость температуры воздуха и осадков в природных зонах европейской территории России. Автореферат. дисс. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010.
8. Оценка влияния изменения режима вод суши на наземные экосистемы / Под ред. Н.М.Новиковой. М., 2005.

Аниматы: от нейробиологии до робототехники

И.В.Мухина, А.С.Пимашкин, В.Б.Казанцев

Для исследования механизмов работы мозга на нейронном уровне используются различные экспериментальные модели. Одна из них предполагает создание адаптивных нейрогибридных систем на основе живых клеток. Такие системы должны помочь и в понимании когнитивных (познавательных) функций мозга, и в решении прикладных задач. В биомедицинских технологиях их можно будет применять для изучения механизмов нейропатологий и тестирования новых лекарственных препаратов, воздействующих на мозг. А в информационных технологиях и робототехнике они в перспективе должны по эффективности превзойти традиционные системы управления и обработки данных, поскольку базируются на механизмах пластичности и обучения сетей живых нейронов.

Подход к проблеме

Клетки мозга способны осуществлять очень широкий круг преобразований входных сигналов — в зависимости как от собственного состояния, так и от характеристик стимула. Эти сигналы распространяются по нейронной сети, вызывая очередную активацию распределенных клеточных структур, которые отвечают паттернами биоэлектрической активности.

© Мухина И.В., Пимашкин А.С., Казанцев В.Б., 2015



Ирина Васильевна Мухина, доктор биологических наук, заведующая кафедрой нормальной физиологии им.Н.Ю.Беленкова и Центральной научно-исследовательской лабораторией Нижегородской государственной медицинской академии (НиЖГМА), руководитель Центра развития биотехнологий Нижегородского государственного университета (ННГУ) им.Н.И.Лобачевского. Специалист в области клеточных нейротехнологий и электрофизиологии.

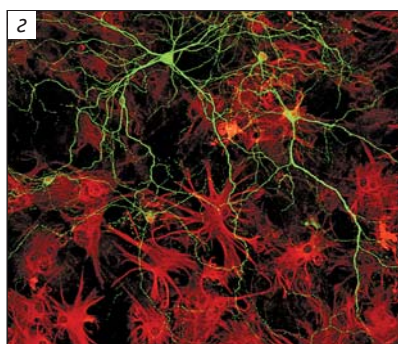
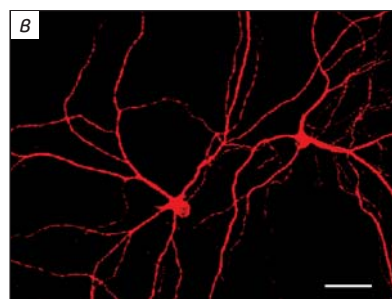
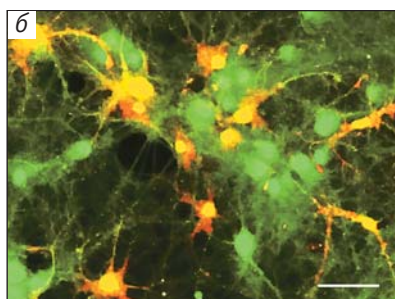
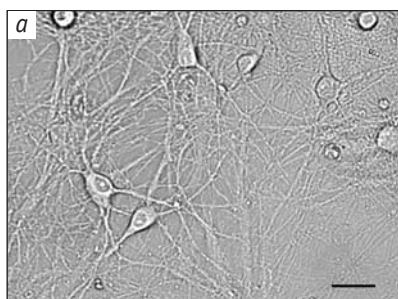


Алексей Сергеевич Пимашкин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Нейронаучного центра ННГУ. Занимается обработкой и кодированием информации в нейронных сетях мозга.



Виктор Борисович Казанцев, доктор физико-математических наук, профессор, проректор по научной работе ННГУ, заведующий кафедрой нейродинамики и нейробиологии. Область научных интересов включает математическое моделирование нейросистем, развитие технологий нейроинтерфейсов и нейроуправления.

Для их исследования принципиально важна возможность одновременного снятия сигналов с миллионов различных нейронов, что в настоящее время неосуществимо. Мультиэлектродная регистрация доступна для локальных сетей, включающих не более сотен нейронов, для которых были получены экспериментальные под-



Нейронная сеть первичной культуры гиппокампа эмбрионов мышей на 14-й день развития *in vitro*. Изображения получены с помощью широкопольной световой микроскопии нейронной сети (а, в центре видны два пирамидных нейрона с отростками) и конфокальной лазерной микроскопии (б, в, г): нейронная и глиальная сеть культуры гиппокампа (б, флуоресценция кальций-чувствительного красителя Oregon Green BAPTA1 AM зеленого цвета, маркирующего свободный кальций в нейронах, и сульфородамина 101 красного цвета, маркирующего астроциты, совместное окрашивание в желтый цвет показывает активные астроциты; фото Ю.Н.Захарова); нейронная сеть (в, флуоресценция белка MAP2 микротрубочек в нейронах, фото Е.В.Митрошиной); нейронная и глиальная сеть (г, флуоресценция белка MAP2 микротрубочек — зеленый цвет — в нейронах и внутриклеточного белка GFAP — красный цвет — в астроцитах, фото Е.В.Митрошиной). Масштаб — 20 мкм.

тверждения того, что там существуют спонтанно повторяющиеся последовательности импульсов (спайков). Последовательности разрядов активных нейронов имеют различные пространственные рисунки, следующие друг за другом в определенном порядке. Эти паттерны представляют собой сигналы коллективной активности, характеризующиеся наличием как временных, так и пространственных корреляций. По сети проходит импульс возбуждения, вызывая поочередную синхронную активацию групп нейронов и формируя таким образом самовоспроизводящийся пространственно-временной паттерн. Механизмы его генерации, а также методы детектирования и анализа в последние годы интенсивно исследуют ученые многих стран, в том числе и России.

Использование культур диссоциированных клеток мозга для искусственного формирования нейронных сетей с целью изучения клеточных и сетевых механизмов, лежащих в основе процессов обработки информации нейронными системами, — одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной нейронауки. Многообещающе, в частности, его приложения в области создания неклассических вычислительных систем [1].

Разработанные в 1970-х годах методы культивирования нейронов в дальнейшем постоянно совершенствовались, будучи востребованными при исследовании информационных функций, в частности обучения, памяти, адаптивного управления. Динамика развития спонтанной и вызванной электрофизиологической активности в культуре диссоциированных клеток — один из ключевых вопросов для понимания, как же формируются ней-

ронные сети, каково их значение в пластичности и адаптации мозга к когнитивным нагрузкам.

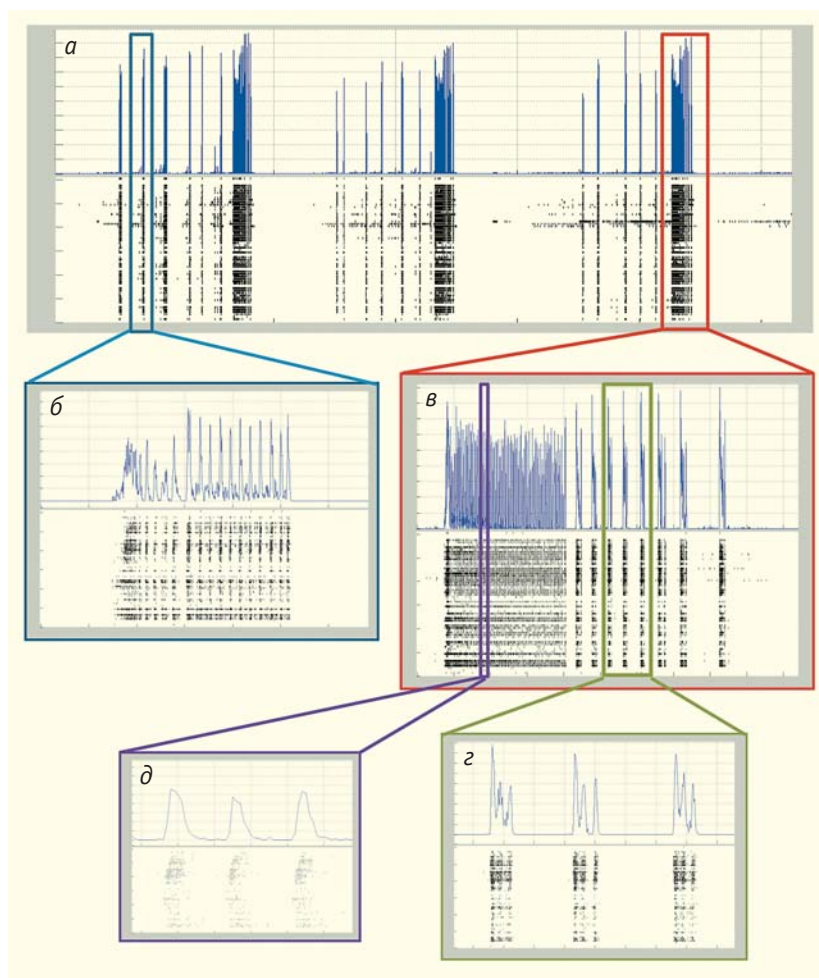
Для регистрации данной активности клеточной сети и передачи паттерна электрической стимуляции, соответствующей тому сигналу, что поступает от сенсоров из окружающей среды, используется микроэлектродная матричная система. Матрица с большим количеством электродов (от 60 до 4096/мм² и более) позволяет детальной представить этот процесс. Каждый отдельный электрод детектирует композитный сигнал, индуцированный одной или несколькими клетками. Наиболее важные аспекты здесь — выделение информационной составляющей сигнала и статистический анализ полученных данных активности. В этом плане еще остается немало вопросов. Например, проблема идентификации вызванных сигналов в сети пока решена не полностью ввиду того, что сложный сетевой ответ (вызванный паттерн активности) на стимул формируется на фоне различных базовых уровней спонтанной активности в сети. Обычно сигналы преобразуются в бинарные последовательности спайков на основе порогового метода детекции и сортируются по форме спайков с помощью вейвлет-преобразования. Кроме того, спайки, детектируемые от различных клеток, могут иметь разную значимость для корреляционной картины сетевой динамики.

Клетки мозга, культивируемые на мультиэлектродных матрицах, используются в качестве биологической модели мозга *in vitro*. Ее электрическая активность может участвовать в формировании управляющего сигнала, который поступает на электромеханическое устройство, именуемое аниматор (мы расскажем о нем чуть ниже).

Исследования в области создания адаптивных нейрокогнитивных систем, в частности нейроаниматов, управляемых обучающимися культурами живых клеток мозга, проводятся в настоящее время в ведущих зарубежных центрах: в Институте технологий Джорджии, Массачусетском институте технологий (США), Институте мозга РИКЕН (Япония), Итальянском институте технологий, Израильском институте технологий в Хайфе, Научном центре Фрайбурга (Германия) и др. (аналогичные структуры сейчас создаются в Великобритании и Китае). В России изучение функциональной организации живых нейронных сетей и сопряжения живых клеток с электронными устройствами в целях раскрытия механизмов обработки информации, обучения и памяти началось в 2007 г. в Нейронаучном центре, объединяющем Нижегородскую государственную медицинскую академию, Нижегородский государственный университет и Институт прикладной физики РАН. С 2012 г. «аниматный проект» стартовал и в НИЦ «Курчатовский институт».

Первые шаги

Термин «анимат» (англ. animal + automat) обозначает робота с поведением животного [2]. Основной идеей при создании гибридных систем, в которых роботом управляют живые нейронные сети, было то, что обучающаяся *in vitro* сеть должна взаимодействовать с внешней средой. Первый нейроанимат — творение итальянских исследователей под руководством профессора Ф.А.Мусса-Ивальди — представлял собой механическое «тело», снабженное «органом чувств — глазами» — светочувствительными датчиками (фотодиодами) [3]. Для управления роботом использовались сигналы, регистрируемые с нейронов срезов мозга морской миноги. При активации фотодиодов робота на нервные клетки подавалась последовательность стимулов. Биоэлектрические импульсы, регистрируемые на других клетках, использовались для управления моторами робота.



Паттерн нейронной сетевой активности. Фрактальная структура сложной спонтанной активности нейронной сети диссоциированных клеток гиппокампа мышей на 25-й день развития *in vitro* (суперпачка). На картинках верхняя диаграмма показывает число импульсов в сети за каждый временной пятимиллисекундный интервал, нижняя — растр (распределение в зависимости от времени) импульсов для каждого регистрируемого электрода матрицы. Пример последовательности сложных суперпачек спонтанной нейросетевой активности (а). Размер ячейки соответствует 100 с. Суперпачка, предшествующая основной суперпачке (б). Основная суперпачка с последующими малыми суперпачками (в). Малые суперпачки (z). Малые сетевые пачки (д).

Практически в то же время американец С.М.Поттер с коллегами выдвинули идею подключить к анимату культуру нейронов коры головного мозга мыши, выращенных на мультиэлектродной матрице [4, 5]. Поттер предложил рассматривать нейронную сеть как вычислительную систему с входом (паттерном стимуляции) и выходом (паттерном активности), которым можно «назначить» соответствие с определенной поведенческой функцией. Движением виртуального животного руководил так называемый вектор активности сети, представлявший собой суммированную активность на каждом из 60 регистрирующих электродов в течение 200 мс. Эти векторы классифи-



Один из наших мобильных роботов.

цировались с помощью специального алгоритма, а каждому их виду «назначалось» движение робота в определенную сторону — вперед, назад, вправо, влево. В зависимости от номера сенсорного входа сеть стимулировали через один из пяти электродов. Таким образом, клетки культуры мозга получали сигнал из внешней среды через один из электродов (сенсорный вход), локализация которого зависела от текущего состояния виртуального животного. После такого воздействия регистрировалась ответная активность сети, диктующая следующий двигательный акт. В результате подобного циклического взаимодействия с виртуальной внешней средой нейроанимат демонстрировал определенную двигательную активность, хотя, как отмечали сами авторы, ее нельзя было отнести к целенаправленной.

Пример более «интеллектуального» поведения — решение аниматом задачи переместиться к выбранному объекту, но не столкнуться с ним. Проще всего реализовать такую функцию, используя зависимость сетевой активности от частоты стимуляции. В данном случае активность характеризовали средней частотой спайков всей сети в течение 100 мс после стимуляции. Последняя состояла из двух разрядов, интервал между которыми задавался пропорциональным расстоянию до объекта. В свою очередь, активность сети определяла продолжительность (или скорость) движения анимата. Направление движения (направо вперед, налево вперед, направо назад, налево назад) диктовалось положением объекта по отношению к анимату (справа, слева, далеко, близко) и, по сути, не зависело от активности нейронной сети.

В исследовании К.П.Докендорфа и Т.Б.ДеМарсе рассматривалась способность живых нейронов мыши, культивируемых на мультиэлектродной ма-

трице, контролировать угол наклона и вращение симулированного самолета за счет степени активности нейронов [6].

Еще одна иллюстрация того, как можно соединять определенную характеристику нейронной сети с «поведенческой» функцией робота, — «художественный» проект, над которым лаборатория Поттера работала совместно с научной группой из Австралии. В данном случае нейронная сеть взаимодействовала с внешним миром с помощью робота-плоттера, пишущего «картины». Один из вариантов выглядел следующим образом. Фотографировался посетитель выставки, его портрет оцифровывался как матрица-растр (растеризовался) из 64 прямоугольников в разных оттенках

серого. Под воздействием спонтанной активности нейроанимат-художник начинал рисовать. Далее этот рисунок также rasterизовался и сравнивался с исходным цифровым портретом, после чего вычислялся вектор ошибки, на основе которого производилась стимуляция нейронной сети по 64 каналам. Ответная реакция сети использовалась для дальнейшего написания портрета. Цикл «коррекции ошибки» повторялся один раз в несколько секунд, вся картина писалась в течение 30 мин. Запись проводилась с культуры диссоциированных кортикальных нейронов мыши, выращенных на микроэлектродной матрице. Электродные сигналы оцифровывались в реальном времени с помощью специальных аппаратных и программных средств.

В последующих работах, используя различные виды электрической стимуляции, исследователи показали, что в течение нескольких минут нейроанимат способен «обучаться» движению в требуемом направлении с шириной коридора порядка 30°. С одной стороны, детальная разработка протокола стимуляции, позволяющая вызывать, отбирать и сохранять определенные пластические изменения нейронной сети, — большой прогресс. Но с другой — нейроанимат еще не может вести себя так же, как автономный робот, управляемый программами искусственного интеллекта или даже довольно простой сетью искусственных формальных нейронов. Причины — недостаточно накоплено теоретических знаний о природе целенаправленного и механизмах формирования условных рефлексов на уровне нейронной сети, не разработан аналитический аппарат пластических изменений в нейронной сети при сенсорной стимуляции и декодировании информации в эффективной части ответной реакции мозга.

Сегодня, исследуя интерфейс (систему связей) клеточной культуры и мобильного робота, его движениями в пространстве с препятствиями управляют, как правило, на основе активности нейронной сети при ее электрической стимуляции *in vitro*. Интенсивность последней зависит от сигналов, «создаваемых» ультразвуковыми сенсорами анимата (т.е. в качестве органа чувств выступает «ухо»). В схеме декодирования сигнала нейронной сети используется частота импульсов на выбранных локальных ее участках. Скорость правой и левой «ноги» (например, колеса) робота линейно зависит от числа импульсов в определенном интервале времени. Когда анимат упирается в препятствие, он отъезжает назад и повторяет попытку его объехать. Был предложен способ обратной связи, который заключался в применении частотной стимуляции в случае, когда робот не мог продолжить движение. Предполагается, что стимулирование такого рода способно вызвать кратковременные функциональные изменения в нейронной сети (сетевую пластичность). Применение обратной связи приводило к тому, что робот быстрее находил путь для объезда препятствия. Данная инженерная разработка основана на фундаментальных представлениях о пластичности нейронных сетей в условиях высокочастотной стимуляции. Тем не менее влияние различных способов стимуляции на сетевую функциональную активность остается предметом дискуссии.

Наш подход к обучению анимата предполагает использование не только высокочастотных, но и низкочастотных сенсорных стимулов, лежащих в диапазоне спонтанной активности нейронов культуры. Для решения задач проекта (он так и назван — «Анимат») привлечен широкий набор мультидисциплинарных (биологических, физических, биохимических, математических, инженерных, вычислительных) методов и подходов. Подключены как обычные методики и протоколы экспериментальных исследований, стандартные программные средства, входящие в комплектацию экспериментальных установок и систем, так и оригинальные разработки авторского коллектива, полученные в ходе выполнения научно-исследовательских проектов в 2009—2014 гг.

Растим, следим, учим

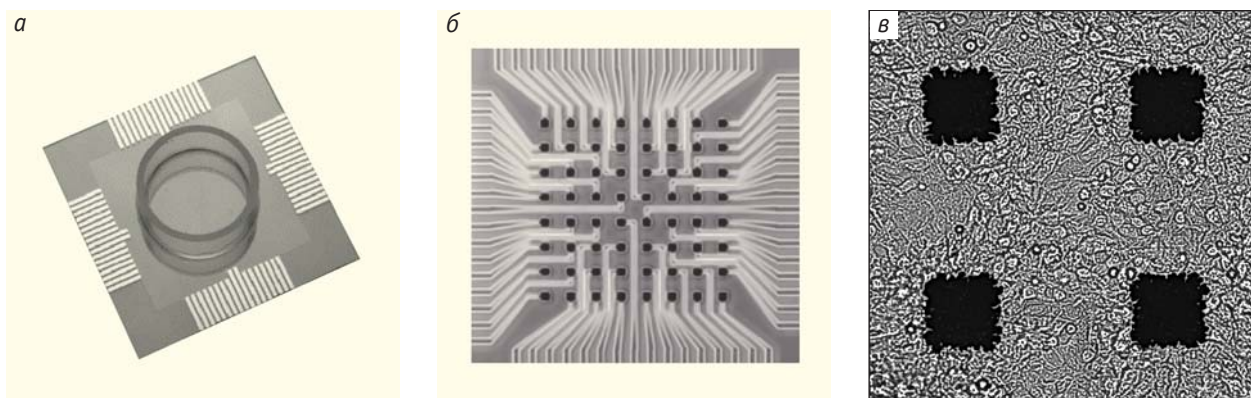
Метод культивирования нервных клеток, разработанный в лаборатории клеточных технологий Нижегородской государственной медицинской академии для создания анимата, соответствует мировым стандартам и широко применяется сотрудниками лаборатории для анализа различных функций нервной системы как в норме, так и при патологии [7]. Для исследований берутся 17–18-дневные эмбрионы инбредных мышей. Диссоциирование клеток достигается путем обработки ткани

гиппокампа 0.25%-м трипсином. Клетки ресуспендируют (повторно переводят во взвешенное состояние) в нейробазальной среде в комплексе с биоактивной добавкой, глутамином и эмбриональной телячьей сывороткой и культивируют на мультиэлектродной матрице в течение 30–240 дней *in vitro*. Предварительно матрицу стерилизуют УФ-облучением и обрабатывают полиэтиленом либо ламинином, служащими опорным субстратом для клеток, исходная плотность которых может быть различной: от 1200 до 9000 на 1 мм². Жизнеспособность культуры поддерживается в инкубаторе в газовой смеси, содержащей 5% CO₂, при температуре 35.5°C. Меняют культуральную среду через сутки после посадки на матрицу и далее один раз в два дня. Спонтанная активность регистрируется при стабильных параметрах (температуре, влажности, содержании CO₂ и O₂) окружающей среды [8].

Культивирование клеток производится на мультиэлектродных матрицах систем электрофизиологической регистрации MED64 (Alpha MED Science, Япония) и MEA120 (MultiChannel Systems, Германия). Это оборудование позволяет вести многоканальную (60, 64, 120 и более) регистрацию электрической активности нейронной сети, а также стимулировать клетки одновременно в разных участках культуры. Каждый электрод детектирует сигналы нейронов, расположенных на расстояниях до 30 мкм от него.



В лаборатории клеточных технологий Центральной научно-исследовательской лаборатории Нижегородской медицинской академии Минздрава России. Справа на стойке — комплекс мультиэлектродной регистрации с выводом сигнала на экран дисплея. Матрица с культурой нейронов содержится в инкубаторе при постоянном режиме газового и температурного гомеостаза. Приготовление первичной культуры мозга осуществляется в ламинарном шкафу при условиях абсолютной стерильности.



Мультиэлектродная система MED64: мультиэлектродная система со стеклянным основанием (а); мультиэлектродная матрица площадью 1 мм² (б), содержащая 64 микроэлектрода (черные точки); микроэлектроды, показанные крупнее (в).

Для активации нейронов культуры клеток мозга используется четырехканальный стимулятор STG4004 (MultiChannel Systems, Германия), а также еще один, созданный коллективом научной группы. Эксперимент управляется и данные обрабатываются авторским программным обеспечением [9].

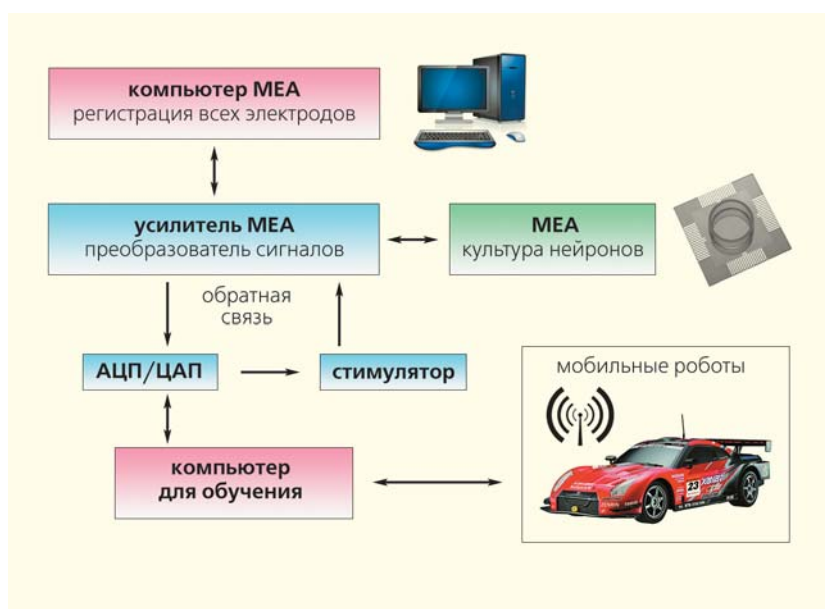
Для исследования пластичности сети проводится электрическая стимуляция нейронов с помощью одного или нескольких планарных электродов [10]. Ведется поиск оптимальных параметров стимуляции, соответствующих наиболее эффективному воздействию на сеть. Сам электрический стимул — это последовательность бифазных прямоугольных импульсов. Очевидно, изменение параметров стимуляции сети должно приводить

к различным эффектам в изменении пластичности нейронной сети. Последствия в некоторых случаях могут оказаться необратимыми. Поэтому, чтобы решить прикладные задачи управления биороботом, надо сначала проанализировать фундаментальные механизмы вызванных сетевых изменений при обучении локальной сети нейронов, продолжительность и воспроизводимость этих изменений, найти подходящие способы кодирования информации в сети, изучить влияние различных химических и физических факторов на исследуемые процессы.

Существенную роль в реализации проекта играют методы обработки данных. На первом этапе проводится поиск (детектирование) сигналов на уровне шума на основе порогового критерия. Данный способ хорошо отработан и вполне надежен для используемых экспериментальных установок MEA120 и MED64.

Результат первого этапа — растры биоэлектрических импульсов, в которых содержится информация о временах их возникновения на каждом электроде матрицы. Далее полученные растры анализируются с целью выявить статистические индикаторы, отражающие функциональное состояние сети [11].

Следует отметить важную особенность живой нейронной сети *in vitro* — вариабельность многих параметров активности и морфологии клеток, зависящая порой... от рук и настроения экспериментатора. Характеристики активности различных посадок (культур, полученных с одного мозга), выполненных по одной процедуре, могут отличаться на порядки. Поэтому



Экспериментальная схема обучения культуры нейронов. АЦП/ЦАП — аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи, MEA — MicroElectrode Array (микроэлектродная матрица).

одна из задач проекта — выбрать такие характеристики активности культур клеток, которые обладают высокой стабильностью в ходе развития клеток и могут быть использованы для оценки функционального состояния сети клеток.

Кроме того, серьезным моментом в методологическом плане остается разработка новых протоколов экспериментов, в основе которых будут лежать различные паттерны электрической стимуляции. Нужно научиться воздействовать на процессы сетевой пластичности, вовлеченные в формирование функциональных связей в сети клеток аналогично связям в целом мозге.

Закрепляем и экзаменуем

Наблюдение структурно-функциональных изменений при обучении сети базируется на специальных индикаторах, предложенных нашей исследовательской группой. Под обучением в данном случае подразумевается то, что в результате внешнего воздействия изменяются набор функциональных связей, или индикаторов активности (за счет процессов пластичности сети), внутренние механизмы адаптации и кооперации клеток. Согласно классическим представлениям об условных рефлексах, необходимый элемент в экспериментах по обучению — подкрепление. Как было показано ранее в работах группы С.Марома, роль подкрепления может играть отключение внешней электрической стимуляции при достижении заданного критерия [12–14].

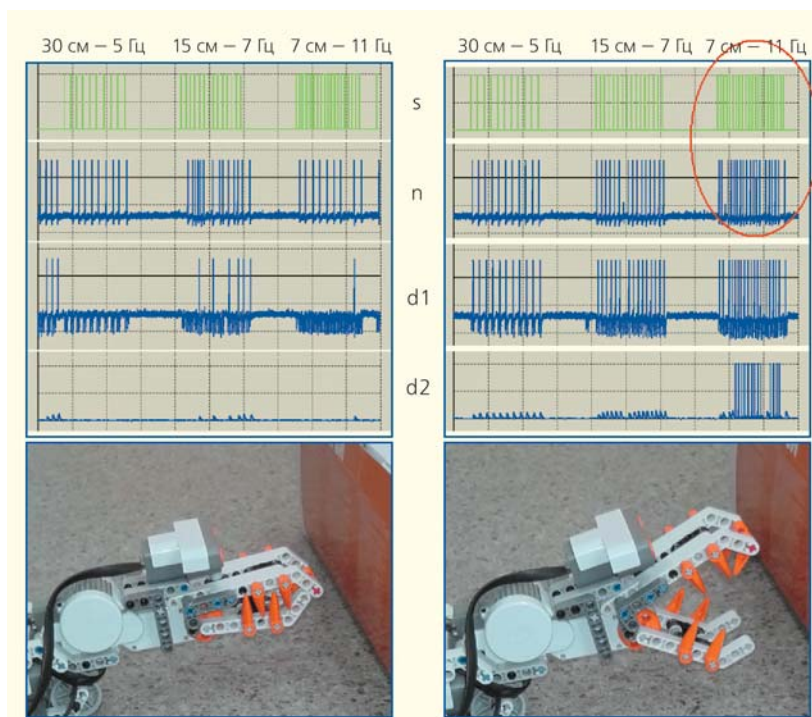
В нижегородском проекте проверены другие подходы для реализации подкрепления при обучении в сети клеток *in vitro* [15]. За последние два десятилетия накоплено достаточно данных о том, что при обучении в синаптических соединениях между нейронами в мозге происходят изменения, идентичные наблюдаемым при длительном возбуждении нейронов в его срезах. С нашей точки зрения, изменения функциональных характеристик синапса* под воздействием внешнего паттерна электрической стимуляции — лишь часть пластических изменений, происходящих во всей нейронной сети. Факти-

* Синапс — контакт между двумя нейронами или между нейроном и получающей сигнал эффекторной клеткой; служит для передачи сигнала между двумя клетками.

