

## ИССЛЕДОВАНИЯ И ОТКРЫТИЯ СЭРА ДЖ.Ч.БОСА

*Калидаса Наг*

*Джагдиси Чандра Бос (Джогодиси Чондро Бошу, бенгл.) (1858-1937) — весьма неординарное явление в науке. Его работы в биологии, в области физиологии растений фактически не имеют предшественников, они появились вне сложившихся к тому времени традиций научного исследования, но стали фундаментом новой научной методологии.*

*В нашей стране его работы пережили две волны популярности. Одна из них, прижизненная, пришла на 20-30 годы и связана с исследованиями раздражимости растений. Вторая, в 60-70 годы, отмечена изданием на русском языке двухтомника его трудов в серии «Классики науки»\* с научной биографией и обстоятельным комментарием. Это издание было встречено с большим интересом, который объяснялся, пожалуй, не только содержанием издания, но и состоявшейся «оттепелью» в «советской» биологии и возрождением «советской» биофизики.*

*К нетрадиционным по форме и содержанию работам Боса не подходит определение «классические». Они наполнены личностью исследователя, они романтически. В них действительно есть то, что в статье Калидасы Нага названо «метафизическими спекуляциями». В научно-популярной литературе работы Боса цитируют с целью поразить воображение читателя (и достигают цели). В академических изданиях его цитируют в трудах по биофизике, электрофизиологии. И если Бос не имеет предшественников, то последователей он определенно имеет, хотя, возможно, не все из них это осознают.*

*Со времени окончания активной научной деятельности Дж.Ч.Боса прошло 60 лет, со времени выхода в свет двухтомника — 30 лет. Публикуемая статья была написана сотрудником Института им. Дж.Боса в Калькутте (Индия) Калидасой Нагом в 1934 году для IV тома журнала «Урусвати», который так и не увидел свет. За это время оценка роли и места Боса в науке могла несколько измениться, хотя, на наш взгляд, он так и остался в некотором смысле «неклассическим классиком» науки.*

*Некоторые проблемы, поднятые или поддержанные им, следует сегодня считать несуществующими или причислить их к категории научных легенд. Это, прежде всего, проблема подъема воды в растениях на высоту 150 метров,*

---

\* Дж.Ч.Бос. Избранные труды по раздражимости растений. В двух томах. М., Наука, 1964.

якобы необъяснимая с точки зрения физики. Этот «парадокс» имеет в основе некорректные модельные представления о структуре водопроводящих тканей растений. Тем не менее, он удивительным образом вот уже многие десятки лет кочует по страницам научной и научно-популярной литературы. Из него выросла гипотеза о существовании «промежуточных двигателей», призванных обеспечить «пропульсивную» (проталкивающую, перистальтическую) поддержку восходящему току воды. В русле этой проблемы велись поиски «сократительных» белков растения. Эти работы не достигли (и не могли достичь) намеченных целей.

Один из обнаруженных Босом феноменов, который он рассматривал в качестве свидетельства «пропульсивной деятельности» растения, получил иное толкование. Это феномен автоколебаний. Сейчас накоплено много экспериментальных данных о существовании в неповрежденных растениях синхронных колебаний самых различных физиологических характеристик. Причем не на малознакомых нам экзотах, а на «обычных» растениях пшеницы, томата, фасоли и др. Однако, ни одна из моделей, объясняющих механизм явления, не предусматривает наличие «промежуточного» двигателя, несмотря на то, что было обнаружено явление автоколебаний потока воды, синхронных с пульсациями толщины побега растения. Пульсации толщины признаны не причиной, а следствием колебаний водного потока. Идея Боса не получила развития.

С другой стороны, «с легкой руки» Дж.Ч.Боса широкое распространение получили исследования биоэлектрических явлений в растениях в русле проблемы «токов действия» и связанные с этим многие биофизические исследования различной категории сложности. В этой области науки он стал «полноценным» классиком, поскольку и биофизика сегодня — наука классическая.

Существует еще одна важная, но малообсуждаемая научная тема, впервые затронутая именно Босом и представляющая большой методологический интерес. Это соотношение формы и функции. Всякая сложная система (в том числе и растение) может быть полно описана только с использованием признаков двух категорий: 1) формы, структуры, состава, содержания и 2) функции, поведения, интенсивности, обмена. При использовании признаков только одной категории описание не будет достаточным. Это проблема системного анализа. Именно Бос отметил, что в науке о растении бытует повышенное внимание к форме и отсутствует внимание к функциям.

