

22.107
76

Трудовой сараемому
Штану своею севу Трудовой
на добрую память от автора.
Павель Статкевичъ, Москва 0¹²³/₂₄

ассистентъ Московскаго Сельско-Хозяйственнаго Института и Императорскаго
Московскаго Университета.

8(9)
8

ГАЛЬВАНОТРОПИЗМЪ И ГАЛЬВАНОТАКСИСЪ ЖИВОТНЫХЪ.

Экспериментальное изслѣдованіе изъ Физіологическаго Института
Императорскаго Московскаго Университета.

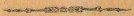
7-Ноя 2002

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ.

Гальванотропизмъ и гальванотаксисъ
рѣсникатыхъ инфузорій.

Съ 37 рисунками въ текстѣ и одной таблицей.

Диссертация на степень доктора медицины.



МОСКВА.

Типо-литографія В. Рихтеръ, Тверская, Мамзюновскій пер., с. д.
1903.

Переплет
1883

1903

По определению Медицинского Факультета Императорского Московского Университета, состоявшемуся 3 декабря 1903 года, печатать дозволяется.

Докладъ Н. Клейна.

Предисловіе.

Настоящее изслѣдованіе трактуетъ о направляющемъ вліяніи постоянного тока на водныхъ животныхъ которое было открыто сравнительно недавно. Въ 1884 году Л. Германъ замѣтилъ, что личинки лягушекъ подъ вліяніемъ тока принимаютъ голодромное положеніе, и назвалъ это явленіе *галванотропизмомъ*. Докторъ Зоологіи О. Гримъ рѣшилъ получить подобныя же явленія и у простѣйшихъ и вскорѣ послѣ Германна изучалъ вліяніе на нихъ постоянного тока, однако, вслѣдствіе несовершенства методики онъ ничего не могъ подмѣтить, кромѣ разрушенія тѣлъ противъ тока. Въ 1886 году М. Фервортъ, принявъ новый методъ, увидѣлъ, что при дѣйствіи тока нѣкоторые изъ простѣйшихъ ориентируются опредѣленнымъ образомъ относительно полюсовъ камеры, въ которой они находятся, и плаваютъ по направленію къ тому или другому полюсу. Съ тѣхъ поръ это въ высшей степени интересное и любопытное явленіе заняло умы многихъ физиологовъ, принявшихъ за изученіе и дальнѣйшую разработку вопроса; причемъ опыты производились надъ разнообразными животными. Ежегодно въ специальной физиологической и въ общей биологической текущей литературѣ появляется нѣсколько статей, трактующихъ о галванотропизмѣ. Среди изслѣдователей встрѣчаются имена такихъ физиологовъ, какъ Л. Германъ, М. Фервортъ и Ж. Лѣбъ, написавшихъ по нѣскольку работъ. Все это свидѣтельствуетъ о живой интересѣ возбуждаемъ этотъ современный вопросъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ показываетъ, что самыя явленія изучены далеко неполно, фактическаго матеріала еще недостаточно и поэтому объясненіе явленій галванотропизма представляется еще гадательнымъ. Каждый изъ авторовъ, занимавшихся этимъ вопросомъ предлагалъ свое объясненіе.

Явленія галванотропизма находятся въ тѣснѣйшей связи съ основными и важными вопросами Физиологіи о причинахъ и сущности процессовъ возбужденія живого вещества, до сихъ поръ не получившемъ рѣшенія. Наибольше простыми и сравнительно легко поддающимися анализу являются, конечно, реакціи одноклеточныхъ существъ,

тогда какъ въ явленіяхъ гальванотропизма у другихъ животныхъ, представляющихъ сложный анатомическій и физиологическій комплексъ, труднѣе разобратъ. Интересуюсь общимъ вопросомъ о разрабатности и началъ свои изслѣдованія надъ гальванотропизмомъ еще весною 1896 года; опыты были произведены надъ простейшими, салпиками, ракообразными, амёбиями и рыбами. Полученныя мною данныя составили предметъ ряда сообщений и демонстрацій, доложенныхъ въ различныхъ Обществахъ: 1) Вліаніе физическихъ агентовъ на некоторыхъ водныхъ животныхъ — въ Отдѣлѣ Ихтиологіи Имп. Общ. Аккл. жив. и раст. въ 1897 г.; 2) Методика гальванотаксиса — въ Отдѣленіи Физиологіи Имп. Общ. Люб. Еств., Антроп. и Этн. въ 1898 г.; 3) Новый способъ разводки инфузорій и наблюденій ихъ движеній — въ Отд. Зоологіи Имп. Общ. Люб. Еств., Антроп. и Этн. въ 1902 г.; 4) Методика опытовъ надъ вліаніемъ электричества на некоторыхъ водныхъ животныхъ — въ Отд. Ихтиологіи Имп. Общ. Аккл. жив. и раст. въ 1902 г.; 5) Законъ раздраженія индуктивными ударами рѣсничныхъ инфузорій — въ Отд. Физиологіи въ 1902 г.; 6) Гальванотаксисъ простейшихъ — въ Отд. Физиологіи въ 1903 г.; 7) Гальванотаксисъ головастиковъ, аксолотлей и салпиковъ — въ Отд. Физиологіи въ 1903 г.; 8) Направляющее вліаніе постоянного тока на водныхъ животныхъ — въ соединенномъ вліаніи Отд. Зоологіи Имп. Общ. Люб. Естеств., Антроп. и Этн. и Отдѣла Ихтиологіи Имп. Общ. Аккл. жив. и раст. и 9) Къ теоріи гальванотропизма. Опыты надъ ракообразными и рыбами — въ Отд. Физиологіи въ 1903 г. Изъ этихъ докладовъ вытекаютъ: 1) Новые методы разводки протистовъ и наблюденія ихъ движеній. А. Методы постоянного разводокъ протистовъ. В. Новый методъ изученія прижизненнаго движенія и движеній протистовъ. Въ Известіяхъ Имп. Общ. Люб. Еств., Антроп. и Этн., т. XXVIII; 2) Ueber die Wirkung der Inductionsschläge auf einige Ciliata. В. Physiol. russe, № 41—45, 1903.

Мои изслѣдованія надъ гальванотропизмомъ животныхъ представляютъ рядъ послѣдовательныхъ работъ, составляющихъ одно цѣлое, которыя я принужденъ разбить на двѣ части, такъ какъ нѣмнѣ возможности выпечатать пока лишь первую часть: *Гальванотропизмъ и вліаніе электричества на рѣсничныхъ инфузорій**, хотя опыты надъ салпиками, ракообразными, амёбиями и рыбами также уже закончены и описаны. Надѣюсь, что въ скоромъ времени появится въ печати и вторая часть моихъ изслѣдованій.

Къ описываемымъ въ настоящей части даннымъ имѣютъ непосредственное отношеніе новые факты, уже положенные мною въ работѣ: Ueber die Wirkung der Inductionsschläge auf einige Ciliata* (26), въ которой опыты съ отдѣльнымъ размыкательнымъ индукционнымъ ударомъ лучше и проще всего выясняютъ характеръ реакцій протистовъ на электрическое раздраженіе.

Примѣненные мною новые методы дали мнѣ возможность открыть новые факты; я постарался изложить ихъ въ такомъ послѣдователь-

номъ порядкѣ, чтобы представляющееся мнѣ въ настоящее время объясненіе явленій гальванотропизма и гальванотаксиса простейшихъ вытекало изъ самихъ фактовъ. Теоретическимъ соображеніямъ, построеннымъ на связи новыхъ фактическихъ данныхъ съ современными положеніями Физической Химіи, я удѣлилъ лишь нѣсколько страницъ въ Заключеніи; однако, въ положеніи теоріи возбужденія живого вещества при раздраженіи электрическимъ токомъ на основаніи полученныхъ мною фактовъ я вернусь, когда закончу свои изслѣдованія въ этомъ направленіи. Въ настоящей же работѣ, преслѣдуя цѣльность изложенія, я описываю исключительно самыя явленія гальванотропизма и гальванотаксиса, какъ таковыя.

Два слова о терминахъ, которыми я пользуюсь для обозначенія явленій, описываемыхъ въ этой работѣ.

Реакція живыхъ существъ на раздраженіе электрическимъ токомъ проявляется въ движеніи, направленномъ либо на перемѣщеніе въ известномъ направленіи, либо лишь на измѣненіе положенія оси тѣла относительно поперечной тока; причемъ въ первомъ случаѣ животныя передвигаются въ ствѣкѣ полуса, во второмъ же они только располагаются опредѣленнымъ образомъ въ разныхъ мѣстахъ камеры. Несмотря на различіе въ характерѣ реакцій эти явленія, наблюдаемые у животныхъ, получаютъ общее названіе — *гальванотропизма* (Германія, Ферваръ), замѣненное затѣмъ (Нагелъ) терминомъ *гальванотаксисъ*, такъ какъ раздражитель дѣйствуетъ на свободно движущихся организмовъ; такимъ образомъ думая ввести сходство въ номенклатурѣ съ подобными же явленіями у растений. Последнее обозначеніе явленій гальванотаксиса въ настоящее время принимается большинствомъ авторовъ.

Не вводя новыхъ терминовъ, я считаю необходимымъ сохранить оба названія, чего требуетъ самый характеръ реакцій, проявляющихся у животныхъ, какъ сказано, или а) въ поступательномъ перемѣщеніи въ опредѣленномъ направленіи или б) въ измѣненіи положенія оси тѣла относительно поперечной; первая рядъ явленій я обозначаю терминомъ *гальванотропизма* (*тропосъ* — поворотъ, измѣненіе направленія, обращеніе въ бѣгство), а для реакцій измѣненія положенія подъ вліаніемъ электрическаго тока сохраняю терминъ *гальванотаксиса* (*таксисъ* — порядокъ, строй, расположеніе въ порядкѣ). Такъ напр., перемѣщеніе протиста или головастика по параллельнымъ линіямъ тока обозначается просто терминомъ — гальванотропизмъ, а перемѣщенію по перпендикулярѣ къ направленію тока — поперечный гальванотропизмъ; для расположенія перпендикулярно къ линіямъ тока служить терминъ поперечный гальванотаксисъ.

Своими физиологическими образованиями и обязан дорогому учителю Льву Захаровичу Мороховцу. Состоя с 1895 года ассистентом в Московском Сельско-Хозяйственном Институте и затем в Московском Университете и принимая с 1894 года активное участие в лекциях, лабораторных занятиях и трудах, я имел счастливую возможность усвоить Физиологическую Методику по всем отделам Физиологии Человека и Животных, чьей я обязан исключительно глубокоуважаемому профессору Льву Захаровичу Мороховцу, Физиологический Институт, директором которого он состоит ныне, созданный и организованный благодаря его личному участию, работам и энергия, дасть возможность всемоу занимающемуся в нем удовлетворить свою научную пытливость, широко поставить исследование и привести в исполнение намеченные опыты. Во время ведения настоящей работы я всегда мог располагать аппаратами и материалами приспособлениями Института, которые любезно и предупредительно предоставлялись в мое пользование. За все это прошу моего дорогого и глубокоуважаемого учителя Льва Захаровича Мороховца принять мое искреннее, теплое, сердечное спасибо.

Считаю своим приятнейшим долгом высказать мою благодарность Совету Московского Сельско-Хозяйственного Института за постановление печатать эту работу в Известиях Института и не нахожу слов выразить чувство глубокой признательности членам Совета—г. Помощнику Директора Института профессору Николаю Михайловичу Кулагину и г. Редактору Известий профессору Семену Ивановичу Ростовцеву за сердечное отношение ко мне и интерес к моим исследованиям и за любезное содействие при печатании настоящей работы.

Содержание первой части.

Отдел I. Литературный очерк гальванотропизма противоток.

ГЛАВА ПЕРВАЯ. Открытие М. Фервартом гальванотропизма противоток.—Три типа гальванотропизма: отрицательный, положительный и трансверсальный; противоточная дилма Кельша и Валлегрена.—Роль устрицы в гальванотропических явлениях; дилма Лудлова.—Возбуждение сокращения на катод и расслабление (релаксация) на анод.—Подтверждение Перля, Вирюкова, Дала, Кельша и Валлегрена.—Теория гальванотропизма; теория полярных возбуждений Ферварта, дополнение к ней Пюттера, химическая теория Дала и Ббджета, финансовая теория Вирюкова и Баратрера. 1

Отдел II. Объекты и методы.

ГЛАВА ПЕРВАЯ. Методы постоянного развозок противоток; непрерывность развозки противоток зависит от правильности обмотки вещества в их проволокам. 9

ГЛАВА ВТОРАЯ. Новый метод замедления движений инфузорий и наблюдений их реакции.—Снижение коллоидальной среды. 10

ГЛАВА ТРЕТЬЯ. Камеры из каolina, стекла, воска с зашпозью и картона, противоточного антипараллельного.—Электроды: калодимные Бурья Феврора, гальванические Лудлова, калодимные уступобразные, гальвано-цинковые.—Демонстрационные камеры.—Источники электричества.—Ростки съ съдвигиваемых противоток. 11

Отдел III. Различные стадии гальванотропизма и гальванотаксиса противоток и зависимость их от силы тока.

ГЛАВА ПЕРВАЯ. Общая картина гальванотропизма 28-ми видов экспериментальных инфузорий.—Основные явления, наблюдаемые при слабом увеличении ориентировки переднего конца тела относительно полюсов, изменения скорости передвижения и изменения конфигурации противоток. 18

ГЛАВА ВТОРАЯ I. Новый метод для изучения ориентировки противоток; ток переменно направленный. 21

II. *Raphanus sativum*. Действие токов переменного направления при различной частоте переменного и одинаковой силе тока.—Явление ориентировки. 21

III. Действие токов переменного направления при одинаковой частоте переменного и различной силе тока.—Новые условия для экспериментального получения трансверсального гальванотропизма. 26

IV. Объяснение трансверсального положения при данных условиях опыта.—Суживание отдельных раздражений электрическим током. 28

V. *Nurpatica. Stylonema puytus*.—Трансверсальный гальванотаксис при токах переменного направления. 30

VI. Выводы. 31

ГЛАВА ТРЕТЬЯ I. Минимальная направляющая сила тока. — Определение скорости поступательного передвижения; зависимость ее от силы тока; величина maximum'a скорости по опитам Лудлова и моими; орбитам влияния тока. — Изменение формы тѣла параметий при сильных токах. — Путь передвижения. — Независимость ориентировки параметий от силы тока.

II. Различные виды ориентировки и типы реакции гальванотропизма и гальванотаксиса. — Зависимость характера ориентировки от силы двиступного тока. — Описание Орлина гальванизма из токах различной силы; различные опиты. — Катодный гальванотропизм Ухтевича сорбированн. Вальдштейн entozoa и Орлина галаванизм. — Нейтральность взгляда Феррариа и Вирукова на опиты, какъ на типичную анодно-гальванотропичную индукцию; противорѣчива наблюдѣния Валленгренна.

III. Другой примѣръ: условия катодного гальванотропизма Spirogobionia; отсутствие у спироетовъ исключительно трансверсального гальванотаксиса; опиты Кельша и Валленгренна. — Различіе между наблюданіями Валленгренна и моими относительно зависимости стадій реакцій спироетовъ отъ силы тока; первая стадія — трансверсальный гальванотаксис, вторая — катодный гальванотропизм; премежвременное разрушеніе протоплазмы на анодѣ сокращающагося протиста. — Различіе стадій гальванотаксиса и гальванотропизма спироетовъ.

IV. Гальванотропизмъ при возбужденіи сократительныхъ элементовъ параметий, спироетовъ, лабиринтовъ, стенторовъ, эпителиевъ. — Третій примѣръ зависимости различныхъ стадій гальванотропизма и гальванотаксиса отъ силы раздражающаго тока: Stylonychia ptychus. — Наименьшая возбудимость сократительныхъ элементовъ протистовъ при трансверсальномъ положеніи ихъ тѣла. — Зависимость различныхъ стадій гальванотропизма отъ силы тока.

V. Заключение

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ I. Условия отсутствия гальванотропической реакціи у инфузорій, находящихся въ области шлювки въ камерѣ.

II. Характеръ измѣненія явленій при усиленіи раздражающаго тока. — Одновременность различныхъ стадій реакціи у инфузорій одного и того же вида въ одной и той же камерѣ. — Ослабленіе инстинктивной реакціи у инфузорій въ области шлювки.