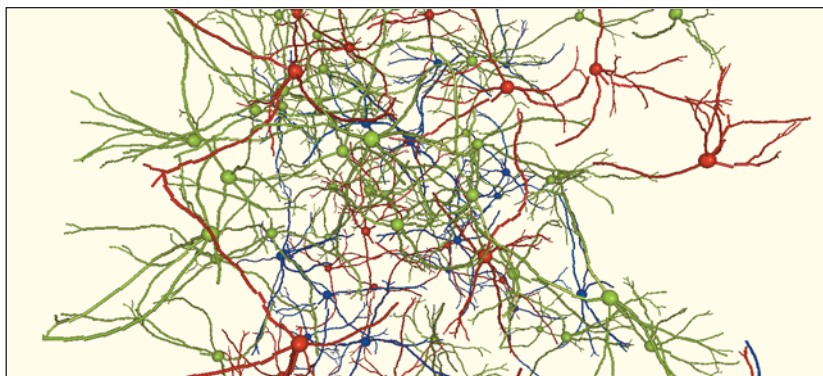
чески она, реагируя на стимуляцию, адаптивно изменяет свои собственные характеристики, которые годились для функционирования в обычных условиях, но не подходят для нормальной работы при внешней стимуляции. При этом выявленные механизмы пластичности сети направлены на поддержание гомеостаза биоэлектрической активности сети на системном уровне, обеспечивая поддержание жизнеспособности всех элементов сети.

Для создания бинаправленного интерфейса регистрации/стимуляции культуры клеток с исполнительными устройствами используется аппаратно-программный комплекс, разработанный авторским коллективом проекта, объединяющим научных сотрудников и инженеров как НижГМА, так и ННГУ. До сих пор в мире не создано адекватной модели обратной связи в реальном времени, контролирующей активность анимата: мешает отсутствие методов, позволяющих адекватно оценить функционально значимые параметры и соответствующим образом воздействовать на живую нейронную сеть. Поэтому в ходе выполнения проекта прежде всего планируется разработать новые индикаторы функционального состояния сети — основанные на оценке эффективности передачи сигналов между электродами.

Предложенные нашей исследовательской группой методы детектирования и воздействия, меняющие состояние клеточной сети с помощью электрической стимуляции, воплощены в комплексе



Интерфейс «нейрон-робот»: усиление работы нейрона культуры гиппокампа вызывает раскрытие руки робота (симуляционный анимат создан С.Лобовым).



Виртуальная нейронная сеть, полученная В.Мироновым (Нижегородский нейроцентр) в результате компьютерной симуляции роста и навигации отростков нейронов в трехмерном пространстве.

программ с определенным уровнем аппаратного абстрагирования от взаимодействия с физическими роботами. Подобный подход позволяет использовать экспериментальные феномены синаптической пластичности, адаптации функционального состояния и обучения в нейронных сетях для различных вариантов реализации адаптивного нейрогибридного интерфейса. Например, феномен появления условного физиологического отклика в нейронной сети с применением протокола обучения можно будет задействовать не только для роботов, ищущих оптимальный путь в пространстве с препятствиями, но и для интерфейсов человека с роботизированной рукой или с частями экзоскелета.

На базе разработанного адаптивного нейроинтерфейса планируется реализовать простую информационную функцию классификации сенсорных сигналов, поступающих от датчиков мобильного робота. Система состоит из двух частей: аппаратной (сенсоры и датчики движения, моторы робота) и программно-экспериментальной (программный комплекс, управляющий в реальном времени регистрацией, анализом и стимуляцией нейронной сети культуры). Стимуляция в виде последовательности электрических стимулов осуществляется с помощью протокола кодирования внешней информации, полученной с аппаратных сенсоров.

Основная функция классификации представляет собой выделение паттерна активности в различных участках нейронной сети при электрической стимуляции электродов, назначаемых как сенсорные (входные) пути. Задачу можно представить в терминологии «стимул—реакция», где под стимулом понимается конкретная кодированная последовательность электрических стимулов локальных участков сети клеток, а под реакцией — определенный пространственно-временной паттерн активности всей сети клеток в короткий промежуток времени (100—500 мс) после стимула. Таким образом, функциональное преобразование

стимула в реакцию — это обработка информации в нейронной сети, абстрагированная от конкретной реализации исполнительного устройства, что максимально эффективно разделяет общую задачу проекта на независимые выполнимые подзадачи.

Отметим, что основным недостатком экспериментальных методов изучения мозга и нейронных сетей остается высокая стоимость. Поэтому одним из главных направлений работы ученых Нейронаучного центра при ННГУ в данной области стала разработка математической

модели нейронных культур. Имитируя основные функциональные возможности нервных клеток, она может использоваться для теоретических исследований. К тому же математическое моделирование обеспечивает глубокий фундаментальный взгляд на механизмы изучаемых процессов в существенно расширенном диапазоне параметров по сравнению с экспериментальным материалом [16].

Сопоставление экспериментальных и модельных данных позволяет сделать предположения о тех или иных изменениях в архитектуре сети, интерпретировать результаты эксперимента, корректировать протоколы. Например, нейроны коры головного мозга и культур клеток, высаженных на мультиэлектродные матрицы, способны генерировать распределенные по степенному закону кластеры биоэлектрических разрядов как спонтанно, так и под воздействием электрической и фармакологической стимуляции. Среди последних результатов имеются также свидетельства наличия степенной статистики нейронной активности, записанной с части целого мозга *in vivo*. Разрабатываемые нами модели роста нейронной сети, уже предложенные для математического описания паттернов активности в нейронных сетях мозга, учитывают различные аспекты их функционирования в мозге или культуре.

Абстрактные модели предлагают феноменологическое описание критического поведения без учета внутренних механизмов самоорганизации. Существуют и биологически детализированные модели, принимающие во внимание динамику отдельных элементов сети и связей между ними. Как мы рассчитываем, наша модель обучения биологических нейронных сетей будет воспроизводить поведенческие режимы, характерные для обычной мозговой активности, возникающие самопроизвольно как результат взаимодействий между анатомическими и динамическими процессами, описывать спонтанную активность, чувствительность к изменениям в параметрах отдельных нейронов, появление волн и ритмов.

* * *

В заключение еще раз подчеркнем: реализация проекта «Анимат», над которым работают нижегородские ученые, будет способствовать развитию технологий, связанных с использованием живых нейронов мозга для решения информационных задач в искусственных системах и устройствах. Когда будет достигнут реальный практический результат, пока, конечно, прогнозировать сложно. Но не менее важна и фундаментальная задача проекта:

исследовать адаптивные изменения нейронной сети и сетевых механизмов пластичности и обучения в условиях бинаправленного (регистрация/стимуляции) аппаратно-программного интерфейса первичных нейронных культур с исполнительными устройствами (роботами). Проект ориентирован на гибкое соединение теоретических и экспериментальных подходов, и мы искренне надеемся, что будет сделан еще один шаг на пути познания вселенной мозга. Постараемся держать читателей «Природы» в курсе новых результатов! ■

Работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (проекты 09-02-92611-КО_а, 09-04-12254-офи_м, 09-04-12304-офи_м, 09-04-97090-р_поволжье_а, 10-01-00690-а), Российской федеральной программой «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009–2013) и Российским научным фондом (проект 14-19-01381(2014–2016)).

Литература

1. Мухина И.В., Хаспеков Л.Г. Новые технологии в экспериментальной нейробиологии: нейронные сети на мультиэлектродной матрице // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2010. №2. С.44–51.
2. Wilson S.W. The animat path to AI // *From animals to animats: Proceedings of the First International Conference on Simulation of Adaptive Behavior* / J.-A. Meyer and S.W. Wilson (Ed.). Cambridge, MA, 1991. P. 15–21.
3. Reger B.D., Fleming K.M., Sanguineti V. et al. Connecting brains to robots: The development of a hybrid system for the study of learning in neural tissues // *Artif. Life*. 2000. V.6. P.307–324.
4. DeMarse T.B., Wagenaar D.A., Blau A.W., Potter S.M. The neutrally controlled animat: Biological brains acting with simulated bodies // *Auton. Robots*. 2001. V.11. P.305–310.
5. Potter S.M., Fraser S.E., Pine J. Animat in a petri dish: Cultured neural networks for studying neural computation // *Proc. 4th Joint Symposium on Neural Computation*, UCSD. 1997. P.167–174.
6. Dockendorf K.P., Park I., He P. et al. Liquid state machines and cultured cortical networks: the separation property // *Biosystems*. 2009. V.95(2). P.90–97.
7. Мухина И.В., Казанцев В.Б., Хаспеков Л.Г. и др. Мультиэлектродные матрицы — новые возможности в исследовании пластичности нейрональной сети // *Современные технологии в медицине*. 2009. №1. С.8–15.
8. Gladkov A.A., Vedunova M.B., Korotchenko S.A. и др. Развитие пространственно-временной структуры гиппокампальной нейронной сети *in vitro* // *Вестник ННГУ. Серия «Биология»*. 2011. №2(2). С.243–248.
9. Gladkov A.A., Pimashkin A.S., Lepina A.P. и др. Особенности сетевого отклика на электрическую стимуляцию нейронной сети зрелой культуры клеток гиппокампа мышей // *Вестник ННГУ. Серия «Биология»*. 2014. №3(1). С.57–64.
10. Корягина Е.А., Пимашкин А.С., Казанцев В.Б., Мухина И.В. Динамика вызванной биоэлектрической активности нейронных сетей *in vitro* // *Вестник ННГУ. Серия «Биология»*. 2011. №2(2). С.254–261.
11. Pimashkin A.S., Kastalskiy I.A., Simonov A.Yu. et al. Spiking signatures of spontaneous activity bursts in hippocampal cultures // *Frontiers in Computational Neuroscience*. 2011. V.5. P.46–54.
12. Keren H., Marom S. Controlling neural network responsiveness: tradeoffs and constraints // *Front Neuroeng*. 2014. V.29. P.7–11.
13. Shabaf G., Marom S. Learning in networks of cortical cultures // *The Journal of Neuroscience*. 2001. V.21(22). P.8782–8788.
14. Zrenner C., Eytan D., Wallach A. et al. A generic framework for real-time multi-channel neuronal signal analysis, telemetry control, and sub-millisecond latency feedback generation // *Front. Neuroeng*. 2010. V.21(4). P.173–181.
15. Pimashkin A., Gladkov A., Mukhina I., Kazantsev V. Adaptive enhancement of learning protocol in hippocampal cultured networks grown on multielectrode arrays // *Front. Neural Circuits*. 2013 V.7. P.87. doi: 10.3389/fncir.2013.00087
16. Симонов А.Ю., Кастальский И.А., Миронов В.И. и др. Сигнальные процессы в мозге: анализ мультиэлектродных данных и искусственной нейронной сети // *Вестник ННГУ. Серия «Биология»*. 2013. №(1). С.231–239.

Портретная реконструкция С.П.Крашенинникова: история создания

Е.В.Веселовская, М.В.Хартанович

«Он был из числа тех, кои ни знатною природою, ни фортуны благодеянием не предпочтены, но сами собою, своими качествами и службою, произошли в люди, кои ничего не заимствуют от своих предков и сами достойны называться начальниками своего благополучия» [1, предисловие], — такими словами отзывался о Степане Петровиче Крашенинникове его учитель, профессор Санкт-Петербургского университета, секретарь Императорской академии наук и художеств Герхард Фридрих Миллер. И действительно, будучи сыном солдата, Степан Петрович исключительно благодаря своим незаурядным способностям и стремлению познать истину сумел получить лучшее для того времени образование. Именно его, единственного из студентов последнего курса университета, выбрали для участия во Второй Камчатской экспедиции (1733—1736). С этого времени Крашенинников «заболевает» Камчаткой. В 1737 г. вместо того, чтобы вернуться со всем составом экспедиции в Санкт-Петербург, он прямо из Якутска направился в Охотск, а оттуда морем в Большерецк (Камчатка). Терпя страшные лишения (из Охотска забыли прислать приказ о зачислении его на хлебное довольствие, а затем и вовсе ли-



Елизавета Валентиновна Веселовская, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник и руководитель лаборатории антропологической реконструкции Института этнологии и антропологии РАН (Москва). Область научных интересов — антропологическая реконструкция, идентификация личности по костным останкам. Автор 60 скульптурных и более 200 графических реконструкций.



Мария Валерьевна Хартанович, ведущий специалист отдела информационных технологий Музея антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН в Санкт-Петербурге. Специалист в области музееведения, истории создания Кунсткамеры и электронных музейных технологий.

шили жалованья), Степан Петрович отдает всего себя научным исследованиям полуострова. Спектр научных интересов Крашенинникова необычайно широк. Так, он обнаружил и впервые описал камчатские гейзеры, собрал уникальные сведения о коренном народе Камчатки — ительменах (они практически исчезли в XIX в.), подробно описал географию и геологию полуострова. Во время следующей экспедиции (1737—1741) Крашенинников 10 раз пересек Камчатку, проводя научные наблюдения и делая подробные записи. Опираясь на эти изыскания, он дал обобщенную характеристику рельефа полуострова, привел геологическое и климатологическое описание четырех восточных камчатских носов (мысов) и образуемых ими заливов, а также ряда бухт. Прокладывая маршруты по неисследованным и труднодоступным частям Камчатки, Степан Петрович проследил течение крупных рек, описал ряд озер, лично исследовал почти

все высочайшие сопки и один из величайших действующих вулканов Евразии — Ключевскую сопку (4750 м).

Общая длина пройденного Крашенинниковым камчатского побережья составила более 1700 км, а внутренних учтенных маршрутов — 3500 км. В своих высокопрофессиональных научных исследованиях Степан Петрович выступал как геолог, географ, ботаник, зоолог, историк, антрополог, этнограф, лингвист. Возвратившись в столицу, он приступил к обработке обширного материала, собранного во время Камчатских экспедиций, и написал свой знаменитый монументальный труд «Описание земли Камчатки» [1], лучшее в мировой науке и литературе XVIII в. всестороннее страноведческое исследование малоизвестной земли.

В 1750 г. молодой ученый был утвержден профессором натуральной истории и ботаники Императорского Санкт-Петербургского университета, что в те времена приравнялось к статусу академика. Но, увы, долгие годы лишений и подчас невыносимых бытовых условий во время экспедиций подорвали здоровье ученого. В 1755 г. Степан Петрович в возрасте 44 лет умер от туберкулеза, так и не увидев труд всей своей жизни опубликованным. Книга вышла лишь через год после его смерти. Эта работа сразу была высоко оценена мировой научной общественностью: вскоре после издания она была переведена на четыре европейских языка. Книга «Описание земли Камчатки» — это уникальная публикация, которая и по сей день служит профессиональным научным источником по геологии, географии, ботанике, зоологии, антропологии, этнографии данного региона. Для антропологов это единственная книга о народах Камчатки до ее заселения русскими.

История обретения останков

В конце осени 1963 г. в Музей М.В.Ломоносова АН СССР* в Ленинграде поступил необычный экспонат — обломок могильной плиты с высеченной на ней эпитафией. Надпись гласит: «На сем месте погребен Академии Наук профессор Степан Петров сын Крашенинников, который... показал...». Фрагмент плиты обнаружили при экскаваторных работах на территории Благовещенской церкви

* Ныне — Отдел истории Кунсткамеры и отечественной науки XVIII в. (Музей М.В.Ломоносова) Музея антропологии и этнографии им.Петра Великого (Кунсткамера) РАН.



Могильная плита с первоначального захоронения С.П.Крашенинникова на Благовещенском кладбище в Санкт-Петербурге.

Фото М.В.Хартанович

на Васильевском острове, при которой с 1738 по 1760-е годы было действующее кладбище.

Передача плиты в Музей М.В.Ломоносова была вполне закономерна, так как открытый в 1949 г. музей был не просто мемориальным, посвященным жизни и деятельности великого русского ученого Ломоносова. Одной из первостепенных задач, которые решали организаторы музея, стало освещение истории русской культуры, Академии наук, становления и развития научных дисциплин и судеб крупнейших российских ученых XVIII в.

Отметим и еще один немаловажный факт: музей М.В.Ломоносова располагается в здании Музея антропологии и этнографии им.Петра Великого, который стал наследником и преемником Кунсткамеры Санкт-Петербургской Императорской академии наук и художеств XVIII в. В здании Кунсткамеры — «колыбели русской науки»** работали Ломоносов, и Крашенинников. Обоих ученых также связывали дружеские отношения.

В Кунсткамере хранились предметы по этнографии народов Севера, полученные во время Камчатской экспедиции [2, д.841, л.27, 32, 40], гербарий и каталог трав, собранные им в экспедиции по Ингерманландии*** для описания флоры Санкт-Пе-

** В «Проекте положения об учреждении Академии наук и художеств» императора Петра I от 1724 г. в ведение Академии наук переходили собрания Императорской Кунсткамеры и Библиотеки для занятия ученых и популяризации современных знаний среди более широкой публики. В здании Кунсткамеры находились Обсерватория, Анатомический театр, Физический, Минеральный, Анатомический, Естественноисторический и Монетный кабинеты, Библиотека, мемориальная галерея Петра I.

*** Ингерманландия — ныне территория Санкт-Петербурга и Ленинградской обл.



Бюст Крашенинникова к проекту реконструкции здания Кунсткамеры. Рисунок тушью Р.И.Каплан-Ингеля — первого директора Музея М.В.Ломоносова АН СССР. Вторая половина 1940-х годов.

тербурга и его окрестностей, подготовки труда «Флора Ингрии» (1761) [2, д.844, л.189].

В связи с 200-летием Академии наук СССР в 1945 г. планом создания музея М.В.Ломоносова была предусмотрена реконструкция здания Кунсткамеры* с восстановлением башни и венчающей ее артиллерийской сферы, утраченных во время пожара 1747 г. Фасад здания предполагалось украсить скульптурными композициями и погрудными скульптурами великих русских ученых. В их числе был и бюст Крашенинникова, который должны были создать по гравюре работы А.Осипова конца XVIII — начала XIX в. В дальнейшем от скульптур на фасаде здания пришлось отказаться, но сохранились подробные чертежи, в том числе и эскиз скульптурного портрета Крашенинникова.

После того как обнаруженный на территории забытого кладбища фрагмент надмогильной плиты с погребения Крашенинникова оказался в хранилище Музея М.В.Ломоносова, его сотрудники

* С 1747 по 1948 г. здание музея имело усеченный вид — без вышки башни и артиллерийской сферы.

обратились в Ленинградское отделение Института археологии АН СССР с предложением провести раскопки на месте находки плиты.

Работы возглавил кандидат исторических наук А.Д.Грач. Они проводились с 20 по 26 ноября 1963 года. По условиям обнаружения плиты (траншея прокладывалась экскаватором) точное место захоронения определить было невозможно. На месте предполагаемого погребения был заложен раскоп площадью 5 × 4 м. На глубине 0.40 м археологами была обнаружена булыжная вымостка XVIII в., в слоях под ней — фрагменты предметов, относящиеся к XVIII в. На глубине 1.27—1.55 м от поверхности (по состоянию на 1963 г.) археологи выявили контуры трех погребений: в простом деревянном гробу, в богатом фамильном склепе из кирпича и погребение ребенка в возрасте до трех лет. В первом погребении археологи нашли скелет мужчины. При нем находились 26 пуговиц от кафтана и камзола, остатки ткани от кафтана зеленого цвета, бронзовый нательный крест. В изголовье справа — небольшая фаянсовая пиала с кобальтовым изображением птицы, дома и растений [3, с.110—112]. Исследователи прослеживают традицию установки сосудов из разных материалов в могилы на Руси начиная со Средневековья, однако не находят в письменных источниках достоверных объяснений этого ритуала [4, с.23, 24]. На основании церковных материалов было сделано предположение, что в XV—XVI вв. сосуды использовались при отпевании покойного, когда тело обрызгивали елеем, а остатки жидкости ставили в гроб [4, с.24, 25; 5; 6]. Можно предположить, что чаша, найденная в захоронении Крашенинникова в изголовье, также использовалась в ритуальных целях при отпевании.

Антропологическое исследование

Предварительную антропологическую экспертизу на месте раскопок выполнил заведующий отделом антропологии Музея антропологии и этнографии им.Петра Великого доктор медицинских наук профессор В.В.Гинзбург. Он установил, что костные останки принадлежали мужчине в возрасте от 40 до 50 лет [3, с.115].

Доктор исторических наук М.М.Герасимов, заведующий лабораторией пластической реконструкции Института этнографии АН СССР (Москва), был приглашен в Ленинград для определения портретных черт погребенного. В заключении по материалам раскопок на месте погребения Крашенинникова Герасимов, осмотрев череп и костяк, констатировал:

По состоянию стертости зубов данного черепя можно говорить, что ему вряд ли меньше 40 лет. Облитерация стреловидного шва свидетельствует о возрасте между 40 и 50 годами. Об этом же возрасте свидетельствует и состо-

ание швов всего черепа. Таким образом, определение возраста по черепу не противоречит календарному возрасту С.П.Крашенинникова на момент смерти — 44 года. На черепе наблюдаются некоторые образования (пластиночки на лобной кости), которые могут трактоваться как результат заболевания туберкулезом. На нижней челюсти альвеолы передних резцов отчетливо свидетельствуют о том, что субъект страдал пиорреей. Это согласуется с биографическими данными С.П.Крашенинникова.

При рассмотрении черепа нами были отмечены некоторые индивидуальные особенности, дающие возможность говорить о специфических портретных чертах лица. Так, например, прежде всего бросается в глаза величина и форма носа — нос был массивный, горбатый. Латеральная часть орбит давала возможность думать, что данный субъект обладал небольшой складкой мягкого века (верхнего) во внешней его части. Характер прикуса, величина зубов, их форма дали возможность говорить, что данный человек имел небольшой, энергично очерченный, прохейличный рот красивого рисунка с чуть заметным выступанием вперед нижней губы. В общем, лицо было высокое, с сильными, энергичными чертами.

При сопоставлении отмеченных на черепе особенностей с гравюрным портретом С.П.Крашенинникова присутствующими было отмечено совпадение этих черт.

Весь комплекс данных (условия находки, биологический возраст, индивидуальные особенности и очевидное физиономическое сходство) дают право считать найденные останки принадлежащими С.П.Крашенинникову [3, с.115, 116].

В качестве основы для идентификации останков как принадлежащих Степану Петровичу Крашенинникову руководитель археологических раскопок Грач выдвинул следующие положения:

1. Нахождение в зоне заложенного нами раскопа плиты с надписью, упоминавшей имя С.П.Крашенинникова, и невозможность принадлежности ему двух других погребений, обнаруженных раскопками.

2. Бесспорная принадлежность костяка к мужскому полу.

3. Совпадение данных о возрасте С.П.Крашенинникова с антропологическим определением возраста по костяку.

4. Принадлежность костяка гражданскому, а не военному лицу (на кладбище при церкви Благовещения, вблизи от места находки плиты С.П.Крашенинникова, был обнаружен ряд плит, покоившихся над погребениями военных). В частности, обращает на себя внимание совершенная идентичность пуговиц, изображенных на старинной гравюре с портретом С.П.Крашенинникова, и пуговиц от кафтана и камзола, обнаруженных в погребении. Цвет фрагментов ткани, обнаруженных при костяке — зеленый, что совпа-

дает с цветом форменной академической одежды того времени.

5. Совпадение ряда типичных физиономических черт, прослеживаемых по черепу, с чертами, отображенными на гравюре с портретом С.П.Крашенинникова [3, с.113].

Комиссия, образованная для рассмотрения и приемки материалов раскопок на месте погребения по распоряжению заведующего Ленинградским отделением Института археологии АН СССР Б.Б.Пиотровского, рассмотрев документы и материалы раскопок, а также результаты антропологической и физиогномической экспертиз, подтвердила, что погребение и останки принадлежали Крашенинникову [3, с.115].

Останки были переданы в лабораторию пластической антропологической реконструкции Института этнографии АН СССР Герасимову для создания портретной реконструкции. К сожалению, преждевременная его кончина отодвинула процесс создания скульптурного портрета Крашенинникова на многие годы. И лишь в 1972 г. к этой работе приступает Галина Вячеславовна Лебединская — ученица Михаила Михайловича Герасимова и преемница его в должности заведующего лабораторией.

Метод восстановления лица по черепу

Как происходит воспроизведение черт внешности на основе черепа? Конечно, со времени работы Лебединской над восстановлением облика Крашенинникова методы реконструкции постоянно совершенствовались, и в настоящее время представляют собой точный алгоритм перехода от признаков и структурных элементов черепа к соответствующим признакам и элементам лица. Так достигается высокое индивидуальное сходство воспроизведенного по черепу портрета с оригиналом.

Антропологическая реконструкция в ее современном виде — это самостоятельная область антропологии, обладающая реальными возможностями для прямого сопоставления древних и современных популяций, которая служит связующим звеном между разными направлениями антропологических исследований.

Апробация различных методических подходов, осуществляемая на протяжении многих лет сотрудниками лаборатории, позволила выработать уникальную программу исследования взаимозависимости признаков живого лица и подлежащих костных структур. Собран материал, охватывающий ряд контрастных в антропологическом отношении групп населения. Исследования, проводившиеся на живых людях, позволили получить многочисленный и разнообразный материал, на основании которого удалось выявить взаимозависимости между многими физиономиче-



Скульптурная реконструкция по черепу Степана Петровича Крашенинникова, выполненная Г.В.Лебединской. Анфас, профиль и три четверти.

скими признаками лица и структурами черепа. Изучение соотношений между признаками внешности и их костной основой проводилось также в сочетании с исследованием зонального распределения толщины мягких покровов лица методом ультразвукового зондирования и стереофотографированием. На основе анализа этого материала показано, что закономерности соответствия отдельных элементов лица подлежащим структурам черепа мало различаются у разных народов.

Научные разработки последних лет, проводимые сотрудниками лаборатории антропологической реконструкции, в значительной степени дополнили и уточнили метод восстановления лица по черепу [7–9]. Разработана и внедрена уникальная программа краниофациального соответствия, позволяющая переходить от размерных и описательных признаков черепа к соответствующим параметрам лица. На основе этой программы по каждому черепу в дополнение к точному графическому или скульптурному портрету получают прижизненный словесный портрет, т.е. полную прижизненную антропологическую характеристику лица. Программа опирается на классические антропологические методы и дополнена некоторыми необходимыми, специфическими для реконструкции, приемами. Разработка градаций и качественных вариантов признаков проведена в соответствии с принятыми в криминалистике методами и терминологией — для применения данной программы в следственной практике. Теперь воспроизведение внешнего облика, плоскостное или объемное, сопровождается подробным описанием реконструированного лица в терминах, понятных как антропологам, так и криминалистам [10].

Благодаря совершенствованию антропологической реконструкции появилась возможность восстановления облика представителей целых популяций из конкретных могильников. Сопоставление результатов палеорекострукции с обликом и анатомическими особенностями современного населения соответствующих территорий вооружает антропологов новыми инструментами для решения вопросов этногенеза, адаптации популяций, эпохальной изменчивости [11, 12]. Основа для выполнения реконструкции — стандарты толщины мягких покровов, полученные с применением ультразвука на живых людях [13]. Размеры отдельных элементов лица рассчитывают по уравнениям регрессии, полученным при сопоставлении размерных характеристик лица и черепа.

В зависимости от конкретных целей антропологическая реконструкция может быть выполнена в виде контурного изображения, графического или скульптурного портрета. Однако, независимо от назначения реконструкции, главное — это воспроизведение индивидуальных черт лица человека с учетом всех его индивидуальных особенностей.

Процесс антропологической реконструкции лица по черепу начинается с подробного описания всех индивидуальных особенностей строения черепа и его измерения по общепринятой краниологической программе, дополненной рядом признаков, имеющих значение при реконструкции. Следующий этап — построение контуров лица анфас и в профиль на основе обводов черепа, выполненных с помощью специального прибора — диоптрографа.

На основе контурной реконструкции выполняется графическая реконструкция. Ее сложность

состоит в том, чтобы с помощью светотени передать без искажений впечатление о ширине лица, его профилировке, положении глаз и т.д. Графическая реконструкция применяется шире, чем скульптурная, так как она изготавливается намного быстрее. Опираясь на серию графических реконструкций, в дополнение к результатам измерений черепов, можно представить более полную антропологическую характеристику древнего населения.

Для нас, специалистов в области антропологической реконструкции, каждый череп строго индивидуален, а методика воспроизведения черт внешности по костным структурам точна и выверена до мелочей. Поэтому, работая над реконструкцией, мы четко и последовательно формируем структуры лица, не отвлекаясь на создание художественного образа. Главное — это доскональная передача индивидуальных черт внешности. Мы не художники, результат нашей работы — скульптурный или графический портрет — не произведение искусства. Именно поэтому реконструкция лица по черепу широко применяется в судебной практике: мы восстанавливаем индивидуальный портрет человека с присущими ему характерными чертами. Такое лицо узнаваемо вне зависимости от возраста и эмоционального состояния.

Скульптурная антропологическая реконструкция — долгий и кропотливый процесс. Предварительно делают плоскостную прорисовку контура черепа (обвод черепа), измерения и чертежи, фиксируют каждую индивидуальную деталь его строения. Затем на самом черепе (или на его копии из гипса или пластика) восстанавливаются жевательные мышцы, формирующие овал лица. Ориентиром для такой работы служит рельеф в местах прикрепления мышц. После этого на поверхность черепа наносится тонкая сетка гребней, высота которых соответствует толщине мягких покровов на разных участках головы. Ячейки между гребнями заполняют пластилином в соответствии с подлежащим рельефом, моделируя поверхность головы и лица.

Разработаны алгоритмы построения глазной области, носа, рта. Предложены уравнения регрессии для расчета размеров отдельных элементов головы на основе черепных параметров [14]. Скрупулезно следуя этим рекомендациям, антрополог шаг за шагом восстанавливает брови, особенности выступания глазного яблока и строения складки верхнего века, хрящевую часть носа и т.д. Опираясь на особенности прикуса, восстанавливают строение ротовой области. Внешняя атрибутика выполняется на базе исторических источников по согласованию с археологами.