Отголоски этой ситуации сохраняются и по сей день. В самом деле, существуют гербарии, анатомические атласы, коллекции семян, данные о химическом составе растений и другие банки данных формы, структуры растений. Но отсутствуют банки данных о функциях растений. Мы знаем, как выглядели растения каменноугольного периода, но можем только предполагать, какой у них был газообмен или расходование воды. И если сегодня не ведется работа по формированию таких банков, то завтра при изменении климата мы не сможем правильно оценить тенденции изменения функций растений, от которых зависит жизнь на Земле.

Однако, вернемся к теме. Дж.Ч.Бос создал первые настоящие устройства для исследования функций растений.\* Это средства регистрации роста и движений растений, электрической активности органов, регистратор фотосинтеза.

Сейчас арсенал средств мониторинга функций растений значительно шире и сформировалась методология фитомониторинга — системного исследования растения с помощью специального инструментария и с использованием компьютерной техники. Идейным же отцом и предтечей этой методологии можно считать Дж.Ч.Боса. И следует отмечать его существенный вклад не только в копилку позитивных знаний, но и в копилку научных идей.

В заключение хочется отметить чрезвычайную привлекательность его формулировок идеалов научной деятельности, которая приобретает особый смысл при ее проецировании на реалии нашей сегодняшней жизни.

Санкт-Петербург,  
28.XI.1995

Предисловие и публикация  
С.С.Радченко



История науки знает не так много примеров, когда бы работа одного исследователя оказала такое огромное влияние на различные отрасли знания, как научная деятельность сэра Джагдиша Чандра Боса. Его научный вклад способствовал развитию не только физической, но также и биологической науки. Также и в сфере прикладных наук, по мнению компетентных специалистов, открытия ученого таят в себе большие возможности для будущего. Его жизнь, его неустанная борьба и выдающиеся достижения могут служить источником вдохновения для тех, кто намеревается посвятить себя великому делу науки.

Следует иметь в виду, что, когда Бос начинал свои исследования, считалось, что индийцы склонны только к метафизическим спекуляциям и поэтому не способны внести сколько-нибудь существенный вклад в копилку позитивных знаний человечества. Этот предрассудок впервые был поставлен под сомнение, когда в лаборатории Боса были проведены новаторские по тем временам работы по точному определению свойств электрических волн и созданы специальные приборы для их регистрации. Ученый пришел к выводу, что воздействие этих волн не всегда вызывает уменьшение сопротивления металлических частиц вследствие их «слипания». Наоборот, он показал, что существуют такие вещества, которые

---

\* Пожалуй, самыми первыми устройствами подобного назначения следует считать ауксанографы Сакса и Баранецкого.

обнаруживают увеличение сопротивления, а вслед за изменением сопротивления часто происходит автоматическое восстановление его первоначальной величины. Эти наблюдения позволили ему сформулировать теорию молекулярных изменений, вызываемых в материи воздействием электрического излучения, аналогично воздействию света на фотографическую пластинку.

С помощью аппаратуры собственного изобретения, высоконадежной в работе, он смог выполнить точные измерения оптических свойств электрического излучения, среди которых можно назвать:

- (1) точное определение показателя преломления различных веществ, непроницаемых для видимого света, через величину угла полного внутреннего отражения;
- (2) влияние толщины воздушной пленки на частичное или полное отражение;
- (3) двойное преломление и поляризация электрического луча в обыкновенных кристаллах;
- (4) двойная проводимость веществ с двойным преломлением;
- (5) поляризация в различных волокнистых материалах;
- (6) поляризация, вызываемая неравномерными деформациями в материалах;
- (7) правое и левое вращение плоскости поляризации в результате скручивания материала в противоположных направлениях;
- (8) появление «темного креста» в поле электрического излучения.

Эти важные открытия привели Индию, можно сказать, к международному признанию в деле расширения сферы человеческих знаний. Работа Боса получила высокую оценку лорда Кельвина, отметившего, что такие несомненные успехи в столь трудной для исследований области вызвали у него чувства самого искреннего удивления и восторга. По поводу выдающихся открытий в области электрического излучения сэра Дж.Дж.Томпсон, один из величайших физиков нашего века, сказал: «Они знаменуют зарю возрождения в Индии интереса к исследованиям в области физических наук, что было особенно заметно в последние тридцать лет, главным образом, благодаря деятельности и влиянию сэра Джагадиша Боса».