III. Наблюденіе Деведянгаса индифференціи между явленіями гингмотаксиса и гальванотаксиса. — Теорія Питтнера, объясняющая трансверсальный гальванотаксисъ индифференціей съ живымъ тѣлешкомъ. Дилія иезвѣдкованія. — Различныя стадіи реакціи зависятъ отъ различной силы раздражающаго тока; условия влеченія тока и одновременной циркуляціи токовъ, различіе тупости въ различныхъ мѣстахъ, казали при неоидиоловой средѣ. — Неопредѣленность повятія «разрушеніе сорпаксованіе (contact Stimulus Деведянгаса и Kontaktreiz Питтнера и гингмотаксиса».

ГЛАВА ПЯТАЯ I. Значеніе остроножичныхъ электродовъ для одновременнаго наблюденія различныхъ стадій гальванотропизма. — Различная скорость передвиженія въ различныхъ крупнѣхъ живыхъ тѣлахъ; зависимость ее отъ тупости тока. — Наблюдательное поведеніе параметий.

II. Критика теорій катифорического объясненія явленій гальванотропизма. — Исследования Вирукова. — Опиты при проверкѣ основаній движуща Вирукова. — Нечеткость опитовъ Вирукова и схематичность его рисунковъ. — Причина различныхъ распределеній при электродахъ равной формы; активное стремленіе параметий уйти изъ сферы влияния сильныхъ

Стр.

82

85

87

41

44

45

49

52

57

токовъ и попасть въ мѣста, гдѣ отсутствуетъ его возбуждающее вліяніе. — Невозможность при постановкѣ опитовъ Вирукова [станіонольные электроды] наблюдать описанный имъ фактъ катифоризма мертвыхъ живущихъ частей. — Отсутствие признаванія Вируковымъ аналогій между катифоризмомъ мертвыхъ частей и передвиженіемъ къ катоду живыхъ параметий; различія въ условіяхъ опитовъ и самихъ фактахъ; ориентировка движуща протистовъ относительно полюсовъ; опредѣленія работа рѣснички; измѣненія формы тѣла вследствие возбужденія сократительныхъ элементовъ эпителиевъ. — Нѣтъ ни одного факта въ пользу катифорического объясненія гальванотропизма. — Experimentum crucis, доказывающее несостоятельность катифорического объясненія одновременности анафориза мертвыхъ частей и катодного гальванотропизма и независимости одного явленія отъ другого. — Инфузоріи, убитыя сорбированіемъ и мертвыя, живущія на сианетныхъ коллоидальныхъ средахъ, не реагируютъ. — Недостаточность катифорического объясненія гальванотропизма Вирукова.

ГЛАВА ПЯТАЯ I. Условия измѣненія конфигураціи протистовъ. — Непосредственное возбужденіе сократительныхъ элементовъ; активность реакціи; опиты съ отдаленными индукціонными размѣщенными ударами.

II. Объясненіе Шенка и Кардгрена измѣненія формы тѣла протистовъ подъ вліяніемъ тока; независимость явленія вѣднѣтнѣ внутренняго катифоризма. — Физическая теорія гальванотропизма Кардгрена; вліянія внутренняго катифоризма; коренное отличіе ее отъ объясненія Вирукова. — Опиты Кардгрена. — Независимость измѣненія формы тѣла мертвыхъ параметий при очень сильныхъ токахъ; отсутствие сходства съ измѣненіями конфигураціи у живыхъ протистовъ; различія условия опитовъ, дѣлающія аналогію невозможной. — Отрицательные результаты при проверкѣ опитовъ Кардгрена надъ мертвыми параметиями въ сиането-коллоидальныхъ средахъ. — Опиты съ очень сильными токами, неутождоблемы при обычныхъ наблюданіяхъ гальванотропизма. — Дополненіе Перла къ теоріи Кардгрена; недостаточность движущаго послѣдствія.

Отдѣлъ IV. Реакція рѣсничекъ, первое и основное явленіе гальванотропизма протистовъ. Критика теорій гальванотропизма Феррариа — Лудлова.

I. Несовершенство метода, примененнаго Лудловымъ для изученія реакціи при гальванотропизмѣ. — Преимущества сиането-коллоидальныхъ средъ и специальная методика; исследованія работы рѣсничекъ при нормальныхъ условіяхъ. — Каморы и электроды; ашвартъ для продолжительнаго наблюденія одного и того же индивидуума. — Объекты опитовъ.

II. Новые термины первоначальной рѣснички. — Характеристика и раздѣленіе передвижной рѣснички: колебательная движущая, факсонорія и аксензорное движущее и ударъ.

III. Реакція рѣсничекъ у Paramoecium caudatum, aurelia и paramecia. — Продолжительная и вялая реакція рѣсничекъ на катодъ у параметий, неподвижно дежащихъ въ очень тупыхъ средахъ. — Реакція рѣсничекъ на катодъ при ихъ нормальной работѣ. — Механизмъ установивша передатка конна тѣла и характеръ движенія рѣсничекъ при передвиженіи къ катоду въ сиането-коллоидальныхъ средахъ средней вязкости. — Факсонорные удары почти всѣхъ рѣсничекъ при орбитальнѣхъ возбуждающаго вліянія тока; сходство съ общепринятой схемой Лудлова. — Причины равнаго ре-

Стр.

59

73

75

79

83

вуальтов. Луддлова и монж.—Зависимость степени и продолжительности возбуждения ривичей при данной силе тока от вязкости среды.—Понижение возбудимости ривичей в густых средах, как следствие торможения.—Характер распространения ривичей при средних токах; различные реакции ривичей в различных густых средах.—Характер и степень возбуждения ривичей при прочих равных условиях, зависящих от силы раздражающего тока.—Различные виды реакций ривичей: Луддлова видать при своем метод лишь одну из них.—Влияние сильных токов на изменение формы тела.

IV. Реакция ривичей у *Colpidium colporia* и *Colpoda sicullus*.—Невозможность одновременного наблюдения ривичей по всей длине тела *Spirgotomus*; недостатки наблюдений Кельна; Валленгрейн не мог сразу видеть всех ривичей у спироустов и у опалии.
V. Заключение.—Позитивное сходство реакции гальванотропизма в обычной разведки и связного-коллоидальных средах.—Три стадии реакции ривичей на раздражение током.—Несостоятельность теории Фервора и Луддлова, объясняющей явления гальванотропизма позитивным возбуждением растения ривичей на катод и возбуждением сокращения на анод.—Оригинальное направление мнения тоа сопровождается нормальными фазеорными ударами всех ривичей.

Отдѣл V. Независимость гальванотропизма отъ механическихъ и химическихъ прѣпятствій. Новые опыты.

I. Реакция гальванотропизма есть активное явление.
II. Механические прѣпятствія.—Наблюдения при обычных условиях; прѣграды на пути передвижения: наклонная стѣнка, бухта въ глянцовой электродѣ, извѣсти дотрипа, кусочки растений.—Отрицательная роль давления течения жидкости.—Токи въ жидкости при движѣннхъ цилиндра; явление отрицательнаго реотропизма при различныхъ электродныхъ тумарки газова и металлическихъ электродов.—Экспериментальная условія для доказательства независимости гальванотропизма отъ односторонняго давления.—Послабояа опытовъ на принципъ односторонняго прѣпятствія.

III. Нарушеніе условий тренія въ случаѣ односторонняго давленія доказываетъ независимость гальванотропизма отъ катодизма.—Изнѣжность опытовъ Вирюкова надъ измѣреніемъ азетроизмующей силы въ жидкости съ живыми парамитіями работа ривичей нарушаетъ регулярность въ силахъ тренія.

ГЛАВА ВТОРАЯ I. Наблюдения М. Фервора и Г. Мутона.

II. Химическія прѣпятствія.—Опыты Дженнигса, положительнаго и отрицательнаго хемотропизма.—Новый методъ для наблюденія явленій хемотропизма.—Отношеніе гальванотропизма къ положительному и отрицательному хемотропизму.

III. Теорія непрямого вліянія тока Дѣба и Бѣдкетта.—Критика другихъ авторовъ.—Опроверженіе теории опатами, изложенными въ этой главѣ.

Отдѣл VI. Гальванотропизмъ въ искусственныхъ и естественныхъ соляныхъ растворахъ. Новые опыты надъ морскими прѣпастіями.

I. Условія измѣненія химическаго состава среды.—Опыты Делла надъ параллельными видами инфузорій.—Вліяніе на протистовъ различныхъ химическихъ веществъ: опыты надъ *Paramecium*; вредное дѣйствіе *NaCl*;

Сыр.

85

95

97

101

102

103

107

108

112

Сыр.

115

119

121

126

127

Отдѣл VII. Измѣненіе химическихъ процессовъ въ протоплазмѣ протистовъ при гальванотропизмѣ. Новые опыты.

ГЛАВА ПЕРВАЯ I. Условія электризма въ жидкостяхъ, содержащей протистовъ; внутренней электризмъ, возможность нарушения молекулярнаго строения протоплазмы протистовъ при возбужденіи.

II. Методика опытовъ.—Индифферентная для протиста микротрубка химическихъ измѣненій въ его протоплазмѣ; методъ прижативной окраски; нейтральность.—Объекты изслѣдованій.—Причины неудачъ первыхъ опытовъ.—Методъ прижативной окраски протистовъ, движѣннхъ которыхъ равномѣрно замедлены въ слѣдномъ-коллоидальныхъ средахъ.—Значеніе различныхъ отбѣнокъ окраски образованій энтоплазмы; опредѣленная степень интенсивности окраски.—Камеры и электроды.—Основные условія успешности изслѣдованій.

III. Общій характеръ измѣненій окраски образованій энтоплазмы при вліяннхъ электрическаго тока на протистовъ.—Возстановленіе нормальной окраски послѣ прекращенія раздраженія.—Три стадіи Физелетоваго, розовато и сѣро-желтаго токи; однородность, разнородность и прѣстадіахъ и прѣвращеніе характернаго розоваго токи.—Прѣвращеніе и смертельное измѣненіе окраски протистовъ отъ члѣнчатыхъ измѣненій.—Возстановленіе окраски.—Условія успешности демонстрацій опытовъ; значеніе субъективной неопределенности при продолжительныхъ наблюденіяхъ.—Причины неудачныхъ результатовъ.—Опыты надъ перекрашенными объектами.—Интенсивная Физелетоваго токи микротрубка измѣненія.—Общій характеръ химическихъ процессовъ въ энтоплазмѣ протистовъ при процессахъ возбужденія: вѣдствіе раздраженія электрическими токами.—Измѣненія окраски морского *Euplates cingus*.—Другія красяща вещества; фельдъ-фталенъ.—Увеличеніе четкости нѣкоторыхъ участковъ энтоплазмы при возбужденіи протистовъ.—Неопрѣделенность результатовъ позитивныхъ измѣненій внутри протиста.

IV. Заключение.—Экспериментальное доказательство нарушения равновѣсія химическихъ процессовъ въ протоплазмѣ протистовъ при возбужденіи.—Локализация измѣненій.

Отдѣл VIII. Заключение

Литература

150

159

Необходимо исправить.

Стр.	Слова	Напечатано	Слѣдуетъ
2	20	спизу	поперечный или
5	13	сверху	чисто
15	11	сперху	установкъ столিকা
15	17	сперху	алмазотронизма.
15	1	спизу	Антроп.
17	6	сперху	28
20	24	сперху	27
38	24	сперху	антидромно
47	6	сперху	Силодом
47	19	спизу	на
65	18	сперху	а
97	15	спизу	сплотилсь
120	1	сперху	явления
131	1	спизу	9—7
138	12	спизу	наблюдений
146	24	спизу	диффузно
160	5	спизу	погутъ
		О. Остальдь.	В. Остальдъ.

ОТДѢЛЪ I.

Литературный очеркъ гальванотронизма протистовъ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Открытие М. Ферворномъ гальванотронизма простѣйшихъ. — Три типа гальванотронизма: отрицательный, положительный и трансверсальный; противорѣчія данных Кёльша и Валленгрена. — Роль рвучивости въ гальванотроническихъ явленияхъ; данныя Лудова. — Возбужденіе сокращенія на катодахъ и расслабленія (растяженія) на анодахъ. — Подтвержденіе Перли, Виркова, Деля, Кёльша и Валленгрена. — Теорія гальванотронизма: теорія полярныхъ возбужденій Ферворна, дополненіе къ ней Пюттера, химическая теорія Лёбба и Бёджетта, физическая теорія Виркова и Карлгрена.

1. Исслѣдованіе вопроса о полярномъ возбужденіи корневожгъ и провѣрка опытовъ Кюне (1) при новой экспериментальной постановкѣ привели М. Ферворна (2) къ открытію *гальванотронизма инфузорій*.

Тетанизируя въ 1886 году инфузорій въ каплѣ воды между платиновыми электродами, М. Ферворнъ замѣтилъ, что нѣкоторые инфузоріи движутся по направленію къ одному изъ полюсовъ. Дальнѣйшія наблюденія, возобновленная лѣтомъ 1888 года, проважидались уже при помощи неполяризующихся электродовъ и съ постояннымъ токомъ, полюсы котораго легко опредѣлялись. Капля сѣянаго настоя помѣщалась между параллельными платиновыми брусками, соединенными полосками воска; къ платиновымъ брускамъ прикалывались кисточные неполяризующиеся электроды, проводившіе постоянный токъ; иногда остроупонечные или въ формѣ доплатки платиновые электроды погружались въ часовое стекло, гдѣ находилась жидкость съ насыщаемыми протистами.

Многочисленные и точные опыты М. Фервора установили, что постоянный ток вызывает полярное возбуждение живой протоплазмы (3 и 4); это возбуждение у большинства протистов, вопреки закону Пельтьега, данному имъ въ 1838 году для проводовъ, вопреки закону Пельтьега, данному имъ въ 1838 году для проводовъ, наблюдается въ мѣстахъ входа тока, у анода. Будучи «скрытымъ» (latent) при слабыхъ токахъ, оно проявляется при сильныхъ сокращеніемъ, измененіемъ формы и распаденіемъ протоплазмы корненожекъ на анодъ. Скрытое состояние возбужденія постояннымъ токомъ у простѣйшихъ (2, p. 294) съ дифференцированными элементами движенія. — рясички, или жгутиками, — вызываетъ вторичное дѣйствіе — *гальванотропизмъ* (2, p. 295). Этими терминами М. Ферворъ называлъ способность протистовъ въ отвѣтъ на раздражающее дѣйствіе тока становиться переднимъ концомъ тѣла къ аноду, resp. къ катоду, и плыть въ определенномъ направленіи.

2. Въ зависимости отъ возбужденія того или другого полюса тѣла протиста наблюдаются три типа *гальванотропизма*.

Направляющее дѣйствіе тока вълѣдствіе возбужденія при замыканіи на анодъ заставляеть большинство корненожекъ, немногихъ жгутиковыхъ (*Trachelomonas hispida*, *Peridinium tabulatum*), некоторыхъ бактерий и почти всѣхъ рясичитыхъ устремляться и собираться у катода — *отрицательный гальванотропизмъ*.

Замыкательное возбужденіе на катодъ вызываетъ у большинства жгутиковыхъ, некоторыхъ бактерий и у *Oralina galathei* движеніе къ аноду — *положительный гальванотропизмъ* (3, p. 301). Возбужденіе на анодъ и катодъ заставляеть *Spirostomum ambiguum* (4, p. 47) становиться перпендикулярно къ направленію тока — *поперечный или трансверсальный гальванотропизмъ* (лучше *гальванотаксисъ* — терминъ обозначающій лишь положеніе относительно полюсовъ).

Однако, наблюденія К. Кельша вызываютъ сомнѣніе въ существованіи у *Spirostomum* исключительнаго трансверсальнаго гальванотропизма: онъ подмѣтилъ у *Spirostomum ambiguum* катодный гальванотаксисъ (5, p. 406). Въ самое послѣднее время это наблюденіе подтверждено и расширено Г. Валленгревомъ, который видѣлъ то же самое при дѣйствіи слабыхъ токовъ, даже у тигмотактированныхъ спироустомъ (7), тогда какъ при сильныхъ токахъ онъ принимаетъ трансверсальное положеніе. Наконецъ, и *Oralina galathei* при сильныхъ токахъ становится не анодно, — а катодно-гальванотропичной. Поэтому Г. Валленгревъ (6, p. 555) признаеть существованіе лишь одной формы полярнаго возбужденія инвузорій.