* * *

Антропологическая реконструкция, проведенная Лебединской, дала возможность воссоздать скульптурный портрет знаменитого ученого, вы-



Памятник на могиле (перезахоронении) С.П.Крашенинникова в некрополе Александро-Невской лавры в Санкт-Петербурге.

Фото М.В.Хартанович

полненный с соблюдением научно достоверных взаимосвязей лица и подлежащих структур черепа. В ходе работы Галина Вячеславовна подробно знакомилась с биографией Крашенинникова и его обширным наследием. На наш взгляд, портрет получился высокохудожественным, он в полной мере передает особенности яркой натуры Степана Петровича, положившего жизнь во имя пользы человечеству. Такая скульптура вполне может служить основой для создания достойного памятника этому великому ученому.

В 1988 г. останки Степана Петровича Крашенинникова были перезахоронены. Теперь он покоится на Лазаревском кладбище Александроневской лавры в Санкт-Петербурге. Над нынешней могилой великого сына Отечества установле-

на более чем скромная плита... Хочется выразить надежду, что надгробье ученого будет достойным его памяти, а возможно, и обогатится скульптурным изображением, основанным на антропологической реконструкции. ■

Литература

1. Описание земли Камчатки, сочиненное Степаном Крашенинниковым Академии наук профессором. Т.1. СПб., 1786.
2. Санкт-Петербургский филиал Архива РАН. Ф.3. Оп.1.
3. Грач А.Д. Открытие погребения С.П.Крашенинникова в Ленинграде // Советская этнография. 1966. №4. С.108—116.
4. Бердникова Н.Е., Бердников И.М., Гареев Р.М. и др. Лица первых иркутян: альбом графических реконструкций. Иркутск, 2011.
5. Панова Т.Д. Царство смерти. Погребальный обряд средневековой Руси XI—XVI вв. М., 2004.
6. Векслер А.Г., Беркович В.А. Материалы археологических исследований некрополя Моисеевского монастыря на Манежной площади в Москве // Культура средневековой Москвы: XVII век. М., 1999. С.181—225.
7. Balueva T., Veselovskaya E., Kobylansky E. Cranio-facial Reconstruction by Applying the Ultrasound Method in Live Human Populations // International Journal of Anthropology. 2009. V.24. №2. P.87—111.
8. Веселовская Е.В., Балуева Т.С. Новые разработки в антропологической реконструкции // Вестник антропологии. Вып.22. М., 2012. С.22—42.
9. Веселовская Е.В. Краниофациальные пропорции в антропологической реконструкции // Этнографическое обозрение. 2015. №2. С.83—98.
10. Веселовская Е.В., Абрамов А.С., Долгов А.А., Бобрецов И.В. «Программа краниофациального соответствия» при проведении антропологических исследований и практический случай ее использования // Актуальные вопросы медико-криминалистической экспертизы: современное состояние и перспективы развития. Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию МКО БСМЭ Моск. обл. М., 2013. С.116—123.
11. Балуева Т.С., Веселовская Е.В., Рассказова А.В. Опыт антропологического сопоставления древнего и современного населения Нижегородской области // Археология, этнография и антропология Евразии. 2010. №1. С.135—144.
12. Веселовская Е.В., Григорьева О.М., Пестряков А.П., Рассказова А.В. Антропологическая изменчивость населения Восточной и Центральной Европы от средневековья до современности // Вестник Московского университета. Серия XXIII: Антропология. 2015. №1. С.5—24.
13. Веселовская Е.В. Единство закономерностей внутригрупповой изменчивости и межгрупповая дифференциация признаков толщины мягких тканей лица у современного человека // Единство и многообразие человеческого рода. Ч.1. М., 1997. С.312—335.
14. Веселовская Е.В., Пестряков А.П., Кобылянский Е.Д. Татьяна Сергеевна Балуева и Российская школа антропологической реконструкции // Вестник Московского университета. Серия XXIII: Антропология. 2013. №4. С.29—41.

В степях Восточной Монголии

В.В.Бобров.

кандидат биологических наук

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

За бескрайними степями Казахстан и величественными горами Тянь-Шаня лежат земли Монголии — страны красивой природы, древнейшей истории, крупнейших в мире «кладбищ» динозавров. Издавна привлекала она к себе внимание русских ученых и путешественников — Н.М.Пржевальского, М.В.Певцова, В.И.Роборовского, Г.Е.Грумм-Гржимайло. Их именами называли хребты, перевалы, животных: лошадь Пржевальского, хомячок Роборовского, жаба Певцова, круглоголовка Грумм-Гржимайло.

Работа в Монголии — замечательный опыт для полевого исследователя. Уже не в первый раз я летал в эту страну для того, чтобы принять участие в работе Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции, которая в течение вот уже 45 лет занимается всесторонним изучением биологического разнообразия экосистем Монголии и разработкой программ и методов его сохранения. Приоритетные направления исследований — изучение флоры и фауны, биологии и экологии отдельных видов, экологических условий (климатических и почвенных); палеогеографические реконструкции природы Монголии; изучение внутри- и межландшафтных взаимосвязей растительных и животных сообществ, экосистем, их пространственной структуры и функциональной организации; изучение динамики биоты и экосистем; оценка их состояния в связи с увеличением степени антропогенного воздействия. За эти годы маршруты полевых отрядов экспедиции густой сетью покрыли всю территорию страны. Для ежегодных наблюдений и регулярного мониторинга процессов, происходящих в экосистемах, было создано несколько стационаров в различных природных зонах. На один из них — стационар Тумэнцогт я и отправился для исследования герпетофауны степей Восточной Монголии.



Степь в окрестностях стационара.

Вместе с начальником стационара, старшим научным сотрудником Института ботаники Национальной академии наук Монголии Л.Жаргалсайханом, мы начали свой путь из Улан-Батора, где расположена база экспедиции, на восток. Стационар расположен в 500 км от столицы, ехать до него не менее 8 ч. Весело бежит по асфальтовому шоссе машина. За пологими, залитыми солнцем холмами, обрамляющими с севера дорогу, синеют другие, более высокие, а за ними сияют в сизой дымке самые дальние вершины. Это хребет Хэнтей. Постепенно горы вдаль тают, и мы движемся уже среди холмов, покрытых степью, которая занимает в Монголии большие площади. Пышный и пестрый ковер цветов в летние месяцы поражает своими красками. Бегут холмы, растягиваясь вереницей, расстилаются пепельные заросли полыней, дрожат белые перья ковылей. В кабину сквозь открытое окно врывается густой запах луговых трав. В Монголии можно часами ехать по дороге и не встретить никаких признаков человеческого присутствия. Только изредка мелькнет одиноко стоящая у подножия холма белоснежная юрта, стадо овец или табун лошадей. И снова вокруг только холмы, покрытые степью. У сомона (аналога нашего районного центра) Тумэнцогт,

© Бобров В.В., 2015



Степная растительность.

не доезжая около 200 км до крупного города Чойбалсана, мы сворачиваем на проселочную дорогу и движемся по ней на север еще 12 км. Наконец среди степных просторов показывается стационар. Мы у цели.

Стационар Тумэнцогт

Он расположен на территории сомона Тумэнцогт Сухэ-Баторского аймака в пределах 47°15'—47°38' с.ш., 112°02'—112°43' в.д. Он был создан в 1982 г. для изучения природных условий, растительного и животного мира Восточно-Монгольского степного региона. Территория стационара с окрестностями в геоморфологическом отношении — чередующиеся равнины различного гипсометрического уровня на высотах 900—1100 м над ур.м. [1]. Для восточной части характерны дену-

дационные мелкосопочники и низкорослые массивы с пологими склонами и плоскими вершинами. В западной части находятся глыбовые низкогорья, максимальные вершины которых превышают 1300 м над ур.м., а над равниной — 200 м. Это наиболее расчлененные горные массивы с крутыми склонами и хорошо выраженными межгорными долинами. Климат резко континентальный. Среднегодовая температура здесь 1,5°C (−17,3°C в январе, 20,1°C в июле). Годовая сумма осадков около 250 мм. Осадки выпадают главным образом летом и связаны с муссонами (с мая по сентябрь). Почвы преобладают темно-каштановые. Для них характерен

легкий механический состав, непрочность структуры, щебнистость профиля, отсутствие гипсовых горизонтов и легко растворимых солей.

Растительность представлена степями — средне- и восточно-монгольскими. Всего на территории сомона растут 424 вида сосудистых растений, относящихся к 220 родам 60 семейств. На равнинах, в плакорных условиях или близких к ним, преобладают сухие тырсовые степи, где фоновый вид растений — тырса, или ковыль-волосатик (*Stipa capillata*). Также на равнинах и во внутренних долинах встречаются злаково-карагановые крупноковыльные степи. Еще для этой территории характерны вострцовые и змеевковые степи. На более высоких равнинах, а также на обширных увалах, окаймляющих территорию сомона, распространены разнотравно-злаковые степи. В самой центральной части сомона расположены солончаковые впадины. Дно у них занято пухлыми солончаками,



Стационар Тумэнцогт.

встречаются и осоковые сообщества, а местами — довольно большие участки чивевников.

Собственно стационар представляет собой лишь несколько строений, включая вагончик для персонала и юрту начальника. Достоинство стационара — колодец, что в засушливой зоне немаловажно. Распорядок дня устоялся годами и неукоснительно выполняется всеми сотрудниками и приезжающими. Ранний подъем, завтрак, потом работа в поле с перерывом на время полуденного зноя. Стационар обеспечен генератором, работающим на бензине, так что электричество для работы на портативных компьютерах и зарядки мобильных телефонов всегда в наличии. Не все время мы проводим на стационаре — иногда выбираемся в короткие поездки по окрестностям для обследования биоразнообразия заказника Хаар-Ямаат и других памятников природы.

Герпетофауна степей Восточной Монголии

Для наблюдений за представителями герпетофауны и для их учета я закладываю маршруты протяженностью 1 км, захватывающие различные фитоценозы. Желательно обследовать каждый маршрут не менее 10 раз, ведь когда погода пасмурная или идет дождь, ящерицы и змеи практически неактивны и их трудно подсчитать. Но пройти одним маршрутом несколько раз можно только в окрестностях стационара. В исследованном районе, по моим подсчетам, обитают два вида амфибий — сибирская лягушка (*Rana amurensis*) и монгольская жаба (*Bufo raddei*), два подвида монгольской ящурки (*Eremias argus*) и два вида змей — узорчатый полоз (*Elaphe diene*) и обыкновенный щитомордник (*Gloydius halys*). Мной определена численность монгольской жабы и монгольской ящурки в различных биотопах; изучены их поведение, суточная активность, а также ее зависимость от особенностей растительного покрова и микроклиматических условий.

Ящерицы — главный объект моих исследований более 30 лет. Благодаря высокой численности и практически повсеместному распространению в степях Восточной Монголии, монгольская ящурка может служить модельным видом для изучения биотопического распространения, суточной и сезонной активности и многолетней динамики численности. Однако, как сказано в монографии о пресмыкающихся Монголии [2], данные о численности и плотности населения, о суточной и сезонной активности монгольской ящурки в Монголии, невзирая на ее до-

статочно широкое распространение на востоке страны, отсутствуют. Приводится только информация, относящаяся к Забайкалью. Поэтому любые новые сведения вносят вклад в понимание «естественной истории» этого вида.

Монгольская ящурка — представитель обширного рода *Eremias*. Основание для его выделения — косое (т.е. под углом к средней линии брюха) расположение продольных рядов брюшных щитков. Эти ящурки живут в степях (в том числе горных), песчаных и щебнистых пустынях. Помимо Монголии они встречаются в Китае, в западных и центральных районах Кореи и в России — в южных районах Бурятии и в Читинской обл. [3]. В окрестностях стационара монгольская ящурка населяет почти все виды растительных ассоциаций степи, предпочитая места с относительно невысоким проективным покрытием (35–50%), где ее численность колеблется от 10 до 15 особей на 1 км маршрута (достаточно высокий показатель для степных ящериц). В местах с низким (30% и ниже) проективным покрытием (т.е. с деградированным из-за перевыпаса скота растительным покровом) и, наоборот, в местах с густым травянистым покровом (60% и выше) ящурки не встречались.

Монгольская ящурка — типично дневной вид. Максимальное число особей мы наблюдали с 11 до 13 ч при температуре воздуха 17–19°C. В холодные дни (когда температура не превышала 14°C) ящурок не было там, где они регулярно отмечались в жаркие дни. Сезон активности монгольской ящурки длится с конца апреля до конца августа, после чего она впадает в спячку. Питается она насекомыми и другими мелкими беспозвоночными, относится к числу хищников, активно разыскивающих свою добычу. Врагов у ящурок много — хищные птицы и звери, змеи. В случае опасности ящурка спасается бегством, стараясь укрыться в норах (собственных она не роет), между камнями и в кустах караганы.



Монгольская ящурка.

Наиболее сложный вопрос в изучении этого вида — существование подвидов. В районе стационара находится зона интерградации двух подвидов монгольской ящурки [3], один из которых — ящурка Барбура (*Eremias argus barbouri*) — занесен в Красную книгу РФ*. В соответствии с определителем [3], у ящурки Барбура «спинных чешуй в поперечном ряду вокруг середины туловища меньше 50, рисунок более или менее полосатый», а у западного (номинативного) подвида «спинных чешуй в поперечном ряду вокруг середины туловища больше 50, рисунок более или менее глазчатый». Многолетние исследования, проведенные в Монголии, показали, что особи с признаками одного подвида иногда находились в ареале другого [2], поэтому самостоятельность этих подвидов принимается не всеми специалистами.

Змей в этом районе на удивление мало — всего два вида (узорчатый полоз и обыкновенный щитомордник), причем с очень низкой численностью. Представителя каждого из двух видов мы обнаружили лишь по разу. Узорчатого полоза мы нашли в колонии полевок Брандта на берегу временного водоема в 70 км к югу от Тумэнцогта. Потрясенный, он проворно скрылся в одной из нор. Узорчатый полоз — один из наиболее широко распространенных видов палеарктической фауны. Его ареал простирается от левобережной Украины и Поволжья до Южной Сибири и юга Дальнего Востока. Он встречается в Северном и Центральном Китае, Корее. В Монголии он живет в степной, лесостепной и полупустынной зонах, избегает только лесов и аридных пустынь. В горы поднимается до 3000 м над ур.м. Это экологически пластичный вид. Биотопы, населяемые им, разнообразны. Нередко по-

лозы селятся вблизи человека, населяют антропогенные ландшафты. Питаются они мелкими млекопитающими, птенцами воробьиных и ящерицами. В качестве убежищ используют норы грызунов, пустоты под камнями, трещины в почве. Естественных врагов у этой змеи много — лисы, ежи, хищные птицы. Поэтому быстрота и подвижность, позволяющие скользнуть в едва заметное убежище, — практически единственная защита полозов.

В отличие от полоза, неопасного для человека, ядовитый обыкновенный щитомордник, когда мы его увидели, даже не пытался скрыться, уверенный в своей безопасности. Это средних размеров змея, у которой длина тела достигает 65–70 см, а хвоста — 10 см. Голова сверху покрыта девятью крупными щитками, образующими один плоский щит, за что род и получил свое название. Зрачок глаза вертикальный. Хорошо выражен шейный перехват. Между глазом и ноздрей — глубокая ямка. В составе яда щитомордника преобладают гемотоксины, которые действуют на кровяную систему, вызывая кровоизлияния, тромбозы и некрозы. Эта змея встречается на огромной территории от Заповжья и юго-восточной части Азербайджана на западе до р.Зея в Амурской обл. и Северного Китая на востоке. Щитомордники — наиболее широко распространенный и многочисленный вид змей в Монголии. Они населяют все природные зоны от пустынь до южно-таежных лесов, в горы поднимаются до 3100 м над ур.м. (в Монгольском Алтае). Щитомордники охотятся на любых позвоночных животных подходящих размеров: птиц, мелких млекопитающих, ящериц. Молодые змеи поедают беспозвоночных. В качестве летних убежищ используют корни кустарников и деревьев, промоины в почве, плоские камни и пласты глины, трещины в скалах, норы различных грызунов. Часто в центральных и восточных районах Монголии

щитомордников можно встретить вблизи колоний полевок Брандта, где змеям обеспечены питание и надежное укрытие.

Как ни странно, несмотря на аридные условия в районе стационара, здесь много амфибий. Видов всего два, зато один из них — монгольская жаба — весьма многочислен, тогда как второй — сибирская лягушка — встречается лишь по берегам водоемов, густо поросшим прибрежной растительностью.

Монгольская жаба в окрестностях стационара живет в различных растительных ассоциациях (в том числе и на значительном удалении от водоемов), но наибольшей численности (причем высокой — 800 особей на 1 км маршрута, из них 80% —



Обыкновенный щитомордник.

* Бобров В.В. Ящерицы по имени ящурки // Наука и жизнь. 1998. №9. С.158—161.

сеголетки) достигает в пойменных лугах и озерах долины р.Керулен. На севере ареал этого вида доходит до Забайкалья и Амура, встречается также в Корее и Китае. Монгольская жаба — самый распространенный вид амфибий в Монголии, она не найдена только в некоторых местах пустыни Гоби и нескольких западных аймаках, где проходит граница ареала. Обитает на болотистых влажных, заливных лугах, в поймах рек, лесостепных и степных ландшафтах, особенно в долинах рек и возле озер. В горы поднимается до высот, превышающих 3000 м над ур.м. Активны жабы и днем, и ночью, поэтому встретить их несложно. Передвигаются они неторопливо, уверенные в своей несъедобности. В жаркие дни скрываются среди камней, в зарослях кустарников или роют норки в мягких почвах. Обитающие на берегах водоемов жабы при приближении опасности бросаются в воду и прячутся на дне.

Сибирская лягушка принадлежит к группе, в которую входят хорошо известные каждому жителю средней полосы России травяная и остромордая лягушки. Ее область распространения охватывает почти всю Сибирь на западе, часть Якутии, Дальний Восток (включая Сахалин и Курильские о-ва), Корею, часть Северо-Восточного Китая и северную часть Монголии. Сухость климата, разреженная сеть рек и пресных озер, горные хребты сильно ограничивают возможность расселения в Монголии. Горы Хангая и сухие степи и полупустыни Восточной Монголии можно считать барьерами, образующими западную и южную границу ареала вида в этой стране. В противоположность ее европейским родственникам, которые часто живут вдали от водоемов, для сибирской лягушки характерна привязанность к ним и к долинным ландшафтам. В целом распространение сибирской лягушки в Монголии имеет отчетливый ленточный характер (по долинам рек). Населяют лягушки заросшие берега водоемов, пойменные луга, а в случае опасности особи, обитающие на берегах водоемов, уходят на дно. Обычно обитание этого вида в непосредственной близости от воды в Монголии связывают с особенностями континентального климата этой страны: сухостью и резкими перепадами температуры в течение суток. Однако тяготение к водоемам этого вида, в отличие от других бурых лягушек, наблюдается и в других частях его обширного ареала.

Другие обитатели степей

В свое время В.В.Кучерук [4] обосновал положение о существовании степного фаунистического комплекса в Палеарктике, что означает наличие в фауне видов (например млекопитающих), либо встречающихся только в степях, либо имеющих там оптимум ареала. В Восточной Монголии к таким типично степным видам можно отнести сразу не-



Монгольская жаба.

сколько. Самый заметный из них — дзерен (*Procapra gutturosa*), антилопа средних размеров: длина тела чуть более метра, высота в холке до 80 см, масса 30—40 кг. Телосложение дзерена плотное, но стройное. Голова небольшая, на тонкой шее, в нижней ее части у самцов сильно выступает гортань, из-за чего другое название этого животного — зобастая антилопа. Только самцы имеют рога. Их форма лирообразная: в основании сближены, затем расходятся, изгибаясь назад и друг к другу вверх так, что вершины их сходятся. Окраска волосяного покрова у дзеренов, как и у многих обитателей засушливых территорий, желтовато-песчаная, на груди и брюхе белая. Распространены дзерены в Монголии, Северном Китае и в России (в Чуйской степи, на юге Тувы и в Восточном Забайкалье). Населяют степи и полупустыни. Питаются различными злаками и разнотравьем. Держатся стадами. В Восточной Монголии можно встретить многосотенные стада этих животных, особенно на территориях заповедников, где их никто не тревожит. Дзерены — прекрасные бегуны, развивающие скорость до 60—65 км/ч, причем они способны бежать так по 12—15 км. В ряде районов дзерены совершают сезонные миграции в поисках лучших пастбищ и оптимальных мест для размножения.

Сурок-тарбаган (*Marmota sibirica*) — еще один житель монгольских степей. Эти зверьки величинной с зайца еще недавно были самыми типичными обитателями здешних просторов. Их шкурки были доходной статьей экспорта, а мясо ценилось местными жителями. Постепенно тарбаганы стали очень редкими и исчезли из многих районов. Только холмики-бутаны, сохраняющиеся в течение десятков лет после гибели хозяев, позволяют

восстановить картину распространения этого сурка в прошлом. В окрестностях стационара, где тарбаганы давно исчезли, проводятся мероприятия по их реинтродукции в дикую природу, и один раз мы съездили понаблюдать за этими зверьками. Увидев машину, они спешат к норе (с довольно забавным видом — толстый зад с широким хвостом придает неуклюжесть их движениям при прыжках), где и занимают наблюдательную позицию, чтобы в случае приближения опасности моментально исчезнуть в своем жилище. Но сейчас тарбаганам ничто не угрожает — руководство сомона строго следит за соблюдением режима их охраны.

Изредка в степи можно встретить тушканчиков. Это мелкие грызуны с весьма характерной внешностью, с удлинёнными, сильными задними конечностями. Медленно передвигаются на четырех лапах, а быстро — только на двух задних. Длинный хвост, помогающий в балансировке при прыжках, часто имеет на конце утолщенную кисточку из черно-белых волос — так называемое знамя. Глаза у тушканчиков большие. Волосяной покров густой и мягкий. Окраска спинной стороны тела обычно однотонная — коричневатая или охристо-песчаная. Тушканчики населяют лесостепи, степи, пустыни и полупустыни. Активны они преимущественно ночью, а день проводят в выкопанных ими

норах. На зиму зверьки впадают в спячку. Питаются подземными и надземными частями растений, поедают также насекомых.

Птиц в степи меньше, чем в лесу, зато они здесь хорошо заметны и за ними удобно наблюдать. Прежде всего бросается в глаза обилие жаворонков. В окрестностях стационара, как и на большей части степной зоны Монголии, распространен монгольский жаворонок (*Melanocorypha mongolica*). Эти птицы — обычные жители открытых пространств, они населяют степи, полупустыни и пустыни; обладают плотным телосложением и короткими ножками, хорошо приспособленными к передвижению по земле. Окраска их оперения скромная, хорошо маскирующая птиц среди тусклой степной растительности на земле. Жаворонки — превосходные певцы, их песня отличается звонкостью, мелодичностью и продолжительностью. Поют они обычно на лету, трепеща при этом на одном месте. Гнезда жаворонки устраивают на земле, в небольшом углублении или ямке, которую выкапывают сами. Кормятся также на земле, поедая различных беспозвоночных и семена.

Весьма обычны в степи представители отряда курообразных — обыкновенный перепел (*Coturnix coturnix*) и даурская куропатка (*Perdix dauurica*). Перепел — самый мелкий представитель отряда. Масса его не превышает 150 г. Он ведет наземный образ жизни и почти не летает, предпочитая убежать от врагов и прятаться в густой и высокой растительности. Перепел окрашен в желтовато-бурый цвет с многочисленными темными и светлыми пестринками и настолько хорошо сливается с окружающим фоном, что можно, подойдя к нему вплотную, заметить его только в последний момент. Лишь случайно удастся вспугнуть его из травы. Летит он очень быстро, низко над землей, часто машет крыльями. При добычании корма (который составляют семена и побеги растений, а также мелкие беспозвоночные) копается в земле, разбрасывая и разгребая ее лапами. Распространен перепел очень широко — от Скандинавского п-ва и побережья Средиземного моря до Японии. В пределах этой обширной гнездовой области он населяет поля, луга, степи, поляны и опушки лесов. Гнездо устраивает в небольшой ямке в густой траве.

Идя по степи, часто можно вспугнуть стайку даурских куропаток. С большим шумом и громким хлопанием крыльев эти птицы, по внешнему облику напоминающие маленькую курицу плотного телосложения, взлетают и быстро летят невысоко над землей, но скоро снова садятся в траву. Куропатки, как и перепел, — исключительно наземные птицы. Они отлично бегают и охотно копаются в земле, разыскивая пищу.

Из более крупных пернатых обитателей часто можно встретить журавля-красавку (*Anthropoides virgo*). Это самый мелкий из всех журавлей, его мас-



Журавли-красавки.

са 2–3 кг. Длина крыла у самцов немногим более 50 см, а у самок — 40 см. Общий тон оперения серый, но шея, бока и задняя часть головы, лоб и удлиненные перья зоба — черные. По бокам головы имеются пучки белых перьев. Распространен журавль-красавка в степной зоне Евразии от низовьев Дуная через юг Украины и Казахстана до верховьев Амура.

В Восточной Монголии, безусловно, много и насекомых. Днем воздух буквально звенит от обилия поющих кобылок и кузнечиков. Вокруг цветов выются многочисленные перепончатокрылые. Иной раз в степь не выйти без накомарника — так много клубится в воздухе комаров и других двукрылых. Но наибольшее внимание, конечно, привлекают крупные бабочки, среди которых сразу бросаются в глаза представители семейства парусников. От других бабочек они отличаются характерным признаком: внутренний край задних крыльев у них вырезан и не прилегает к брюшку. Кроме того, у преобладающего большинства видов задние крылья вытянуты в длинные «хвостики». Ими может похвастать махаон (*Papilio machaon*), крупная бабочка с размахом крыльев до 8.5 см. Из-за яркости своей окраски (желтой с черным рисунком, синеватыми и оранжевыми пятнами) он кажется пришельцем из тропиков. Не менее элегантен аполлон (*Parnassius* sp.), обладающий белыми крыльями с черными пятнами; задние его крылья имеют красные с белой серединой глазки, окаймленные черным. Аполлона можно встретить только в достаточно возвышенных местах. Весьма характерен для степей так называемый степной толстун (*Bradyporus* sp.). Это забавного вида кузнечик, крупный (длиной до 6–7 см), грузный и бескрылый. Голени его покрыты шипами и мощными шпорами.



Аполлон.

Из жуков наиболее многочисленны чернотелки (семейство Tenebrionidae).

Жители степей

Рассказывая о полевой работе в Монголии, нельзя не упомянуть ее жителей. Когда вы подъезжаете к одиноко стоящей в степи юрте, вас обязательно приглашают в нее войти и усаживают на низенькие табуретки или просто на коврики. В пиалы наливают чай, молоко, предлагают тазик с мясом или большую тарелку с кусками твердого прессованного сыра — арула, сделанного из козьего или овечьего молока. Течет неторопливая беседа о погоде, дороге, скоте. Узнав, что гость из России, некоторые пожилые люди пытаются вспомнить русский язык, который они когда-то учили в школе. Во время наших поездок по Монголии мы неизменно ощущали самое искреннее радушие со стороны местного населения, при этом чем отдаленнее от столицы — тем радостнее нас встречали. ■

Полевые исследования были поддержаны Совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедицией. Автор выражает благодарность начальнику стационара Тумэнцогт Л.Жаргалсайхану, всем его сотрудникам за помощь в работе и Д.Мунхнасту, Ч.Тунгалагу и О.Хонгорзулу за предоставленные фотографии.

Литература

1. Жаргалсайхан Л., Батбаяр Д. Природные условия восточно-степного стационара Тумэнцогт // Ботаникийн хурээлэнгийн эрдэм шинжилгээний бүтээл. 2008. №18. С.32–48.
2. Ананьева Н.Б., Мунхбаяр Х., Орлов Н.Л. и др. Земноводные и пресмыкающиеся Монголии. М., 1997.
3. Щербак Н.Н. Ящурки Палеарктики. Киев, 1974.
4. Кучерук В.В. Степной фаунистический комплекс млекопитающих и его место в фауне Палеарктики // География населения наземных животных и методы его изучения. М., 1959. С.45–87.

Белое море мое

Н.В.Политова, А.А.Клювиткин,
кандидаты геолого-минералогических наук
Институт океанологии им.П.П.Ширшова РАН
Москва





Здесь и далее фото В.Д.Володина

Многие знают о существовании «полярного микроба», поражающего всех, кто побывал в высоких широтах. Наверное, существует и отдельный подвид — беломорский микроб, потому что трудно найти человека, оставшегося равнодушным к красотам Русского Севера, к незабываемым пейзажам Беломорья. Туда тянет как магнитом, несмотря на то что даже в июле в короткий рейс надо брать все: от купальников до теплых непромокаемых костюмов. Погода там изменчива и абсолютно непредсказуема.

Вот уже 14 лет лаборатория физико-геологических исследований Института океанологии им.П.П.Ширшова РАН (ИО РАН) работает в Белом море [1–4]. В начале 2000-х оно было выбрано полигоном, на котором отрабатывались новые подходы и методики комплексных океанологических исследований. Руководителем проекта стал академик А.П.Лисицын, сам участвовавший в рейсах до 2008 г. В экспедициях принимают участие специалисты разного профиля — геологи, гидрофизики, оптики, химики, биологи. Результатом такой многолетней работы стали выход многотомного издания «Система Белого моря» [1–3], постоянно действующий семинар в Институте океанологии и один из самых активно посещаемых симпозиумов на Международной научной конференции (Школе) по морской геологии.

Почему именно Белое море?