В процессе исследований электрических волн Бос изобрел свой галенитовый приемник, ставший предвестником различного рода кристаллических детекторов. Галенитовый приемник обладает уникальным свойством, являясь универсальным радиометром, способным восприни-



мать волны самого широкого диапазона эфирного спектра. Некоторые характеристики галенитового приемника привели Боса к открытию периодических изменений бинокулярного человеческого зрения.

Интересно отметить, что тщательное исследование влияния электрического излучения на неорганические приемники позволило ученому сделать выводы о едином характере проявления феномена жизни. Одним из вставших перед ним вопросов был следующий: является ли природа Хаосом, или это Космос, в котором должны наблюдаться последовательность и непрерывность развития? И еще — как впервые появилась на Земле жизнь? Как мы теперь понимаем, жизнь не могла существовать, когда Земля была массой горячей расплавленной материи. Высказывались предположения, что семя жизни было занесено на Землю с космической пылью, но это означало бы просто перенесение проблемы происхождения жизни в глубь Вселенной.

#### *Ответные реакции в живой и неживой материи*

Исследования Боса показали, что неорганическая материя не является абсолютно инертной, а способна реагировать на внешние раздражители. Она способна испытывать усталость при чрезмерных нагрузках и восстанавливать свои свойства после некоторого периода «отдыха». Многие внешние факторы могут вызывать усиление ответной реакции, в то время как некоторые ядовитые вещества полностью убивают способность реагировать на внешние раздражители. Таким образом, исчезает четкая граница между живой и неживой материей и обнаруживается сходство в ответных реакциях обоих ее видов. Можно сказать, что сама материя обладает потенцией жизни и что в некоторые критические периоды истории Земли окружающие условия могут оказаться благоприятными для появления живых организмов из неживого вещества. И значит, оказывается, имеет место эволюция от простой неорганической к живой материи, отличающейся большим внутренним разнообразием и сложностью, что можно видеть в высших формах животной жизни.

#### *Механизм жизнедеятельности животных и растений*

После открытия ответной реакции у неорганической материи вполне естественно, что внимание Боса было направлено на изучение жизненных реакций у промежуточного класса растений, в строении

которых можно было предположить наибольшее сходство с организмами животных. Согласно распространенным в то время представлениям, механизмы жизнедеятельности двух разных видов живой материи существенно отличаются друг от друга. Считалось, что эти два потока жизни текут параллельно, имея между собой очень мало общего. И хотя, действительно, растения в своей неподвижности и бесстрастности являют собой сильный контраст по сравнению с энергичными животными с их рефлекторными движениями и пульсирующими органами, тем не менее, одни и те же внешние условия, изменения которых оказывают такое существенное влияние на животных, не оставляют без определенного изменения и растения. Но как велико это воздействие? Внутри растений должны происходить какие-либо внутренние изменения, но наш глаз не способен их увидеть.

Великое множество трудностей лежит на пути исследователя в его попытках разгадать секреты внутренней жизнедеятельности растительной жизни. Возникают они, главным образом, по следующим причинам:

(а) недостаточная эффективность средств, позволяющих выявить внутренние изменения в растениях в результате изменения внешних условий;

(б) отсутствие достаточно чувствительных устройств для регистрации невидимой внутренней жизнедеятельности растений;

(в) приписывание неоправданно большой важности форме и недооценка значения функции органа.

Что касается первого вопроса, то Бос пытался сделать само растение красноречивым рассказчиком о своей таинственной внутренней жизни. Он подвергал растение серии испытательных воздействий одинаковой интенсивности и одновременно находил способы, позволявшие растению автоматически регистрировать свои ответные движения. Характер записей позволял получить надежные показания нормальной возбудимости растения и ее изменений, вызываемых внешними причинами. Так, из этих записей видно, что в состоянии повышенной возбудимости амплитуда ответных колебаний чрезвычайно велика, тогда как в угнетенном состоянии такое же внешнее воздействие вызывает очень слабую ответную реакцию.