3. Уже въ 1889 году въ своемъ первомъ сообщеніи (2) М. Ферворъ писалъ, что *гальванотропизмъ есть активное, жизненное явленіе*, а не результатъ каталитическаго дѣйствія тока, т. назыв. феноменъ Пелле, описанный въ 1808 году Рейссомъ (8) въ Москвѣ. Стремительное движеніе, «словно по командѣ», всѣхъ парамецій къ катоду при сравнительно слабыхъ токахъ, когда значительно менѣе по величинѣ,

възвѣшенная въ водѣ красная кровяная тѣльца, зерна крахмала, пигментныя тѣльца *Chloroideae* латунки не даютъ ни малѣйшаго слѣда движенія ни въ ту, ни въ другую сторону, исключая каталитическое вліяніе тока. Малѣйшія взвѣшенные частицы переносятся пассивно крайне медленно при очень сильныхъ токахъ. Инвузорія, убитая хлороформомъ или эфиромъ не перемѣщаются ни въ одному изъ полюсовъ; наркотизированные протисты въ зависимости отъ степени наркотизаціи либо плывутъ очень медленно къ катоду, либо только располагаются своей длинной осью въ направленіи тока.

4. Полярное возбужденіе парамецій на анодъ обнаруживается при сильныхъ токахъ возбужденіемъ на заднемъ концѣ колючкаго кончика и затѣмъ разрушеніемъ протоплазмы на этой сторонѣ (2, p. 278). Принимая, что вторичное проявленіе полярнаго возбужденія — *гальванотропизмъ* — есть результатъ скрытаго возбужденія инвузорій, М. Ферворъ (2, p. 300) все-таки въ первой уже работѣ высказываетъ предположеніе объ измененіи положенія и амплитуды удара рясичекъ подъ вліяніемъ тока; онъ самъ уже видѣлъ, что *Coleps hirtus* съ увеличеніемъ силы дѣйствующаго тока (2, p. 278) съ трудомъ перемѣщается къ катоду, а при сильномъ токъ рясички ударяютъ въ противоположномъ направленіи, и противъ относителю тогда уже къ аноду.

5. Зависимость скорости перемѣщенія къ катоду отъ силы тока и роль рясичекъ въ гальванотропическихъ явленіяхъ подробно исследовалъ въ 1893 году ученикъ М. Фервора К. Лудовъ (9). Объектомъ служила *Raphanescium aurelia*.

Скорость передвиженія не измѣняется пропорціонально силѣ тока; въ началѣ она быстро увеличивается и достигаетъ своего максимумъ, а затѣмъ, съ дальнѣйшимъ нарастаніемъ тока, она постепенно уменьшается, причемъ измѣняется форма тѣла парамецій и путь передвиженія.

Особеннаго вниманія заслуживаютъ наблюденія К. Лудова надъ измѣненіемъ дѣятельности рясичекъ подъ вліяніемъ тока различной силы. Онъ смѣшавъ парамецій съ растворомъ желатина по методу Стада (10), разработанному П. Лессенюмъ (11). Въ растворѣ определенной концентрации инвузорія не двигались, лежали спокойно; рясички ихъ были расположены почти перпендикулярно къ поверхности тѣла. Надъ такими неподвижными объектами экспериментировалъ К. Лудовъ, результаты же, полученные на неподвижныхъ, заключенныхъ въ желатину, парамецій переносить на свободно плавающихъ инвузорій. Сейчасъ же послѣ замыканія слабого тока — 0,06 МА — наступаютъ живыя движенія рясичекъ на катодномъ переднемъ или заднемъ концѣ тѣла парамецій всегда по направленію катода; съ увеличеніемъ силы тока наступаютъ движенія и на анодной сторонѣ тѣла; причемъ рясички на анодной половинѣ всегда работаютъ задн. т. е. нормально, какъ изображено на рис. 1-омъ, вѣтвомъ изъ работы

К. Лудлова (9, фиг. 9); сь дальнѣйшимъ усиленіемъ тока наблюдается разбуханіе передняго катоднаго конца, сжиманіе задняго аноднаго, появленіе кошачьего колѣчка на заднемъ концѣ, выбрасываніе

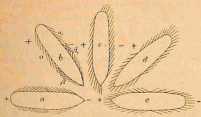


Рис. 1. Расположеніе ресничекъ у *Paramecium aurelia* по К. Лудлову (9, табл. VII, фиг. 9).

только сади трихоциты и, наконецъ, распадъ автоплазмы. Взаиміе тока на инвузорій энтологическое, а не чисто физическое. На основаніи *сократительной* теоріи М. Ферворна К. Лудловъ принимаетъ движеніе ресничекъ у *Paramecium aurelia* на анодной задней половинѣ (рис. 1 *е*) по направлению каади за возбужденіе сокращенія (contractorische

Erregung), а движеніе впереди на катодной передней половинѣ за *возбужденіе расслабленія* (расслабленія—*эксанзорической* Erregung). Такимъ образомъ, К. Лудловъ констатировалъ у *Paramecium aurelia* при дѣйстви постояннаго тока наличность возбужденія на обоихъ полюсахъ тѣла въ противоположномъ смыслѣ.

Полное подтвержденіе результатовъ К. Лудлова мы встрѣчаемъ у Перла (R. Pearl, 12), который въ 1900 году нашелъ, что у *Paramecium caudatum*, *Oxytricha fallax*, и некоторыхъ *Nyctotricha*, въ особенности же у *Colpidium colopoda* реакція на постоянный токъ, совершенно отличающаяся отъ реакція на другія раздраженія, складается изъ двухъ факторовъ: 1) «вынужденныхъ движеній» (forced movements, p. 104) относительно направленія тока, играющихъ роль направляющихъ движеній, и 2) рефлекторныхъ движеній, стремящихся поставить протиста въ определенное положеніе вследствие усиленной работы «рефлекторныхъ ресничекъ» (reflex cilia), расположенныхъ у передняго конца (*Colpidium colopoda*). Вынужденныя движенія обусловлены определеннымъ расположеніемъ ресничекъ всего тѣла, которыя у *Colpidium colopoda* ударяютъ полъ взаиміемъ тока въ задней анодной половинѣ каади, а въ передней катодной впереди, что находится въ полномъ согласіи съ описаніемъ К. Лудлова для парамеций.

В. Бирюковъ (13), описывая очень кратко повтореніе опытовъ К. Лудлова надъ парамециями въ искомой расширенной и переизданной работѣ о гальванотаксисѣ, признаетъ наличность всѣхъ описанныхъ К. Лудловымъ измѣненій въ дѣятельности ресничекъ, но добавляетъ, что онъ «не наблюдалъ той законности, по которой по Лудлову всѣ реснички на катодной сторонѣ должны загнаться по направлению къ переднему концу тѣла, а на анодной сторонѣ по направлению къ заднему концу» (13, p. 34).

Отношеніе къ постоянному току ресничекъ другого вида инвузорій—*Opalina gaurum*,—типичнаго для положительнаго или аноднаго

гальванотропизма, находимъ у Г. Валленгрена (6), который также какъ и Перль принимаетъ у инвузорій существованіе особаго «вращающаго механизма» (Drehungsmechanismus), ничѣмъ въ сущности не отличающагося отъ «reflex cilia» Г. Дженнингса (14), развѣ только тѣмъ, что Г. Валленгрень, давъ ему другое названіе.

Вращающія реснички расположены по Г. Валленгреньу (6, p. 34) въ правой четверти передней половини *Opalina galathea*, надъ которой авторъ и проводилъ опыты; удары расслабленія (Expansionschläge) этихъ ресничекъ играютъ главную роль во вращеніи инвузорія. Авторъ приводитъ даже подробна вычисленія работъ всѣхъ ресничекъ, объясняя, почему при одной силѣ тока эта инвузорія плыветъ къ аноду, при другой—къ катоду. Всѣ, однако, вычисленія имѣютъ часто теоретическій характеръ. Разбирая вопросъ, почему парамеция плыветъ къ катоду, а опалина къ аноду и почему опалина, какъ писалъ Г. Валленгрень при слабыхъ токахъ анодно-гальванотропична, а при сильныхъ становится катодно-гальванотропичной, онъ рѣшаетъ его въ томъ смыслѣ, что значительная и главная роль въ передвиженіи къ тому или другому полюсу выпадаетъ на долю механизма вращающихся ресничекъ. «Если вращающія реснички дѣйствуютъ ударами растаженія (durch Expansionschläge), инвузорія плыветъ къ аноду, если же онѣ дѣйствуютъ ударами сокращенія (durch Contractiionschläge), протисты плывутъ къ катоду. Нѣтъ необходимости принимать различное полярное возбужденіе для анодно- и катодно-гальванотропическихъ формъ. Одно и то же полярное возбужденіе, которое гонитъ парамеций къ катоду, принуждаетъ опалину плыть къ аноду. Поэтому нужно оставить различіе между этими двумя видами гальванотаксиса» (6, p. 383).

Ескалентельная роль, которую Г. Валленгрень приписываетъ вращающему механизму ресничекъ въ ориентировкѣ относительно полюсовъ, resp. характеру ихъ ударовъ въ томъ или другомъ гальванотаксисѣ, не имѣетъ, однако, фактическаго подтвержденія въ наблюденіяхъ самаго же Г. Валленгрена. Изъ приложенныхъ къ статьѣ схематическихъ рисунковъ видно, что при вращеніи, т. е. ориентировкѣ опалины относительно полюсовъ дѣйствующаго тока, принимаютъ участіе всѣ реснички и всегда такимъ образомъ, что при любомъ положеніи инвузорій (см. Валленгрень, табл. II, 6), тѣло ее строго раздѣлено на анодную и катодную половини; въ первой реснички работаютъ всегда каади, а во второй всегда впереди. У плывущей къ аноду опалины при 0,02—1,0 МА всѣ реснички передней анодной половини ударяютъ каади, а въ задней катодной половинѣ тѣла направлены впереди; при 2,0—3,0 МА, когда опалина становится уже катодно-гальванотропичной, всѣ реснички передней половини направлены впереди, а задней—ударяютъ каади. Въ этомъ отношеніи Г. Валленгрень вводитъ подтвержденія и для опалины схему К. Лудлова.

Однако другой авторъ также, какъ и Г. Валленгрень, подробно

изучавший гальванотропизмъ тѣхъ же опалитъ, повидимому, не видѣлъ такой опредѣленности въ расположеніи рѣсничекъ анодной и катодной половины ихъ тѣла. Я разуюю работу Г. Деля (15), появившуюся въ Journal of Physiology за два года до изслѣдованія Г. Валленгрена, реферированную въ Centralbl. f. Physiol. въ 1901 (Vol XV, p. 303) и остающуюся неизвѣстной Г. Валленгрена; по крайней мѣрѣ послѣдній не считается съ псалдовичемъ Г. Деля, трактующемъ также объ отношеніяхъ опалитъ къ постоянному току.

Назъ описанія и рисунковъ Деля (Dale, 15, 339—340) ясно, что почти все рѣснички у плавущей въ аноду опалитъ ударяютъ назад; лишь немногія рѣснички задней половины направлены впередъ, впродолженіе, для уравненія дѣйствія большого числа рѣсничекъ болѣе выпуклой стороны инверзоріи (рис. 3). При инверсіи тока все рѣснички ударяютъ впередъ, затѣмъ, инверзорія, принявъ поперечное уже положеніе и ударя рѣсничками одной половины тѣла впередъ, другой назадъ, становится, наконецъ, переднимъ концомъ



Расположеніе рѣсничекъ у анодно-гальванотропичной Opalina palustris:

Рис. 2 по Валленгрена (6, табл. II, фиг. 7). Рис. 3 по Делю (15, p. 339, фиг. 40).

къ новому аноду и плаваетъ въ этомъ направленіи. Такимъ образомъ, Г. Дель даетъ совершенно другую картину положенія рѣсничекъ у опалитъ подъ вліяніемъ постоянного тока, значительно отличающуюся отъ таковой же Г. Валленгрена (см. рис. 2), какъ видно изъ представленныхъ же Г. Делю рисунковъ. Тѣмъ не менѣе самъ Г. Дель признаетъ, что расположеніе рѣсничекъ у опалитъ удовлетворяетъ схемѣ К. Лудова.

Уединеннаго по М. Фервори и представителя поперечнаго или трансверсальнаго гальванотаксиса, *Spirostomum ambiguum*, Р. Перль и К. Кельшъ (5, p. 406) также наблюдали, что расположеніе рѣсничекъ при дѣйствіи постоянного тока вновь удовлетворяетъ схемѣ К. Лудова. Г. Валленгрень подробно разработанный эти наблюденія изъ своей второй работѣ, принимаетъ, что и у *Spirostomum* существуетъ вращающій механизмъ, опредѣляющій положеніе относительно катода и двигательный эффектъ всѣхъ рѣсничекъ, который при данной силѣ тока принуждаетъ *Spirostomum* плыть въ катоду⁸. (p. 540) Законъ полярнаго возбужденія для *Spirostomum*—общій всѣмъ другимъ инверзоріямъ: анодная рѣсничка находится въ стадіи сокращенія (kontraktorisches erregt werden), а катодная—въ стадіи расслабленія (expansorisch...) (p. 553). Послѣдній выводъ находится, однако, въ противорѣчій съ мнѣніемъ Р. Перля, который принимаетъ ослабленіе и даже прекращеніе движенія рѣсничекъ у *Spirostomum* при трансверсальномъ положеніи (p. 116): „when it comes into the transverse position, the animal apparently becomes paralyzed, as far as movement of the cilia goes, by the action of the current“.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что все авторы М. Фервори, К. Лудовъ, Г. Дель, Р. Перль, В. Бируговъ, К. Кельшъ и Г. Валленгрень, расходясь въ частностяхъ относительно характера расположенія рѣсничекъ на анодной и катодной половинѣ тѣла инверзоріи, совершенно согласны въ томъ, что постоянный токъ оказываетъ какое то вліяніе на протистовъ, заставляя ихъ располагаться длинной осью въ известномъ направленіи къ току вслѣдствіе опредѣленной дѣятельности рѣсничатаго покрова, порывающающей и направляющей инверзорію къ одному изъ полюсовъ.

Все авторы также согласно подтверждаютъ наличность направляющаго вліянія постоянного и индуктнаго тока на инверзоріи. Исключительность одного гальванотропизма у опалитъ и исключительность трансверсальнаго у спиростомъ является сомнительной, потому что у этихъ инверзоріи въ зависимости отъ силы тока можно получить и катодный гальванотропизмъ.

6. Наложивъ полученные различными исследователями факты, упомянемъ о теоріяхъ, стремящихся объяснить вліяніе гальванотропизма простѣйшимъ.

а. Явленія гальванотропизма происходятъ, какъ учитъ М. Фервори и его школа, вслѣдствіе полярнаго возбужденія протистовъ, причѣмъ въ анодной половинѣ тѣла имѣетъ мѣсто всегда возбужденіе сокращенія (kontraktorisches Erregung), а въ катодной—возбужденіе растяженія, (расслабленія — expansorische Erregung).

Такая теорія, однако, раздѣляется не всеми авторами.

Для объясненія различнаго гальванотропизма у спиростомъ — трансверсальнаго у тигмотактированныхъ и катоднаго у свободно плавнущихъ—А. Пюттеръ (16) воспользовался фактомъ, открытымъ Г. Дженнингсомъ (17). Послѣдній авторъ замѣтилъ, что даже очень сильный токъ не производитъ на тигмотактированныхъ инверзоріи никакого эффекта, тогда какъ у свободно плавнущихъ уже совершенно слабыя токи вызываютъ гальванотактическия явленія; на основаніи этихъ наблюденій онъ пришелъ къ заключенію, что, следовательно, между дѣйствіемъ гальваническаго тока и тигмотаксисомъ существуетъ „интерференція“⁹. А. Пюттеръ въ большой статьѣ развилъ это мнѣніе въ теорію. Эта „интерференція“, по мнѣнію А. Пюттера и объясняетъ, почему тигмотактически-экспансивныя спиростомы принимаютъ трансверсальное положеніе. Такое измѣненіе реакціи на постоянный токъ онъ наблюдаетъ и на другихъ тигмотактированныхъ инверзоріяхъ; тигмотактически-экспансивная *Chilodon cucullulus* и *Colpidium Colpoda*, *Urostyla grandis* и бѣгающія и спокойно лежачія *Stylonychia* также принимаютъ трансверсальное положеніе, причѣмъ перистомъ ихъ всегда удаленъ отъ анода. Для объясненія катоднаго гальванотропизма и А. Пюттеръ, на основаніи своихъ наблюденій надъ положеніемъ рѣсничекъ, признаетъ, согласно съ М. Фервориомъ, возбужденіе растяженія на катодѣ и возбужденіе сокращенія рѣсничекъ на анодѣ.