Белое море принадлежит к бассейну Северного Ледовитого океана, условия в нем (арктические и субарктические) сходны с другими морями Арктики. Его можно отнести к числу наиболее изученных и доступных для исследований морей в Российской Арктике. Оно имеет развитую инфраструктуру (железные дороги и авиационное сообщение), что оказалось важным с экономической точки зрения при организации экспедиционных работ. Исследования здесь стали проводиться с малых и средних судов, стоимость которых в несколько раз меньше, чем крупных (впрочем, и возможности приблизительно во столько же раз меньше).

Отметим ряд особенностей Белого моря, которые оказывают влияние на его биогеохимический режим. Здесь четко выделяются районы с разными ледовыми условиями, режимом поступления речных вод, влиянием приливов, а также с различными соленостью, биотой и др.

В Белое море впадает много рек, наиболее крупные из них — Северная Двина, Мезень, Онега. Их суммарный сток составляет 463 км³/год [5]. Важная черта речного стока — преобладание в нем растворенного осадочного материала над взвешенным. Процессы, которые происходят



Белое море. Вид с Большого Соловецкого острова.

в маргинальных фильтрах рек, впадающих в море, определяют и большую часть его биогеохимических особенностей. Важное значение системы маргинального фильтра состоит в том, что там накапливаются максимальные количества органического вещества — как поступающего с суши с речными водами, так и образующегося в зоне смешения речных и морских вод [6–8]. Белое море характеризуется сильным водообменом с Баренцевым [9], что проявляется в его стабильно высокой солёности. Наличие интенсивных (до 7 м) приливных движений, создающих мощное вертикальное перемешивание, приводит к тому, что в ряде районов Белого моря стратификация практически отсутствует (особенно в районах с относительно небольшими глубинами — в Горле, Онежском и Мезенском заливах, проливах вблизи Соловецких о-вов) [10]. Кроме того, интенсивные приливные движения вызывают временную изменчивость всевозможных параметров, и построенные по результатам достаточно длительных наблюдений распределения, строго говоря, — не пространственные, а пространственно-временные. Речной сток, поставка биогенных элементов, продукционно-деструкционные и многие другие процессы в Белом море имеют ярко выраженный сезонный характер [10, 11].

Экспедиция 2014 года

Очередная комплексная экспедиция в Белом море проводилась на борту НИС «Эколог» Института водных проблем Севера Карельского НЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН) с 30 июля по 10 августа 2014 г. В ней кроме сотрудников этого института участвовали специалисты из ИО РАН (в том числе его Северо-Западного и Атлантического отделений) и Института геохимии и аналитической химии им.В.И.Вернадского РАН.

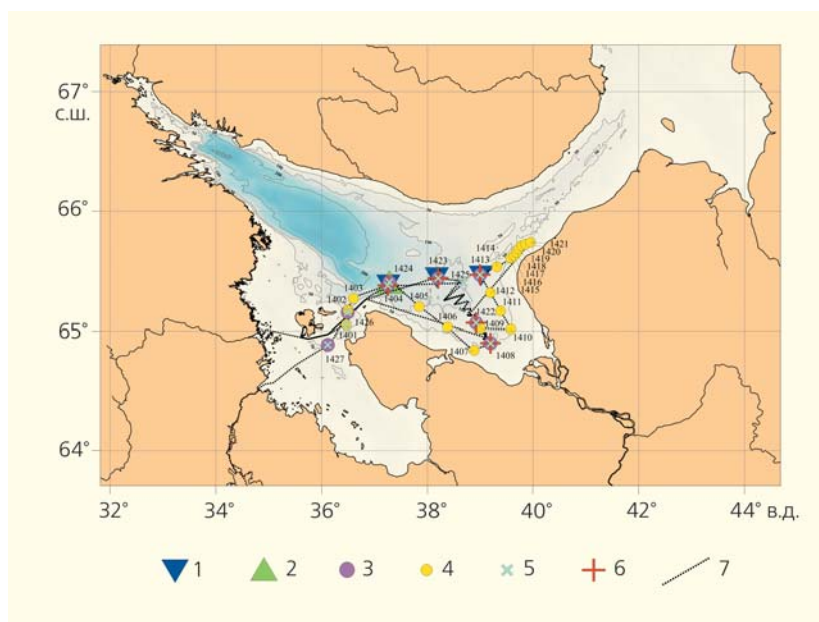
«Эколог» вышел из порта Рабочееостровск (станция Кемь). Район возможных научных работ в этом году был сильно ограничен. По сути, основные исследования проводились в Двинском заливе и на его границе с Бассейном (центральной частью моря), т.е. в зоне влияния р.Северной Двины, а также в районе Соловецкой Салмы. Судно прошло 1125 морских миль, было выполнено 28 станций.

Основная цель наших работ — многодисциплинарное исследование современной седиментационной системы Белого моря. На станциях выполнялось гидрофизическое зондирование многопараметрическим зондом CTD 90M (Sea & Sun) с определением температуры и солёности, а также зондирование акустическим доплеровским профилографом течений DVS (Teledyne RD Instruments,



Участники экспедиции 2014 г. и команда НИС «Эколог».

США) с определением скорости и направления течений. Из водной толщи отбирали пробы, которые тут же фильтровали через ядерные и стекловолоконные фильтры для определения количественного распределения и состава взвеси и фитопигментов, а также для исследования растворенных форм углерода и металлов. Ставили притопленные буйковые станции с седиментационными ловушками, отбирали пробы донных осадков малым боксорером Экмана и трубкой Неймисто. В отдельных районах моря проводили подробный эхолотный промер. С помощью счетчика аэрозольных частиц AeroTrak APC-9303-01, TSI (США) определяли концентрацию аэрозольных частиц в атмосфере. Также проводилось изучение техногенного загрязнения радионуклидами (^{137}Cs , $^{239,240}\text{Pu}$) и определение скорости осадко-накопления по ^{210}Pb .



Маршрут экспедиции и выполненные работы в Белом море, НИС «Эколог», июль—август 2014 г. 1 — поставленные буйковые станции; 2 — кратковременная буйковая станция; 3 — комплексные общесудовые станции; 4 — зондирование CTD+ADV; 5—6 — отбор осадков: 5 — боксорером, 6 — трубкой Неймисто; 7 — маршрут судна.



Гидрофизические приборы, работавшие в экспедиции: доплеровский профилограф течений DVS (слева) и многопараметрический зонд CTD 90M.

Наши результаты

Гидрофизические исследования позволили зафиксировать характерное для данного времени года вертикальное распределение температуры и солёности в водной толще. В Восточно-Соловецкой Салме наблюдались довольно низкие значения поверхностной температуры (9–12°C) при солёности около 26.5 епс (единица практической солёности). Термо- и галоклин (слои, в которых наблюдается соответственно резкий скачок температуры и солёности) отсутствовали. В Двинском же заливе верхний однородный слой составлял 5–6 м с температурой 14.5–16.0°C. Термоклин был обнаружен на глубине 6–10 м. Минимум поверхностной температуры воды (около 11°C) зафиксирован в северо-восточной части Двинского залива. Солёность на поверхности здесь не превышала 25.2 епс. Верхний однородный слой достигал глубины 8 м. Далее до 17 м присутствовали довольно резкие термо- и галоклин.

Вертикальным зондированием профилографом течений на полусуточных станциях было установлено, что в центре Двинского залива влияние прилива ощущается до глубины 30 м, а на границе залива и Бассейна — до 50 м. В Восточно-Со-

ловецкой Салме под действием прилива происходит постоянное движение водных масс от поверхности до дна.

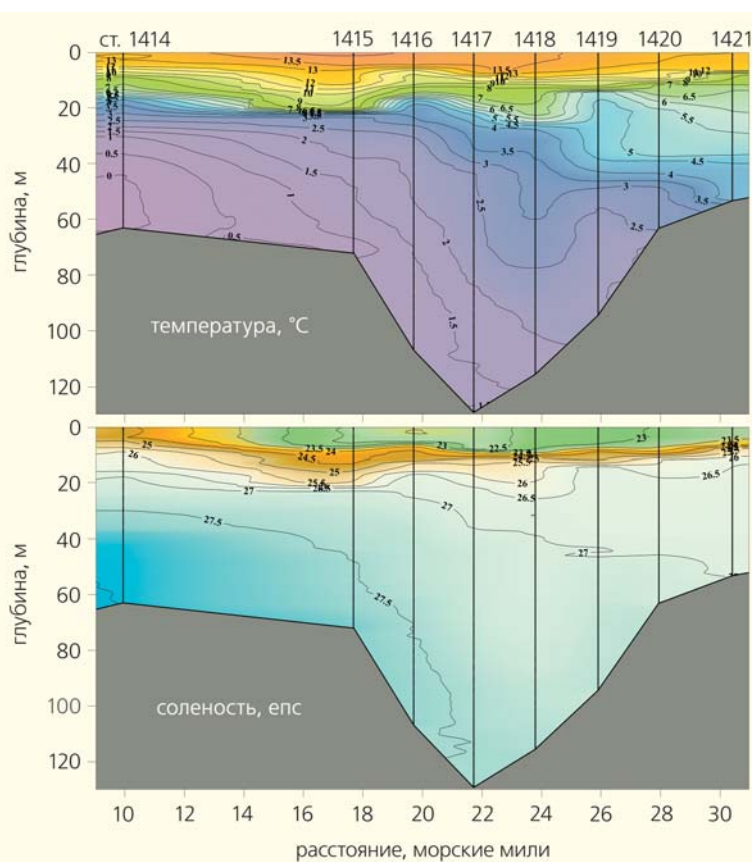
Одно из основных направлений в изучении современного осадконакопления — исследование рассеянного осадочного материала: аэрозолей, криозолей, взвеси. Все они в конечном итоге и образуют донные осадки. Аэрозольные исследования в 2014 г. включали лишь определение счетной концентрации частиц в воздухе. Анализ количества частиц и построение обратных траекторий воздушных масс [12] показали, что концентрация твердых частиц в атмосфере на каналах крупнее 0.3, 2.5 и 5 мкм изменялась соответственно от 8037 до 151 512, от 6 до 142 и от 1 до 52 частиц/л (ч/л) (при средних значениях 75011.9, 48.5 и 13.0 ч/л). Содержание же частиц уменьшалось в удаленной от берега части моря при ветрах западных румбов и возрастало вблизи берегов при ветрах юго-западных и южных направлений.

Изучение концентраций взвешенного вещества в толще воды выявило характерное для периода летней межени количество и распределение взвеси. В верхнем деятельном слое водной толщи (15–20 м) концентрация взвеси составила 0.7 мг/л ($n = 15$), варьируя от 0.53 до 1.03 мг/л. У поверхно-

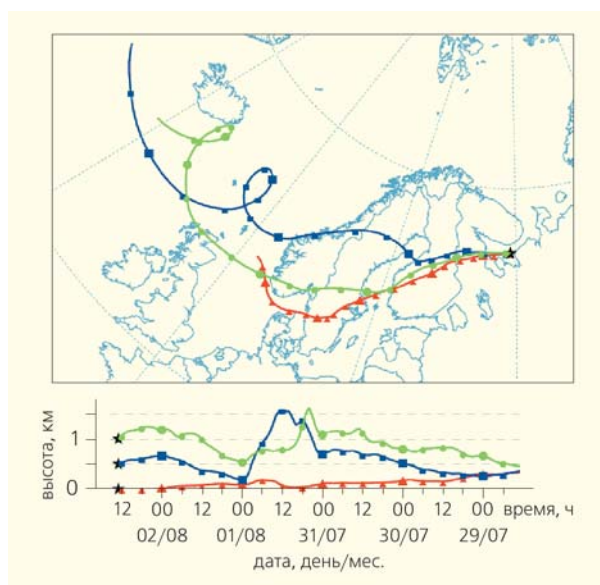
сти в северной части Онежского залива она достигала 1 мг/л. В вертикальном столбе воды максимум взвеси приурочен к верхней границе сезонного термо- и пикноклина (слоя, характеризующегося резким скачком плотности), а также к поверхностному слою. В глубинной промежуточной воде (под пикноклином) средняя концентрация взвеси приблизительно в два раза ниже, чем в верхнем деятельном слое. Она составляла 0.3 мг/л ($n = 15$), варьируя от 0.24 до 0.50 мг/л. Нефелюидный (повышенной мутности) слой наблюдался в проливе Восточно-Соловецкая Салма, в южной части Бассейна и в Двинском заливе. Количество взвеси там изменялось от 0.4 до 0.9 мг/л.

Концентрация хлорофилла «а» (хл «а»), позволяющего оценить биопродуктивность водоема, в Двинском заливе в верхнем деятельном слое варьировала от 0.2 до 1.9 мкг/л (в среднем 0.8 мкг/л, $n = 15$). Доля феофитина «а» (продукта деградации хлорофилла), как правило, не превышала 50%, что косвенно указывает на хорошее физиологическое состояние фитопланктона в период наблюдений. В промежуточном и придонном слое водной толщи содержание хл «а» уменьшилось в семь раз (0.01–0.56 мкг/л). Доля феофитина «а» здесь достигала 80%. В Восточно-Соловецкой Салме концентрация хл «а» возрастала при малой воде (что обусловлено влиянием речного стока с богатыми биогенными элементами водами) и уменьшалась при полной по всей водной толще.

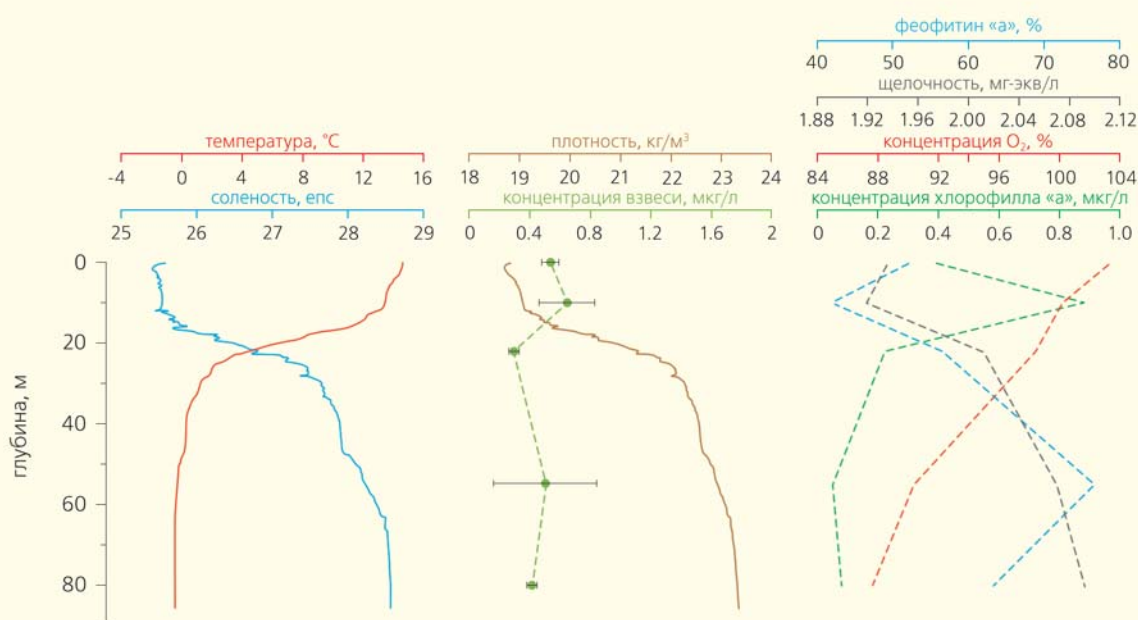
Для биогеохимических исследований с помощью трубки Неймисто отбиралась наддонная вода (~0–30 см от дна). Концентрация хл «а» в этом слое варьировала от 2.6 до 5.9 мкг/л. Ее наиболее высокие значения зафиксированы в центральной части Двинского залива, где на дне накапливаются тонкодисперсные илы. Здесь хл «а» в 2–5 раз больше, чем в верхнем деятельном слое. Концентрация взвеси в наддонной воде в десятки и сотни раз выше, чем в поверхностном слое, что, видимо, влечет за собой обогащение хлорофиллом «а». Скорость седиментации в Белом море достаточно велика, и хлорофилл «а» не успевает полностью перейти в свои производные по мере оседания на дно. Доля феофитина «а» колеблется от 61 до 73%, что соответствует его содержанию в глубинной воде.



Изменение температуры и солености воды на гидрофизическом разрезе вдоль Зимнего берега.



Обратные траектории воздушных масс для станции 1413, на которой производились замеры счетчиком AeroTrak-TMhandheld. Траектории построены с помощью модели HYSPLIT. Звездочкой показано положение станции 1413. Внизу — изменение высоты переноса воздушных масс.



Вертикальное распределение различных изученных параметров на границе Двинского залива и Бассейна (станция 1413).



Постановка седиментационных ловушек.

Фото из архива лаборатории физико-геологических исследований ИО РАН

Для изучения вертикальных потоков осадочного вещества использовались седиментационные ловушки, установленные на притопленных платформах. Метод позволяет измерять абсолютные массы осадочного материала на разных глубинах моря на основе прямых определений. Несмотря на то что ловушки начали применять довольно давно, еще в 1960-х годах, их конструкция не претерпела существенных изменений. До сих пор они остаются основным инструментом для сбора осаждающегося в воде вещества и определения его вертикальных потоков. На таких платформах помещаются и другие океанологические приборы — датчики температуры, солености, измерители течений. В этот раз мы поставили пять притопленных буйковых станций с седиментационными ловушками. Одна из них (1404) выставилась на время рейса и была поднята после шести суток работы. Анализ данных измерителя течений показал преимущественное влияние приливной компоненты в процессе формирования течения. Результирующий перенос водных масс первые двое суток работы станции (1–2 августа) шел в восточном направлении, 2–4-го он был минимален, а 5–6-го наблюдалось перемещение водных масс уже в северо-западном направлении.

В 2014 г. мы начали изучать водоемы водосбора Белого моря. В Онежском озере поставили станцию с седиментационными ловушками, которую позднее успешно подняли сотрудники ИВПС КарНЦ РАН. Экспозиция составила 56 сут. Визуальный осмотр полученных проб выявил максимум вертикальных потоков осадочного вещества



Послойный отбор проб донных осадков. Слева сверху — трубка Неймисто с осадком и наддонной водой, внизу — нередкий обитатель беломорских осадков — *Polychaeta* sp.; справа — рабочий момент.

в придонном слое и уменьшение их по мере удаления от дна.

Пробы донных осадков отбирались из боксера и трубки Неймисто для самых различных целей: на определение вещественного, гранулометрического, минерального и химического составов, на радиоизотопный анализ. Из этих проб отжимались, а затем изучались иловые воды, определялся вклад ледового разноса. Осадки из трубки Неймисто отбирались послойно с шагом в 2 см. Основное геологическое опробование велось на террасированном подводном склоне глубоководной части Двинского залива. Наиболее полный разрез в керне трубки Неймисто идентифицируется как четвертичные отложения с голоценовыми образованиями в подошве [13]. В разрезе предварительно выделяются осадки, формирующие так называемую верхнюю морскую пачку голоценовых осадков. Она сложена обводненными текучепластичными алевропелитовыми илами серого и оливково-серого цвета. Далее (ниже) с постепенным переходом выделяются существенно пелитовые осадки нижней морской пачки голоценового возраста, обогащенные примазками гидротроилита и имеющие своеобразный мраморовидный облик за счет неравномерного распределения темноцветного дисперсного органического вещества. В основании вскрытого

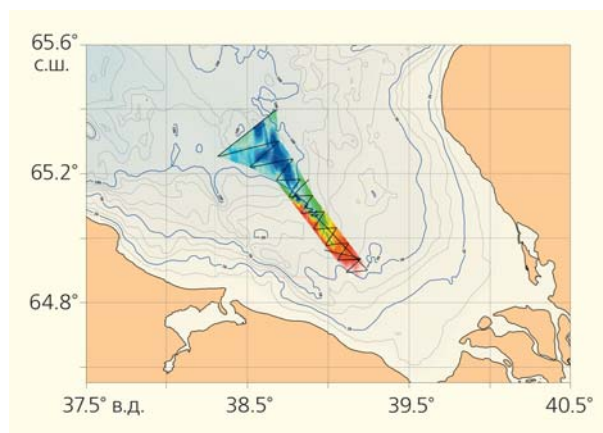
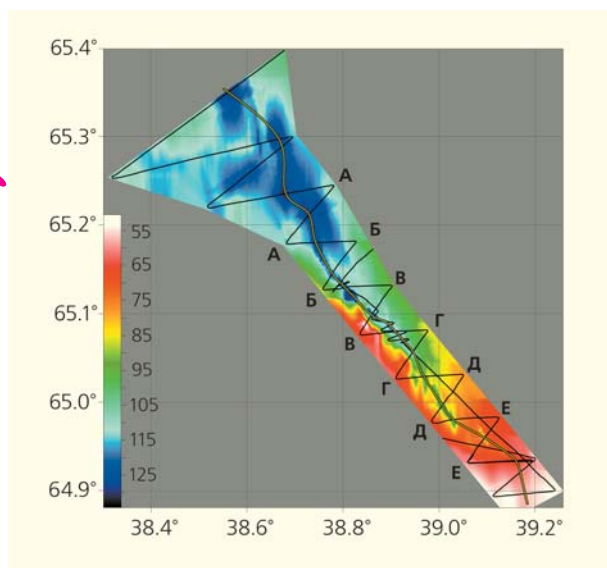
разреза встречались линзы плотных плохо сортированных осадков (песчано-пелитовые алевриты), окрашенные в коричневые тона.

Материал ледового разноса определялся промыванием осадка через сито с величиной пор 1 мм. Он присутствовал практически во всех грунтовых пробах боксера. В основном встречались гравийные зерна средней, реже плохой окатанности. На грубых обломках наблюдались редкие каемки гидроокислов железа, что свидетельствует о начале современного железо-марганцевого конкрециеобразования.

Подробный эхолотный промер в Двинском заливе в районе предполагаемого залегания па-



Отбор проб донных осадков боксорером.



Цифровая модель рельефа дна в районе предполагаемого палеоруслу (показано желтой линией) Северной Двины (по результатам эхолотного промера); справа — местоположение данного участка дна.

* * *

леоруслу Северной Двины позволил уточнить пространственное расположение и ориентацию руслового канала и особенности рельефа этого участка дна.

Пока это лишь первые результаты экспедиции. Мы благодарим экипаж НИС «Эколог» за помощь в организации работ, всех участников экспедиции и сотрудников лаборатории физико-геологических исследований, принимающих участие в обработке проб. А фундаментальным продолжением исследований Белого моря станет готовящийся к изданию IV том «Системы Белого моря», посвященный донным осадкам.

В качестве бонуса последние двое суток экспедиции стали днями отдыха, днями созерцания прекрасного. Судно возвращалось домой, в родной порт Петрозаводск, по Беломорско-Балтийскому каналу, состоящему из 19 шлюзов, и Онежскому озеру. Канал, который строился заключенными ГУЛАГа почти два года (1931–1933), поражает сочетанием природной красоты и мощи человеческого участия. Особенно восхищает Повенецкая лестница, система из семи шлюзов (причем большинство из них двухкамерные), с верхней части которой открывается широкая панорама Онежского озера. ■

Обработка материала выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 14-27-00114).

Литература

1. Система Белого моря. Т.I. Природная среда водосбора Белого моря. М., 2010.
2. Система Белого моря. Т.II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М., 2012.
3. Система Белого моря. Т.III. Рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения. М., 2013.
4. Лукашин В.Н., Кособокова К.Н., Шевченко В.П. и др. Результаты комплексных океанографических исследований в Белом море в июне 2000 г. // Океанология. 2003. Т.43. №2. С.237–253.
5. Гордеев В.В. Геохимия системы река—море. М., 2012.
6. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т.34. №5. С.735–747.
7. Лисицын А.П. Потоки вещества и энергии во внешних и внутренних сферах Земли // Глобальные изменения природной среды — 2001. Новосибирск, 2001. С.163–248.
8. Lisitzin A.P. The continental-ocean boundary as a marginal filter in the World Ocean // Biogeochemical Cycling and Sediment Ecology. Dordrecht, 1999. P.69–109.
9. Pantyulin A.N. Hydrological system of the White Sea // Oceanology. 2003. V.43. Suppl.1. P.S1–S14.
10. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др. Комплексные исследования в Онежском заливе Белого моря и эстуарии реки Онега в летний период // Океанология. 2008. Т.48. №2. С.276–289.
11. Комплексные исследования экосистемы Белого моря. М., 1994.
12. Draxler R.R., Rolph G.D. HYSPLIT (hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory). 2003. <http://www.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>
13. Спиридонов М.А., Девдариани Н.А., Калинин А.В. Геология Белого моря // Советская геология. 1980. №4. С.45–55.

Зарождение жизни и животных

В.В.Хлебович,
доктор биологических наук
Зоологический институт РАН
Санкт-Петербург

По современным представлениям, жизнь зародилась в виде «мира РНК» из тех рибонуклеиновых кислот, которые приобрели способность к каталитическим реакциям и матричному синтезу [1]. Это могло произойти только в калиевой среде, потому что и РНК, и возникшая позже ДНК управляют собой и новыми носителями жизни — белками — только при окружающей высокой концентрации ионов калия [2]. На каком-то этапе скопления РНК оформились в протоклетку, покрывшись протомембраной. Питание с помощью фагоцитоза многократно приводило к симбиозу с заключенными живыми объектами. Одними из них стали фотосинтезирующие цианобактерии, что создало предпосылки возникновения растений. Вероятно, все вышеописанное происходило в той же калиевой среде, которая сохраняется внутри клеток и сейчас [1, 3–5].

В какой-то момент сложившаяся в калиевой среде и уже сильно развившаяся в ней жизнь столкнулась с большой опасностью. Вокруг протоклеток с их несовершенными мембранами стала нарастать концентрация натрия, что грозило вытеснением калия из окружения нуклеиновых кислот. Вероятно, это был первый экологический кризис. Его преодоление привело к формированию современных царств эукариот. Грибы приобрели мощную хитиновую оболочку, водоросли — углеводно-белковую. Предки животных «обзавелись» так называемым натриевым насосом (а точнее, приспособили его, так как его элементы, очевидно, появились уже у прокариот) [3, 4]. Этот фермент, Na^+/K^+ -АТФаза, встроенный в мембрану с ограниченной проницаемостью, выкачивает из клетки проникшие в нее ионы натрия в обмен на ионы наружного калия. Такая адаптация к древнему кризису сохранилась у животных навсегда, став признаком этого царства. Существует одно очень показательное исключение — натриевый насос отсутствует у всех микроспоридий. Эти эукариоты с упрощенным геномом в своем активном состоянии паразитируют внутри клеток разных животных. Таким образом, «калиевая проблема» решается за них хозяином [6, 7].

Натриевая среда, с которой столкнулась калиевая, несущая жизнь, по-видимому, мало отличалась от современного океана по концентрации и составу растворенных солей. Если за последние полмил-

лиарда лет эти показатели почти не менялись, то, вероятно, так было и задолго до того. Существенная черта натриевого океана — в том, что ионы натрия и хлора суммарно составляют >80% всех его солей. Очевидно, сравнительно неширокий проток калиевой воды втекал в безжизненный натриевый океан, образуя своего рода эстуарий с плавным изменением состава смеси. Есть основания полагать, что концентрация натрия внутри и снаружи протоклетки, вызвавшая возникновение натриевого насоса, соответствовала солености 5–8‰ [5]. Активность натриевого насоса современных животных максимальна при 110–120 мМ ионов натрия снаружи клетки, что соответствует солености около 7‰, сравнимой с соленостью Балтийского моря. Мы не можем сегодня точно датировать время смены калиевой эпохи развития жизни на натриевую, но имеем основания утверждать, что это произошло при «выработке» предками животных натриевого насоса в ответ на повышение концентрации натрия в среде до величины около 110 мМ.

Основные этапы эволюции животных, завоевание ими разных сред обитания тесно связаны с Na^+/K^+ -АТФазой. У всех сохраняется первичная функция фермента — откачка из клетки ионов натрия в обмен на ионы калия. Так внутри клетки поддерживается калиевая среда, необходимость в которой — следствие древней калиевой эпохи. Эта работа энергозатратна — на нее уходит более трети энергии, накопленной клетками в виде АТФ. Побочным продуктом работы натриевого насоса стал электрогенез, который перераспределил у животных формирование и дальнейшую эволюцию нервной системы [3, 4]. Очевидно, на основе трансформации натриевого насоса возникли многие механизмы трансмембранного транспорта самых разных веществ в обмен на ионы натрия. Так, в частности, проникают в клетки строительные мономеры — моносахариды, нуклеотиды и аминокислоты. В какой-то момент натрия снаружи клетки превратился из врага, с которым натриевый насос был призван бороться, в абсолютную необходимость для жизнедеятельности клетки [4, 6].

Первые животные, обитавшие при солености выше 5–8‰, по современной классификации считаются пойкилоосмотическими (от греч. *ποικίλος* — различный, *πρῆσις* — давление). Окружающая их клетки среда по составу ионов и осмотическому давлению не отличалась от морской воды, поэтому

натрия вокруг клеток всегда было достаточно для работы Na^+/K^+ -АТФазы. Таковыми до сих пор остаются большинство морских беспозвоночных. Пойкилоосмотические животные не способны жить в пресной воде в первую очередь потому, что их внутренняя среда — кровь, лимфа, гемолимфа, полостная жидкость — при снижении солёности ниже 5–8‰ блокирует натриевый насос. В пресную воду могли попасть только те потомки пойкилоосмотических животных, которые научились поддерживать солёность своей внутренней среды выше 5–8‰, обеспечивая работу натриевого насоса клеток. Такой же уровень солёности поддерживается во внутренней среде наземных животных, безусловных потомков пресноводных гиперосмотиков (солёность крови человека 9.5‰).