Относительно второго вопроса можно сказать, что поскольку многие ответные реакции происходят в темных глубинах растения, то необходимо регистрировать пульсации мельчайших кусочков живой материи. Когда мощности микроскопа не хватает, приходится продолжать

исследования в области невидимого. Эти трудности удалось преодолеть с изобретением и созданием в институте Боса многочисленных приборов чрезвычайно высокой точности и чувствительности. В качестве типичного примера можно привести магнитный крескограф, регистрирующий движения, недоступные самому мощному микроскопу. Степень его увеличения достигает многих миллионов раз. Первое время этому отказывались верить, поэтому была назначена проверочная комиссия, состоявшая из ведущих членов Королевского общества, среди которых были лорд Рэлей, сэр Уильям Брэгг, профессор Бейлис, профессор Доннан и другие. Они полностью убедились в прекрасной работе аппаратуры и засвидетельствовали, что «изменения размеров тканей регистрируются прибором правильно с увеличением в десять миллионов раз и записи дают возможность оценить действительную величину ответной реакции живых тканей на внешние раздражители».

В институте изобрели и изготовили также много других приборов, оказавших неоценимую службу в обнаружении и регистрации ответных реакций растений. Резонансный регистратор автоматически отмечает время в одну тысячную секунды и позволяет с предельной точностью определить скрытый период — период восприятия и скорость передачи возбуждения по проводящей ткани. Фитограф — единственное в своем роде устройство для регистрации скорости подъема сока и ее изменения. Регистратор сверхмалых сокращений измеряет величину сокращения одной клетки живой ткани в ответ на внешнее воздействие. Регистратор перистальтики позволяет следить за прохождением волн сжатия и растяжения в некоторых органах. Регистратор фотосинтеза автоматически записывает на вращающийся барабан скорость усвоения растением углерода и влияние изменения внешних факторов на эту скорость. Этот прибор настолько чувствителен, что позволяет отмечать образование карбогидрата массой в одну миллионную грамма. Эти и другие приборы, созданные специально, позволили впервые увидеть внутреннюю жизнь растений, о многих сторонах которой невозможно было даже подозревать.

Как уже говорилось, главной причиной длительной устойчивости широко распространенных заблуждений о существенном различии растительной и животной жизни было повышенное внимание к форме и незаслуженное пренебрежение значительно более важными функциями органов.

### *Форма и функция*

Каждый орган живого существа является инструментом, выполняющим определенную функцию для пользы всего организма. При изучении физиологии жизненных процессов нас в первую очередь интересуют исследования функций органов. Это ясно видно на примере сравнительного изучения различных типов пищеварительных органов, основной функцией которых является расщепление нерастворимой органической пищи ферментами, которые вырабатываются специальными железами, и последующее усвоение расщепленного вещества. Листья росянки (*Drosera*) покрыты усиками, выделяющими вязкий кислый фермент. Насекомые прилипают к поверхности листа, и в возникающей при этом борьбе соседние усики наклоняются к жертве и удерживают ее еще крепче. После этого растение переваривает и усваивает насекомое, оставляя только его нерастворимый скелет. Трудно представить что-либо столь непохожее на более сложный желудок животного с его внутренней активной поверхностью, как этот простейший тип открытого пищеварительного органа. Тем не менее, функционально он является пищеварительным органом. У венериной мухоловки, или дионеи, ловушка образована двумя половинками открытого листа и похожа на широко открытый рот, который захлопывается, как только внутри него окажется жертва — неосторожное насекомое. Имеющий форму кувшина пищеварительный орган непентеса в значительно большей степени напоминает желудок животного.

Мир растений дает уникальную возможность изучения постепенных изменений, в нем наблюдается переход от простого примитивного органа к более сложным формам. Важность подобных сравнений заключается в том, что, когда станет очевидным принципиальное единство физиологического механизма жизнедеятельности всех живых существ, то результаты исследований (организации простого типа растений) смогут позволить найти решение многих серьезных проблем значительно более сложной жизни животных.

### *Единство форм жизни*

Для того, чтобы показать принципиальное сходство физиологических процессов у растений и животных, необходимо сказать несколько слов о некоторых характерных особенностях животных тканей. В различных случаях эти ткани могут проявлять следующие свойства:



(1) сокращаемость, благодаря которой осуществляются ответные движения как реакция на внешний раздражитель;

(2) проводимость, или способность передачи возбуждающего импульса, вызывающего движение соответствующего удаленного моторного органа;

(3) пульсирующие движения, происходящие автоматически;

(4) пропульсивная деятельность, благодаря которой происходит циркуляция питательных веществ.

Приведенные выше свойства представляют собой важные характерные особенности некоторых животных тканей, и вопрос в том, можно ли их найти у соответствующих тканей растений.