б. Ж. Лебъ и С. Бэджеттъ (18) на аналогіи измѣненной формы парамецій, наблюдаемыхъ при дѣйствіи слабыхъ щелочей и раздраженій постояннымъ токомъ, строятъ свою теорію раздраженія протиста электроположительными ионами вѣшняго электролита, выделяемыми на анодной сторонѣ организмовъ. Эти авторы объясняютъ направляющее вліяніе постоянного тока непрямымъ химическимъ дѣйствіемъ ионовъ вѣшняго электролита, раздражающихъ анодный конецъ инфузорій (18).

в. Третья теорія пыталась объяснить явленія гальванотропизма чисто физическими причинами. Б. Бируковъ (13) признаетъ аналогію между передвиженіемъ живыхъ инфузорій и переносомъ мертвыхъ взвѣшенныхъ частицъ къ одному изъ полюсовъ дѣйствующаго тока. Мертвыя взвѣшенные частицы передвигаются къ полюсамъ катодорическихъ дѣйствіемъ тока, поэтому и въ передвиженіи инфузорій катодорезъ играетъ главную роль. Хотя авторъ и допускаетъ еще какую то, общую раздражительность¹⁾, но рѣшающее значеніе въ направленіи инфузорій къ полюсамъ отводитъ пассивному вліянію катодореза, которому и посвящена вся работа Б. Бирукова.

О. Карагрень (19) также дѣлаетъ попытку объяснить гальванотропизмъ физическими явленіями, но его объясненіе совершенно отличается отъ объясненія Б. Бирукова. О. Карагрень признаетъ возбужденіе растяженія на катодѣ и возбужденіе сокращенія на анодѣ въ смыслѣ М. Фервора и старается объяснить, что эти явленія возбужденія происходятъ вслѣдствіе катодореза жидкости внутри протиста; уносима изъ анодной половины тѣла протиста жидкость проникаетъ здѣсь возбужденіе сокращенія, приносима же къ катодной половинѣ вызываетъ явленіе растяженія. Мнѣніе О. Карагрена разделяетъ и Перль (12).

Вотъ основные факты, полученные авторами, изучавшими явленія гальванотропизма простѣйшихъ и теоріи, стремившіяся дать объясненіе этимъ явленіямъ. Я остановился здѣсь лишь на существенныхъ моментахъ, чтобы показать, что вообще сдѣлано до сихъ поръ по вопросу о гальванотропизмѣ простѣйшихъ.

ОТДѢЛЪ II.

Объекты и методы.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Методы постоянныхъ разводокъ протистовъ; непрерывность размноженія протистовъ зависитъ отъ правильности объема веществъ въ ихъ протоплазмѣ.

1. Протисты, служившіе объектами для опытовъ, разводились въ настояхъ листьевъ или сыва въ обыкновенной водѣ; рѣже готовились разводки въ прудовой или болотной водѣ. Чистыя разводки нѣкоторыхъ видовъ получались отслаиваніемъ протистовъ въ прокипяченную настой листьевъ.

Существеннымъ условіемъ успѣшности наслѣдованій надъ протистами является постоянная наличность живого матеріала для наблюдений и опытовъ. Въ обычныхъ условіяхъ разводки скоро погибаютъ, что заставляетъ естественно прекращать опыты. Условія, при которыхъ всегда возможно имѣть подъ рукой хорошую разводку, представляютъ громадный практической интересъ и выиснены уже мною въ работѣ: „Методы постоянныхъ разводокъ протистовъ“¹⁾.

Пользуясь методами, наложенными въ этой статьѣ, я всегда могъ имѣть изнеждательную разводку втеченіе желательнаго промежутка времени.

Моя четыре метода оживленія и улучшенія разводокъ инфузорій:

- 1) послѣдовательныя промывки,
- 2) механическое помѣшиваніе,
- 3) нейтрализація и
- 4) прибавленіе солей,

основаны на строгомъ соблюденіи условій правильнаго объема веществъ. Удовлетворяя основному физиологическому принципу, эти методы даютъ возможность непрерывно поддерживать правильное пита-

¹⁾ Сообщено 14-го ноября 1902 г. въ засѣданіи Отдѣленія Зоологіи Имп. Общ. Люб. Естѣ. Антр. и Этн.: „Новый методъ разводки инфузорій и оживленія ихъ движений“.

ние, а следовательно, и постоянно размножения протистов. Отживание есть ослабление жизнедеятельности; ослабление же и потеря жизнедеятельности вызывается дурными условиями питания. Устранение этих вредных условий и наличие условий для правильных процессов ассимиляции и диссимиляции дает непрерывную смену поколений протистов.

Подробное описание этих методов см. Известия Император. Общ. Люб. Ест., Антр. и Этн., Т. ХСVIII (20).

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Новый метод замедления движений инфузорий и наблюдения их рясничек.—Слизистая коллоидальная среда.

1. Изучение движений протистов и работы их рясничатого аппарата представляет большие трудности. Инфузории быстро перемещаются в капле водного настоя, в котором они обыкновенно разводятся и исчезают из поля зрения; поэтому нет никакой возможности проследить за их движениями.

Характер перемещения рясничек можно лишь наблюдать у инфузорий, движения которых значительно замедлены.

В работе „Новый метод изучения прижизненного строения и движений протистов“¹⁾ я указал на недостатки прежних методов замедления движений протистов: механического придавливания, наркотизации, смешивания с винным или яблочным уксусом, с тушью, янтаром, кармином и т. п. веществами.

Я применял с успехом новый метод, основной принцип которого заключается в получении коллоидальной среды, в которой поддерживалась бы и, если требуют условия опыта, начиналась бы разведка инфузорий. Консистенция этой среды, вязкость ее, должна очень медленно и постепенно увеличиваться до заметного предела, причем, в зависимости от этого, так же постепенно замедляются и движения инфузорий. Характер их движений несколько не нарушается, деятельность рясничек остается нормальной, и весь рясничный покров постепенно привыкает бороться с сопротивлением, оказываемым коллоидальной средой его роста.

Лучше всего этому принципу удовлетворяют слизистая коллоидальная среда—*Medium viscoso-colloidale*,—так как легко дают различную степень консистенции среды. Для биогенических исследований над протистами необходимы три степени консистенции: *medium liquidum*, *medium sirupoidale* и *medium colloidalе*.

Из веществ, образующих эти среды, на первом месте нужно поставить *Semen Psyllii*, слизистая вещества которого дают среду, отличающуюся изумительной вязкостью и прозрачностью.

¹⁾ Сообщено и демонстрировано 14 ноября 1902 г. в Отделении Зоологии Имп. Общ. Люб. Ест., Антр. и Этн.

Далее следует *Alga Saragahæen*, слизистые вещества которой при разбухании легко дают все три стадии; поэтому *Alga Saragahæen* пригодна для очень многих наблюдений при самых разнообразных условиях опыта и употреблялась наименее всего.

Semen Sydoniæ и, наконец, *Gummi Tragacanthæ* служат прекрасным материалом для быстрого получения сравнительно густых консистенций—*medium colloidalе*—в которых движения крайне замедлены, но по характеру совершенно нормальны, как и во всех вообще слизисто-коллоидальных средах.

Слизисто-коллоидальная среда оказала мне незаменимые услуги при изучении реакции рясничек (отдель IV) и химических названий в зитоплазме (отдель VII) протистов вследствие раздражения электрическим током и дали возможность открыть новые фазы, относящиеся к вопросу о причинах и характере процессов возбуждения протистов.

Подробности о пользовании слизистыми коллоидальными средами для замедления движений протистов см. Известия Имп. Общ. Люб. Ест., Антр. и Этн., Т. ХСVIII (20).

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Камеры из каolina, стекла, воска с канифолью и картона, пропитанного антигидрином.—Электроды: каолиновые брусы Ферворна, глиняные полуски Лудова, каолиновые углообразные, глиняно-изитиновые.—Демонстрационная камера.—Источники электричества.—Результаты с создаваемыми протистом.

1. Капли с инфузориями, в которых я изучал влияние постоянного и переменного тока и индукционных ударов помещались в различные камеры с разнообразными электродами.

Для наблюдения при помощи лупы или при небольшом увеличении микроскопа служили сравнительно большие камеры размерами от 10 мм. в длину и ширину и до 60 мм. в длину и 40 мм. в ширину; высота стенок равнялась 1—3 мм. Камеры имели форму круга, овала, квадрата или прямоугольника; стенки их делались из полусок стекла, каолина, приклепанных к предметному стеклу канадским balsamom, сплавом воска с канифолью и, наконец, из картона пропитанного антигидрином проф. Мореховца¹⁾. Посадки камеры очень удобны и пригождаются очень просто; небольшие куски тонкого картона погружаются в слегка нагретый сплав антигидрина, который медленно и постепенно пропитывается, становясь непрои-

¹⁾ Изолирующий сплав антигидрина состоит из равных частей гуттаперчи и парафина, к которым прибавляется асфальт. Парафин расплавляется до выделения паров, асфальт прибавляется постепенно куски гуттаперчи до растворения, среда же опускается $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{2}$ части, сирфского асфальта. Вязкость смеси находится в обратном отношении к количественному содержанию асфальта.

цеными для воды и непроводниками для тока; по охлаждению этих кусков картона, из них вырываются ободки шириною около 5 мм. различной формы и величины; для наблюдения гальванотропических явлений удобны прямоугольные ободки в 20—40 мм. длиною и в 10—20 мм. шириною. Такие ободки слегка нагреваются с нижней поверхности и приклеиваются на покрывном стекле поверх металлических электродов. Свободные концы этих электродов во всех камерах должны, конечно, очень немного выступать внутрь камеры из-под узких сторон ее.

2. а. Капли, равномерно распределенные между электродами камеры, образуют свободную поверхность, которая иногда прикрывалась покрывным стеклышком соответствующей величины. Последний прием применялся гл. обр. в тех случаях, когда электроды не были окружены каким либо ободком; тогда капли, распределявшиеся между электродами, прикрывалась покрывным стеклышком на нижних восковых ножках и ровным слоем распределялась между предметным и покрывным стеклами.

Металлическими электродами я пользовался лишь в немногих случаях; обыкновенно же большинство опытов производилось с непolarизующимися электродами. В этом отношении чрезвычайно удобна и незаменима камера М. Ферварна (2) состоящая из двух брусков из пористого белого каолина, соединенных полосами из воска с канифолью; внутри камеры, поистине, помещались капли с инузориями; к каолиновым брускам прикладывались кисточки или чаще обыкновенные глиняные споможки.

б. Для тонких исследований при сравнительно сильных увеличениях капля должна распределиться между предметным и покрывным стеклами, возможно тонким слоем, в котором движения протистов были бы, однако, свободны, и протисты не подвергались бы давлению покрывного стекла.

Для этой цели иногда может служить очень маленькая камера М. Ферварна; между каолиновыми брусками ее тонкими мостиками можно расположить каплю с инузориями, не покрывая ее. К. Лудольф для наблюдения жизни тока на реснички пользовался просто двумя подвесками модельной глины, которая располагалась параллельно на предметном стекле; внутренние края их тщательно истончались, образуя покатость снаружи внутри; между ними (9 мм.) располагалась капля из желатина с инузориями и прикрывалась покрывным стеклышком. Такую камеру нужно было, конечно, каждый раз готовить новую. Я пользовался и этой камерой, а в последнее время заменял ее следующей, более удобной.

в. Из пористого белого каолина выщипывают уступообразные бруска длиною 15—18 мм., шириною около 6—8 мм.; ширина узкой, выступающей внизу полоски — 3 мм., толщина около 1 мм. Бруска очень тщательно прищипывались параллельно друг другу к предмет-

ному стеклу каолиновым балластом (рис. 4) в таком расстоянии один от другого, чтобы между ними на узкой и тонкой полоски могло свободно лечь покрывное стеклышко (обыкновенно длина его равнялась 18 мм.), прикрывавшее каплю с инузориями, которая располагалась равномерно тонким слоем в этой камере с уступообразными электродами. К каолиновым брускам прикладывались глиняные споможки непolarизующихся электродов. Эта камера — электроды удобна тем, что ее всегда можно легко промыть, и она снова годна для ряда опытов.



Fig. 4.

Кроме того я пользовался еще следующими электродами. На модельную глину электродов набрасывался и прищипывался в ней скрученная в 2—4 раза толстая или тонкая бумажная нитка, смоченная, смотря по необходимости, водой из свиного настов, физиологическим раствором поваренной соли или морской водой; нитка оканчивалась свободным тонким концом в 2—3 сантимет. длиною; она должна быть не очень влажной, чтобы с этого свободного конца не капала жидкость, которой она смочена. Свободные концы таких глиняно-нитчатых электродов помещались параллельно друг другу поперек предметного стекла обыкновенно таким образом, чтобы расстояние между ними равнялось 5 мм.; в некоторых случаях расстояние доходило до 14 мм. (рис. 5). Изменяя длину свободных концов можно придавать электродам самую разнообразную форму на предметном стекле; обыкновенно же я пользовался параллельным расположением. Капля больше или меньше густой консистенции слепится коллоидальной среды можно очень хорошо расположить узкими и тонким слоем между электродами и прикрыть покрывным стеклышком соответствующей величины; края покрывного стеклышка заходят на хорошо образованные концы ниток. Притягивая капли в силу волосности ниток в ту или другую сторону при пользовании сравнительно густыми средами (medium colloidal) обыкновенно не наблюдается; это обстоятельство является помехой при опытах над галлами очень жидких консистенций (medium liquidum), каковыми, однако, сравнительно редко употребляются при этих электродах. Тем не

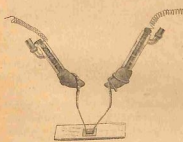


Fig. 5.

меньше, навьюк дает возможность пользоваться глиняно-нитяными электродами даже и для капли обыкновенного сыного настоя, что, хотя трудно, но достижимо.

Вообще, предъ опытомъ нужно аккуратно расположить свободные концы нитокъ на предметномъ стеклѣ такъ, чтобы на самомъ стеклѣ лежали концы такой лишь длины, какая соответствуетъ ширинѣ покровнаго стеклышка (обыкновенно около 6—10 мм.); продолженіе же нити сейчасъ же отъсѣивается вверхъ, переходя въ скрученную въ несколько рядовъ нитку. Если нитки окажутся очень влажными и изъ концовъ ихъ появится жидкость, ее нужно осторожно удалить полосками фильтровальной бумаги; если, въ силу разницы во влажности той или другой нитки, капля присасывается какою нибудь электродомъ, нужно при помощи тѣхъ же полосокъ фильтровальной бумаги высушить пространство между электродами и снова помѣстить каплю, которая прикрывается покровнымъ стеклышкомъ специальной ширины и длины, различнаго для разныхъ случаевъ.

Капли изъ слизисто-коллоидальныхъ средъ очень хорошо располагаются между этими нитяными электродами; такая капля легко ложится между ними тончайшимъ мостикомъ, не образующимъ мениска, и ее, по желанію, можно не прикрывать стеклышкомъ. Эти электроды очень удобны въ тѣхъ случаяхъ, когда ведутся опыты съ цѣлымъ рядомъ свѣжихъ капель; использованную каплю легко удалить полосками изъ прорусной бумаги, и между концами нитокъ помѣстить новую.