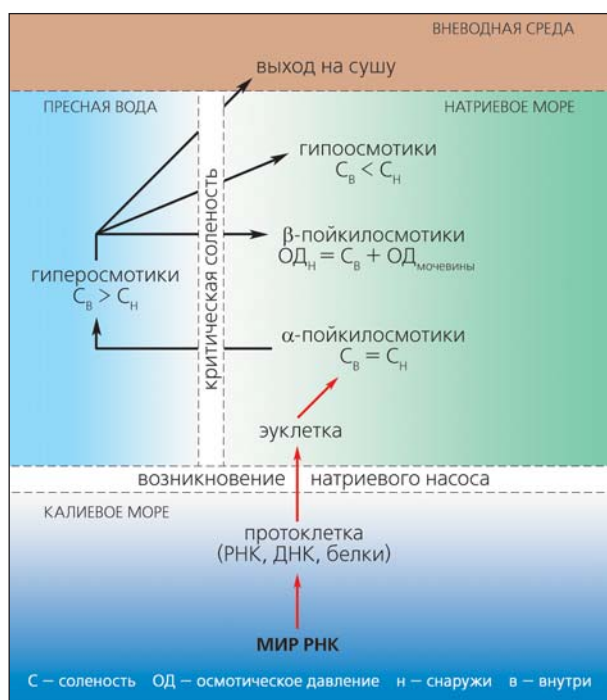
Некоторые гиперосмотические животные из пресной воды вновь вернулись в море (солёность океана около 35‰) и стали гипоосмотическими. Часть их даже в морской воде поддерживала солёность жидкости, омывающей клетки, на уровне, выработанном их пресноводными предками, — немногим выше 8‰. Осмотическое давление и внутренняя солёность у гипоосмотических животных намного ниже, чем у окружающей морской воды. В море у них непрерывно работают механизмы, опресняющие внутреннюю среду в два-три раза (к таким организмам относятся морские костные рыбы, креветки-палеониды и морские ветвистые рачки). Другие вторично-морские животные (акуловые, лягушка-крабод) сохраняют в плазме крови тот же уровень солей, что и гипоосмотические организмы, но дополняют вызываемое соля-

ми осмотическое давление до значения во внешней среде — морской воде — добавками мочевины. В физическом отношении эти животные пойкилоосмотические — осмотическое давление их крови всегда такое же, как у морской воды. Однако они, произойдя от пресноводных гиперосмотиков, добавляют в кровь мочевины, чем принципиально отличаются от истинных пойкилоосмотиков. Поэтому последних, изначально морских, предложено называть α -пойкилоосмотическими, а вторично-морских — β -пойкилоосмотическими [6].

Несомненно, знакомство человека с анатомией и физиологией началось с изучения собственного тела и тел жертв охоты — зверей, птиц, рыб. Почти все важнейшие открытия в физиологии имеют отношение к медицинским проблемам, решаемым на высших позвоночных, включая самого человека, — учению о внутренней среде, функциях внутренних органов, кровообращении, пищеварении, нервной системе и др. В общих чертах физиология животных развивалась от познания высших их форм, позвоночных, к низшим — беспозвоночным. Исследователи полагают, что многие физиологические адаптации человека обязаны своим происхождением прямому экологическому приспособлению морских пойкилоосмотических животных, предков всех многоклеточных. Рассмотрим три примера.

В последнее время много изучают функции активных форм кислорода (АФК) — метаболического продукта, который в повышенных концентрациях оказывает разнообразное вредное влияние на клетки. Макрофаги, белые кровяные клетки позвоночных, поглощают вредные бактерии, изолируя их в своих полостях, и уничтожают, выделяя АФК. Предполагалось, что такая иммунная реакция характерна для специализированных клеток внутренней среды позвоночных (хотя позже подобный механизм был обнаружен в их ротовой полости и половых путях). Ю.А.Лабас с соавторами [8] доказали, что не прикрытые хитиновыми и известковыми образованиями эпителиальные поверхности всех морских беспозвоночных буквально покрыты «облаком» АФК, специально генерируемых наружными клетками в целях защиты от бактериальных атак. Авторы обратили внимание на роль процесса генерации АФК в экологических процессах — основная масса бактерий может нападать только на мертвые организмы, что ускоряет их разложение и общий биологический круговорот веществ в экосистеме. По всей видимости, исходно генерирующие АФК клетки возникли на поверхности тел морских беспозвоночных для защиты от внешнего врага и лишь впоследствии стали выполнять эту функцию во внутренней среде вышедших на сушу позвоночных.

Первичными формами нервной системы считаются нейросекреторные клетки (НСК), выделяющие в жидкости организма сигнальные белки. По происхождению НСК близки эпителиям, осуществляющим контакт с внешней средой [9, 10]. Мож-



Эволюция солёностных отношений животных [5].

но предположить, что речь идет о пойкилосмотическом животном, эпителиальные покровы которого обращены в морскую воду. Тогда нейросекреторные клетки имеют возможность выделять вещества не только в свою внутреннюю среду, но и во внешнюю — воду. Рецептор этого химического сигнала должен располагаться не внутри данного организма, а на поверхности другой особи. И это предположение подтвердилось! Сцифоидная медуза *Chrysaora quinquecirrha* переживает зиму на полиплоидной стадии сцифистомы, похожей по своей организации на пресноводную гидру и подобно ей прикрепленной к субстрату. Живут сцифистомы на разных глубинах. Они почти не растут зимой — мало корма. На первый признак приближения сытного летнего времени — прогрев верхнего слоя воды — обитающие там сцифистомы отвечают стробилиацией, т.е. образованием «заготовок» будущих медузок, которые затем будут стремительно расти на летнем богатом планктоне, плаывая в толще воды. У особей, начавших стробилировать первыми, часть клеток поверхностного эпителия секретирует во внешнюю среду белок, молекулы которого достигают рецепторов особей из нижележащих, еще холодных слоев воды и служат сигналом к началу стробилиации [11, 12]. Это, безусловно, экологическая адаптация, подготавливающая представителей популяции через внешнюю среду к будущим оптимальным для медузоидного поколения температурам. Тот факт, что многие белки коагулируют в пресной воде и сохраняют нативную структуру в морской [13], делает именно ее пригодной для пе-

редачи сигналов белковой природы (в такой же мере, как это происходит с многообразием гуморальных сигналов в соленой плазме крови человека).

Все без исключения животные — пресноводные, морские и наземные — в желудочно-кишечном тракте разлагают поглощенную пищу на мономеры, аминокислоты и моносахариды, которые затем вовлекаются в различные процессы организма. В природных водных средах постоянно присутствуют небольшие количества таких мономеров, поэтому уже более 100 лет назад возник вопрос о возможности внекишечного питания животных непосредственно ими. Мы исследовали, насколько активно дальневосточные эвригалинные двусторчатые моллюски поглощают аминокислоту глицин из морской воды без участия кишечника в зависимости от ее солености [14]. Этот процесс был максимален при солености выше 10–20‰ и практически полностью прекращался при солености ниже 5‰. Иными словами, внекишечное поглощение глицина возможно в морской среде и исключено в пресной. Вероятно, процесс поглощения мономеров первично возник как внекишечное пищеварение в поверхностных клетках покровов низших морских беспозвоночных, а позже оказался связанным с гастральной полостью или кишечником.

Итак, ряд физиологических вопросов медико-биологического характера выгоднее решать не на внутренних органах мышей, морских свинок и собак, а на поверхностных клетках морских кишечнополостных, гребневиков, плоских червей и моллюсков. ■

Литература

1. *Стирин А.А.* Рибонуклеиновые кислоты как центральное звено живой материи // Вестник РАН. 2003. Т.73. №2. С.117–127.
2. *Mulkiđjanian A.Y., Bychkov A.Y., Dibrova D.V. et al.* Origin of first cells at terrestrial, anoxic geothermal fields // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2012. V.109. P.821–830. doi:10.1073/pnas.1117774109
3. *Наточин Ю.В.* Физико-химические детерминанты физиологической эволюции: от протоклетки к человеку // Российский физиологический журнал им.И.М.Сеченова. 2006. Т.92. №1. С.57–72.
4. *Наточин Ю.В.* Физиологическая эволюция животных: натрий — ключ к разрешению противоречий // Вестник РАН. 2007. Т.77. №11. С.999–1010.
5. *Хлебович В.В.* Критическая соленость как маркер смены калиевой эпохи развития жизни на натриевую // Успехи современной биологии. 2015. Т.135. №1. С.18–20.
6. *Хлебович В.В.* Этапы и принципы эволюции водно-солевых отношений организмов // Биосфера. 2014. Т.6. №2. С.170–175.
7. *Хлебович В.В.* Контуры протоэкологии // Природа. 2014. №8. С.93–94.
8. *Лабас Ю.А., Гордеева А.В., Наглер Л.Г.* Незримое одеяние голых тварей // Природа. 2006. №12. С.3–10.
9. *Гарлов П.Е., Кузик В.В., Поленов А.Л.* Эволюционные аспекты нейроэндокринологии // Основы нейроэндокринологии. СПб., 2005. С.403–417.
10. *Поленов А.Л., Кулаковский Э.Е.* Происхождение и эволюция нейроэндокринных клеток и нейрогормональной регуляции у Metazoa // Нейроэндокринология. СПб., 1993. С.13–31.
11. *Loeb M.J.* Strobilation in the Chesapeake Bay sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* — III. Dissociation of the neck-inducing factor from strobilating polyps // Comp. Biochem. Physiol. A Comp. Physiol. 1974. V.49. P.423–432.
12. *Loeb M.J., Hayes D.K.* Strobilation in the Chesapeake Bay sea nettle *Chrysaora quinquecirrha* — V. Neurons and neurosecretion // Trans. Am. Microsc. Soc. 1981. V.100. P.264–270.
13. *Хлебович В.В.* Уровни гомеостаза // Природа. 2007. №2. С.61–65.
14. *Комендантов А.Ю., Хлебович В.В.* Соленостная зависимость поглощения водными беспозвоночными растворенных органических веществ // Труды Зоол. института. 1989. Т.196. С.22–50.

Времена и люди

Большой взрыв сэра Фреда Хойла

К 100-летию со дня рождения

В.Г.Сурдин,

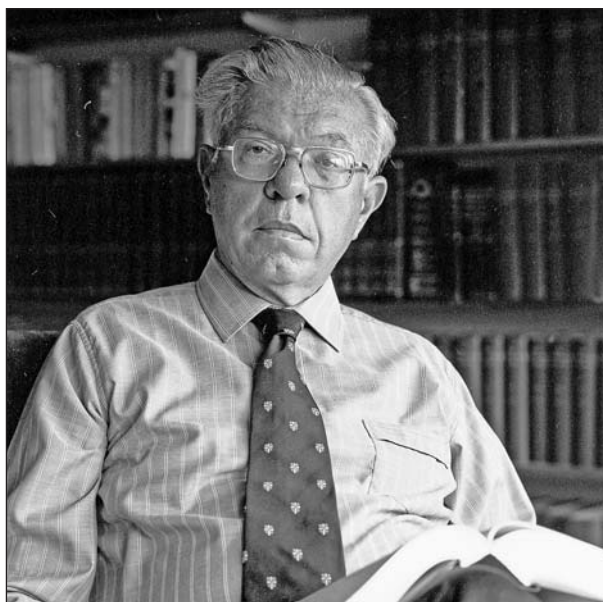
кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им.П.К.Штернберга,
Москва

Астрофизик, писатель, администратор, драматург, в молодости — вундеркинд, в старости — затворник; невероятно плодовит на идеи, статьи и книги, но безразличен к публичной славе... Рассказывая о профессоре Хойле, постепенно начинаешь сомневаться, что все это — об одном человеке. В конце жизни о таких говорят: «Он много сделал», и большинство воспринимает это как самый лучший комплимент. В начале 1990-х один журналист после встречи с Фредом Хойлом написал, что тот имел вид основательного и общительного рабочего. По-моему, хорошо сказано: тут и уровень английского рабочего, которого можно принять за профессора, и неброская внешность кембриджского аристократа (сэр Фред!), и весьма точное наблюдение: настоящего профессора не разглядишь в толпе. Пенсне и борода — это для кино и для неудачников. А истинный профессор — просто работник высшей квалификации, настоящий рабочий в науке.

Очкарик с мясистым носом Фред Хойл — не исключение; многих других английских астрофизиков экстра-класса мы также не угадали бы в толпе: вот человек в инвалидном кресле, полностью парализованный, даже лишенный дара речи — это великий Стивен Хокинг, занимавший в Кембридже кафедру Ньютона. А вот горбатый прохожий в простом сером пиджаке — это знаменитый Мартин Рис, Королевский астроном, крупнейший авторитет в области черных дыр. Они удостоены всех мыслимых званий и наград, но так и не обзавелись золотым пенсне и бабочкой под смокинг. Объединяет их что-то едва заметное: время от времени на их немолодых лицах мелькает странное выражение, как у мальчишки, которого на секунду оторвали от «Таинственного острова» Жюль Верна. Да, это просто восторг от любимого занятия. С возрастом ощущение счастья от удовлетворения любознательности уходит вглубь, но сила его лишь возрастает.

Мне не посчастливилось познакомиться с Хойлом лично. Когда я входил в науку, он уже пере-



Фред Хойл. 1980-е годы. Фото из семейного архива, предоставлено сыном ученого, писателем-фантастом Джеффри Хойлом. Публикуется впервые.

стал бывать на конференциях, считая это слишком суетным занятием. Но его работа и личность притягивали меня; приятно было ощущать себя его современником. Постоянно я узнавал о Хойле что-то новое, пока не наступил момент, когда мировая линия сэра Фреда прервалась: в 2001 г., в возрасте 86 лет, он умер. Но мы еще долго будем наслаждаться тем, что он успел сделать. И напоминать о нем своим ученикам в юбилейные дни, такие, как ныне — в год 100-летнего юбилея.

Итак, позвольте представить...

Фред Хойл родился 24 июня 1915 г. в местечке Бингли близ г. Бадфорда (графство Йоркшир) в семье торговца шерстью. В 10 лет Фред заинтересовался звездами и стал изучать небо. Окончив

начальную школу в Бингли, он продолжил обучение в Колледже Эммануэля в Кембридже, отдавая предпочтение точным наукам. Физике он учился у великого Поля Дирака, предсказавшего антивещество. В 1939 г. Фред окончил университет с отличием по математике, получив при этом премию Мэйхью как один из лучших выпускников, и был оставлен в аспирантуре в Колледже Святого Джона Кембриджского университета.

В годы Второй мировой войны молодой физик Хойл, как и многие его коллеги, работал в Сигнальном корпусе Адмиралтейства над системами радиолокации. В тот период он познакомился с математиком Германом Бонди и инженером, а впоследствии — астрономом Томасом Голдом, которых гитлеровская оккупация заставила эмигрировать из Австрии в Англию. Их сотрудничество оказалось плодотворным. В 1944 г. вышла из печати работа Бонди и Хойла о падении межзвездного вещества на поверхность звезд, заложившая фундамент теории аккреции; сейчас это одна из основных прикладных теорий в астрофизике. А в 1948 г. Хойл и Бонди с Голдом опубликовали знаменитую теорию стационарной Вселенной, дискуссии вокруг которой не утихали несколько десятилетий.

Буквально за несколько лет Фред Хойл стал одним из ведущих космогонистов и космологов в мире: он создал теорию гравитационной фрагментации разреженного вещества, позволившую построить картину формирования галактик и звезд (это космогония), а также интенсивно развивал и пропагандировал стационарную модель Вселенной (а это уже космология). Совместно с американским астрономом Мартином Шварцшильдом — сыном Карла Шварцшильда, предсказавшего черные дыры, — Хойл изучил ключевые этапы эволюции нормальных звезд. Совместно с физиком Уильямом Фаулером и астрономами супругами Маргарет и Джефри Бербиджами он разработал теорию звездного нуклеосинтеза, которая объясняет происхождение в природе основных химических элементов. Затем вдвоем с Фаулером Хойл впервые рассмотрел проблему высвобождения гравитационной энергии при коллапсе сверхмассивной звезды; этот процесс они привлекли для объяснения колоссальной мощности излучения квазаров. Позже они вдвоем построили первую детальную модель взрыва сверхновой звезды. Дальше перечислять не буду; скажу лишь, что для астрофизики каждая из упомянутых работ была пионерской и очень важной.

Было бы странно, если бы ученый с такими заслугами оказался незамеченным. Формально биография Хойла выглядит весьма успешной: в 1958 г. он становится Плюмиановским профессором астрофизики и преподает в Кембриджском университете до 1973 г.; с 1969 г. он профессор астрономии Королевского института Великобритании, с 1972 г. — почетный профессор Манчестерского

университета и с 1975 г. — почетный профессор Кардиффского университета. У теоретика Хойла обнаружилась и практическая жилка: в 1967—1973 гг. он директор созданного им же Института теоретической астрономии; в 1972 г. этот институт слился с обсерваториями университета и образовал Институт астрономии Кембриджского университета. В 1957 г. Хойла избирают членом Лондонского королевского общества, пост вице-президента которого он занимает в 1970—1971 гг., затем в 1971—1973 гг. он президент Лондонского королевского астрономического общества. В 1972 г. он посвящен в рыцари, и в те же годы его преследуют высокие научные награды: премия Калинги от ЮНЕСКО за популяризацию науки (1968), Золотая медаль Лондонского королевского астрономического общества (1968), высшая астрономическая награда — медаль им. К. Брюса Тихоокеанского астрономического общества (1970), Королевская медаль Лондонского королевского общества (1974).

Были и другие награды и почести; не было лишь Нобелевской премии, которая за совместные с Хойлом работы досталась его соавтору, американцу Фаулеру. Впрочем, Шведская академия наук не забыла и Хойла: в 1997 г. его вместе с американским астрофизиком Эдвином Солпитером наградили премией Краффорда (Crafoord) «за пионерский вклад в исследование звездной эволюции и ядерных процессов в звездах». Эта малоизвестная у нас премия учреждена в 1980 г. шведским экономистом и промышленником Хольгером Краффордом и его женой Анной-Гретой за достижения в математике и астрономии, биологии и науках о Земле, одним словом — за фундаментальные исследования в тех областях, которые формально не отмечаются Нобелевской премией. В денежном выражении Крэфордская премия лишь ненамного уступает Нобелевской.

Завершилась жизнь сэра Фреда 20 августа 2001 г. в Борнмуте, городе на южном побережье Англии, где все последние годы он с женой Барбарой жил в высотном многоквартирном доме. Хойл оставил после себя не только десятки интереснейших книг и сотни статей, но и детей и внуков.

Такова вкратце история жизни Фреда Хойла. Казалось бы, безукоризненная биография крупного ученого. Почему же его называли «самой белой вороной из всех белых ворон»? Почему Нобелевскую премию получил не он, а его соавтор? Почему, в конце концов, так не любили Хойла философы-марксисты?

Вселенная — рождающая себя

В профессиональной среде наибольшую известность Хойлу принесла модель стационарной Вселенной, разработанная им совместно с Бонди и Голдом. Она была создана в противовес теории



Студент Хойл (второй слева) в компании друзей. Кембридж, конец 1930-х.

Большого взрыва (Big Bang). Кстати, именно Хойл мимоходом, в научно-популярной программе Би-Би-Си, назвал так конкурирующую теорию: хотел пошутить, а оказался крестным отцом. Сегодня теория Большого взрыва общепризнанна, но в 1950-х годах это было не так. Напомню, что еще в 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл обнаружил разбегание галактик, которое позже назвали расширением Вселенной. Новый наблюдательный факт можно было интерпретировать в рамках теории относительности Эйнштейна на основе решений, найденных российским математиком Александром Фридманом и бельгийским аббатом и математиком Жоржем Леметром. Эти решения были консервативными в том смысле, что основывались на известных законах сохранения вещества и энергии. Обернув картину расширения Вселенной назад в прошлое, физики неизбежно приходили к выводу о начале расширения, о первичном толчке, о взрыве, породившем наблюдаемый нами разлет вещества.

Но такой вывод устраивал далеко не всех. Многие физики и философы не хотели принимать идею о рождении Вселенной, ведь при этом неизбежно встает вопрос: «А что было до того?». Кроме этой мировоззренческой проблемы имелся и чисто технический парадокс: до 1950 г. расстояния до галактик недооценивались, что приводило к завышенному значению постоянной Хаббла и слиш-

ком малому возрасту Вселенной — меньше возраста Земли. В рамках модели Большого взрыва это противоречие казалось неразрешимым. Хойл с коллегами предложил выход из этого тупика. Они сказали: «Расширение Вселенной происходит, но начала у него не было. Оно происходит вечно!». Как это понимать? Если расширение происходит вечно, пространство давно уже должно было стать пустым. Чтобы объяснить присутствие вокруг нас звезд и галактик, Бонди, Голд и Хойл предположили, что в пустоте постоянно происходит самопроизвольное рождение вещества со скоростью, оставляющей среднюю плотность Вселенной одинаковой. Из родившегося разреженного вещества постепенно формируются новые звезды и галактики, которые заполняют промежутки между разлетающимися старыми. Согласитесь, это очень красивая теория, полностью отвечающая принципу Коперника: нынешнее положение Человека

не только в пространстве, но и во времени перестает быть исключительным.

Однако творение вещества с точки зрения классической физики выглядит диковато. Впрочем, для любой научной теории, какой бы сумасшедшей она ни казалась на первый взгляд, главное, чтобы ее выводы согласовывались со всеми надежно установленными фактами. В космологии 1950-х годов таких фактов было немного, поэтому теория Бонди—Голда—Хойла вполне успешно конкурировала с теорией Фридмана—Леметра. Но в 1960-х ситуация резко изменилась: было открыто реликтовое излучение, предсказанное теорией Большого взрыва, и большинство астрофизиков потеряли интерес к теории стационарной Вселенной. Но не сам Хойл! С изумительной изобретательностью он находил все новые возможности для оправдания своих взглядов на историю Вселенной, чем в немалой степени стимулировал работу «бинг-бэнговцев». Последняя книга Хойла по космологии, написанная совместно с Джеффри Бербиджем и Джаянтом Нарликаром, вышла в 2000 г. в издательстве Кембриджского университета. Она называется «Иной подход к космологии: от статической Вселенной через Большой взрыв к реальности». В ней модель стационарной Вселенной представлена в существенно отредактированном виде: теперь Вселенная Хойла вечно пульсирует, а новое вещество рождается в ядрах галактик. Разумеется, убежденные «биг-бэнговцы» с не-



Коллектив Института теоретической астрономии в Кембридже, 1967 г. Фред Хойл в центре, по левую руку от него Маргарет Бербидж, в нижнем ряду в центре Уильям Фаулер, по правую руку от него Джеффри Бербидж.

годованием отвергнут эти идеи. Но, думаю, каждому, кто начинает изучение космологии, стоило бы прочитать эту книгу: есть еще немало загадочных фактов в науке о Вселенной, которые не до конца укладываются в модель Большого взрыва.

Кроме чисто астрофизических проблем современная космология несет в себе изрядный запас мировоззренческих вопросов: чего стоят различные трактовки популярного ныне антропного принципа! Нужно признать, что именно с космологией философы-марксисты попали в наиболее трудное положение: как ни крути, ни одна из космологических моделей не удовлетворяла строгим правилам идеологического отбора. Не могу удержаться от цитаты из «Краткого очерка истории философии» (М., 1971), по которому мы учились в университете:

«Возникшая в 20-е годы теория “расширяющейся Вселенной” была и остается поныне полем ожесточенной философской борьбы. Один из авторов этой теории, Леметр, еще в 1927 г. истолковал ее теологически: расширение было им объяснено как результат творческого акта, имевшего место 2 млрд лет назад. С тех пор 2 млрд заменены на 10–15 млрд лет, но суть дела от этого не меняется. Попы различных рангов, начиная с папы римского, в союзе с философами и физиками-идеалистами продолжают утверждать, что, наблюдая “красное смещение”, астрономы лицезреют “продолжающееся творение мира богом”. Не-

сколько более замаскированно идеалистические выводы содержались в космологической теории, выдвинутой в 40–50-е годы представителями кембриджской школы астрономов (Ф.Хойль, Г.Бонди и др.). Для того чтобы объяснить сравнительно постоянную плотность вещества при расширении Вселенной, эти ученые предложили принять постулированное ими непрерывное *творение материи из ничего...* Нетрудно понять, что подобное объяснение широко открывает двери для религии. Поскольку “творение из ничего” противоречит основным законам физики — законам сохранения, эта теория тоже провалилась».

Так Хойл попал в немилость к советским философам, выразившим официальную идеологию и «линию партии». Тем более удивительно и приятно, что в те же самые годы наши астрономы и физики отзывались о Хойле с большим уважением. В предисловии к блестящей книге Хойла «Галактики, ядра и квазары» [1] известный физик Д.А.Франк-Каменецкий пишет: «Автор этой книги — один из виднейших представителей современной астрофизики, зачинатель многих ее направлений. Он выделяется смелостью и оригинальностью мышления. Вся его научная деятельность — это блестящий фейерверк смелых идей. Пусть они не всегда прочно входят в науку, но, во всяком случае, они всегда способствуют ее прогрессу, вызывая острую дискуссию, а в борьбе мнений, как известно, рождается истина».

Времена и люди

Звезды рождают атомы

Развивая свою модель стационарной Вселенной, Хойл столкнулся с проблемой происхождения химических элементов. В те годы считали, что почти все вещество Вселенной сосредоточено в звездах. Сегодня мы знаем, что это не так: привычное для нас барионное вещество в основном содержится в разреженной среде — горячей межгалактической (87%) и холодной межзвездной (1%). Еще 11% заключено в звездах и около 1% — в планетах. Из знакомых физикам форм нужно упомянуть и нейтрино разных сортов, однородно заполняющее Вселенную; его общая масса незначительно уступает массе звезд и на порядок превосходит массу планет. Однако все это обычное вещество в пять-шесть раз уступает по массе неведомой пока форме вещества — темной материи, природа которой до сих пор не поддаётся определению. Астрономы догадываются о присутствии этого вещества по его гравитационному влиянию на движение звезд, но напрямую зарегистрировать приборами пока не могут. Впрочем, загадка этой «скрытой массы галактик» бледнеет перед тайной «темной энергии», которая создает антигравитационный эффект, ускоряющий разбегание галактик. Плотность энергии-массы этой таинственной субстанции вдвое больше, чем у всех вышеперечисленных форм вместе взятых.

Однако в середине XX в. о таких сложностях еще никто не подозревал. По представлениям тогдашних астрономов мир состоял из звезд, имеющих весьма простой состав: 75% водорода, 23% гелия и около 2% всех прочих элементов Периодической таблицы. От теоретиков требовалось объяснить, почему состав нашего мира именно таков. Теория Большого взрыва указывала, что в первые секунды расширения Вселенной, при высокой температуре и плотности вещества, происходили термоядерные реакции: из простейшего водорода формировались более сложные элементы. Американский физик русского происхождения Георгий Гамов со своими сотрудниками рассчитал ход этих реакций и получил неплохое согласие ожидаемого химического «коктейля» с наблюдениями. А что могла противопоставить этому теория Хойла? Поскольку стационарная Вселенная никогда не была плотной и горячей, единственным местом для ядерных реакций в модели Хойла оставались недра звезд.

Хойл начал исследование термоядерных реакций в звездах еще в 1945 г. «Вопрос стоял так, — пишет он, — либо проводить эксперименты, либо вычислять теоретически» [2]. Время для экспериментов еще не настало — первые водородные заряды были взорваны лишь несколько лет спустя, а результаты анализа этих испытаний еще долго оставались засекреченными. Хойл решил проблему как теоретик: он использовал

эксперименты, поставленные самой природой, ведь каждая звезда — это термоядерный реактор. По известной распространенности элементов в природе Хойл восстановил ход реакций в звездах. Иной раз логика его работы граничила с манипуляциями фокусника. Вот пример цепочки умозаключений: в окружающей нас природе много углерода; чтобы в недрах звезд из трех альфа-частиц (т.е. трех ядер гелия) могло синтезироваться ядро углерода, оно должно обладать резонансным уровнем энергии, равным сумме масс покоя альфа-частицы и ядра бериллия-8 (это две уже объединившихся альфа-частицы). Именно эти рассуждения позволили Хойлу в 1953 г. предсказать важный энергетический уровень ядра углерода-12, и эксперименты физиков подтвердили его прогноз!

Тем временем изучение звездных недр с помощью листа бумаги и механического арифмометра продолжается. Фред Хойл напряженно работает вместе с уже упоминавшимися Маргарет и Джеффри Бербиджами и Уильямом Фаулером; в 1957 г. они завершают большое исследование термоядерного синтеза химических элементов в ядрах звезд. Результаты опубликованы в виде одной большой статьи, и этот труд сразу стал классическим. Многие десятилетия, вопреки принятым правилам библиографии, специалисты ссылаются на него не иначе как B^2FH . Родилась даже считалочка:

*Burbidge, Burbidge, Fowler, Hoyle
Took the stars and made them toil:
Carbon, copper, gold, and lead
Formed in stars, is what they said.*

*(Бербидж, Бербидж, Фаулер и Хойл
Взяли звезды и заставили их трудиться:
Углерод, медь, золото и свинец
Формируются в звездах, — так они сказали.)*

Эта работа возвестила о рождении ядерной астрофизики. Спустя три десятилетия, в 1983 г., Нобелевский комитет присудил свою ежегодную премию двум астрофизикам — Субраманьяну Чандрасекару (Чикагский университет, США) «за теоретические исследования физических процессов, ответственных за структуру и эволюцию звезд» и Уильяму Фаулеру (Калифорнийский технологический институт, США) «за теоретические и экспериментальные исследования ядерных реакций, формирование химических элементов во Вселенной».