### *Чувствительность растений*

Растительный мир был произвольно разделен на обыкновенные и чувствующие растения, последние из которых ограничивались небольшой группой, главным образом состоящей из различных видов мимозы. Подушкообразные ткани этих растений при внешнем воздействии сокращаются, что вызывает опускание листа. Это означает, что ткани «подушечек» функционально соответствуют мышечным тканям животных. Большинство же растений считаются лишенными чувствительности, поскольку они не проявляют какой-либо механической реакции в ответ на внешнее воздействие. Но механическая реакция не является единственным критерием чувствительности органа. В своей работе «Сравнительная электрофизиология» Бос показал, что каждое растение и каждый его орган обладают чувствительностью и реагируют на внешние раздражители возникновением электрического потенциала, аналогично тому, как это происходит у животных. Электрическая реакция является характерным свойством живой ткани, поскольку высокой возбудимости соответствует большая амплитуда реактивных движений, в то время как у мертвой ткани электрическая реакция отсутствует полностью.

Отсутствие механической реакции на внешнее воздействие у обыкновенных растений происходит по причине взаимно нейтрализующих движений на противоположных сторонах органа. Однако, с помощью своего регистратора сверхмалых сокращений Бос показал, что даже у обыкновенных растений каждая клетка испытывает сокращения. Чувствительность таких растений часто не уступает чувствительности человека. Свойством сокращаться обладает именно живая ткань. Это

подтверждается тем фактом, что после пропускания через растение электрического тока ответная реакция ткани полностью прекращается.

### *Проводимость возбуждения через ткани растений*

Взаимосвязь и взаимодействие между различными органами у животных осуществляется с помощью особых проводящих тканей, называемых нервами. Раньше отрицалась сама возможность существования подобных тканей у растений. Трудность разрешения этой проблемы объяснялась отсутствием какого-либо способа автоматической регистрации скорости прохождения импульсов через растения. Преодолеть эту трудность удалось благодаря созданию резонансного регистратора, в котором использовался новый принцип регистрации предельно коротких интервалов времени. Такой принцип основан на возникновении резонансных колебаний, примером которых может служить вибрация скрипичной струны, вызываемая звучанием другой струны, точно настроенной на частоту первой. В резонансном регистраторе записывающее устройство имеет точную настройку на частоту вибрирующего язычка. Она позволяет перу самописца оставлять на ленте ряд точек, интервалы между которыми можно сделать равными одной десятой, сотой или тысячной доле секунды. Этим способом была измерена скорость в толстых черешках вида *Mimosa pudica*, составляющая примерно 30 мм/сек, тогда как в тонких черешках она может достигать до 400 мм/сек. Таким образом, скорость прохождения импульсов в тканях растений хотя и ниже, чем у высших животных, но все же выше, чем у низших животных. Тот факт, что прохождение импульса у растений и животных весьма сходно, был продемонстрирован Босом в следующих убедительных опытах.

(1) Импульс возбуждения создавался при помощи дискриминирующего полярного действия постоянного по величине тока замыканием катода там, где ток выходит из ткани, и размыканием анода там, где ток входит в ткань.

(2) В обоих случаях импульс можно остановить созданием на его пути физиологического препятствия, например: (а) сильный холод; (б) анестезирующие вещества, такие как хлороформ; (в) ядовитые растворы, такие как цианистый калий.

(3) Наиболее впечатляющим из этих опытов было создание электронного препятствия для остановки импульса. Эта остановка продолжалась

только во время прохождения электрического тока, однако после прекращения действия тока проводимость ткани полностью восстанавливалась.

Эти опыты позволяют сделать следующее заключение: на проводимость импульса в тканях растений можно оказывать влияние подобно тому, как и в нервах животных. Физиологические механизмы проводимости в обоих случаях в сущности своей аналогичны.

#### *Автоматические пульсации*

Одним из наиболее загадочных явлений, связанных с жизнедеятельностью, можно назвать автоматические пульсации в сердечных мышечных тканях животных, в которых вслед за быстрым систолическим сокращением происходит относительно более медленное диастолическое расширение. Хотя такие автоматические движения принято считать связанными с животной жизнью, тем не менее, Бос показал, что аналогичную по своей сущности деятельность можно наблюдать у листиков растения *Desmodium gyrans*. Наблюдение стало возможным благодаря созданию регистратора колебаний, специально сконструированного для этой цели. Как и в пульсациях сердечной ткани, в пульсациях листиков *Desmodium* систолическая фаза короче диастолической. Понижение температуры замедляет, а повышение увеличивает скорость пульсаций как у животных, так и у растений. Различные химические вещества — углекислый газ, эфир, хлороформ и другие оказывают сходное влияние на оба типа пульсаций. Кроме того, если одни химические вещества вызывают остановку пульсаций во время систолического сокращения, то другие — во время диастолического расширения. Аналогичные явления можно наблюдать и при пульсациях в тканях листиков *Desmodium*. Эти результаты со всей убедительностью доказывают принципиальное единство механизмов пульсаций у животных и растений. Но остается неясным вопрос — можно ли считать эти пульсации случайными или генерированными?