Камера съ уступообразными электродами и глиняно-нитяные электроды имѣютъ преимущественно предъ электродами изъ пластической глины К. Лудова. Электроды К. Лудова неудобны для частой смены капель, такъ какъ пространство между ними очень легко засоряется мелкими кусочками глины, что служитъ помехой для наблюденія и всякій разъ требуетъ кропотливой очистки поверхности предметнаго стекла между полосками глины. При использовании монги емкостей съ уступообразными электродами или нитяными электродами это неудобство устраняется. Электроды имѣть съ нитками легко удалить въ сторону, чтобы вытереть стекло.

И глиняно-нитяные электроды и слизисто-коллоидальная среда представляютъ большое сопротивление электрическому току, поэтому не для всѣхъ опытовъ они являются удобными; при помощи ихъ можно было всегда отягчить наблюдать лишь измѣненіе въ дѣятельности рѣсничекъ при дѣйствіи, напр., рамкаательныхъ индукционныхъ ударовъ, сила которыхъ даже при полномъ индиганіи катушекъ сыного аппарата Дю-Буа-Реймона, бывшаго въ моемъ распоряженіи, иногда оказывалась недостаточной, чтобы вызвать послѣдующія реакціи простотворъ на это раздраженіе.

Поэтому въ некоторыхъ случаяхъ и пользовались платиновыми пластинками или золотыми листочками, тщательно прирѣпленными канинадскимъ базисомъ къ предметному стеклу въ видѣ узкихъ поло-

сокъ шириною до 8 мм.; между свободными параллельными краями ихъ, отстоявшими на 5 мм., помѣщались тончайшимъ мостикомъ, безъ образования мениска, слизисто-коллоидальная капля; каплю, иногда и не покрывая, можно было наблюдать при системѣ Д Пейсса.

3. Предметное стекло съ металлическими электродами изолировалось на длинной, узкой пластинкѣ изъ прессованной пробки, чтобы платиновая или мѣдная проволока, скрученная съ электродами, не касалась предметнаго столика; посредствъ пробки дѣлались соответствующая вырѣзая для свѣтовыхъ лучей.

4. Для демонстраціи въ большой аудитории опытовъ гальванотропизма простѣйшимъ способомъ проекціи при горизонтальной установкѣ микроскопа годятся въ описанія камеры съ металлическими либо съ коллоидными электродами. Проще проэцировать при вертикальной установкѣ, при которой, понятно, описанная выше камера непригодна. Въ этихъ случаяхъ я пользовался особою сконструированною мною камерою, демонстрированную въ 1898 году въ Отдѣленіи Физиологівъ¹⁾. Рисункомъ 6-й изображаетъ такую демонстрационную камеру *инвазивно-камера*. На покровномъ стеклѣ аккуратно прикрываются помощью канинадского базиса дѣя U-образно изогнутыхъ капиллярныхъ трубочекъ толщиною около 2 мм., сверху такимъ же образомъ прикрываются покровное стекло, между трубочками и стенками образуется желобокъ шириною въ 5—8 мм., открытый сверху,



Рис. 6.

куда погружены платиновые электроды, прикрываемые прочно слюдяной вѣска съ канинадскою къ предметному стеклу. Желобокъ между капиллярными трубочками наполняется жидкостью съ инвазоріями, подвергаемымъ дѣйствію электрическаго тока. Несмѣщаемость платиновыхъ электродовъ позволяетъ свободно демонстрировать различныя моменты вліянія тока, устанавливая въ проекціонномъ полѣ въ среднюю часть желобка, то одно или другое кольцо его; такимъ образомъ, переключая свободно камеру, можно проэцировать на экранѣ весь послѣдовательный путь проходимый инвазоріями. Холодильники, конечно, существенно необходимы.

5. Платиновая или мѣдная проволока электродовъ соединялась помощью мѣдныхъ клеммъ съ источниками постоянного, переменнаго или индукціоннаго тока.

Постоянный токъ получался отъ батарей изъ 40 углекислыхъ элементовъ, различнаго числа аккумуляторовъ (каждый около 4 вольтъ) и отъ динамо-машинъ (110 вольтъ), находящейся въ нашей лабора-

¹⁾ Методика гальванотаксиса. Записки Отдѣленія Физиологівъ Имп. Общ. Знѣв. Евст., Геогр. и Этн. 5 марта 1898 г. Извѣщеніи Отд. № 15 и 16.

тории. Переменный ток отводился от городской трех-фазной сети (50 колебаний в секунду) или из цепи постоянного тока вводился автоматический коммутатор Поггендорфа. Для индукционного тока служил аппарат Дю-Буа-Рейнона, первичная спираль которого была соединена с аккумулятором 2—4 вольт; отдаваемые замыкательные или размыкательные удары производились от руки при помощи ртутного ключа или ключа проф. Л. З. Мореховца (21, р. 167); разрывы достигались при посредстве самоперерывателя Геффа (21, р. 210); изменение положения груза и наклона маятника его дает, как известно, возможность легко и быстро варьировать частоту перерывов от 30 до 600 в Г; бывший у меня перерыватель Геффа, конструированный для нашего института механиком Громыным, давал, согласно моим проверкам, от 10 до 3000 перерывов в минуту.

В цепь постоянного тока вводился ключ, винты Поля, всегда миллиамперметр (гальванометр Эдельмана) и реостат, позволявший получать ток от 0 и постепенно и равномерно увеличивать его силу до желаемой величины.

6. Для всех описываемых ниже устройств необходимы реостаты с очень большими сопротивлениями. Я сдвигал много неудачных попыток, пока нашел реостат вполне удовлетворявший тем требованиям, которые представляли опыты, и давший блестящие результаты. Большинство реостатов работает неравномерно; трудно достигнуть постепенного увеличения или уменьшения силы тока. Считаю лишним останавливаться на том, что различной длины витки, пропитанные насыщенным раствором сернистого цинка, и сложные системы капиллярных трубок также разнообразной длины, наполненные раствором сернистого цинка, оказались непригодными. Опыты описание пробь других реостатов Гиршмана и моего изобретения, реостата И. Котовича (22) и др. и переходу к описанию конструированного мною реостата, чрезвычайно дешевого, простого и в высшей степени удобного для физиологических и медицинских целей.

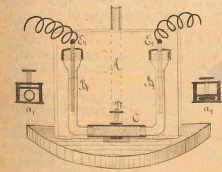


Рис. 7.

Принцип, положенный в основу этого реостата уже не раз применялся авторами (наприм., Грюйо 23; Блазиус и Швейцель, 24). Увеличение и уменьшение сопротивления достигается постепенным суживанием, герм. расширением просвета жидкого сопротивления. Устройство такого реостата легко понятно из рисунка 7-го. Главная его часть — мягкая каучу-

вая трубка С — имеет 10 сан. в длину и 9 мм. в диаметре; концы ее надты на изогнутую стеклянную трубку В₁ и В₂. Каучуковая трубка расположена горизонтально, а стеклянная привальены почти вертикально к вычеренной дощечке. Каучуковая трубка заключена в зажим Мора; нижняя неподвижная его пластинка прижата мандельбейской замазкой к станиву А, к которому привальена и дощечка; помощью винта верхняя подвижная пластинка зажима может сжимать каучуковую трубку и уменьшать, следовательно, ее просвет. — a_1 и a_2 . Трубки наполняются насыщенным раствором сернистого цинка и помощью амальгмированных подосок цинка E₁ и E₂ вставлены в стеклянные трубки; прибор вводится в цепь.

Преимущества этого реостата очевидны: при своей дешевизне и простоте устройства он отличается изумительною постепенностью и равномерностью в увеличении и уменьшении сопротивления, что очень важно при опытах над направляющим влиянием тока на водных животных.

7. Названное в этой главе исчерпывает основную методику, которую я пользовался при изучении влияния электрического тока на протистов. Особая приспособления и водомытия методов для специальных опытов будут описаны в соответствующих главах.

63903

Л. П. Р. - Н. К. О.
 Хранится в библиотеке
 НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
 ЦЕНТРА ФИЗИОЛОГИИ
 6 1924

О Т Д Ъ Л Ъ Ш.

Различныя стадіи гальванотропизма и гальванотаксиса протистовъ и зависимость ихъ отъ силы тока.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Основныя явленія гальванотропизма протистовъ.

Общая картина гальванотропизма 28-ти видовъ оксериентированныхъ инфузорій.—Основныя явленія, наблюдаемыя при слабыхъ увеличеніяхъ: ориентировка передняго конца тѣла относительно полюсовъ, измененія скорости передвиженія и измененія конфигураціи протистовъ.

1. Картина, получающаяся подъ лупой или при слабомъ увеличеніи микроскопа тотчасъ же послѣ замыканія тока, проходящаго чрезъ разводу съ громаднымъ количествомъ протистовъ, всегда одинаково поражаетъ какъ наблюдателя, впервые разсматривающаго явленія гальванотропизма, такъ и опытнаго наставителя, безчисленное количество разъ видѣвшаго регулярныя движенія инфузорій при дѣйствіи электрическаго тока.

Сейчасъ же послѣ замыканія тока протисты, находящіеся въ камерѣ, напр. Рагмаксиміи или Stylonychia, съ изумительнымъ постоянствомъ устремляются переднимъ концомъ тѣла къ катоду, а всѣ остальные поворачиваются такъ, чтобы принять обыкновенное гомотропное положеніе и затѣмъ ужестройной толпой, при равномерномъ движеніи плывутъ по линіи тѣла по направленію къ полюсамъ. Сейчасъ же послѣ замыканія тока въ инфузоріи (парамеции) „словно по командѣ“, какъ удачно выразился М. Фервортъ, устремляются къ катоду, плывутъ по направленію къ нему и чрезъ нѣкоторое время собираются у катодной стѣнки этого полюса.

Особенно поразительная и демонстративная картина получается, когда въ камерѣ находится очень много разнообразныхъ видовъ протистовъ. Въ аватардѣ торопливо сплываѣтъ безаконоинная продолговатая вытянутая парамеция; солидные, громадные и сильныя стенторы, принявъ вытянутую вѣевидную форму, свободно проталкиваются въ ихъ толпѣ; медленно, точно торжественная процессія, слѣдуютъ оставшія оксентрихи; Pleurocoma chrysalis на изящныхъ длинныхъ рѣсничкахъ,

словно на конькахъ, скользятъ за ними; длинныя, цилиндрическія простомы располагаются перпендикулярно относительно направленія тока, иногда же, сокращая периодически свое тѣло, принимаютъ гомотропное положеніе и приближаются вслѣдъ за остальными къ катоду; въ то же время медкіе элагеллаты тучей перемищаются въ противоположномъ направленіи къ аноду.

Съ размыканіемъ тока регулярность движеній моментально нарушается. Протисты плывутъ отъ полюсовъ назадъ и спустя нѣкоторое время распределяются болѣе или менѣе равномерно по всему микрoаваріуму.

2. Характеръ поступающихъ явленій различныхъ видовъ инфузорій при направляющемъ вліяніи постоянного тока къ тому или другому полюсу исчерпывающимъ образомъ описанъ уже М. Фервортъ (2, 3, 4), поэтому я и не буду надъ этимъ останавливаться, тѣмъ болѣе, что мои наблюденія въ этихъ отношеніяхъ ничего оригинальнаго не представляютъ и подтверждаютъ лишь описанія М. Фервортъ и другихъ авторовъ. Нѣкоторыя новыя виды протистовъ, которые, по моимъ наблюденіямъ, также гальванотропичны, по своей реакціи мало отличаются отъ типичнаго проявленія гальванотропизма и не заслуживаютъ отдѣльнаго описанія. Въ дѣльнѣйшемъ изложеніи я останавливаюсь лишь на типичныхъ формахъ, реакціи которыхъ на электрическій токъ представляетъ характерныя особенности, имѣющія большое значеніе для выясненія сущности явленій гальванотропизма простѣйшихъ.

3. Частые индукціонныя удары, которыми пользовался уже М. Фервортъ (2) очень удобны при демонстраціяхъ гальванотропизма вслѣдствіе несложности обстановки опытовъ¹⁾.

Индукціонныя удары, слѣдующіе одинъ за другимъ съ извѣстной быстротой, также направляютъ протистовъ къ полюсамъ. Раздраженія отдѣльныхъ ударовъ суммируются и обуславливаютъ опредѣленный характеръ возбужденія, проявляющагося опредѣленной реакціей по ступенчатому передвиженію къ минусу рамкательныхъ ударовъ.

Въ данномъ случаѣ, какъ извѣстно изъ моей работы (26) о вліяніи минимальнаго по времени электрическаго раздражителя на рѣсничатыхъ инфузорій, дѣйствующими все въ одножъ и томъ же направленіи являются лишь рамкательныя удары, потому что при 19—17 сан. разстоянія катушекъ отдѣльный замыкательный удар не производитъ никакого эффекта, тогда какъ единичный рамкательный удар этого напряженія вызываетъ опредѣленную реакцію рѣсничекъ.

Чрезвычайно важно подчеркнуть то обстоятельство, что гальва-

1) Считаю приятнымъ долгомъ выразить мою сердечную признательность доктору Кивковскому и зоологу Потемкину за ихъ участіе въ опытахъ въ 1897 году въ Научномъ Отдѣлѣ выставки Отдѣла Ихтиологій Имп. Общ. Аккл. живъ и раст. гдѣ мы демонстрировали помочью протини на экранѣ явленія гальванотропизма простѣйшихъ при направляющемъ дѣйствіи частыхъ индукціонныхъ ударовъ.

потропическая реакция парameций, т. е. направляющее влияние частых индукционных ударов, начинается, при прочих равных условиях, уже при 22—20 сан. разности спирали. Отдельный индукционный удар в это время еще не проявляет никакого влияния на инфузорию, между тем как ряд быстро следующих один за другим ударов направляет парameций к минусу размыкательных ударов. Гальванотропическая реакция вызывается уже при 5 ударах в секунду, лучше всего явление наступает при 10—20 ударах в секунду.

Здесь мы имеем чистый опыт, доказывающий, что протоплазма протистов может суммировать отдельные одного и того же характера периодически раздражения электрическими ударами, проводящими тот же элек-ект, какой вызывается продолжительным влиянием постоянного тока.

4. Направляющее влияние постоянного тока в частых индукционных ударах было изучено мною на следующих видах протистов:

Изъ порядка Holotricha.

1. *Paramecium caudatum* Ehrbg.
2. *Paramecium aurelia* Ehrbg.
3. *Paramecium bursaria* Ehrbg.
4. *Paramecium marium* S. K.
5. *Colpidium colpoda* Ehrbg.
6. *Colpoda caeculus* O. F. M.
7. *Chilodon cucullatus* O. F. M.
8. *Chilomonas paramecium* Ehrbg.
9. *Opalina galarum* Ehrbg.
10. *Holophrya* sp. Ehrbg.
11. *Laerymaria elor* O. F. M.
12. *Uronema marina* Dej.

Изъ порядка Hypotricha.

1. *Stylosochia mytilus* Ehrbg.

5. Уже при поверхностном наблюдении явлений гальванотропизма легко заметить, что сейчас же после замыкания тока инфузория ориентируется длинной осью своего тела относительно полюсов тока; большинство их располагается гомомерно с направлением тока, причем их длинная ось становится параллельной линиям тока. В зависимости от каких то условий меняется скорость поступательных перемещений к тому или другому полюсу; при одних условиях опыта инфузория движется очень быстро, при других, наоборот, переключаются крайне медленно. Наконец, чаще они плывут к полюсу при несколько неизменной ориентации тела, в более редких же случаях наблюдается значительное изменение конфигурации протиста.

Последовательное рассмотрение этих явлений:

- 1) ориентировки относительно полюсов,
- 2) изменения скорости передвижения и
- 3) изменения конфигурации тела,

составляет ближайший предмет изложения, к которому теперь и переходим.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Новые опыты для доказательства активности ориентировки протистов относительно полюсов тока; условия получения трансверсального гальванотаксиса и гальванотропизма.

I.

Новый метод для изучения ориентировки протистов; тока переменного направления.

1. Стремление парameций расположиться при действии постоянного тока передним концом тела в направлении к катоду составляет первое явление, которое сразу бросается в глаза. При инверсии тока весь инфузорий тотчас же поворачиваются к новому катоду и плывут к нему. Это явление повторяется неизменно образом всякий раз, без всякого замедления, при каждой новой перемене направления тока. Каждый раз протист производит целый ряд движений, отъ как бы делаясь выборъ, и в концѣ концов путемъ исключения набираетъ гомомерное положение и плыветъ к катоду (рис. 8).