А как же B^2FH ? Ну что же, по-видимому, Нобелевский комитет не любит белых ворон (а супруги Бербидж оказались почти такими же «альбиносами», как и сам Хойл). Историю о том, как Фаулер принял Нобелевскую премию, а Хойл об этом узнал, каждый из них рассказывает по-своему.

«Это у Фреда родилась идея о синтезе элементов в звездах, — говорил позже Уильям Фаулер. — Ясно, что тот, кто выдвинул идею, обязательно должен получить премию. Разумеется, я проделал

большую работу с уравнениями, а Джеф и Маргарет — с астрономическими фактами и наблюдениями. Но мне особенно жалко, что Хойл не разделил эту премию со мной».

Решение о присуждении Нобелевской премии было принято в октябре 1983 г., когда Фаулер гостил в Йеркской обсерватории (штат Висконсин). Репортеры из Швеции позвонили ему домой, в Пасадину, в 3 часа утра по калифорнийскому времени. Перепуганная жена сообщила, где Фаулер, и в 5 часов утра в Йерксе начались звонки. Фаулер сейчас же связался со своими друзьями в Швеции. «Они сказали: “Да, это правда! Только что об этом сообщили из Стокгольма”. — Я спросил их, кто поделил премию со мной. И они сказали: “Чандрасекар”. — Хорошо, — сказал я, — ну а Фред Хойл выиграл что-нибудь? — “Разумеется, нет!” — сказали они. Прямо так и сказали».

О том, что было дальше, есть несколько противоречивых свидетельств. Фаулер говорит, что он подумывал, не отказаться ли от премии, поскольку Хойл ее не получил: «Естественно, я позвонил Фреду, и он сказал мне: “Не будь идиотом!”. Ну я и принял премию».

«Абсолютная чушь, — замечает на это Хойл. — Я был в гостях у дочери в Оксфорде. Мы только что включили шестичасовые новости, и я ошолобенел — на экране была фотография Вилли. Так я впервые узнал, что он ее получил, прямо с экрана телевизора. Конечно, это было очень жестоко, и я чувствовал себя отвратительно два или три дня, но к концу недели я уже остыл».

Джеффри Бербидж был в ту пору директором Национальной астрономической обсерватории Китт-Пик в Аризоне, имевшей свое отделение в Чили. Именно там и разыскали его репортеры. «Но я просто отказался с ними говорить, — вспоминает Бербидж. — По-моему, очень нехорошо, что в этом деле Хойла даже не упомянули. Не понимаю, как происходят такие вещи».

«Задолго до этого, — продолжает Бербидж, — я предвидел подобную ситуацию. Работа В²FN делалась в очень тесном сотрудничестве четырьмя учеными. Только они сами могли бы разобраться, кто что сделал. Попытка посторонних людей решить, кто внес в работу больше, а кто — меньше, дело почти безнадежное. Но такова практика присуждения премий».

А вот что говорит сам Хойл: «Фаулер вернулся из Стокгольма и рассказал мне историю. Я уж



В 1971 г. великолепная четверка В²FN собралась на 60-ю годовщину Уильяма Фаулера (он второй справа). Друзья сделали ему подарок — модель паровоза. Фаулер был фанатичным поклонником железных дорог и даже владел несколькими реальными паровыми локомотивами.

и не знаю, звучит это очень необычно. Он сказал, что у них есть железное правило: если кто-то критиковал их, то не видать ему никогда премии. Вообще-то это правда, что я не особенно учтиво отзывался о них после той истории с премией за пульсары». Именно пульсары были в центре предыдущего прокола Нобелевского комитета. В 1967 г. кембриджская аспирантка Джоселин Белл открыла первый радиопульсар, а в 1974 г. за это дали Нобелевскую премию... ее научному руководителю.

«История с Джоселин Белл выглядела очень плохо, — соглашается Джеффри Бербидж. — Фред решил, что это несправедливо; так же думали и многие другие мои коллеги».

В результате Хойл написал протест, который опубликовала лондонская «Таймс». И хотя сам Хойл и другие астрономы относились к этому протесту иронически, вероятно, именно он и стоил Хойлу премии.

Как бы то ни было, Нобелевская премия 1983 года разорвала старую дружбу между Фаулером и Хойлом. «Чертовы шведы», — говорил Фаулер в 1993 г. Но Хойл к тому времени уже смирился с этим решением: «Все это уже быльем поросло, — говорил он. — Я оставляю это на их совести. Если только она у них есть».

Эту историю я пересказал вам, основываясь на интервью, взятых у ее непосредственных участников американским историком науки Кеном Кросвеллом. Думаю, она прибавила некоторые черты к портрету нашего героя — Фреда Хойла.

Времена и люди Жизнь порождается жизнью

В одной из публикаций о Хойле он был назван «Великим инакомыслящим». Уверен, что сэр Фред не стал бы спорить с таким определением. В автобиографии он пишет: «Чтобы в процессе исследования достигнуть чего-то действительно стоящего, необходимо пойти против мнения коллег. Но, чтобы это было не простое сумасбродство, а нечто серьезное, требуется тонкий анализ, особенно в тех вопросах, над решением которых бьются уже давно» [2]. В своем инакомыслии Хойл всегда был чрезвычайно серьезен. Впрочем, кто у нас не знает, что инакомыслие — дело серьезное.

Как естествоиспытатель, Хойл не мог не интересоваться биологией; но к оригинальным идеям в этой области его привела... астрофизика.

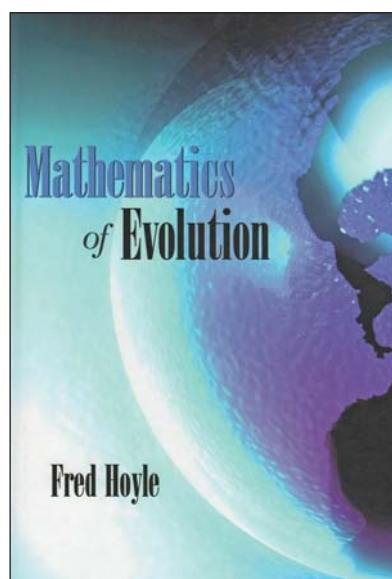
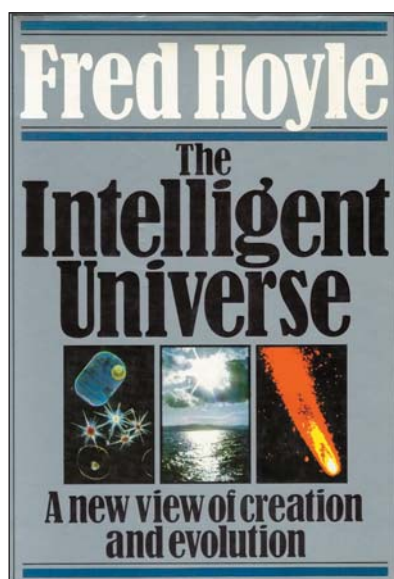
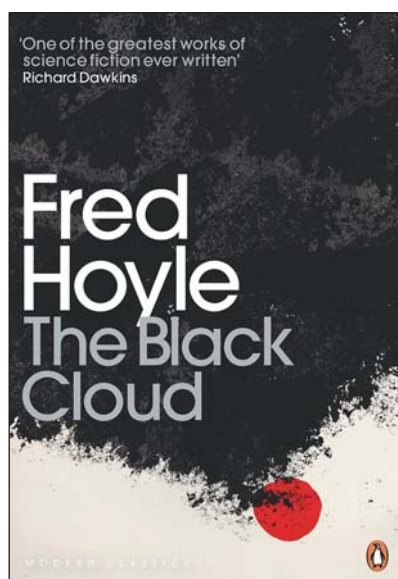
В начале 1970-х Фред вместе со своим бывшим студентом, выходцем с Цейлона Чандрой Викрамасингхом изучал свойства межзвездного вещества. Это чрезвычайно разреженное вещество, в основном газ — водород, гелий и немного других элементов, заполняет пространство между звездами. Этот газ детально изучен, поскольку его атомы и молекулы оставляют четкие «автографы» в виде линий в спектре излучения. Но есть в межзвездном пространстве что-то еще: оно поглощает свет далеких звезд и само испускает инфракрасное излучение так, как будто это микроскопические твердые частицы, почему их и называют пылинками. Но что это на самом деле, с полной определенностью не известно до сих пор. А 30 лет назад об этом можно было только гадать.

Долго не удавалось найти на Земле вещество, которое поглощало бы свет так же, как космические пылинки: в какой-то степени подходили

и графит, и кремний, и железо, и лед. В 1974 г. Викрамасингх заметил, что инфракрасные спектры космической пыли очень похожи на спектры органического вещества, в частности сухих бактерий! С этого и началось увлечение Хойла и Викрамасингха идеей панспермии — заселения планет органическим веществом из космоса.

Именно эти работы принесли Хойлу скандальную популярность. Идею панспермии отвергали и астрофизики, и биологи. За нее уцепились теологи. Но Хойл и Викрамасингх спокойно развивали свои взгляды. У них не было причин переживать за свою репутацию: научные заслуги Хойла были уже неоспоримы, а Викрамасингх помимо панспермии занимался и другими интересными темами, став ныне профессором и главой факультета прикладной математики и астрономии в одном из лучших английских университетов.

Размышляя над возможностью зарождения жизни в космосе, Хойл и Викрамасингх пришли к удивительным заключениям. Чего стоит, например их гипотеза о космическом происхождении эпидемий гриппа! Вирусы попадают на Землю из хвостов комет, заражая всю планету одновременно [3]. Идея оказалась достаточно безумной, чтобы привлечь внимание других исследователей. Например, профессор Майк Бейли из Королевского университета в Белфасте теперь тоже считает, что в опустошающих эпидемиях бубонной чумы, разразившихся в VI и XIV вв., виноваты кометы. Он утверждает, что хотя вероятность занесения бактерий на Землю из космического пространства и очень мала, но зато вполне вероятно, что тянущиеся за кометами хвосты из космической пыли могли загрязнить атмосферу и вызвать изменения климата, которые привели к неурожаям и, как следствие, ослаблению им-



Хойл написал 19 научно-фантастических произведений, в основном — в соавторстве со своим сыном. Однако наибольшую литературную известность принес ему «персональный» роман «Черное облако».

мунитета. Экспедиции к ядрам комет помогут в ближайшее время проверить эти идеи.

Для Хойла не существовало авторитетов. Он подверг критике даже идею дарвинизма, точнее, ее современную, генетическую интерпретацию, известную как неodarвинизм. Такому повороту взглядов знаменитого ученого очень обрадовались сторонники библейской гипотезы сотворения жизни — креационисты. «Рано радуетесь, — ответил им Хойл. — Ваша гипотеза еще менее убедительна».

Хойл весьма глубоко проанализировал количественную сторону биологической теории эволюции и пришел к выводу, что ее скорость слишком мала, чтобы за несколько миллиардов лет создать совершенство жизни. Возможно, вы слышали его «притчу о Боинге». Представьте, что на огромной свалке в беспорядке разбросаны части авиалайнера «Боинг-747», разобранный до последнего винтика. И вот налетел ураган, прошелся могучим смерчем по свалке, перемешал и закрутил весь этот металлолом. Велики ли шансы, что после такой мясорубки на свалке будет стоять полностью собранный Боинг, готовый отправиться в полет? Так вот, они не меньше, чем шанс случайно собраться простейшему живому организму из разрозненных химических кирпичиков. Это со скрупулезной точностью подсчитал Хойл, выяснив, что уровень сложности простейшей живой клетки сопоставим с количеством деталей авиалайнера.

Эта притча впервые была опубликована в 1983 г. в книге Хойла «Разумная Вселенная». Он и до этого вмешивался в дискуссии эволюционистов и креационистов, например, своими книгами «Эволюция из космоса» (1981) и «Почему неodarвинизм не срabатывает» (1982). А его последний труд на эту тему — «Математика эволюции» (1999) [4] — оказался наиболее вызывающим. Многие биологи обрушились на эту книгу с холодным презрением. А в одном из отзывов было сказано примерно так: «Последняя книга Фреда Хойла “Математика эволюции” — это его лучшее научно-фантастическое произведение со времен “Черного облака”». Думаю, Хойл воспринял эту насмешку как комплимент, поскольку...

«Черное облако» и другие

Хойл-ученый неотделим от Хойла-популяризатора и литератора. По окончании Второй мировой войны англичане осознали, что над их великим островом столкнулись самые высокие военные технологии того времени и что в конце-концов их спасла наука. Против Великобритании фашисты применяли суперсовременное оружие — крылатые и баллистические ракеты «Фау-1» и «Фау-2». Защищались англичане от бомбардировок не менее современным и секретным изобретением тех лет — радиолокатором. Лучшие инженеры и ученые были привлечены к этой работе; из их числа вышли и знаменитые ныне «инженер-фантасты» —



Хойл за игрой в шахматы — среди его многочисленных увлечений было и это; он живо интересовался и первыми компьютерными шахматными программами. Фото около 1965 г.

Артур Кларк и Фред Хойл. Кроме этого, Хойл проявил талант радиолоктора.

Вообще к науке, защитившей народ в годы войны и кормившей его в мирное время, англичане всегда относились с уважением. И все же удивляешься тому, что в 1950 г. по единственному тогда общегосударственному радио Би-Би-Си молодой кембриджский преподаватель читает курс лекций по астрономии. Говорят, лекции имели у радиослушателей огромный успех. Именно тогда, в последней передаче цикла, буквально на лету Хойл окрестил теорию «взорвавшейся Вселенной» прозвищем Big Bang. Позже он сожалел: знать бы тогда о нынешней популярности этого термина, запатентовал бы его и имел сейчас хорошие деньги. Разумеется, он шутил; вы когда-нибудь видели ученого с деньгами?

Широчайшая эрудиция Хойла — а он творил практически во всех областях астрофизики — не могла удержаться в рамках чисто научной работы и учебных лекций; ей требовался выход «в массы». Хойл написал много блестящих научно-популярных книг. На русском языке мы имеем пока лишь одну [1] («Математику эволюции» все-таки трудно отнести к этому жанру). Думаю, издатели поймут мой намек. Было бы очень интересно прочитать и автобиографию Хойла «Дом там, где дует ветер»* [2]; в ней много любопытного и о самом Хойле, и о других великих ученых и «неученых» XX в.

* По словам Джефа Хойла, название придумала его мать, имея в виду английскую идиому «any way the wind blows», что означает действия непредсказуемые, неуправляемые, — оно намекает именно на эту черту характера Фреда Хойла. Поэтому, видимо, более точным будет не дословный перевод: «Всегда своим путем».

Отчасти ее отсутствие компенсирует только что вышедшая отличная книга Виталия Мацарского о Хойле и его идеях [5].

Живой ум и колоссальная энергия нашего героя проявились и в беллетристике. Как писатель, Хойл творил в традициях Жюль Верна; сегодня это называют «твердой НФ». В значительной мере ему удалось объединить литературу с наукой. В романе «Черное облако» [6] он описал появление вблизи Земли гигантского межзвездного облака, наделенного разумом, способностью к целеустремленному движению и бессмертием. Это живой организм размером с орбиту Венеры и массой, почти равной массе Юпитера. Процессы жизнедеятельности в облаке определяются электромагнитными силами, а мыслит оно, посылая радиосигналы от одной своей части к другой. Его визит в окрестности нашего Солнца вызван необходимостью периодически пополнять запасы энергии, поглощая излучение звезды, в данном случае — Солнца. Облако открывает, что на одной из планет Солнечной системы есть разумные существа, поскольку тем удастся установить радиосвязь с облаком, которое сообщает им массу интересных фактов о Вселенной... Стоп! Что было дальше — не расскажу. Замечу только, что это не фэнтези, а настоящая научная фантастика.

Кстати, насколько она научная, я понял, когда писал вполне академическую книжку о гигантских межзвездных облаках: то, о чем фантазировал Хойл в «Черном облаке», спустя четверть века оказалось реальностью (или почти реальностью). Обычно я скептически отношусь к литературным эпиграфам в научных произведениях, но в данном случае был вынужден каждую главу своей книжки предварять строками из «Черного облака» — по многим научным вопросам Хойл своей фантастикой попал в десятку.

Затем был его роман «Андромеда» [7], в предисловии к русскому переводу которого наш замечательный астрофизик И.С.Шкловский писал: «Напряженно и плодотворно работая на переднем крае науки, профессор Хойл находит время для того, чтобы писать научно-фантастические романы... Кипучая натура Хойла иногда находит выход в довольно неожиданных действиях: он написал... либретто современной оперы, которая была поставлена и даже имела успех! Стоит, пожалуй, задуматься над этой стороной деятельности выдающегося английского ученого. К сожалению, такого рода активность дея-

теля науки часто вызывает если и не откровенное порицание, то иронические усмешки, пожимание плечами, разговоры насчет “поисков дешевой популярности” и т.п. Пример Хойла наглядно демонстрирует ту истину, что научному авторитету и репутации не вредит литературная работа». Уточню: опера по либретто Хойла так и не была создана.

Не уверен, что Шкловский сохранил бы свое мнение о невредимой репутации Хойла после не присуждения тому Нобелевской премии. Время показало, что научная репутация часто от литературной деятельности страдает. Многие ученые, чья энергия прорывается в область словесности, предпочитают публиковать свои литературные опыты под псевдонимами. Не хочу называть это малодушием, а лишь отмечу это как факт. Жизнь Фреда Хойла, равно как и самого Иосифа Шкловского, наглядно доказала, что слишком широкий диапазон творчества вполне может притормозить карьеру ученого. Однако не думаю, что Хойл так уж сожалел о решении Нобелевского комитета: за свободу надо платить, а возможность делать то, что тебе хочется, стоит любой премией.

Можно ли назвать кого-то еще, кто бы на высочайшем профессиональном уровне занимался ядерной физикой и космологией, читал радиолекции и публиковал литературные произведения, выдвигал новые идеи в биологии, вошедшие во все современные энциклопедии? А мы еще не рассказали про археологические работы Хойла, который одним из первых исследовал обсерваторию каменного века Стоунхендж. А еще он серьезно размышлял над эволюцией культуры, отразив свои мысли в книгах «Люди и материализм» (1956), и «Происхождение Вселенной и происхождение религии» (1993). А еще были приключенческие и детские книги, мемуары «Малый мир Фреда Хойла» (1986), а еще либретто... Теперь я понимаю тех биологов, которые считают, что мозг среднего человека загружен работой лишь на 4%. Им есть по кому устанавливать 100-процентную отметку.

Хойл самозабвенно отдавался творчеству в той области, которая увлекла его в данный момент, и не относился чересчур серьезно к тому, что уже сделано. Я уверен, он останется в нашей памяти отнюдь не как человек, который чуть не получил Нобелевскую премию. Думаю, мы запомним его как одного из талантливейших творцов ушедшего века; он был — по гамбургскому счету — одним из лучших. ■

Литература

1. Хойл Ф. Галактики, ядра и квазары. М., 1968.
2. Hoyle F. Home is where the wind blows. Oxford, 1994.
3. Хойл Ф., Викрамсингх Ч. Кометы — средство передвижения в теории панспермии // Кометы и происхождение жизни. М., 1984. С.210—219.
4. Хойл Ф. Математика эволюции / Пер. с англ. В. Мацарского. Ижевск, 2012.
5. Мацарский В. Сэр Фред Хойл и драма идей. Ижевск, 2015.
6. Хойл Ф. Черное облако / Пер. с англ. Д.А.Франк-Каменецкого // Сборник НФ. Вып.№4. М., 1966.
7. Хойл Ф., Эллиот Дж. Андромеда / Предисл. И.С.Шкловского; Пер. с англ. Г.С.Хромова. М., 1966.

Генетика и призрак Лысенко

Наука и общество

М.Д.Голубовский,

доктор биологических наук

Санкт-Петербургский филиал Института истории естествознания
и техники им.С.И.Вавилова РАН

В сентябре 1925 г. в Ленинграде, а затем и в Москве пышно и торжественно праздновали 200-летний юбилей Российской академии наук (с июля она стала называться Академией наук СССР). Среди множества зарубежных гостей был и патриарх генетики В.Бэтсон. Его пригласил Н.И.Вавилов, в свое время проходивший в Англии стажировку и почитавший его своим учителем. Именно Бэтсон назвал генетикой новую науку XX в.

Гостей приветствовали государственные и партийные деятели — Калинин, Каменев, Красин, Луначарский. Председатель Ленсовета Зиновьев произнес длинную речь о преимуществах советской системы, которую впоследствии Бэтсон с саркастическими нотками пересказал в своей заметке [1]. После посещения дворцов Царского Села, частично отданных под лаборатории, патриарх генетики отметил энтузиазм и искреннюю веру молодежи в науку как источник счастья и благоденствия. Наука заменила им религию. Но от опытного взгляда исследователя не ускользнуло, что институты и университеты используются для пропаганды коммунистических идей. Почти в каждом из них он заметил красный уголок с бюстом Ленина и партийной литературой: «Мы не увидели и следа свободы. Нынешние условия в России свидетельствуют о дисгармонии, очевидной для каждого наблюдателя. При этом особенно серьезна нехватка свободы» [1]. Прочтя отчет Бэтсона, Вавилов признал правоту своего учителя.

Всего за полтора месяца до празднования юбилея Академии наук столь же торжественно в Кремле состоялось открытие Института прикладной ботаники и новых культур (с 1930 г. — Всесоюзный институт растениеводства (ВИР) ВАСХНИЛ). Его энергичный 38-летний директор Вавилов произнес вдохновенную речь о задачах института: привлечение мирового сортового богатства,



Н.И.Вавилов с В.Бэтсоном.

планомерное государственное сортоиспытание и интродукция ценных сортов, изучение дикой флоры и овладение синтезом новых форм. Доклад заканчивался тезисом, что можно временно уступать соседям по уровню благосостояния, удобствам личной жизни, но единственно в чем нельзя уступать — в уровне интеллекта, в «армии исследователей, без которой немислимо представить себе какой-либо серьезный прогресс нашего Союза» [2].

Базируясь на своей теории о центрах происхождения, Вавилову удалось в короткое время собрать в ВИРе самую большую в мире коллекцию семян культурных растений и их сородичей. С тех пор в разных странах появились десятки региональных коллекций генофондов исчезающих старых сортов, кормивших человечество.

Наука и власть

Невиданный ранее государственный патронаж науки в первые 10 лет советского государства совпал с глобальными замыслами Вавилова, Вернадского и других крупных ученых о «союзе науки и труда». Это был единственный в СССР период с много-

укладной экономикой и относительным плюрализмом мнений. Хотелось верить, что так будет продолжаться долго и дисгармонии утрясутся [3]. Но вскоре в отношениях власти и науки возникли непредсказуемые сложности. Советская власть решила не только поощрять и «заказывать музыку», но и вмешиваться в процесс ее создания, вплоть до устранения неугодных исполнителей. Сугубо научная речь Вавилова в Кремле в 1925 г. была свободна от политической риторики, которая спустя четыре года, с провозглашением Сталиным «великого перелома» стала почти обязательной. Сначала был переломан осевой хребет экономической независимости крестьянства. Затем обобществлены в один «колхоз» разные идейные течения, их втиснули в рамки марксизма и материализма, государственной идеологии и философии. Расцвели научные фантомы — «научный социализм», «научный коммунизм», «научный атеизм». В одном из своих писем И.П.Павлов назвал введение в Устав АН СССР тезиса о необходимости вести всю научную работу на основе диалектического материализма Маркса—Энгельса, «величайшим насилием над научной мыслью»*. Идеологическое насилие продолжалось более полувека.

После «великого перелома» вместо желанного союза демократии и науки стал формироваться уродливый гибрид науки и деспотии. Дефицит свободы, воспринятый Бэтсоном как дисгармония, перерос в грозную диктатуру Сталина. Репрессии затронули не только ученых, но и целые области науки [4]. В биологии — это разгром медицинской (1936), а потом и всей генетики (1948), травля и гибель ее талантливых творцов. Такая судьба постигла многих из тех, кто был в 1925 г. в Кремле на торжественном открытии института.

Я разделяю позицию, что лысенкоизм имеет мало отношения к биологии. Это скорее материал к политической истории СССР, когда биология стала ареной идеологической и классовой борьбы советской «марксистской передовой биологии» с «реакционной буржуазной». Историки науки исследовали аномальное отношение власти к науке и губительные последствия некомпетентного вмешательства власти в научную автономию [5—9]. Лысенкоизм — понятие скорее не видовое, а родовое. Его черты оказались свойственными в той или иной степени разным областям советской науки.

Сопоставим два аномальных феномена — лысенкоизм и марризм, которые имеют много общего [10]. Лысенко — «народный академик», растениевод, не обремененный знаниями, — провозгласил «новую науку», мичуринскую биологию, или агробиологию. Н.Я.Марр — в прежнее время академик Императорской академии наук, декан восточного факультета университета в Петербур-

ге, известный археолог, этнограф, культуролог, признанный знаток кавказских языков — выдвинул «новое учение о языке». Оба привнесли в свои учения классовый подход с акцентом приверженности к марксизму. Будучи обласканы Сталиным, оба заняли высокое положение в научной и социальной иерархии. Марр в 66 лет вступил в партию большевиков и на XVII съезде ВКП(б) озвучил приветствие от ученых страны, получив одобрение Сталина. Лысенко в 1935 г. на съезде колхозников, объявив, что его учению вредят классовые враги вроде кулаков и сходных с ними биологов, также удостоился одобрительного возгласа Сталина. Эти канонизированные основатели новых учений агрессивно воспринимали любую критику, их научные оппоненты третировались и были репрессированы. Марр обладал «замечательным талантом проповедника, пророка, если угодно шамана; многие его сочинения напоминают камлания» [10]. И Лысенко «...в 1950-е годы произвел завораживающее действие. Он обладал даром кликушества», заставляя «воспринимать как откровение любой вздор» [9].

Сталин, будучи мастером политического театра, порой резко порывал со своими фаворитами, подвергая опале, напуская на них критиков. Но иногда он и сам выходил на сцену. Так, в своей статье «Марксизм и вопросы языкознания», вышедшей 20 июня 1950 г. в «Правде», он разumno критиковал тезис Марра о классовости языка, а монополию его учения называл «аракчеевским режимом» в науке [10]. Тотчас же все советское языкознание повернулось на 180 градусов. Сталин намеревался сходным образом низвести и другого высоко вознесенного кумира, фимиам которому превысил пределы. В 1952 г. в «Ботаническом журнале» вдруг вышли две статьи с критикой Лысенко по вопросу внутривидовой борьбы. Статью генетика Н.В.Турбина Сталин прочел в рукописи, подав реплику: «Товарища Лысенко нужно научить уважать критику» [5]. Но Сталин умер и низвести вознесенного кумира не успел. А если бы успел, это помешало бы современным воздыхателям о периоде господства Лысенко. Однако вполне нормально, когда историки науки время от времени пересматривают сложившиеся представления и оценки, что и попытался сделать авторитетный специалист в области популяционной и математической генетики Л.А.Животовский в своей книге «Неизвестный Лысенко».

Размышления о книге

Автор предлагает читателям: *разностороннее рассмотрение научной деятельности советского агробиолога Лысенко, исторический анализ и трезвую оценку его достижений на фоне социально-политической обстановки тех лет*. Столь серьезные историко-научные задачи мало подхо-

* Письмо И.П.Павлова о революции (без даты) // СПФ АРАН. Ф.259. Оп.1а. Ед.хр.38.Л1.

дят сочинению, обращенному к широкой аудитории и названному «эссе». Такой жанр отличает исповедальный стиль, эмоциональные оценки, свободные от трезвого критического изучения проблемы в принятых рамках науки. Этим эссе и дороги. Но научный статус автора не дает ему права на такой свободный жанр в книге, посвященной столь большой теме советской биологии. Между тем важные работы историков науки цитируются лишь ритуально, без серьезного обсуждения их главных положений и выводов.

Поражает, например, отсутствие ссылок или сведений о многолетних историко-научных исследованиях А.А.Любищева о монополии Лысенко. Написаны они во время его господства, но изданы лишь спустя полвека [6, 7]. А ведь Любищев был не только биологом, эволюционистом и историком науки, он много работал в области сельскохозяйственной биологии. И, что особенно важно, занимался приложением математики в биологии и опытным деле, был в свое время первым в СССР членом Международного биометрического общества (т.е. почти коллегой Животовского по цеху биометрии). Труд Любищева «О монополии Лысенко в биологии» отличают две особенности. Во-первых, анализ конкретных статей-первоисточников и деятельности Лысенко и его школы на трех уровнях — методологии и научной практики, на институциональном уровне (способы распространения идей и предложений, отношение к критике, научная этика) и на социально-политическом. Во-вторых, Любищев защищал менделевизм и хромосомную теорию, не скрывая своего несогласия с рядом ее положений. В частности, он оппонировал мнению о невозможности наследования приобретенных в ходе онтогенеза признаков.

В середине 1950-х годов статьи Любищева распространялись «самиздатом». Известный физик И.Е.Тамм, прочитав их, отметил, что нелепость основных положений и алогизм Лысенко для него очевидны, но оставалось неясным, были ли у него в прошлом «какие-либо существенные достижения в области агрономии или и этого не было. Несмотря на огромность причиненного им вреда, этот вопрос не лишен значения». Прочитав Любищева, академики И.Е.Тамм и А.Д.Сахаров заняли твердую антилысенковскую позицию в Академии наук*. К сожалению, в эссе нет и намек на

знание других важных для данной темы трудов российских историков науки и биологии [4, 11].

Стоит ли упоминать об этом? Ведь автор издал книгу в жанре эссе, который дает свободу личных оценок, нарочито причудливых суждений и мнений. Но тогда уместным названием эссе было бы «Неизвестный МНЕ Лысенко». Однако автор претендует на гораздо большее — не только *собрать факты воедино*, но и поведать свое мнение *широкой общественности*.