#### *Непрерывный переход от серии импульсов к автоматическим пульсациям*

Эксперименты Боса, проводимые с листиками биофита (*Biophytum sensitivum*) проливают новый свет на явление так называемого автоматизма. Он показал, что если единичный возбуждающий импульс средней

интенсивности вызывает у этого растения также единичный ответный импульс, то в ответ на более сильный внешний импульс растение реагирует серией из нескольких импульсов. Длительность этого процесса зависит не только от силы, но и от продолжительности предыдущего воздействия, т.е. от количества сообщенной ткани энергии. Становится очевидным, что часть этой энергии накапливается в ткани и сохраняется в скрытом состоянии, чтобы затем найти выход в виде серии импульсов. Именно биофит можно рассматривать в качестве связующего звена между растениями с обыкновенной и автоматической реакциями.

Наблюдения за биофитом, растущим в благоприятных условиях на открытом воздухе, показали, что растение подвергалось воздействию различных факторов, таких как тепло, свет, механическое воздействие потоков воздуха и воздействие различных химических веществ, содержащихся в растении или поглощаемых им. Таким образом, в результате совокупного воздействия всех источников возбуждения, накопленная растением энергия становится достаточно большой, чтобы вызвать длительное перевозбуждение, во время которого ритмическая активность растения производит впечатление автоматической.

Если так называемые «автоматические движения» действительно вызываются избытком накопленной в тканях энергии, то с ее истощением проявляющийся характер автоматической реакции *Desmodium* превратится в растение с обыкновенной реакцией. Бос проверял справедливость этого вывода, вызывая остановку пульсаций в тканях растения после истощения накопленной в них энергии, когда он помещал растение в темноту на длительный срок. В таком «успокоенном» состоянии слабые воздействия вызывали единичный ответный импульс, тогда как в результате более сильного воздействия имела место серия ответных импульсов. После повторного получения достаточного количества энергии извне листики *Desmodium* вновь обретали свойство автоматического действия.

*Пропульсивная деятельность  
растительных тканей для подъема соков*

До недавнего времени не было дано удовлетворительного объяснения механизма подъема соков в стеблях и стволах растений. Общее мнение сходилось к тому, что это в первую очередь физический, а не биологический процесс. Было принято считать: движение сока происходит благодаря разрежению вверху, создаваемому в результате испарения



с поверхности листьев, и напору снизу под действием таинственного «корневого давления». Предполагалось, что поверхностное испарение создавало частичное разрежение, позволявшее соку подниматься под действием атмосферного давления. Но в гигантских эвкалиптах сок поднимается на высоту до 150 метров, а это во много раз превышает высоту «водяного столба» (10 м). Так называемым «корневым давлением» тоже нельзя объяснить подобное явление, поскольку подъем сока продолжается даже после удаления корней.

Исследования Боса показали, что одним из важнейших факторов в механизме подъема сока является пропульсивная деятельность живых клеток некоторых тканей растений. В своих исследованиях он использовал оригинальный способ регистрации распрямляющего движения листа, свернувшегося от засухи. Подъем соков вызывает распрямление листа. Изменение скорости распрямления позволяет судить о нормальной пропульсивной деятельности и возможных отклонениях. Для одного из самых типичных своих экспериментов он использовал срезанные до определенной степени завявшие листья люпина. Поверхность листьев была покрыта вазелином, чтобы предотвратить испарение. В специально созданных условиях эксперимента не было ни испарения, которое могло бы вызвать всасывание в результате создаваемого частичного разрежения, ни корней, чтобы исключить возможность давления снизу. Тем не менее, когда срезанные концы листьев погружали в стимулирующий раствор, завявшие листья распрямлялись с невероятной быстротой, причем это ускорение подъема происходило благодаря повышенной пропульсивной деятельности под влиянием стимулирующего реагента. Действие ядовитого раствора, в который погружался конец распрямленного листа, носило совершенно иной характер, оно вызывало гибель листа. Эти эксперименты дают убедительное доказательство биологического характера описанного явления. Они также свидетельствуют о том, что одним из самых важных факторов, вызывающих подъем соков, является пропульсивная деятельность живой ткани, когда сок прокачивается от клетки к клетке. Для чисто физических сил существует предел высоты подъема воды. Но нет предела для транспортировки сока «клеточными насосами», действие каждого из которых аналогично работе продолговатого трубчатого сердца низших животных.