Рис. 8. Отрицательный гальванотаксисомъ *Paramecium caudatum*.

Такая ориентировка относительно полюсовъ, такое активное стремление принять гомомерное положение, повторяющееся с изумительной законностью, уже приводит к заключению, что самое передвижение инфузорий подъ влияниемъ постоянного тока к одному изъ полюсовъ не есть явление пассивное.

Наблюдение ведется в камерѣ съ квадратными брусками или съ металлическими электродами, окруженными ободкомъ пропитаннымъ антигидриномъ; всякий разъ при перемене направления тока помощью выппы Пола измѣняется положение передняго конца протиста, который всегда располагается и движется длинной осью в гомомерномъ направлении относительно тока.

II

Paramecium caudatum.

Действие токовъ переменнаго направления при различной частотѣ чередъ и одинаковой силѣ тока. — Явление ориентировки.

1. Чрезвычайно доказательной и демонстративной является следующая новая постановка опытовъ, дающая возможность наблюдать явления ориентировки относительно полюсовъ при новыхъ условияхъ и на основаніи зарегистрированныхъ фактовъ сдѣлать новые выводы.

Сущность методики этих опытов заключается в том, что вместо одного и того же направления постоянного тока и пользуясь током, направления которого быстро меняется, что достигается помощью метронома или коммутатора Поггендорфа.

По обьём сторонам горизонтального прута маятника устанавливаются парные контакты, что даёт возможность замыкать течение известного промежутка времени постоянный ток, направление которого в камере с индукторами, введённой в цѣпь съ метрономом, меняется при каждом сложеніи маятника чрезъ 2—1—0,5 сек.

2. Заставляемъ метрономъ колебаться и замыкаемъ токъ, проходящій чрезъ камеру съ индукторами; направление его меняется чрезъ каждые двѣ или одну секунду. Наблюдаемъ въ довольно сильную лупу. При каждомъ замыканіи маятника параметины поворачиваются переднимъ концомъ къ катоду; движеніе маятника въ другую сторону замыкаетъ токъ противоположнаго направления, который принуждаетъ повернуться теперь къ новому катоду. Получается чрезвычайно занимательная картина: при каждомъ измененіи направления тока, меняется положеніе передняго конца протеста относительно полюсовъ тока; животное почти изохроно съ переменной тока мѣняетъ свое положеніе, поворачивается чрезъ опредѣленные промежутки времени къ нити и устремляется къ нему, пока токъ остается замкнутымъ въ данномъ направленіи, чтобы затѣмъ, съ переменной направленія тока, снова стать переднимъ концомъ къ новому катоду.

3. Метрономъ даётъ возможность по желанію измѣнять интервалы между двумя замыканіями тока противоположныхъ направленій; на основаніи этихъ опытовъ нужно прити къ заключенію, что ориентировка протестовъ относительно полюсовъ начинается почти сейчасъ же за замыканіемъ тока (существуетъ небольшой скрытый періодъ возбужденія). Къ сожалѣнію, между двумя противоположными направленіями тока существуетъ промежутокъ безразличія для протеста, когда тока нѣтъ и онъ, следовательно, втеченіе этого времени не дѣйствуетъ на протестовъ. Метрономъ замыкаетъ токъ втеченіе сравнительно небольшого промежутка времени; противоположное направленіе тока застаетъ протеста въ новомъ положеніи, которое онъ принялъ уже послѣ прекращенія вліянія тока прежняго направленія. Разнообразныя положенія параметрины также затрудняютъ наблюденіе; задача заключается въ томъ, чтобы изучить мгновенное вліяніе тока, направленіе котораго безъ перерыва мѣняется чрезъ опредѣленные промежутки времени, на протестовъ, находящихся въ опредѣленныхъ положеніяхъ относительно направленія тока. Выпаи и метрономъ не могутъ вполне служить этой цѣли; недостатковъ ихъ, — перерывъ во времени между токами противоположныхъ направленій — очень просто устранить въ коммутаторѣ Поггендорфа.

4. Введеніе въ цѣпь коммутатора Поггендорфа очень облегчаетъ производство разнообразныхъ опытовъ надъ протестами и дѣ-

лаетъ ихъ чрезвычайно удобными для демонстраціи. Вращеніе ручки прибора съ различною скоростью даётъ возможность произвольно измѣнять число перемены направленія тока въ самыхъ широкихъ предѣлахъ, регулируя скорость вращенія при помощи метронома или лучше секундогра. Перемена одного направленія тока на противоположное происходитъ безъ перерывовъ, послѣдовательно.

Индукторы наблюдаются при помощи сильной лупы или объектива 2 Гартнака; устанавливаемъ на каие нибудь два контакта коммутатора Поггендорфа и замыкаемъ помощью ключа токъ, проходящій чрезъ камеру съ индукторами. Когда съ индукторн уже идутъ толпой по параллельнымъ линіямъ къ катоду этого постоянного тока, осторожно, но быстро, подвигимъ помощью рукоятки слѣдующій контактъ коммутатора. Моментально съ индукторн поворачиваются около своей короткой оси на 180° и идутъ къ катоду новаго направленія тока. Перемищая коммутаторъ чрезъ опредѣленные интервалы времени на слѣдующій контактъ, можно заставить индукторн при каждомъ измѣненіи направленія тока поворачиваться на 180°, чтобы располагаться переднимъ концомъ и плыть къ новому катоду.

Сокрывая время замыканія тока данного направленія или, другими словами, увеличивая быстроту вращенія рукоятки коммутатора и, следовательно, число перемены направленія тока въ секунду, можно достигнуть того, что параметины уже не будутъ перемищаться къ стѣнкамъ камеры; она вращается около своей короткой оси почти на одномъ и томъ же мѣстѣ: едва уселась она принять однородное положеніе относительно тока данного направленія, какъ токъ противоположнаго направленія застаетъ ее повернувшись къ новому катоду.

При равномерномъ движеніи рукоятки коммутатора подъ контролемъ секундогра можно такъ регулировать число перемены направленія тока въ секунду, что параметина, подобно стрѣлкѣ гальванометра, поворачивается вокругъ своей короткой оси на 180°, какъ бы все время балансировалъ, и переднимъ концомъ ориентируется относительно новаго катода, являясь, такимъ образомъ, всегда вѣрнымъ, живымъ показателемъ направленія тока.

5. Изъ этихъ опытовъ видно, что параметина не только ориентируется относительно катода, но дѣлаетъ это возможно скорѣе, при наиболее простомъ движеніи и при наименьшей, следовательно, затратѣ энергіи; движенія ея вполне целесообразны; она поворачивается вокругъ своей короткой оси на 180°, т. е. дѣлаетъ наиболее простое движеніе, чтобы снова стать переднимъ концомъ къ катоду. Такая ориентировка совершается втеченіе опредѣленнаго промежутка времени съ опредѣленною скоростью; при ориентиръ (страница 34) движенія тока это поворачиваніе вокругъ короткой оси на 180° занимаетъ 0,5—1,2 сек., т. е. въ среднемъ около 0,8 секунды, что назывемъ временемъ ориентировки (въ данномъ случаѣ относительно движущихся полюсовъ). Сюда же можно включить и время скрытаго

периода возбуждения. Это время ориентировки параметрично относительно полюсов вычислено на основании многочисленных наблюдений, сколько раз втечение данного промежутка времени повернется параметрия вокруг своей короткой оси на 180° при известной скорости вращения рукоятки коммутатора. Возбудителем этого живого гальванометра является электрической ток; громадная параметрия возбуждается уже минимальной силой тока и ориентируется относительно катода.

6. Очень быстрое вращение рукоятки коммутатора, т. е. значительное увеличение числа переключений направления тока в секунду, дает уже другие явления. Вращаем рукоятку с такой быстротой, чтобы колесо коммутатора делало от 2 до 5 оборотов в секунду; тогда число переключений направления тока колеблется от 40 до 100 в секунду, так как колесо коммутатора несет 20 контактов. Промежутки времени между двумя направлениями тока очень малы, и параметрия, не успевая ориентироваться относительно одного направления, подвергается уже влиянию другого. Поэтому почти все протисты принимают трансверсальное положение, т. е. становятся перпендикулярно к линиям тока и по этим перпендикулярам перемещаются вверх и вниз от наблюдателя. При сравнительно нечастых переключениях тока напр. при одном обороте колеса коммутатора втечение 2—1 секунды, т. е. при переключениях направления тока каждую 0,1—0,05 сек., можно заметить у параметрий, расположенных перпендикулярно к линиям тока, стремление наклонить свою длинную ось то влево, то вправо; причем, чем чаще перемены тока, тем меньше угол наклона и наоборот; другими словами, угол наклона, образуемый перпендикуляром к линиям тока и длинной осью протиста, находится в обратной и пропорциональной зависимости от частоты переключений тока. При очень частых переключениях он равняется нулю; параметрия не успевает ориентироваться относительно быстро сменяющихся катодов и перемещается лишь по перпендикулярам к линиям тока.

7. Устанавливаем коммутатор на какиенибудь два контакта и на несколько мгновений замыкаем постоянный ток аккумулятора на батареи из углических элементов; все параметрии устремляются к катоду. Когда большинство их находится уже в катодной и средней трети камеры, начинаем сравнительно быстро вращать рукоятку коммутатора; быстрота вращения колеса, т. е. частота переключений направления тока несколько больше той, которая необходима для получения балансировки инеузории на 180° вокруг своей короткой оси почти на одном и том же месте; число переключений направления тока — около 5—10 в секунду. Продолжая все время внимательно наблюдать за поведением протистов в камере, можно видеть что большинство параметрий, направляемых к катоду, продолжают плыть в прежнем направлении; такое гомодричное передвижение продолжается из-

сколько мгновений, несмотря на то, что чрез камеру проходят теперь токи быстро сменяющихся противоположных направлений; некоторые параметрии почти сейчас же после начала вращения рукоятки коммутатора переключаются перпендикулярно к линиям тока и лишь единичные экземпляры поворачиваются на 180° и плывут в другую сторону небольшое расстояние в противоположную сторону (рис. 9).

Вращение коммутатора продолжается короткое время, прерываемъ ток.

8. Вращаем рукоятку коммутатора сравнительно медленно, чтобы интервалы между двумя противоположными направлениями тока были опять немного больше тех, которые необходимы для балансирования протиста почти на одном и том же месте; колесо делает один оборот в 5—3 секунды, что соответствует приблизительно 4—8 переключениям направления тока с интервалами в 0,25—0,12 сек.

При этом инеузории, прежде спокойно плывшие в камеру, начинают передвигаться в противоположных направлениях; одни плывут вправо, другие среди первых и вторых часто сменяются сообразно с переключением направления тока (рис. 10).

9. Медленное вращение рукоятки сразу сменяет на быстрое; колесо делает 1—3 оборота в секунду. Сейчас же инеузории, равномерно расположенные в камере, разделяются на два лагеря; одни плывут вправо, другие же только влево. Эти движения втечение сравнительно продолжительного времени в противоположных направлениях к двум противоположным катодным брускам особенно ясно выражены в области электродных третей камеры; в средней же трети часть инеузории сравнительно скоро начинает перемещаться перпендикулярно к линиям тока (рис. 11а). Прекращаем вращение коммутатора, размыкаем ток.

10. Выбираем такую частоту переключений направления постоянного тока, при которой параметрия балансировать почти на одном и том же месте, поворачиваясь вокруг своей короткой оси на 180° ; быстро и значительно увеличиваем частоту переключений направления тока. Почти все параметрии средней трети камеры сразу принимают перпендикулярное положение относительно (направления) линий тока и передвигаются перпендикулярно по этим перпендикулярам вверх и вниз, т. е. к наблюдателю и от него; в областях электродных третей камеры инеузории либо устремляются к створам электрода, либо несколько мгновений продолжают вращаться вокруг своей ко-

Рис. 9.



Рис. 10.

роткой оси и только спустя 1—3 минуты также начинают перемещаться по перпендикулярам к линиям тока; позже всего становятся трансверсально к току инеузории, находясь у стенок электродов (рис. 11б в). Следовательно, при очень быстрых перемьнах направления тока трансверсальное положение и движения относительно линий тока принимают прежде всего инеузории средней трети и сравнительно позднее инеузории электродных третьей камеры.

III.

Действие токов переменного направления при одинаковой частоте перемьна и различной силе тока.—Новые условия для экспериментального получения трансверсального гальванотропизма.

1. Вь опытах, только что изложенных, варьровалась лишь частота перемьна направления тока, сила же тока по все время продолжения этих опытов оставалась одной и той же,— всегда избиралась сила тока, при которой последний ясно обнаруживал оризм своего направляющего влияния. Вь приводимых ниже опытах частота перемьна направления тока остается по все время опыта одной и той же, сила же тока изменяется — увеличивается или уменьшается.



Рис. 11. а-с. Трансверсальный гальванотропизм параметри при токах переменного направления. Схемат. рис.

Отсутствие хорошего и удобного сопротивления сильно затрудняло, как уже сказано (стр. 16), вь начале опыта; пока я пользовался как реостатами, капиллярными трубками различной длины или различными лампочками, результаты получались непостоянные,

несходные и даже противоположные; напр. вь протоколах 3 апреля 1899 еще года, вь заключенных опытах, при которых сопротивлением были капиллярная трубка, наполненная концентрированным раствором сернистого цинка, читаем: „ток переменного направления не производит видимого влияния на простыщихся“.

Опыты значительно упростились и начали получаться одни и те же эффекты, когда я включил вь цепь описанный вь Отделе I-ом (стр. 16, рис. 7) жидкий реостат, конструированный на принцип сдвигания просвита. Равномерными и медленными поворотами винта зажима постепенно увеличивается или уменьшается просвита гуттаперчевой трубки, что дает легкую возможность уверенно и сь изумительной постепенностью изменить силу тока, проходящего через камеру сь инеузориями. Наблюдения производились при системе 2 Гартнака.

2. Треухвальной городской ток замыкается, когда пластинки зажима, resp. ствнки гуттаперчевой трубки, сильно прижаты одна кь другой; через камеру проходит ток минимальной силой. Инеузории не испытывают пока никакого влияния тока, и равномерны, плавны и свободны движения их по все камере вь сколько не изменяются. Начинаем постепенно и медленно увеличивать просвиту капиллярного пространства гуттаперчевой трубки, т. е. уменьшаем сопротивление реостата. Уже на основании предыдущих опытов вперед нужно ждать трансверсального расположения и движения параметри, так как число перемьна направления тока при данных условиях равно 50 вь секунду. Инеузории средней части камеры сейчас же принимают перпендикулярное положение относительно линий тока и перемьнаются кь наблюдателю или от него, оть одной вьосковой ствнки кь другой (рис. 12а); вь области правой и левой электродных третей большинство их сразу устремляется по направлению кь соответствующему каолиновому бруску; рьже иькоторые пьлзуют назад кь средней камере и здесь располагаются перпендикулярно кь току. Инеузории, перемьна вь средней трети вь область той или другой электродной трети, перестают иногда перемьнаяться вь перпендикулярное направление и пьлзуют кь полюсам, и наоборот—приближаясь отсюда кь средней трети принимают трансверсальное положение. Описанная картина остается той же и при продолжительном прохождении через камеру тока этой силы.

3. Осторожными движениями винта зажима еще уменьшаем немного сопротивление реостата. Движения инеузорий вверх и вниз вь средней части становятся более энергичными и совершаются быстрее; достигнув, вьозможн, верхней вьосковой ствнки параметри упирается вь нее передним концом тьла, витым иногда поворачивается на 180° и сь прежней быстротой устремляется вниз кь противоположной вьосковой полоске по перпендикуляру кь линиям тока. Инеузории вь области электродных третей также принимают очень скоро перпендикулярное положение, и через иькоторое время по всей камере можно те-

перь наблюдать красивую картину (рис. 11 б и в): все парамемии, несколько не изменив конфигурации своего тела, при нормальной вытнату продолговатой формь, быстро и энергично перемищаются один на встречу другимь оть одной воспоной полосои къ другой, перпендикулярно къ линиямь тока. Эта сила тока и большая частота перемищя его направляют суть новые условия для получения настоящего *трансверсального гальванотропизма парамемий*. Съ размыкнiемь тока явленя прекращаются, и ивуэзорий равномерно и спокойно плаваютъ по всей камерь.