Материалы и методы

В генетике, изучающей разнообразные формы изменчивости, материал и методика занимают, пожалуй, центральное место. Первенство здесь принадлежит Г.Менделю и В.Иогансену. Мендель не только установил законы наследования признаков и высказал гипотезу о дискретных наследственных факторах. Он создал генетическую символику и принципы генетического анализа. В начале своей классической статьи он специально ввел раздел, который ныне называют «Материалы и методы». Помимо адекватного выбора вида растений, указаны всевозможные ограничения и трудности для выявления искомым численным соотношений в потомстве гибридов. При дополнительном анализе всегда можно установить причину отклонений: различия в выживаемости, неполное проявление и выражение признаков, влияние генотипической среды и взаимодействия генов и внешних условий (температуры, плотности популяции и т.д.), неравное соотношение гамет у родителей. Все это детально изучалось в московской школе эволюционной генетики.

К сожалению, автор эссе, исповедуя тезис о важности методики при ДНК-идентификации (например, в дискуссии об ее итогах в отношении царской семьи Романовых), забывает об этом, описывая наследие Лысенко. Между тем именно вопиющие нарушения методики и принципов сбора материала, способов его обработки критиковали видные российские селекционеры и растениеводы П.Н.Константинов и П.И.Лисицын [7–9].

Самый яркий пример полного пренебрежения к принятым в опытным деле правилам сбора материала и его анализа касается оценки эффективности яровизации для повышения урожайности. Лысенко проводил проверку не на опытных полях-



Александр Александрович Любищев (1890—1972) — философ, биолог, энтомолог. Широко известен своими работами по применению математических методов в биологии, по общим проблемам систематики и теории эволюции.

* См.: Голубовский М.Д. Противостояние // Природа. 1992. №5. С.86—92.

ках, а анкетно-вопросным методом. Сотни колхозов и совхозов получали анкеты, которые заполнялись агрономами и председателями (без всякой ответственности за вписанные цифры) и отсылались назад. «Однако в условиях раздувавшихся вокруг яровизации шума и рекламы, в условиях борьбы с «антияровизаторами», причислявшимися к кулакам, в условиях нажима сверху большинство председателей и агрономов предпочитали проставлять в анкетах цифры небольших прибавок. Отрицательные результаты обычно замалчивались» [8, 9]. Лысенко уловил, что проверять его никто не собирается, на него работала новая идеология, его классовое происхождение.

Константинов проанализировал данные о связи урожая и яровизации на десятках опытных станций за ряд лет. В большинстве случаев никакой прибавки не было. Реакция Лысенко известна — угроза «смести с поля научной деятельности» тех, кто критиковал или сомневался. Эта ситуация подробно разобрана историками науки. Но в книге нет авторской оценки негодности методики Лысенко, есть лишь размытое упоминание, что Лысенко считал важными для с/х практики только те факты, которые проверялись в поле на большом материале. Именно в этом свете становится понятной полемика между агробиологами и генетиками (с.31)*.

Этот вопрос подробно разбирает Любищев, как специалист в биометрии, показывая, что размеры делянок мало влияют на достоверность опыта. Опыт без повторов на 100 га будет менее достоверен, чем опыт с десятикратной повторностью на небольших опытных участках. Большие площади вполне могут отличаться по ряду особенностей [7, 8]. Лысенко, отвергая чистоту материала и статистику, остался вне принятой практики опытного дела, вне научной селекции.

Став главой Сельскохозяйственной академии, Лысенко преуспел в гонениях на тех селекционеров и генетиков, которые следовали принятой научной методологии. По его настоянию вариационную статистику исключили из программ вузов. На погромной сессии ВАСХНИЛ 1948 г. третиrowался экономист и статистик В.С.Немчинов, снятый затем с поста ректора Тимирязевской академии. Почему же автор эссе, специалист по статистике, не осудил эту ложную, невежественную позицию своего героя?

Другой пример деструктивной лысенковской практики. Известный селекционер и растениевод В.В.Таланов, заместитель Вавилова, разработал систему стандартизации сортов и трехлетнего испытания каждого потенциального сорта в разных зонах страны [12]. Систему эту Лысенко отбросил, и дал сенсационное обещание вывести новые сорта пшеницы за 2.5 года. В июле 1935 г. в теле-

грамме наркому земледелия и в ЦК партии он сообщил, что за 3.5 года созданы четыре сорта. При проверке в Госсортсети ни один из «сортов» не прошел испытание. В 1936 г. Константинов, Лисицын и генетик Дончо Костов писали: «Едва ли семеноводство Союза будет распутано, если мы выбросим в производство таким анархическим путем недоработанные сорта, не получившие даже права называться сортом» [8, с.251]. Однако в книге Животовского об этом ничего не сказано.

В предисловии автор эссе заявляет, что все исторические исследования и энциклопедии, написанные за предыдущие 20 лет, внушают негативный образ и отрицательное отношение к Лысенко. В них есть только эмоции, но нет взвешенной оценки его деятельности, поэтому автор решил собрать позитивные факты воедино, дабы развеять созданное клише. Все негативные описания, согласно Животовскому, «повисают в воздухе», потому что критики не задаются простым вопросом: *Как объяснить то, что Лысенко, выставляемый в этих описаниях «невежественным человеком», «псевдочеловеком» более четверти века возглавлял сельскохозяйственные исследования в стране, наука которой была одной из ведущих в мире?* Ответ не так уж сложен. Думаю, автору известно, что диктатуры отличаются причудливыми сочетаниями разума и расчета с прихотью и произволом. Ответить можно встречным вопросом. А как объяснить, что в стране, давним недугом которой был «продовольственный вопрос», более 8 млн наиболее успешных и трудолюбивых крестьянских семей были единым махом лишены всей собственности и этапами погнаны в Сибирь на смерть? Как объяснить возникший за этим голодомор, унесший жизни еще 6 млн человек от Казахстана до Украины? Или как объяснить, что перед самой тяжелой войной, которую удалось выиграть с величайшими потерями, около 30% командного состава было репрессировано, в их числе трое из пяти маршалов? Не действует математическая логика в режимах деспотий.

Три составные части

Остановимся на основных положениях текста эссе. Оно состоит из предисловия и трех разделов: «Лысенко — ученый-практик», «Противостояние советской агробиологии и генетиков» и «Двойные стандарты по отношению к Лысенко». Рассмотрим основные положения текста эссе:

— Лысенко разработал агроприем яровизации, предложил теорию стадийного развития и создал новую науку — агробиологию, или мичуринскую биологию. Его открытия были оценены и признаны Вавиловым и на международном уровне;

— Между советскими агробиологами и генетиками возник конфликт, вызванный ошибками генетиков. Лысенко выступал против евгеники.

* Здесь и далее приводятся страницы из книги Л.А.Животовского «Неизвестный Лысенко» (М., 2014).

Враждующие стороны «делали одно общее дело» и не желали понять друг друга;

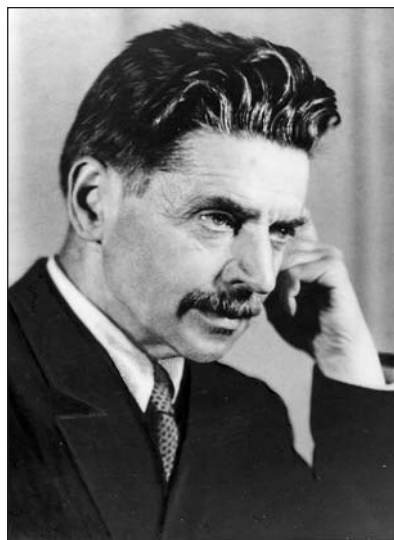
— Лысенко предвосхитил открытия современной генетики — возможность наследования приобретенных признаков и эпигенетические изменения;

— Обе стороны повинны в том, что каждая привлекала государство для решения научных споров. Но главный виновник трагедии — государственная система, которая взяла на себя роль судьи в научном споре.

Все эти положения наряду с реальностью содержат либо преувеличения, либо искажения, либо некорректные оценки, игнорирование релевантных исследований историков науки.

В первом разделе излагаются представления Лысенко о стадийном развитии и яровизации. Говорится о большом впечатлении от обнаруженного автором тома трудов международного симпозиума 1948 г. «Яровизация и фотопериодизм». Действительно, интересная находка. Оттуда автор воспроизводит фотографии восьми физиологов растений, которые внесли вклад в данную проблему. Среди них два советских: Н.А.Максимов и Т.Д.Лысенко. Автор забыл (или не заметил?) отметить третьего, соавтора учения о гормонах растений Н.Г.Холодного. Опираясь на слова организатора симпозиума Р.Уайта, что возрождение интереса физиологов растений к действию температуры обязано методу яровизации, автор эссе заключает: Лысенко открыл *нечто такое, что ученые всего мира столь высоко оценили и что сейчас спрятано от широкой российской общественности*.

Действительно, это был представительный симпозиум по одной из проблем биологии развития растений. Такие симпозиумы ежегодно собираются по разным областям науки. Кто же и где злонамеренно упрятал труды этого симпозиума? Ответ очевиден. С момента выхода в свет в 1948 г. и вплоть до начала 1990-х годов его труды, если и дошли до СССР, то были отправлены в спецхраны. Туда попадали решительно все издания, где имя Лысенко упоминалось без панегирика или с мало-мальской критикой. Из-за любых замечаний с упоминанием Лысенко международные журналы отмечались штампом-шестигранником и попадали в спецхран (либо «неудобные» страницы вырезались). Примером особого контроля за научной литературой может служить история учебника по физиологии растений Д.А.Сабинина, заведовавшего



Дмитрий Анатольевич Сабинин (1889—1951) — советский ботаник, физиолог растений. В 1932—1948 гг. заведовал кафедрой физиологии растений МГУ и лабораторией Института физиологии растений АН СССР (до 1941 г.). С 1949 г. работал на Черноморской станции Института океанологии АН СССР.

тогда одноименной кафедрой в Московском университете. В 1948 г. подготовленный к изданию учебник, в котором речь шла и о концепциях Лысенко, был запрещен, а автор уволен. Лишившись любимой работы и своего заветного труда, Сабинин вскоре покончил собой. Второй раз, уже в 1958 г., когда монополия Лысенко еще продолжалась, учебник вновь запретили к выходу [8].

Заслугой Лысенко в физиологии растений можно считать модификацию известного ранее агроприема холодного воздействия, его широкое применение и введение термина «яровизация». Он вошел в научный обиход в прямом переводе (vernalization). Что касается существа феномена яровизации, то в статье Уайта по поводу Лысенко ясно сказано: «Необходимо признать, что это был период догматических утверждений, преувеличенных или плохо обоснованных высказываний, неясных методов и неполного понимания фундаментальных биологических принципов».

Яровизация, считал Уайт, всего лишь один аспект в обширной области физиологии развития, при этом «большинство исследователей вне России отказались признать какую-либо коммерческую ценность яровизации» [3]. А ведь именно вера в яровизацию как чудо повышения урожайности и была основой для властной поддержки Лысенко. В трудах симпозиума есть большая статья о гормональной регуляции роста и развития растений. Однако исследования в этой области ботаников Н.Г.Холодного и М.Х.Чайлахяна школа Лысенко отвергала и третировала: «Гормональная теория — это тот же морганизм-менделизм, то есть тот же формализм и метафизика в биологии» [8, с.272].

Теперь понятно, как воспринимались ранние работы Лысенко и какая вокруг этого была сложная научная и ненаучная ситуация [3, 7—9, 14]. Метод яровизации в модификации Лысенко (сам феномен был открыт не Лысенко) обсуждался и разрабатывался в СССР с позиции регуляции и ускорения роста и развития растений и как агроприем (его широко применяли в СССР для повышения урожайности под натиском Лысенко и поверившего в сие чудо Наркомзема). Именно первый аспект яровизации Вавилов позитивно оценил (сообщение на VI Международном генетическом конгрессе в Итаке; США; 1932 г.) и затем поддерживал Лысенко вплоть до 1935 г. Яровизация давала возмож-

ность выращивать и использовать в селекции сорта и виды растений из южных районов, которые не вызревали при обычных условиях в средних и северных широтах. Данные факты резонно обсуждены в тексте эссе и в целом соответствуют выводам историков биологии. В то же время сенсация и шумиха вокруг яровизации, резко повышающей урожай, вызвали оправданный скепсис специалистов научной селекции и опытного дела.

Можно согласиться с автором эссе, что деяния Лысенко по подавлению генетики и созданию монопольного режима в биологии оттеснили его ранние работы. Здесь автор тоже не оригинален. Об этом Любищев ясно писал еще в 1953 г. Заслужив «раннего Лысенко» (до 1934 г.) Любищев считал и ясное разграничение яровизации и световой стадий, а также положение, что в потомстве двух позднеспелых сортов можно получить раннеспелый. Известный норвежский историк (физиолог растений по первому образованию) Н.Ролл-Хансен справедливо заключает: «Ранние работы Лысенко, несмотря на их очевидную слабость, которая ретроспективно очевидна, вполне соответствовали стандартам того времени, и даже авторитетные советские биологи нашли их интересными. Эти работы пользовались признанием даже после того, как взгляды Лысенко на генетику были осмеяны» [14, с.17]. По сравнению с такой оценкой в тексте эссе ничего нового нет.

Однако со времени стремительного роста карьеры Лысенко (1934—1935 гг.) столь же стремительно росло его самомнение. После избрания в АН УССР, а затем в 1935 г. академиком ВАСХНИЛ (безо всяких ученых степеней) в поведении Лысенко произошел «великий перелом». Обуреваемый непомерным честолюбием и нетерпимый к любой критике, он решил создать новую науку агробиологию, полностью отбросив генетику. О стиле его утверждений и статей в рамках агробиологии Любищев писал: «Туман в мыслях таков, что многие “биологические законы” Лысенко, написанные нашим современником в XX веке, понять гораздо труднее, чем средневековых мыслителей, отделенных от нас многими столетиями. Не делается и попытки привести в соответствие со своей теорией богатство фактов, собранных противниками» [6]. Однако автор эссе старается придать туманным высказываниям Лысенко смысл неких прозрений и подогнать их под открытия современной генетики. Вот один пример такой некорректной подгонки. Приводится мнение Лысенко, что основой наследственности является вся клетка, в которой *равнозначны разные органеллы*. А далее следует тезис из университетского учебника генетики М.Е.Лобашёва, что *наследственность является свойством клетки как системы в процессе ее работы и деления*. Отсюда делается вывод: Лобашёв *фактически повторил философское утверждение* Лысенко. Но зачем уж так дурачить читателя? Ведь Лобашёв рассматри-

вал клетку как **систему**, слаженный ансамбль ее элементов, различающихся по своим функциям.

В книге часто встречаются утверждения, которые вызывают неприятие либо своей фактической несостоятельностью, либо недопустимым упрощением. Вот несколько примеров. *Генетики в основном изучали признаки-уродства* (с.32). Неправда. Ю.А.Филиппченко, например, изучал структуру колоса у разных видов пшениц, генетики московской школы — эволюционную генетику, Вавилов — генетику иммунитета, А.С.Серебровский — геногеографию.

Другое столь же недопустимое утрирование: *...Генетики предполагали, что все признаки биологической особи предопределены генами, а внешняя среда обеспечивает лишь пассивное питание особи* (с.32). Однако еще в 1920-х годах было введено понятие «норма реакции», подчеркивающее динамику отношений генотип—среда. Уже на заре генетики примером таких связей служила гималайская порода кролика: у него активность гена, определяющая распределение меланина на теле, зависит от температуры среды. А разве разработанная в ВИРе еще в 1920-х годах система испытания сортов в разных географических и климатических условиях не исходит из представления о динамических связях генотип—среда—фенотип [3]?

Автор ставит в заслугу Лысенко его резкую критику евгеники. При этом выхватываются отдельные фразы из статей Кольцова и Филиппченко, желая показать их генетический детерминизм и невнимание к внешней среде. Между тем, Кольцов в 1928 г. в статье в Большой медицинской энциклопедии выделил особую область исследований — евфенику, изучающую «способы, при помощи которых мы можем, не изменяя генотипа, получать наиболее ценные для нас фенотипы культурных растений, домашних животных и человека». Для человека евфеника играет особую роль, считал Кольцов: «Воспитание ребенка в плохих условиях и при плохом питании ведет к ослаблению его, быть может, здорового и сильного генотипа, ослабляет его природную способность бороться с инфекциями. Но особенно значительно влияние среды и внешних условий на развитие психических особенностей человека».

Понимание Кольцовым практических задач евгеники совершенно ясно: это прежде всего составление генеалогий, изучение наследования самых разных признаков и свойств человека, включая особенности психики, исследование близнецов, геногеографию и этническую генетику, социальную гигиену, демографию, аспекты репродукции, обсуждение естественной и сознательной эволюции человечества. По отдельным фразам из общего контекста этих статей автор эссе делает нелепый вывод: *согласно взглядам евгенистов, воспитание, образование и культура не играют никакой роли в развитии личности* (с.52). Оторопь берет от такого вывода.

Так где же, когда и в каких работах Лысенко критикует евгенику? К тому времени, когда он вышел на авансцену (1929), оба евгенических общества в стране уже прекратили свою деятельность. Лысенко обладал цепким крестьянским умом, чтобы не лезть в далекие от его яровизационных забот проблемы евгеники и генетики человека. Признаюсь, утверждение автора эссе, которое он выделяет курсивом — *все разные, но биологически равные*, — кажется мне мутным и смутным. В генетике человека давно достигнуто согласие: мы все генетически различны, но социально равноправны. Глубокая программа изучения наследственных различий в сфере психики была представлена в прекрасной статье Кольцова «Генетический анализ психических особенностей человека» (1924). В ней обосновано, как велико и достойно детального изучения наследственное разнообразие у людей в трех сферах психических процессов — познавательной (разум), эмоциональной (аффекты) и волевой (влечения). И сейчас, 90 лет спустя, программа Кольцова производит сильное впечатление, а многие обозначенные им элементы ожидают исследования*.

Еще одно произвольное и неверное утверждение: *генетики говорили, что они предложили селекционерам методы селекции, это не соответствовало фактическому положению дел* (с.34). По оценке Вавилова, уже к 1936 г. около 15% всех посевных площадей в стране (20 млн га!) было занято сортами из мирового потенциала, рекомендованными ВИРОм. Выпускник Московского сельскохозяйственного института, старший коллега Вавилова, генетик и селекционер С.И.Жегалов (его учеником был выдающийся генетик растений Г.Д.Карпеченко) основал знаменитую Грибовскую селекционную станцию по овощным культурам. За восемь лет было выведено 74 сорта овощных растений и кормовых культур [12]. Его сорт моркови «нантская-4» и сейчас распространен в России.

Еще один абсурдный тезис: *само по себе отрицание Лысенко пользы от генетики не свидетельствует против него как ученого* (с.72). Конечно, селекция тысячи лет обходилась инту-

ицией. Так, индейцы Америки, не зная генетики, ввели в культуру кукурузу, томаты, картофель, подсолнечник, фасоль, табак, тыкву. И сейчас еще интуиция селекционера, погружение в «душу растения» играет важнейшую роль, как в случае Л.Бербанка или И.Мичурина. Но тот, кто претендует на звание ученого, да еще стоит во главе сельскохозяйственной науки в стране, не имеет права отрицать генетику. Автор эссе выдает Лысенко индугенцию от невежества.

Совершенно невозможно согласиться с мнением автора, что концептуальные сдвиги в генетике, связанные с открытием мобильных элементов и эпигенетической изменчивостью, в какой-то мере подтверждают туманные «камлания» Лысенко. Полное отрицание классической генетики, ее понятийного аппарата и символического языка, подходов к анализу связей гены—среда—развитие, стали для Лысенко принципиальной преградой для анализа механизмов яровизации. После 1935 г., когда вышла известная статья о яровизации, ничего нового у Лысенко и у всех его многочисленных сторонников за последующие десятилетия не появилось и не могло появиться!

Успехи в истолковании яровизации произошли в последнее время в рамках эпигенетики и контроля генов активности. В каждом феномене регуляции процессов развития (в данном случае в переходе растений с вегетативной фазы на генеративную) выделяют триаду:

- ключевой ген, способный к переключению своего состояния без изменения структуры; выяснение механизма переключения на уровне транскрипции, трансляции, изменения метилирования участков ДНК и структуры хромосом;
- сигнал, который переключает ключевой ген и может быть экзогенным (температура, световой режим) или эндогенным (генный или хромосомный балансы);
- способность передавать переключения в ряду клеточных поколений.

В понимании яровизации прогресс был достигнут, когда у модельного растения арабидопсиса выделили ключевой ген *flc* (*flowering locus C*). Степень активности гена и уровень белка FLC определяет ход цветения. Активный ген *flc* у озимых линий блокирует цветение. Холод понижает активность гена и содержание белка FLC, изменяются межгенные отношения, где за-

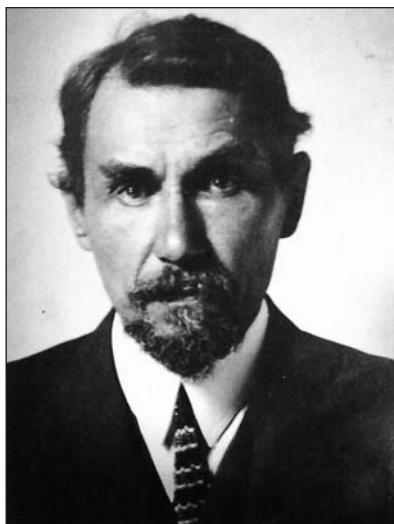


Георгий Дмитриевич Карпеченко (1899—1941) — цитогенетик, друг и ближайший сподвижник Вавилова, известный своими работами по отдаленной гибридизации, первый, кто создал метод хромосомной инженерии. Его работы входят теперь во все учебники по генетике. Он показал возможность преодоления бесплодия отдаленных гибридов. Расстрелян 28 июля 1941 г. на полигоне «Коммунарка» Московской обл.

* См.: Голубовский М.Д. Становление генетики человека // Природа. 2012. №10. С.52—63.

действованы и другие гены, чувствительные к холоду и фотопериоду. Часть из них — это ДНК-связывающие белки, так что изменение состояния участков ДНК передается в ряду клеточных поколений. У злаков принципиально сходная система. Но она включает три гена яровизации *vrn1*, *vrn2*, *vrn3*, которые связаны плюс-минус взаимодействиями и работают в системе с обратными связями.

Теперь о втором основном тезисе автора. Я полагаю ложным утверждение, что *враждующие стороны, советские агробиологи и советские генетики, на самом деле делали общее дело. Они рыли один и тот же туннель, но только с разных сторон* (с.43). В действительности же выдуманная мичуринская биология была намеренно противопоставлена всей мировой нормальной генетике. Начиная с 1935 г. Лысенко сознательно и агрессивно стал приравнивать своих критиков и оппонентов к классовым врагам, к сторонникам враждебной буржуазной идеологии. Это индуцировало репрессии его оппонентов-генетиков, и в атмосфере 1937 г. даже доносов не надо было писать. Репрессировали прежде всего генетиков растений — Н.И.Вавилова, Г.А.Левицкого, Г.Д.Карпеченко, Л.И.Говорова, К.А.Фляксбергера. Никто из окружения Вавилова, занимаясь исследованиями и отстаивая свою позицию, не бросался политическими обвинениями в адрес Лысенко. Лишь московский генетик А.С.Серебровский в пылу дискуссии позволял себе называть ламаркизм архаичным и «объективно реакционным» течением, но это был предел. Совсем не то, что обвинения в «пособничестве буржуазии и классовому врагу». Вавилов постоянно призывал к взаимному уважению, сдержанности и проверочным экспериментам [3]. Так что одни рыли туннель науки, а другие яростно прокапывали туннель, чтобы похоронить в нем своих оппонентов.



Григорий Андреевич Левицкий (1878—1942) — цитолог, заведующий лабораторией цитологии ВИРа (с 1931 г.). Известен своими работами по строению и развитию митохондрий, морфологии и эволюции хромосом, кариосистематике, применению цитологии в селекции; ввел термин и разработал учение о кариотипе. Арестован 26 июня 1941 г. Этапирован в тюрьму г.Златоуста Челябинской обл. Умер в тюремной больнице 20 мая 1942 г.



Константин Андреевич Фляксбергер (1880—1942) — выдающийся ботаник, основоположник изучения российских пшениц. Был арестован вместе с Левицким и этапирован в тюрьму г.Златоуста Челябинской обл. Скончался в тюремной больнице 13 сентября 1942 г.

Нелепая метафора — враждующие стороны и туннель — уже звучала полвека назад. В 1962 г. философ Г.В.Платонов выпустил книгу под громким названием «Диалектический материализм и вопросы генетики», которая побила в то время «все рекорды профанации и фальсификации науки» [8, с.224]. Но после снятия Хрущева в 1964 г. в центральной печати на короткое время открылась возможность критики Лысенко и его окружения. Империя, оказавшись без прямой властной поддержки и щита цензуры, стала разрушаться*.

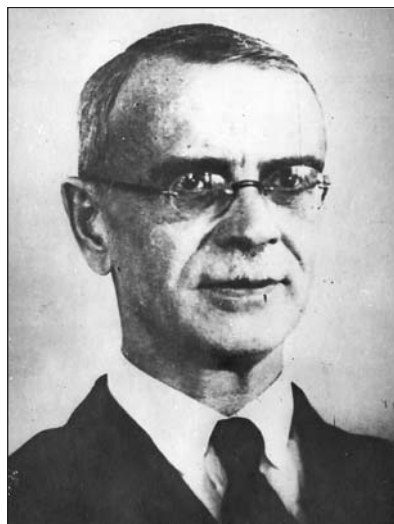
Тогда тот же Платонов публикует в 1965 г. статью в журнале «Октябрь», в которой пытается сохранить лысенкоизм на плаву. Он теперь уже не утверждает, что «реакционные тенденции, присутствующие вейсмано-моргановской генетике с момента ее возникновения, в настоящее время еще более усилились», а ратует за сближение мичуринского «синтетического» направления с «аналитическим» вейсмано-моргановским. Иными словами, желает продолжать ту демагогию, которая кормила деятелей его типа более 30 лет. В.Я.Александров повествует о реакции писателя В.Д.Дудинцева на тезис о «сближении»: «Правильно ли сказал Платонов, что эти два направления, как проходчики шахт, копали друг другу навстречу, чтобы где-то сомкнуться? Одни действительно копали шахту. Другие занимались иной деятельностью, которую я, в силу прозвучавшего здесь призыва к подбору выражений, не могу назвать» [5, с.218]. Вот, оказывается, где исторические истоки метафоры автора о «туннеле» навстречу друг другу.

* Но даже уже после того, как закатилась его звезда, Лысенко в письме президенту АН СССР 27 июня 1972 г. вполне недвусмысленно излагал свою позицию: «Я считал и считаю идеологически реакционными, антинаучными, теоретические взгляды вейсманизма во всех его проявлениях, в том числе и в теперешней вариации, именуемой молекулярной генетикой».

В тексте эссе есть риторический вопрос — как оценивать деятельность Лысенко «на весах». Автор перечисляет содержимое «негативной чашки» весов, о чем ранее писали историки биологии. Этот список поразителен (с.72—73), хотя в нем лишь часть деструктивных итогов деятельности Лысенко.

Автор книги согласен также с выводами историков, что Лысенко, будучи президентом ВАСХНИЛ и официальным главой сельскохозяйственной биологии активно противодействовал развитию генетики и несомненно повинен в ее разгоне в СССР после августовской сессии ВАСХНИЛ 1948 года, сказавшемся на других областях биологии и медицине. Перечисленного в книге «негатива», видимо, достаточно для судебного обвинения Лысенко в преступной халатности и использовании служебного положения для действий, нанесших большой урон стране. Именно такой иск в прокуратуру и подал в свое время бесстрашный генетик В.П.Эфроимсон.

Автор полагает, что сегодня *научное имя* Лысенко забыто незаслуженно и *намеренно* (с.90). Намек на какой-то сговор или заговор? Нет, это сама история все расставила на свои места. Курьезно и сетование, что в написанном Лобашёвым учебнике генетики (1967) взглядам и работам Лысенко уделено лишь четверть страницы. Михаил Ефимович совер-



Леонид Ипатьевич Говоров (1885—1941) — специалист по генетическим ресурсам зернобобовых, заведующий отделом зернобобовых ВИРа, научный руководитель Степной опытной станции в Воронежской обл. (с 1924 г.). Под его руководством станция стала базой для селекционно-семеноводческой работы, в частности гороха. Арестован 15 февраля 1941 г., расстрелян 27 июля 1941 г. на полигоне «Коммунарка» Московской обл.

шенно объективно оценивает место Лысенко в сокровищнице современной генетики.

Я не буду обсуждать последние разделы эссе, где автор дает оценку современных отношений власть—наука. Там есть интересные тезисы, с которыми вполне можно согласиться. Но это другая и сложная тема. Главная цель автора — *собрать воедино* факты о Лысенко, *провести разносторонний исторический анализ*, сообщить нечто новое *широкой российской общественности* и дать *трезвую оценку* деятельности Лысенко. Итог огорчает. К тому, что историки биологии знали о Лысенко, в книге не добавлено ничего нового. Зато высказаны положения, неадекватные реальным фактам, которые детально обсуждались историками биологии. В тезисе, что преследования генетиков и их разгром после сессии ВАСХНИЛ в августе 1948 г. со стороны Лысенко и его агробиологов были вызваны некими ошибками генетиков, автор явно

перешел «красную черту». Говоря метафорически, он повторил искушение поэта: «Розу белую с черной жабою / Я хотел на земле повенчать».