Кроме демонстрации принципиального сходства ответных реакций растений и животных, Бос провел множество других исследований жизни растений, о некоторых из которых будет рассказано ниже.

### *Рост и тропизмы*

Огромные трудности получения точных результатов в исследованиях феномена роста растений объясняются чрезвычайно низкой его скоростью и влиянием многочисленных факторов на ход самого процесса. Средняя скорость роста составляет около  $1/40.000$  см/сек — это вдвое меньше длины волны света, излучаемого при горении натрия. Для точного определения степени воздействия какого-либо фактора на скорость роста необходимо сохранять строго постоянными все остальные внешние условия на всем протяжении эксперимента, но в действительности это удается осуществлять не более, чем несколько минут. Таким образом, результаты экспериментов, требующих для своего проведения нескольких часов, могут претерпевать значительные искажения.

Единственным удовлетворительным методом был бы тот, который позволял бы сократить время эксперимента до нескольких минут, что, однако, требует создания специальных приборов. Босу удалось это сделать, создав несколько таких устройств высочайшей точности и чувствительности. Его крескограф позволял регистрировать проходящие в тканях процессы, давая увеличение в 10 000 раз. Как уже упоминалось, степень увеличения была во много раз повышена и доведена более чем до десяти миллионов раз с помощью магнитного крескографа. Дополнительное устройство, основанное на методе баланса, увеличило чувствительность регистрации роста еще больше. В основе этого метода лежит тот факт, что удлинение ткани вверх точно компенсируется равным ему по величине движением растения вниз. Внешнее воздействие нарушает баланс, вызывая ускорение или замедление скорости роста.

Полученные результаты указывают на чрезвычайную сложность характера воздействия приведенных здесь факторов, о которых раньше даже не приходилось подозревать. Среди этих факторов можно назвать следующие:

(1) интенсивность воздействия — сильное воздействие вызывает замедление роста, тогда как слабое воздействие имеет обратный эффект, т.е. ускорение роста;

(2) точка приложения воздействия — прямое воздействие вызывает замедление, а не прямое воздействие (т.е. приложенное на некотором расстоянии от наблюдаемого участка) — ускорение роста;

(3) общий тонус органа — орган в состоянии пониженного тонуса реагирует на внешнее воздействие увеличением слабой скорости своего

роста; в предельных случаях в состоянии полного покоя такое воздействие дает толчок росту живых тканей органа. Следует помнить, что орган в состоянии нормального тонуса реагирует замедлением своего роста.

Что касается влияния на рост живых тканей различных газов и паров, то, как выяснилось, при помещении растущего органа в углекислый газ, пары эфира или в хлороформ, сначала происходит ускорение, а при длительном воздействии — замедление роста или даже активное сжатие. В состоянии полного покоя пары эфира и хлороформа оживляют рост, что, возможно, дает объяснение действию анестезирующих веществ, способствующих усилению роста спящих зимой почек.

Тропизмы. Как явствует из проведенных опытов, причина их заключается в неравномерном влиянии одностороннего воздействия на растущий орган, когда сторона близкого или прямого воздействия испытывает замедление, в то время как сторона непрямого воздействия — ускорение роста. В этом состоит характерная особенность и основная причина различных видов тропизма.

#### *Усвоение углерода*

Непрерывная жизнедеятельность требует постоянного расхода энергии, которая прежде должна быть накоплена в организме. Растение, благодаря наличию в его тканях хлорофилла, способно поглощать кинетическую энергию солнечных лучей, сохраняя ее в скрытой форме химической энергии. Этот процесс известен под названием фотосинтеза. Для точного количественного изучения этого явления необходимо создать устройства для измерения нормальной скорости его протекания и возможных отклонений при изменении внешних условий. Это стало возможно благодаря изобретению и созданию в институте Боса регистратора фотосинтеза. В результате своих исследований Бос смог сформулировать основные законы фотосинтеза. Он также выявил интересную особенность: присутствие некоторых химических веществ в ничтожнейших количествах вызывало значительное повышение интенсивности усвоения углерода. Это явление представляет особый интерес, поскольку оно позволяет нам понять влияние витаминов в мельчайших количествах на весь процесс накопления энергии, и гормонов — на физиологическую реакцию.