4. Дальнйшее усилене трехфазного тока, проходящего чрезъ камеру вызываетъ уже сокращенне актоплазма парамемий, измененне формы тела и распадъ протистовъ. Постепенное уменьшенне сопротивления рестоата сопровождается слъдующими явленями: движеня протистовъ, принявшихъ перпендикулярное положение относительно линий тока, постепенно замедляются; форма тела ихъ становится овальной, исколько заостренной у задняго конца, и теперь парамемий движутся уже заднимъ концомъ назадъ, сохраняя все-таки, что нужно подчеркнуть, перпендикулярное положение своей длинной оси къ линиямь тока. Съ дальнйшимъ усиленемь тока тело парамемий принимаетъ форму груши или шара, актоплазма вскорь доплется и цитоплазма расплывается.

5. Итакъ, при большой частотъ перемищя направленя тока (50 въ секунду) минимальная сила тока вызываетъ трансверсальное положение и перемищенне лишь у парамемий средней трети камеры; такая же реакця у ивуэзорий, находящихся въ области электродныхъ третей камеры можетъ быть вызвана перемищами направленя тока исколько большей силой, при которой наблюдается общий трансверсальный гальванотропизмъ парамемий.

IV.

Объясненне трансверсального положеня при данныхъ условияхъ опыта.
Суммированне отдълныхъ раздраженй электротропизмъ, токормъ.

1. Ориентировка парамемий относительно катода можетъ быть легко объяснена уже на основанн моихъ опытовъ съ раздраженемь отдълнымъ индукционнмъ размыкательнымъ ударомъ (26). Здесь постараюсь дать объясненне, какое представляется мнѣ въ настоящее время наиболее вѣроятнымъ, почему реакця трансверсального передвиженя парамемий при токахъ перемищяго направленя появляется у протистовъ срединныхъ частей камеры раньше, чѣмъ у протистовъ электродныхъ областей.

2. Буду строго держаться фактовъ. Съ увеличенемъ числа перемищя тока до довольно большой частоты большинство ивуэзорий, особенно срединной части камеры, принимаютъ трансверсальное положенне

и перемищаются по перпендикуларамъ къ линиямъ тока. Значительную же часть остальныхъ протистовъ токъ частыхъ перемищя застасть въ тотъ моментъ, когда они стремятся направиться къ одному электроду, другие къ другому, а остальные (меньшинство) своей длинной осью наклонены къ линиямъ тока подъ тѣмъ или другимъ угломъ. Ивуэзорий всѣхъ этихъ положенй разсыяны по всей камерь. Значительная частота перемищя, заставшая ихъ въ этихъ разнообразныхъ положеняхъ, въ первые моменты своего вплиа вызываетъ различные эффекты. Объекты, перемищавшеся по линиямъ тока къ противоположной стороне подъ влиянемъ духъ послѣднихъ перемищя и подвергнувшись влиянью большой частоты, продолжаютъ устремляться по этимъ же линиямъ къ разнымъ электродамъ, потому что каждый изъ нихъ въ это время подвергается преобладающему влиянью лишь гомодромнаго тока. Возьмемъ, примѣра ради, объектъ А, находящій по линиямъ тока къ правому электроду; подвергнемъ его моментально влиянью большой частоты перемищя. Гомодромный токъ, минимальной хотя бы продолжительности, стимулируетъ протиста въ прежнемъ же смыслѣ, и онъ продолжаетъ перемищаться въ томъ же направленн. Въ слъдующий затѣмъ моментъ токъ противоположнаго направленя принуждаетъ протиста повернуться на 180°, но объектъ не успеваетъ этого сдѣлать, такъ какъ время, необходимое для поворота, исколько больше интервала между перемищами тока, и лишь только онъ стремится едва-едва уклониться оть линий тока, какъ снова подвергается влиянью тока гомодромнаго направленя и опять устремляется къ тому же полюсу. Но такое поступательное движенне въ стороны обохъ электродовъ продолжается очень недолго. Протистъ, уклонившеся лишь на очень небольшой уголъ оть линий тока, уже начинаетъ реагировать на токъ противоположнаго направленя и въ концъ концовъ принимаетъ трансверсальное положенне. Область трансверсального положеня занимаетъ потому вначалъ главнымъ образомъ среднюю часть камеры (рис. 11 в), такъ какъ стимулируемые гомодромными токами протисты устремляются къ соответствующимъ электродамъ.* Съ дальнйшимъ дѣйствиемъ токовъ, когда все новые и новые протисты уклоняются оть линий тока и принимаютъ трансверсальное положенне, область послѣднего все расширяется и расширяется въ стороны обохъ электродовъ (рис. 11 б и в), и наконецъ всѣ протисты поводятъ къ трансверсальному положенню. — Изъ трансверсального положеня они не могутъ выйти, потому что находится подъ влиянемъ большой частоты перемищя тока: интервалъ между двумя противоположными токами чрезвычайно малъ сравнительно съ временемъ, необходимымъ для малншаго уклоненя отъ принятаго положеня, поэтому то протистъ, не успѣвающій порываться въ стороны, перемищается по перпендикуларамъ къ линиямъ тока. Регулируя вращенне рукоятки, можно достигнуть того, что икоторыя протисты будутъ перемищаться въ трансверсальномъ направленн но по перпендикулару, а по зигзагообразной лини.

Вот объяснение, основанное на фактах, почему при нарастании скорости перемены тока протисты срединной части камеры принимают трансверальное положение, а в электродных областях плавают в соответствующим электродам. Протисты, длинная ось которых параллельна линиям тока, находятся под стимулирующим влиянием однородных токов, действие которых суммируется, поэтому через несколько моментов действия переменного тока большинство их находится в области соответствующих электродов; протисты, длинная ось которых образует угол с линией тока, принимают трансверальное положение и не могут из него выйти вследствие быстро сдвигающихся взаимной противоположного направления токов; при продолжительном действии токов большой частоты перемены мало-по-малу, изменив несколько положение своей оси, и остальные протисты реагируют на токи противоположных направлений и попадают в трансверальное положение.

Способность протистов суммировать отдельные раздражения доказана уже фактами, изложенными в статье о действии на рясничатых инфузорий отдельного размакательного индукционного удара (26; ср. забл. стр. 20).

3. Это же объяснение относится и к действию токов различной силы при одной и той же частоте перемены направления в секунду. Стимулирующими являются опять таки однородные токи для объектов, расположенных параллельно линиям тока; остальные протисты находятся под влиянием токов противоположных направлений и принимают трансверальное положение. С увеличением силы тока на инфузорий, плавающих в полюсах (электроды), начинают уже входить и антидромные токи, вследствие чего и эти протисты принимают трансверальное положение. Область эта, расширяясь мало-по-малу по направлению к электродам, занимает постепенно всю камеру, и вскорь все парамеции находятся в трансверальном гальванотризматическом.

4. Все изложенное в этой главе новые опыты наглядно и просто доказывают наличие ориентировки у протистов при действии постоянного тока, при определенной силе тока протист старается вернуться передним концом тела к катоду при наименьшей затрате силы и течения наименьшего промежутка времени.

Опыты с токами переменного направления являются чрезвычайно удобными и демонстративными для доказательства наличия ориентировки и детального исследования этого явления.

V.

Hyproticha. Stylonychia mytilus.

Трансверальный гальванотазис при токах переменного направления.

Трансверальный гальванотазис можно получить и у инфузорий *Hyproticha* при условии раздражения токами переменного направления и известной силы. Наиболее типичную реакцию дает *Stylonychia mytilus*. При 5—10 переменах направления тока в секунду

она уже становится своей длинной осью в перпендикулярном положении относительно линий тока и остается в нем спокойно сравнительно продолжительное время. Вскорь ее тело делает движение по дуге равной по окружности и располагается опять, значить, перпендикулярно к току, но перистома ее обращена уже к другому каинновому брусу. Эти смещения по дуге по окружности повторяются время от времени, и инфузория, при действии токов переменного направления, периодически поворачивает свою перистому то к одному, то к другому электроду. Чем чаще перемены направления тока, тем меньше остается *Stylonychia mytilus* в спокойном положении и тем чаще совершаются ее движения по по окружности. С увеличением силы тока это стремление периодически изменять положение перистомы относительно полюсов выражается еще явнее и представляет красивую и демонстративную картину. Инфузория ведет себя крайне беспокойно, она делает быстрые, порывистые движения по по окружности, часто мигает свое трансверальное положение, располагаясь передним концом тела то вверх, то вниз, причем перистома обращена то к одному, то к другому электроду. Чем значительнее сила тока и чем чаще перемены его направления, тем порывистее, чаще и движения инфузорий по по окружности, чтобы расположиться передним концом тела вверх или вниз к наблюдателю, гср. изменить положение перистомы относительно полюсов, сохраняя при этом трансверальное положение относительно направления тока. Наиболее быстрые движения наблюдаются при 40—60 колебаниях перемены направления тока в секунду и при той же почти силе тока, которая у парамеций вызывает optimum трансверального положения и передвижения. О поведении *Stylonychia* при медленной перемене направления тока см. стр. 43—44.

Итак, *Stylonychia mytilus* уже при нечастых переменах направления тока принимает трансверальное положение и лишь периодически мигает положение перистомы относительно полюсов, перебиваясь по по окружности; последние движения учащаются с увеличением частоты перемены направления тока.

VI.

Выводы.

Влияние тока переменного направления на парамеций и стилоухий можно формулировать в следующих положениях.

1. При нечастых переменах направления (2—5 в секунду) *Paramecia* располагаются гомодромно, параллельно линиям тока, всегда передним концом по направлению к катоду; ориентируются относительно мигавшихся катодов, парамеция балансирует почти на одном и том же месте, поворачиваясь вокруг своей короткой оси на 180°; время ориентировки равняется в среднем 0,8 секунды.

2. При частых переменах направления (20—100 в секунду) парамеция располагается своей длиной осью перпендикулярно к линиям тока и перемещается по этим перпендикулярам; получается настоящий *трансверсальный гальванотропизм парамеций*.

3. При одной и той же силе тока и небольшой частоте перемены направления (10—20 в секунду) трансверсальный гальванотропизм начинается у парамеций средней трети камеры, распространяясь с увеличением частоты перемены и на протистовые электродных третей камеры.

4. При одной и той же частоте перемены направления (50 в секунду) и минимальной действующей силе тока трансверсальный гальванотропизм начинается у парамеций средней трети камеры, распространяясь с увеличением силы тока и на протистовые электродных третей камеры.

5. *Stylonychia mytilus* уже при редких переменах направления тока принимает трансверсальное положение; перемещаясь по полуокружности с каждой перемены направления тока, она всегда располагается перпендикулярно к катоду, причем длинная ось ее тела всегда перпендикулярна к линиям тока.

6. При частых переменах направления тока *Stylonychia mytilus* находится в трансверсальном положении к линиям тока, периодически перемещаясь по полуокружности и переменная положение протистов относительно быстро сдвигающихся полюсов; с увеличением частоты перемены направления тока эти движения учащаются.

7. Новый метод раздражения протистов токами переменного направления является чрезвычайно удобным и демонстративным для доказательства наличия ориентировки и активности этого явления.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Скорость поступательного передвижения и величина стадии гальванотропизма. — Зависимость их от силы тока.

I.

Минимальная направляющая сила тока. — Определение скорости поступательного передвижения; зависимость ее от силы тока; величина максимальной скорости по опытам Лудова и мои; ориентировка валина тока. — Изменение формы тела парамеций при сильных токах. — Путь перемещения. — Независимость ориентировки парамеций от силы тока.

Направляющее влияние постоянного тока и частых индукционных

ударов на парамеций (рис. 12) находится в зависимости главным образом от силы действующего тока; характер реакции гальванотропизма, ориентировка относительно полюсов, скорость передвижения, действительность рывчатого поворота, общий вид тела различны при токах разной силы. В этой главе займемся влиянием различной силы тока на общий характер реакции, — на ориентировку, скорость передвижения и общий вид тела некоторых рывчатых инфузорий.



Рис. 12. *Stylonychia mytilus*. Рисование по живому объекту в эластично-коллоидальном средстве; расположение трихоцитов по периферии; фиксированный по методу Р. С. Магидаса. N — макронуклеус; n — микронуклеус; p — протистомы; r — сократительная вакуолия; m — инфузорийный вакуоли; te — трихоциты.

1. Направляющее влияние тока проявляется у парамеций уже при очень слабых токах. Достаточно силы тока в несколько сотых миллиампера (0,02—0,06 MA), чтобы вызвать движение парамеций к катоду по размерам 15×15 мм. при 2 мм. толщины слоя воды.

2. Наблюдая в довольно сильную лупу одну какую-нибудь парамецию, идущую к катоду по выгнутой спиральной кривой, каковой путь ничем не отличается от ее нормальных поступательных движений рис. 13а. При помощи секундометра можно высчитать относительную скорость передвижения инфузорий вперед, разделив расстояние между двумя соседними брусками на время, течение которого определенный индивидуум проходит это расстояние по кратчайшему пути; это время определяется для передвижения к новому катоду во все время инверсии тока, т. е. когда протист, достигший одного анодного бруска повернется, под влиянием инверсии тока, на 180° вокруг своей короткой оси и устремляется к другому бруску. Возле

точные результаты дали мои наблюдения с помощью микрометрического окуляра при слабом увеличении микроскопа. Средние выводы сделаны из многочисленных интервалов времени, течение которого протист при равномерном гомодромном движении вперед по параллельным линиям тока проходит в средней части камеры определенное число дивизионов микрометра.

Подобная наблюдения над парамециями дала еще К. Лудов. Он пользовался исключительно постоянным током; я, кроме этого, изучал влияние индукционных ударов различной

силы. Полученные мною результаты в основном согласуются с его выводами, поэтому я не буду останавливаться на подробном описании этих опытов над зависимостью между скоростью передвижения и силой направляющего тока. Выводы, полученные в этих отношениях на парамециях, можно до некоторой степени распространять и на других инфузурий.

3. Скорость поступательного передвижения парамеций очень медленно и очень незначительно нарастает с увеличением тока лишь до известных предельно. Максимальная скорость движения описанной наблюдалась Лудловым (9, р. 531) при 0,36 — 0,42 МА (камера 9 мм. × 9 мм.), когда на протяжении 9 мм. парамеция употребляла 14 секунд, т. е. один миллиметр пути она проходила за 1,5 секунды; optimum скорости получалась у меня также при токе равном в среднем 0,4 МА; на основании многочисленных вычислений, полученных при посредстве обоих упомянутых методов, я нашел несколько большую величину скорости, равную 1 мм. в 1 сек. Максимум скорости при действия частых индукционных ударов получается при 10—9 сан. расстояния спиралей для неполяризующихся элекродов и 20—17 сан. для металлических (размеры камеры 20 × 15 мм.).

4. При дальнейшем увеличении силы действующего тока скорость поступательного передвижения парамеций быстро и значительно падает; уже при 0,75 МА движения инфузурий замедляются, при 1,5 МА замедление выражено очень ясно. При 3 МА, кроме значительного замедления движений вперед, наступает и изменение формы тела инфузурии, которая из продолговато-вытянутой становится овальной (рис. 31—4); это изменение формы наступает и при постепенном усилении тока от 0 до 3 МА при помощи яндкого реостата с давлением просвета и при замыкании тока этой силой; в последнем случае между моментом замыкания и началом изменения формы тела протекает очень незначительный промежуток времени, — другим словом при силе постоянного тока в 2—3 МА явления изменения формы наступают не мгновенно за замыканием тока. При медленном увеличении тока помощью реостата до 4—3 МА можно наблюдать во времени постепенность дальнейших изменений формы тела парамеций; теперь явление локализуется главным образом на заднем конце инфузурии; задняя часть тела изменяется значительно и принимает вид заостренного кончика; в области задней части выдвигается, со держаемое трихонств в вид неправильных игол, разбросанных по всевозможным направлениям. Форма всей парамеции напоминает форму груши, так как передний конец ее стал более закругленным и разбухшим (рис. 31, 5 и 6). Форма тела изменяется до неузнаваемости. Инфузория с трудом, шаг-за-шагом преодолевая какие то препятствия, движется вперед; в большинстве же случаев ее грушеобразное тело перегибается крайне медленно задним концом назад на небольшую длину; антоплазма доплетается и антоплазма расплывается.