Такого рода помыслы у поэта, своего рода «сверхотдаленная гибридизация», «не сладились». То же самое можно сказать о книге Животовского «Неизвестный Лысенко». ■

Литература

1. Bateson W., Miers H.A. Science in Russia // Nature. 1925. V.116. P.681—683.
2. Вавилов Н.И. Речь на первом расширенном заседании Совета Института (Москва, Кремль, 20 июля 1925). <http://nsnb.ru/books/details/113>
3. Левина Е.С. Трагедия Н.И.Вавилова // Репрессированная наука / Ред. М.Г.Ярошевский. Л., 1991. С.223—239.
4. Ярошевский М.Г. Сталинизм и судьбы советской науки // Репрессированная наука. Л., 1991. С.6—33.
5. Александров В.Я. Трудные годы советской биологии. Записки современника. СПб., 1993.
6. Любищев А.А. В защиту науки. Статьи и письма / Ред. М.Д.Голубовский. Л., 1991.
7. Любищев А.А. О монополии Лысенко в биологии. М., 2006.
8. Медведев Ж. Взлет и падение Лысенко. История биологической дискуссии в СССР (1929—1966). М., 1993. С.348.
9. Сойфер В.Н. Власть и наука. История разгрома генетики в СССР. М.; Вашингтон, 2001.
10. Алпатов В.М. История одного мифа. М., 2004.
11. На переломе: Советская биология в 20—30-х годах / Ред. Э.И.Колчинский. СПб., 1997.
12. Гончаров Н.П. Организатор системы государственного сортоиспытания и выдающийся селекционер (130 лет со дня рождения В.В.Таланова) // Информационный вестник ВОГиС. 2002. №20. Статья 5.
13. Whyte R.O. History research in vernalization // Vernalization and Photoperiodism. A symposium / Ed. by A.E.Murneek and R.O.Whyte. Mass., 1948. P.1—37.
14. Roll-Hansen N. The Lysenko effect: The politics of sciences. NY, 2005.

Новости науки

Космические исследования

Загадки криосферы Венеры

Международная группа ученых из Франции, Бельгии, Германии, США и России впервые создала температурную карту криосферы Венеры, где обнаружена загадочный, пока неясной природы «теплый слой»*.

Венера — наша ближайшая соседка по Солнечной системе — схожа с Землей по массе и размерам, однако климатические условия на ней значительно отличаются от земных. Ее плотная атмосфера, на 96% состоящая из углекислого газа (CO₂), разогрета у поверхности до 500°C. На высотах 50—70 км планета полностью покрыта облаками из капель серной кислоты, образовавшихся в результате бурной вулканической активности в прошлом с выбросом серо- и хлорсодержащих частиц. Солнечные сутки здесь длятся 117 дней. Кроме того, на Венере нет смены времен года. Все это приводит к тому, что нагретая на дневной стороне надоблачная атмосфера успевает выхолаживаться в ночное время на высотах выше 90 км. Это образует на ночной стороне область криосферы с температурными значениями ниже -100°C. На Земле, кстати, таковой нет — у нас на этих высотах располагается термосфера, температура которой в нижнем слое составляет -50°C и растет с высотой.

В 2006—2015 гг. на околосолнечной орбите работал аппарат Европейского космического агентства «Венера-Экспресс», предназначенный для исследования состава, структуры и динамики надоблачной атмосферы планеты. Зонд был оснащен научными приборами, созданными при участии российских специалистов из Института космических исследований (ИКИ) РАН и французских ученых из Лаборатории атмосферных и космических исследований (Laboratoire Atmospheres, Milieux, Observations Spatiales — LATMOS). Данные о температуре криосферы получали с помощью ультрафиолетового канала прибора SPICAV (Spectroscopy for Investigation of Characteristics of the Atmosphere of Venus), работающего в диапазоне

120—320 нм, в котором проявляются поглощающие свойства молекул CO₂, O₃, SO₂. В криосфере Венеры их содержание можно измерить с орбиты методом так называемого звездного просвечивания.

Суть его состоит в следующем. SPICAV наблюдает за определенной звездой в тот момент, когда она скрывается за краем планеты. Свет звезды просвечивает атмосферу, ослабляется в ней за счет газовых и аэрозольных частиц и измеряется спектрометром. По этим данным определяют характеристики поглощения атмосферы, в частности концентрацию и плотность основного газа — CO₂. А затем, используя барометрический закон при условии локального термодинамического равновесия, можно получить температуру газа в каждом измеренном слое атмосферы. Так международная группа ученых, в которую с российской стороны входили сотрудники ИКИ РАН и Московского физико-технического института (МФТИ), в течение восьми лет наблюдений набирала статистику по вертикальному распределению температуры и в итоге построила температурную карту криосферы, покрыв ночное полушарие планеты в интервале высот 90—140 км.

Практически во всех сеансах наблюдений (а их было около 600) исследователи обнаружили, что на высотах 90—110 км атмосфера теплее на 20—40°C относительно общего тренда уменьшения температуры с высотой. Возможно, причина этого кроется в глобальной циркуляции атмосферы с дневной стороны на ночную, где охлажденная криосферой воздушная масса опускается до высот ниже 90 км, что может приводить к ее так называемому адиабатическому сжатию и нагреву. Любопытно: именно в данном слое на Венере планетологи недавно обнаружили озон (O₃), который образуется в результате рекомбинации атомов кислорода, пришедших сюда с дневной стороны. Распад же озона обусловлен реакциями с хлорсодержащими веществами, способными проходить с выделением тепла. Впрочем, эта версия менее вероятна, поскольку O₃ на Венере детектирован в очень малом количестве — на несколько порядков меньше, чем на Земле, — и его может быть недостаточно для выделения тепла в реакциях с хлором.

В начале 2015 г. зонд «Венера-Экспресс» перестал выходить на связь из-за истощения энергетических ресурсов. Уникальная космическая миссия завершилась, но еще в течение нескольких лет ученые будут анализировать накопленную за де-

* Piccialli A, Montmessin F, Belyaev D. et al. Thermal structure of Venus nightside upper atmosphere measured by stellar occultations with SPICAV/VenusExpress // Planetary and Space Science. 2015. Doi:0.1016/j.pss.2014.12.009i

вать лет статистику. Мы рассчитываем, в частности, обработать данные по содержанию в атмосфере оксидов серы (SO_2) — изучить их широтное распределение, а также суточные и годовые изменения. SO_2 — основной косвенный индикатор сегодняшней вулканической активности на Венере, прямых доказательств которой пока нет.

© **Беляев Д.А.**,
кандидат физико-математических наук
Институт космических исследований РАН
Москва

Геофизика

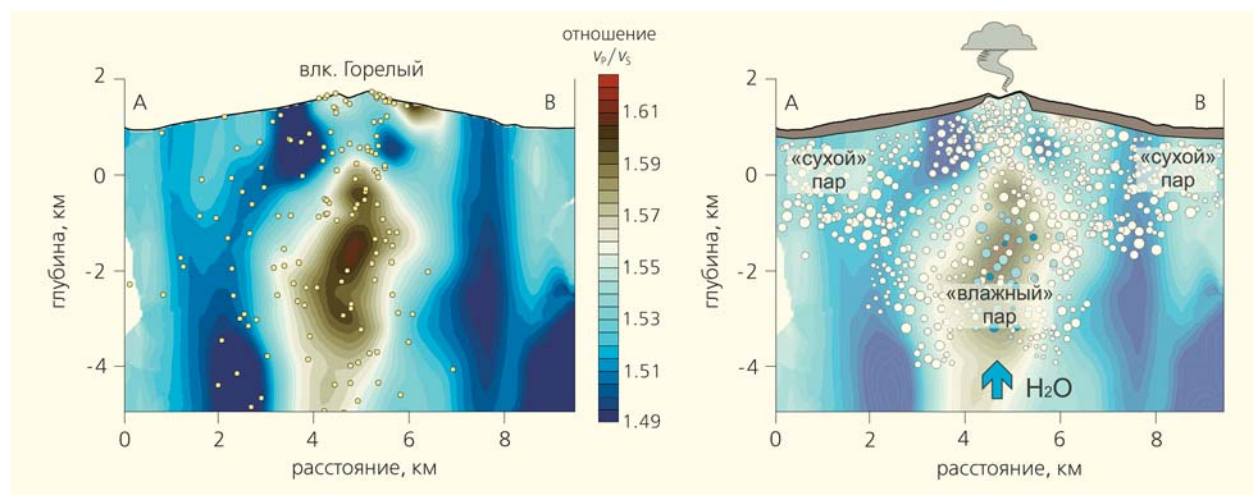
Паровая машина вулкана Горелый

Сотрудники Института нефтегазовой геологии и геофизики им.А.А.Трофимука СО РАН (г.Новосибирск) получили уникальные данные о сейсмическом строении вулкана Горелый. Расположенный в 70 км от Петропавловска-Камчатского, он относится к наиболее активным в Дальневосточном регионе. В последние столетия относительно небольшие излияния магмы здесь происходят регулярно с периодичностью 30—50 лет. Вместе с тем крупная кальдера с почти идеальной формой круга диаметром 15 км свидетельствует о катастрофическом извержении, произошедшем на вулкане около 40 тыс. лет назад, в результате чего на поверхность вырвалось примерно 100 км^3 пород. Если бы такое извержение произошло в наши дни, оно бы изменило климат планеты и существенно повлияло на жизнь всего человечества. В настоящий момент активность Горелого проявляется в постоянном выбросе газов из отверстия-фумаролы, расположенного в центральном кратере.

В 2013—2014 гг. новосибирские ученые при поддержке Института вулканологии и сейсмоло-

гии ДВО РАН и Камчатского филиала Геофизической службы РАН изучали внутреннее строение вулкана. С этой целью была организована экспедиция, участники которой установили на огнедышащей горе временную сейсмическую сеть. Ранее на Горелом работала только одна станция, еще две располагались на соседних вулканах Мутновский и Асача. Но такого количества было недостаточно для получения информации о структуре геологического образования. Во время экспедиции ученые смонтировали 22 станции, которые записывали трехкомпонентные колебания почвы в автономном режиме в промежутке от 6 до 12 мес. Среди сейсмических сетей, когда-либо использовавшихся для изучения вулканов, эта по плотности оказалась одной из лучших в мире. Исследователям повезло: в ходе работы сети Горелый проявлял весьма высокую активность, что позволяло регистрировать десятки и даже сотни событий в сутки. Используя времена прихода продольных (P) и поперечных (S) волн от локальных землетрясений, удалось определить их точные координаты, а также получить информацию о внутреннем строении вулкана.

С помощью метода сейсмической томографии (при наличии достаточного количества данных о временах прихода волн на станции) можно построить трехмерное распределение скоростей пробега P- и S-волн. Эти параметры, в свою очередь, отражают процессы, происходящие внутри Земли. Например, отношение скоростей P- и S-волн (v_p/v_s) может дать информацию о свойствах флюидов в поровом пространстве пород. Так, высокое значение v_p/v_s говорит о преобладании жидкой фазы, а низкое — сухого газа. Обычно в активных вулканах наблюдается доминирование жидкой фазы, вследствие чего среднее значение v_p/v_s определяется высокой величиной (1.75—2). В случае об-



Распределение отношения v_p/v_s на вертикальном сечении вкост вулкана Горелый и интерпретация. Слева точки показывают проекции землетрясений на профиль. Справа белыми кружками отмечены области, насыщенные «сухим» газом; голубые кружки — области с некоторым содержанием жидкой фазы, приводящей в повышению значения v_p/v_s .

работки данных по вулкану Горелый задание стартового значения v_r/v_s в этом диапазоне не приводило к устойчивому результату. Оптимальное решение было обнаружено благодаря случайности: по ошибке исследователи задали значение 1.5 вместо 1.75 и неожиданно получили стабильный результат. Низкое среднее значение v_r/v_s — четкий индикатор присутствия большой концентрации газов в недрах под вулканом. Вместе с тем непосредственно под кратером наблюдается область с относительно повышенными значениями этого параметра, что можно объяснить выносом по некоторому каналу горячей жидкости, преобразующейся в пар на глубине 2—3 км от поверхности вследствие декомпрессии.

Таким образом, на основании полученных сейсмических данных сделан вывод о том, что Горелый буквально надут газом и представляет собой огромный паровой котел. Выходу газов на поверхность препятствует прочный базальтовый покров, формировавшийся в течение тысяч лет в результате регулярных излияний лавы. Роль предохранительного клапана в этой системе играет единственная фумарола размером около 2 м, из которой ежесуточно выбрасывается примерно 11 тыс. т газов. Если по какой-то причине он окажется заблокированным, возникнет риск крупного взрыва.

Надо сказать, энергию этого «парового котла» уже используют на знаменитой Мутновской геотермальной электростанции, расположенной недалеко от вулкана Горелый. Несмотря на то что она находится на периферии главного сосредоточения газов, обнаруженного в ходе данного исследования, энергии пара, вырывающегося из нескольких скважин, достаточно для производства существенного количества энергии.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-17-000430).

© Кулаков И.Ю.,

доктор геолого-минералогических наук,

Кузнецов П.Ю.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики

им.А.А.Трофимука СО РАН

г. Новосибирск

Молекулярная биология

Маленькая люцифераза с большим будущим

Биолюминесценция — один из ярких примеров конвергентной эволюции, при которой внешне одинаковое явление свечения неродственных живых организмов обеспечивается разными молекулярными системами клетки. Сегодня ученые насчитывают около 40 вариаций биолюминесцентных систем, и, скорее всего, это число будет расти.

Сотрудникам лаборатории фотобиологии Института биофизики СО РАН (г.Красноярск) под руководством Е.С.Высоцкого удалось расшифровать молекулярные механизмы свечения ряда организмов. Недавно здесь при участии Сибирского федерального университета клонировали и описали люциферазу беломорского рачка *Metridia longa**. Этот представитель морского планктона размером до 1.2 мм при опасности выбрасывает, обескураживая хищника, светящееся облачко и «убегает» под его прикрытием. Люминесценция рачка обеспечивается несколькими секретуруемыми люциферазными изоформами различных свойств и температурных оптимумов активности. Это позволяет ему светиться одинаково ярко во время быстрой вертикальной миграции на глубине при температуре около -1°C и на поверхности, где вода может прогреваться до 20°C . Одна из таких изоформ, причем самая активная, оказалась и самой маленькой из известных науке люцифераз: ее размер не превышает 16.5 кДа (для зрелого белка).

Получить в условиях лаборатории люциферазу из *M.longa* в природной форме чрезвычайно трудно, поскольку в клетках кишечной палочки (*Escherichia coli*), традиционно используемых для синтеза белков такого типа, отсутствуют системы правильного созревания люциферазы *M.longa*. Проблема была решена, когда для синтеза этого белка стали использовать клетки насекомых. После очистки удалось получить препараты нативной люциферазы в количестве, достаточном для дальнейших исследований и планируемых работ по кристаллизации белка с целью установления его пространственной структуры.

Изученные свойства новой люциферазы *M.longa* (например, высокая активность и экстремальная термостабильность) открывают перспективу ее практического использования в качестве биолюминесцентного маркера не только *in vitro*, но и *in vivo*. Одно из преимуществ люциферазы — маленький размер, позволяющий снизить метаболическую нагрузку на клетку-хозяина при синтезе генетически кодируемого маркера.

Дело в том, что биолюминесцентные белки, обладающие уникальными свойствами (чувствительностью, сопоставимой с радиоизотопной меткой, широчайшим динамическим диапазоном регистрации активности и отсутствием токсичности) давно и эффективно применяют как высокочувствительные маркеры в биологических исследованиях, в частности, для визуализации внутриклеточных процессов. Практически все клонированные биолюминесцентные белки были опробованы

* Markova S.V., Larionova M.D., Burakova L.P., Vysotski E.S. The smallest natural high-active luciferase: cloning and characterization of novel 16.5-kDa luciferase from copepod *Metridia longa* // Biochem. Biophys. Res. Commun. 2015. V.457. P.77—82. doi:10.1016/j.bbrc.2014.12.082

в этом качестве, но поиски новых репортеров, в том числе путем совершенствования старых, продолжаются, поскольку известные на сегодняшний день пока далеки от совершенства. Поэтому в ближайшие планы лаборатории фотобиологии входят разработка различных практических применений люциферазы *M.longa* и улучшение ее свойств методом направленной молекулярной эволюции.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 14-14-01119).

© **Маркова С.В.**,
кандидат биологических наук
Институт биофизики СО РАН
г. Красноярск

Экология

Сорбент торфяной для ликвидации аварийных разливов нефти

Аварийный разлив нефти и нефтепродуктов — один из опасных источников загрязнения окружающей природной среды. К перспективным способам удаления углеводородов с водных поверхностей, как показывает мировой и отечественный опыт, следует отнести использование сорбционных и биосорбционных технологий, предусматривающих применение специальных нефтепоглощающих материалов (сорбентов). Сегодня мировая промышленность производит около 200 различных сорбентов — синтетических, природных неорганических и органических, органоминеральных и биологических. Их качество определяется главным образом емкостью по отношению к нефти, степенью гидрофобности (ненамокаемостью в воде), плавучестью после сорбции и возможностью утилизации. Немаловажную роль играет также экологическая безопасность средств локализации нефти, технологичность их изготовления и применения.

Сотрудники Сибирского НИИ сельского хозяйства и торфа (г.Томск) на основе экспериментальных данных доказали, что достаточной степенью универсальности свойств, отвечающих вышеперечисленным требованиям, обладает торф*. Вследствие своей структуры и наличия углеводородокисляющей микрофлоры он может служить как сорбентом нефтяных углеводородов, так и их деструктором. Сибирские ученые предложили способ очистки водной поверхности от нефтяных загрязнений торфяным сорбентом и в конце 2014 г. получили на это изобретение патент. Материал не

уступает, а по некоторым параметрам превосходит применяемые аналоги на органической основе, в том числе зарубежные.

Сорбент можно изготовить из любого торфа, но предпочтителен верховой, т.е. с низкой степенью разложения ($R = 5-10\%$). Для придания гидрофобных свойств его предварительно модифицируют путем высушивания при температуре $100-120^\circ\text{C}$ до образования необратимого коллоида. Такой продукт отличается повышенной сорбционной способностью: один его грамм может поглотить 6—10 г нефти. Другие природные органические сорбенты (активированный уголь, соломенная и камышовая сечка, древесные опилки, шелуха, гречиха, подсолнечник), а также природные неорганические (каолин, вермикулит, цеолит, перлит, асбестовое волокно, кварцевый песок) и органоминеральные (бурый уголь, сапропель) по нефтеемкости проигрывают торфу. Величина поглощения для первых составляет 0.5—2.7 г нефти/г сорбента, для вторых — 0.5—1.5, для третьих — 0.8—1.2.

Кроме того, наш сорбент обладает высокой селективностью по отношению к системе нефтепродукты—вода (95—98%). И по этому показателю он превосходит, например, широко применяемые сегодня синтетические материалы (поролон, каучуковую крошку, синтепон, нетканый материал), которые, несмотря на гидрофобность, с одинаковой интенсивностью поглощают и нефть, и воду. Торф же эффективно собирает именно нефтяной разлив с водной поверхности.

Сорбент торфяной в рассыпной или гранулированной форме наносят на загрязненную водную поверхность пневматическими либо механическими устройствами, при локальных разливах — вручную. Он насыщается нефтью до предельной величины в течение 5—10 мин и сохраняет плавучесть не менее 30 сут (для сравнения: природные неорганические сорбенты тонут вместе с нефтепродуктом). Удаляют его с помощью сетчатой ловушки. При этом срок консервации нефти в объеме сорбента, исключаяющий самопроизвольный ее сток, не ограничен.

В отличие от синтетических материалов, которые плохо разлагаются в природных условиях и требуют дальнейшей утилизации, торфяной экологически безопасен. При его производстве используют технологию, не нарушающую структуру торфа, поэтому такой продукт, отработанный на разливах, можно и дальше применять, например, в дорожном строительстве, при изготовлении топливных брикетов.

© **Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Сысоева Л.Н., Трунова Н.М.**

кандидаты химических наук,
Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
г.Томск

* Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., Стахина Л.Д. Исследование свойств торфа для решения экологических проблем // Химия растительного сырья. 2009. №3. С.157—160; Бурмистрова Т.И., Алексеева Т.П., Терещенко Н.Н., Стахина Л.Д. Роль микробных сообществ торфа в решении экологических проблем // Вестник ТГПУ. 2010. Вып.3. С.137—140.

Дело всей жизни

В.Н.Комаров,

кандидат геолого-минералогических наук

Российский государственный геологоразведочный университет им.С.Орджоникидзе
Москва

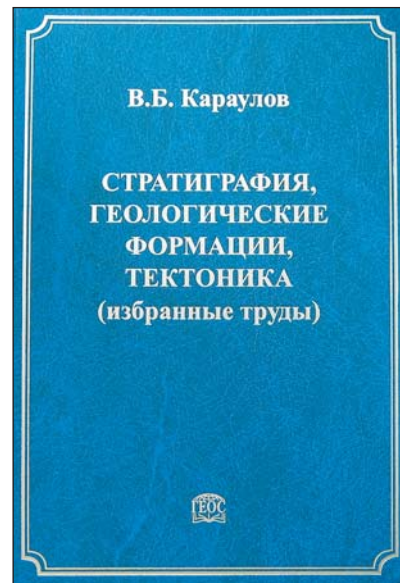
Круг вопросов, затронутых в избранных трудах известного геолога, профессора Российского государственного геологоразведочного университета Василия Борисовича Караулова, чрезвычайно широк. Он охватывает самые различные направления геологической науки. Рецензируемая книга включает предисловие и три крупных раздела: «Стратиграфия», «Геологические формации» и «Тектоника».

Публикации по стратиграфии, колоссальный фактический материал которых и послужил фундаментом при работе над теоретическими вопросами геологии, тектоническими и другими построениями, занимают в книге особое место. Стратиграфия — основа геологии. Все наши знания о геологическом строении отдельных участков, крупных регионов и целых материков базируются прежде всего на представлениях о составе и последовательности в образовании слагающих их толщ горных пород. От правильности и детальности используемых стратиграфических шкал зависят качество разномасштабных геологических карт и успехи решения с их помощью общенаучных и прикладных задач. В первом разделе подробно проанализированы особенности палеозойских отложений Западного Приохотья, Алтае-Саянской складчатой области, Южного Урала. Приведены сведения о соотношении нижнемеловых и плиоценово-четвертичных отложений вблизи горы Присяжной (Горный Крым), а также о разнообразии

четвертичных пород Бахчисарайского р-на.

Огромный интерес представляют проблемы общей стратиграфии. Среди них подробно описаны методические подходы выделения трансгрессивных и регрессивных комплексов в разрезах геосинклинальных толщ. Искусно охарактеризована роль историко-геологических методов в стратиграфических исследованиях. На примере девона изложены принципы возможности устанавливать и проследивать границы отделов и систем. Показаны разные способы совершенствования общей стратиграфической шкалы. Кроме того, здесь приводится информация об особенностях строения живецкого и франского ярусов в связи с проблемой границы среднего и верхнего девона, а также фаменских и турнейских отложений бывшего СССР. Особое внимание обращено на проблему границы девона и карбона. В книге дана и сравнительная характеристика периодичности развития девонских бассейнов в Северной Евразии.

Содержание второй части монографии отражает современные представления о геологических формациях. Автором подчеркнуты особенности структурной приуроченности девонских формаций в западной части Урало-Монгольского пояса. На примере этих отложений девона обсуждена иерархия парагенезисов горных пород. Даны структурно-формационный анализ и прогнозная оценка девонских рудоносных формаций северо-западной части



В.Б.Караулов. СТРАТИГРАФИЯ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМАЦИИ, ТЕКТОНИКА: Избранные труды.

М.: ГЕОС, 2015. 504 с.

Рудного Алтая. Очень поучительна статья «Геологические формации, структурно-вещественные комплексы, литодинамические комплексы (что стоит за сменой терминов)».

В заключительном разделе книги уделено внимание тектоническому и палеотектоническому районированию Урало-Монгольского и Тихоокеанского складчатых поясов, обобщены данные по эволюции представлений тектонического районирования Северной Евразии. Совершенно особое значение имеют вопросы теоретической геотектоники, включающие информацию о геотектонических концепциях, их эволюции, современном состоянии, перспективах и значении для изучения геологического строения конкретных регионов. По мнению автора монографии, описание конкретного исходного фактического материала должно быть отделено от предполагаемых генетических и историко-геологических интерпретаций, которые по своей природе не могут быть однозначными. Без существенного увеличения экспериментальной базы геологии (а это прежде всего детальное, скрупулезное изучение вещества и структуры конкретных разномасштабных геологических тел в процессе полевых геологических исследований) прорывы в ее теоретизации вряд ли возможны.

Завершает избранные труды статья «Новая геология. Достижения и потери (вместо заключения)». В ней с критических

позиций обсуждается работа Международной комиссии по стратиграфии по уточнению положения границ крупных подразделений Международной стратиграфической шкалы — геологических систем и их отделов. Василий Борисович справедливо считает, что принципы совершенствования шкалы, непосредственно отражающиеся на практике проведения геолого-съёмочных и других геологических исследований, особенно актуальны для России с ее огромными, еще далеко не достаточно изученными пространствами. Стратиграфическая служба России оставляет за собой право следовать российским геологическим правилам в стратиграфии и отечественной геолого-картировочной практике и не использовать Международную стратиграфическую шкалу в тех ее интервалах, терминологии и номенклатуре, которые недостаточно аргументированы и противоречат нашим традициям и практике.

Отдельно хотелось бы отметить хорошее полиграфическое качество издания. Приведенные в нем многочисленные оригинальные иллюстрации, вне всякого сомнения, позволяют лучше воспринимать излагаемый материал.

Книга Караулова написана в самых лучших традициях русской геологической школы. Она — результат многолетней неутомимой кропотливой деятельности автора на поприще геологии. Создать подобное ка-

питальное сочинение мог только увлеченный человек с широкими интересами и исключительной любовью к знаниям. В этом ему помимо высокого профессионализма, разностороннего геолога, безусловно, помог огромный опыт методической преподавательской деятельности.

Работы, отобранные для публикации, объединяет то, что они основаны на огромном количестве фактов, наблюдавшихся лично автором, а также тщательность проработки и всестороннее рассмотрение вопросов с проникновением в смежные разделы геологии. Все это с полным основанием позволяет использовать в качестве эпиграфа к данной книге слова «C'est que j'ai vu» («Это то, что я видел»).

Хотя в монографии приведены главным образом опубликованные ранее материалы, она написана с отчетливой перспективой на будущее. Основное ее назначение заключается не столько в изложении уже устоявшихся фактов, принципов и традиционных методов геологии, сколько в формулировании новых идей и задач, а также в подаче яркого комплексного анализа геологических проблем.

Выход этой книги — блестящего и глубокого очерка геологической науки — безусловно представляет собой заметное явление в жизни геологической общности страны. Читатели будут искренне благодарны автору за выполненный им огромный и полезный труд. ■

Правила для авторов

Журнал «Природа» публикует работы по всем разделам естествознания: результаты оригинальных экспериментальных исследований; проблемные и обзорные статьи; научные сообщения и краткие рефераты наиболее примечательных статей из научных журналов мира; рецензии; персоналии; материалы и документы по истории естественных наук. Поскольку статьи адресуются неспециалистам, желающим знать, что происходит в смежных областях науки, суть проблемы необходимо излагать ясно и просто, избегая узкопрофессиональных терминов и математически сложных выражений. Авторами могут быть специалисты, работающие в том направлении, тема которого раскрывается в статье. Без предварительной апробации научным сообществом статьи не принимаются, а принятые к публикации в «Природе» рецензируют-

ся и проходят редакционную подготовку.

Допустимый объем статьи — до 30 тыс. знаков (с пробелами). В редакцию статьи можно прислать по электронной почте прикрепленными файлами или на любом из следующих носителей: компакт-дисках CD-R или CD-RW; дисках DVD+R или DVD+RW; дисках Zip 100 Mb; на устройствах, поддерживающих USB. Для сжатых файлов необходимо представить свой архиватор. Самораспаковывающиеся архивированные файлы не принимаются.

Текст статьи, внутри которого библиографические ссылки нумеруются по мере цитирования, аннотация (на русском и английском языках), таблицы, список литературы и подписи к иллюстрациям оформляются одним файлом в формате MS с расширением doc, txt или rtf. Иллюстрации присылаются отдельными файлами. Если пере-

сылаемый материал велик по объему, следует архивировать его в формат ZIP или RAR.

Принимаются растровые изображения в форматах: EPS или TIFF — без LZW-компрессии. Цветные и полутоновые изображения должны иметь разрешение не ниже 300 dpi, черно-белые (B/W, Bitmap) — не менее 800 dpi. Принимаются векторные изображения в формате COREL DRAW CDR (версии 9.0—11.0) и Adobe Illustrator EPS (версий 5.0—8.0).

Редакция высылает автору статью для согласования только в виде корректуры. Все авторские исправления необходимо выделять цветом, курсивом, полужирным шрифтом и т.д. и не трогать формулы и специальные символы (греческие буквы, математические знаки и т.п.), в которых ошибки не допущены.

Поступление статьи в редакцию подтверждает полное согласие автора с правилами журнала.

Над номером работали

Ответственный секретарь

Е.А.КУДРЯШОВА

Научные редакторы

О.О.АСТАХОВА

М.Б.БУРЗИН

Т.С.КЛЮВИТКИНА

К.Л.СОРОКИНА

Н.В.УЛЬЯНОВА

М.Е.ХАЛИЗЕВА

О.И.ШУТОВА

А.О.ЯКИМЕНКО

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 19.05.2015
Формат 60×88 ¹/₈
Бумага офсетная. Офсетная печать
Усл. печ. л. 11,16. Уч. изд. л. 12,2
Тираж 410 экз.
Заказ 259
Цена свободная
Набрано и сверстано в редакции

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

www.ras.ru/publishing/nature.aspx

При использовании материалов ссылка на журнал «ПРИРОДА» обязательна.