*Влияние этих открытий  
на развитие знаний о физиологии растений*

Открытия Боса показали все недостатки существовавших прежде представлений о некоторых важных функциях растительной жизни. Перед авторами многих книг и учебников, взгляды которых были поставлены под сомнение, работы Боса открыли более широкий аспект понимания природных явлений. Дополнительные препятствия на пути повсеместного принятия нового учения и мировоззрения возникали по причине трудности демонстрации в зарубежных странах замечательных результатов, полученных с помощью целой серии чрезвычайно чувствительных приборов, созданных Босом. Несколько его научных поездок на Запад, организованных правительством Индии, а также его визиты в Женеву, в качестве члена Международного комитета по интеллектуальному сотрудничеству, дали ему возможность продемонстрировать свои достижения в ряде научных центров. Некоторые ведущие специалисты в области физиологии растений, имевшие возможность следить за его работами или присутствовавшие на этих демонстрациях, по достоинству оценили представленные им свидетельства новых достижений в области знаний о жизни растений. Профессор С.Х.Вайнс — известный английский специалист по физиологии растений, сказал, что эти открытия «произвели революцию в наших представлениях и расширили до небывалых пределов знания об ответных реакциях растений на внешние воздействия». Тимирязев, один из самых выдающихся ученых в области физиологии растений, писал в своей последней работе: «В высшей степени замечательный пример применения точных физических методов к физиологии растений можно видеть в трудах индийского ученого, исследования которого в области физиологии должны быть признаны классическими». Профессор Немец, один из ведущих ученых Пражского университета, выражая свое мнение, сказал, что «оригинальные методы, применяемые в научно-исследовательском институте Боса для изучения роста и ответных реакций растений, открыли новую эпоху в физиологии растений». Профессор Молиш, бывший директор отделения физиологии растений Венского университета, смог посетить институт Боса, повторить и подтвердить все наиболее важные достигнутые там результаты, которые он считал «даже более чудесными, чем волшебные сказки. Однако те, кому удалось быть свидетелями этих экспериментов, полностью убеждены, что это лабораторные чудеса, открывающие преж-



де невидимые реакции, которые лежат в основе процессов жизнедеятельности». Президент научного общества «Societas Scientinarium Fennica», многочисленные научные достижения которого заметно обогатили физиологию растений, писал, что продемонстрированное Босом «фундаментальное единство жизненных реакций у растений и животных окажет громадное влияние на развитие биологии». Его Величество король Бельгии нанес специальный визит в институт Боса и получил такое глубокое впечатление от важности новых открытий, что пригласил Боса посетить Бельгию и продемонстрировать ряд своих открытий перед Университетским фондом, председателем которого он являлся.

Острейший интерес, поднявшийся в научных кругах различных стран к этим открытиям, был настолько велик, что труды Боса вышли в свет на разных языках в крупнейших издательствах Франции, Германии и Польши.

В знак признания вклада Боса в дело расширения человеческих знаний, британское правительство удостоило его чести быть посвященным в рыцарское звание, а король Бельгии сделал его офицером ордена Леопольда. За свои достижения в области физических и биологических наук он был избран членом Королевского общества. За раскрытие многих тайн жизненных явлений он был удостоен звания члена-корреспондента Венской Академии Наук.

Еще большую важность исследования сэра Дж.Ч.Боса приобретают в связи с работами, проведенными им в смежных областях. Ценность этих работ заключается не только в их значении с точки зрения эволюции наших представлений о живой природе, но и для решения многих сложнейших задач, связанных с биологией животной жизни.

Основав институт и вкладывая в его работу собственные средства, Бос внес неоценимый вклад в развитие знаний на благо всего человечества. Идеалы института с предельной ясностью выражены его основателем в следующих словах:

«Исследователь не должен искать легкой жизни. Не должен он и надеяться на непреходящий успех как награду за его неустанные труды. Не следует искать побуждающую силу и в личных амбициях, она должна исходить из осознания внутреннего призвания посвятить всю свою жизнь с колебимой волей и твердой решимостью борьбе за новые идеи — знания ради самих знаний, чтобы встретиться с истиной лицом к лицу».

*Перевод с английского  
Сергея Харитонов*