5. При различной силе тока, кроме скорости передвижения, изменяется и путь, по которому плавают парамеции что описал уже Лудлов (9). При optimum скорости путь представляет сильно вытянутую спиральную линию, совершенно такую же, какая наблюдается

при обычных передвижениях парамеций (рис. 13); при начинающемся замедлении движение инфузурий под влиянием более сильных токов форма этой спиральной линии изменяется, число оборотов уменьшается, и протект перегибается по очень крупным нагибам спирали; в последнем случае задний конец несколько суживается, а передний кажется набухшим (рис. 13 с).

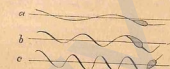


Рис. 13. Путь передвижения парамеции: а — нормально; б — при токах средней силы; в — при токах сильных; по Лудлову (9, таб. VII, фиг. 3).

6. Таким образом, на основании изложенного можно утверждать, что сила тока имеет решающее влияние на скорость, вид пути поступательного передвижения и форму тела парамеций; нарастает с увеличением или уменьшением скорости передвижения, ориентировка парамеций остается одной и той же, характер ее несколько не изменяется при изменении силы тока, потому что независимо от силы действующего тока парамеции всегда ориентируются передним концом своего тела к катоду.

II.

Различные виды ориентировки и типы реакций гальванотропизма и гальванотаксиса. — Зависимость характера ориентировки от силы действующего тока. — Отношение парамеций к токам различной силы; лучшие опыты. — Катодный гальванотропизм *Nyctoleus cordiformis*, *Balanidium entozoon* и *Oralina galatam*. — Нейтральность взгляда Фервора и Бирюкова на опалуну, как на типичную анодно-гальванотропическую инфузурю; противоположная наблюдений Валленгерна.

1. Последнее явление — независимость ориентировки относительно полюсов от силы тока, неизменно существующее у парамеций, наблюдается, однако, не у всех инфузурий. У некоторых протистов усиление и ослабление силы тока в известных пределах вызывает совершенно противоположные эффекты. Меняя силу действующего тока, легко перевести анодный гальванотропизм в катодный, напр., в катодный и обратно. Следовательно, описанный М. Фервором особый тип анодного гальванотропизма, представляемелем которого является, по его опытам, *Oralina galatam*, есть результатом эксперимента, полученный при определенных условиях.

Личная моя наблюдение над направляющим влиянием постоянного и индукционного тока на *Oralina galatam*, *Nyctoleus cordiformis* и *Balanidium entozoon*, направляющихся в ивещички ангушети, я не могу считать вполне достаточными для окончательных выводов. К сожалению, у наших ангушети я находил обычно

венно очень мало *Oralina galatini* и, не располагая достаточным материалом, не мог поставить широко опыты с этими протистами. Я никогда не наблюдаю исключительно анодного гальванотропизма у исследованных опалин, помещенных в нейтральный раствор 0,5% хлористого натрия. После замыкания тока определенной силы эти дивно и медленно движущиеся, громадные ивузории продолжают свои обычные движения и только спустя несколько секунд устремляются к одному из полюсов, иногда к аноду, в других же случаях к катоду. Результаты получались крайне неустойчивые, и на основании их и не удалось выяснить, при каких условиях пона основании их и не удалось выяснить, при каких условиях пона играет в этом случае большую роль, но я не мог точно подметить, при какой силе тока ивузории плывут к аноду и какие изменения силы тока заставляют опалин перемещаться к катоду. Часто выли опалины совершенно не реагировали на слабые токи (0,5—1 МА, тогда как при 3—4 МА перемещались очень медленно к катоду, часто изменяя положение своего длинного относительно линий тока. Иногда же при 2—3—4 МА они крайне медленно плыли к аноду. Чаще анодный гальванотропизм получался вскоре после замыкания сравнительно слабых токов; опалины мало-помалу, при их дивных и медленных движениях, приближались к аноду, иногда собирались у анодной ствйки, иногда же, не достигнув ее, большинство их поворачивалось назад и плыло уже при той же силе тока по направлению к катоду; следовательно, при очень продолжительном действии постоянного тока одной и той же силы в некоторых случаях анодный гальванотропизм опалины сменяется катодным. Нередко в случае продолжительного действия даже слабых токов замечалось следующее явление: опалины, не достигая катода, поворачиваются назад и плывут в разных направлениях по намерь, не испытывая уже повидному никакого влияния тока; по крайней мере, никакой реакции в данном случае замечать, здесь может играть роль и привычка к раздражению и явления усталости. Поэтому нужно считаться лишь с результатами, полученными при сравнительно непродолжительном влиянии тока на свежих, хорошо подвижных опалин. Сложности эти условия, однако, чрезвычайно трудно, потому что гальванотропичная являясь дивно движущихся ивузорию протекают крайне медленно и получаются обильнее при продолжительном действии тока.

Хотя, принимая во внимание все изложенное, я не могу вывести никакой закономерности относительно влияния электрического тока на опалин, тем не менее на основании своих наблюдений я могу утверждать, что у них всегдa наблюдается исключительно анодный гальванотропизм; при каких то условиях у *Oralina galatini* часто получается и катодный гальванотропизм. *Uyctolera cordiformis* и *Valoniidium entosoon* ясно катодно-гальванотропичны при слабых уже токах; в особенности при 1,2 МА (напряг 1,3×1,5 сан.).

2. Обратимся к наблюдениям авторов над гальванотропизмом опалин.

В. Бируков (13), применявший исключительно индукционный ток, поднимается под заявлением М. Ферварна, что опалины анодно-гальванотропичны.

К другим результатам привели многочисленные опыты Г. Валленгрена, проведенные над массой опалин в 0,5 растворе хлористого натрия, кривой свороты в жидкости из прямой кишки лагуши. Этот автор нашел, что опалины плывут к аноду при слабых (0,02—1 МА) лишь токах (6, p. 366); при сильных же токах (2—3 МА) они становятся катодно-гальванотропичными. Причем в последних случаях после более или менее продолжительного пребывания в 0,5 растворе поваренной соли они становятся вскоре до того утомленными, что «не в состоянии уже плыть против катодорического действия гальванического тока, и пассивно переносятся катодорической силой к аноду» (6, p. 388).

Таким образом, на основании опытов Г. Валленгрена, следует, что анодно-гальванотропичны при слабых токах опалины, при сильных токах становятся катодно-гальванотропичными; — другими словами характер ориентировки опалины относительно полюсов зависит от силы действующего тока.

III.

Другой пример условия катодного гальванотропизма *Spirostomum*; отсутствие у спироток исключительно трансверсального гальванотропизма; опыты К. Кёдша и Валленгрена.—Различие между исследованиями Валленгрена и моими относительно зависимости стадий реакции спироток от силы тока; первая стадия—трансверсальный гальванотропизм, вторая—катодный гальванотропизм; преемственное разрушение протоплазма на анод совмещается протеста.—Различия стадий гальванотропизма и гальванотропизма спироток.

1. *Spirostomum ambiguum*, как единственная представительница трансверсального гальванотропизма—третьего типа М. Ферварна, была равнична уже наблюдениям К. Кёдша (5 p. 406). Подробное описание отношения этой ивузорию к токам различной силы находим в появившейся в последние дни работ Г. Валленгрена (7), посвященной исключительно гальванотропизму *Spirostomum ambiguum* и *terez*. По его опытам совершенно непосредственно спироток при 0,03 МА обнаруживают при совершенно вытянутой форме катодный гальванотропизм, при средних токах (0,2—0,45 МА) они принимают трансверсальное положение; сильные токи (0,8—2,5 МА) вызывают продолжительное сокращение июлем, причем протеста становятся перпендикулярно к направлению тока, деля иногда змееобразными движения к катоду.

2. Мои опыты над *Spirostomum ambiguum* были закончены еще

до появления работы Г. Валленгрена ⁴. Эта инеузория была получена мною в громадном количестве экземпляров в разведке излуда Московского Сельско-хозяйственного Института. На основании своих наблюдений я пришел к нескольким новым результатам, чем Г. Валленгрена. Не останавливаясь на подробностях опытов, произведенных при обычной методик, я укажу, в чем заключается существенное различие между результатами Г. Валленгрена и моими.

а. Очень слабые токи, сила которых не превышает 0,15—0,2 МА не производят видимого никакого влияния на спиротомы, потому что никакой реакции у последних нельзя подметить (размеры камеры 18×26 мм.). При замыкании слабых токов эти инеузории продолжают свои обычные движения по всей ванне, изгибая свое длинное вытянутое тело то в одну, то в другую сторону; иногда они опускаются на дно ванны, где фиксируются на борте или медленно продолжают свое движение задним концом; вконец же остаются на дне ванны и снова медленно плавают то туда, то сюда.

б. Средние токи, которые, согласно моим опытам, нужно обозначить в пределах 0,2 МА—0,8 МА, сейчас же замыканием вызывают переходящее сокращение мioneм протистов, являющееся выраженное при восходящем направлении тока. Степень сокращения и, следовательно, изменения формы тела зависят от силы тока; сокращение тела еще очень незначительно при 0,2 МА; при этой силе тока не все, а лишь некоторые, преимущественно антадромно расположенные, индивидуумы по временам на момент сокращения свое длинное тело и сейчас же снова распрямляются, принимая обычный вытянутый вид. Эти сокращения и распрямления тела периодически чередуются иногда довольно продолжительное время, причем протисты поворачивая и изгибая из стороны в сторону свое длинное тело (2 мм.), мало-по-малу становятся своей длинной осью перпендикулярно к направлению тока, причем форма тела их имеет обычно вытянутый вид. Такая трансверсальная установка наблюдается всегда в том смысле, в каком впервые была описана М. Фервормом ³ (3, p. 46); длинная ось этих инеузорий никогда не является строго перпендикулярной их линии тока; это — преобладающее направление, при котором вытянутое в длину тело протиста двает целый ряд изгибающихся, амфиобразных движений в разных стороны; общий вид тела при токах 0,2—0,3 МА в трансверсальном положении не меняется. С увеличением тока, в среднем при 0,4 МА, у протистов наблюдается тенденция поворачивать переднюю часть своего тела по направлению к катоду. Иногда протисты, находясь все время в

перпендикулярном положении к току, несколько сокращается и, быстро приняв всем своим телом трансверсальное положение, снова распрямляется; при этом, он ясно избегает раздражающего влияния параллельного тока, потому что изгибающийся его движения при трансверсальном положении носят более спокойный характер.

Следовательно, первая стадия реакции спиротомы на постоянный ток обнаруживается трансверсальным расположением протистов, которое они принимают путем исключения и которое является для них вынужденным, так как параллельные токи этой силы действуют более раздражающим образом, вызывая периодические кратковременные сокращения мioneм; спиротомы избегают этого возбуждающего влияния тока и вынуждены принять трансверсальное положение, при котором их мioneмы еще не сокращаются, и вытянутое тело инеузорий свободно изгибается в ту, то в другую сторону.

в. Однако, дальнейшее усиление тока, от 0,4 до 0,6 МА, возбуждает уже мioneмы и у трансверсально расположенных протистов; видный вид протиста меняется; тело его укорачивается и форма его из вытянутой в длину принимает вид, напоминающий веретено (рис. 14 а); полюсы, в которых находятся мioneмы, принимают более покое положение и становятся более широкими. При 0,8 МА такое состояние сокращения тела спиротомы, наступающее у всех спиротомы и ясно выраженное, есть уже длительное, а не переходящее, кратковременное явление; такое длительное сокращение мioneм иногда очень короткими паузами расслабления, причем оно выражено очень незначительно и тело протиста никогда не достигает своего обычного сильно вытянутого состояния. Положение длинной оси тела этих сократившихся протистов также меняется относительно направления тока, они ориентируются передним концом относительно катода. Приняв однородное положение протисты мало-по-малу плывут по направлению к катоду при вытянуто-овальной форме своего не вполне сокращенного тела; при инверсии тока они поворачиваются передним концом к новому катоду и опять медленно плывут к нему по линии тока. Инеузории, плывущие в однородном положении, иногда пытаются распрямить свое не вполне сокращенное тело, но сейчас же снова сжимаются.

Итак, вторая стадия реакции спиротомы на постоянный ток заключается в катодном газываотропизме при несколько сокращенной форме тела; при средних токах (0,5 МА) протисты ориентируются всегда своим передним концом относительно катода и, приняв однородное положение, плывут по направлению к нему, периодически пытаются распрямить свое тело, но снова сокращают его.

г. Более энергичные и значительные сокращения наблюдаются у спиротомы при токах 0,8—1,0 МА и чаще сменяются короткими

⁴ О результатах этих опытов я сообщал уже 18 февраля 1933 г. в записке Отделению Физиологии Инст. Общ. Люб. Ест., Антр. и Этн. См. Известия Отделения №№ 51 и 52.

паузами расслабления, причем протисть во все время прохождения тока то немного вытягивается, то сильно сокращается; иногда сокращение легче выражено у заднего анодного конца. Эта пережимаемость сильного сокращения с небольшими короткими расслаблениями при гомодроной установкой лучше всего наблюдается при токах 1,5 МА, когда подучается новое явление.—разрушение протоплазмы протиста. Зернистый распад протоплазмы, как было уже замечено М. Фервормом (4) всегда начинается с анодного, теперь заднего конца тьла. Распадение протоплазмы идет постепенно от заднего конца к переднему, причем оставшаяся часть еще живого протиста, несмотря на нарушение целостности и непрерывности сократительных элементов, все продолжает периодически сокращаться при небольших сдвигах расслабления; распад на анодной стороне продолжается и, наконец, почти весь протист разрушается (рис. 14 б, с и d). Протисть обыкновенно находится почти на одном мьсте, дьлая неправильная плавяющаяся движения. При замыкании тока, сила которого равна 1,5—2 МА, наблюдается мгновенное сильное сокращение спиростомь и лишь спустя некоторое время начинается зернистый распад протоплазмы протисть всегда на анодной стороне в каком бы положении протисть ни находился относительно направления тока. Нужно

Рис. 14. *Spirostomum ambiguum*: а—сокращение мьста при стадии катодного гальванотропизма; б, с и d—последовательный распад протоплазмы протиста на анодном конце при сильных токах.

отметить, что явление разрушения на анод протоплазмы происходит у сокращающегося протиста, как видно из прилагаемых рисунков, отличающихся от рисунков М. Ферворма (4, таб. XVIII, фиг. 8), по которым спиростомь распадается в расслабленном, вытнутом состоянии.

Следовательно, третья стадия реакции спиростомь—распадение протоплазмы на анодной стороне тьла, наблюдается у значительно сокращенных протистов при сильных токах (1,0—2 МА) и начинается некоторое время спустя после дьствия постоянного тока. С этой арнии гальванотропизма лишь этот характер, расплывания протоплазмы спиростомь представляеть интерес и заслуживает внимания. Описанный же М. Фервормом зернистый распад спиростомь и на катодной стороне наступает

лишь при очень сильных токах, часто несколько подьбе² и выражень слабее.

3. Таким образом, при очень слабых токах (до 0,2 МА), при которых Г. Валленгренъ видьть у нормально вытнутого спиростомь (правда не у всех, а у большинства) катодный гальванотропизм, я не наблюдаю никаких явлений. Первая стадия реакции на постоянный ток есть трансверсальное положение, наступающее при токах вт. 0,2—0,4 МА; вторая стадия—есть катодный гальванотропизм при сокращенном состоянии тьла, которую Г. Валленгренъ,—не понимаю почему—, в свою очередь тоже не видьть. Третья стадия—расплывание протоплазмы на анод—наступает при сильных токах (1,5 МА).

И затрудняюсь в настоящее время объяснить, почему получилось такое различие в описании стадий реакции спиростомь в зависимости от силы тока у Г. Валленгрена и у меня; до сих пор я не мог пока еще раз повторить наблюдений над спиростомьями после появления статьи Г. Валленгрена и должен ограничиться описанием своих опытов, замеченных значительно раньше до появления в печати работы Г. Валленгрена. Мое описание стадий реакции спиростомь легко объясняется, как увидим ниже, характером процессов возбуждения, наступающих у спиростомь при раздражении гальваническим током.

Во всяком случае, и у спиростомь явление ориентировки относительно полюсов, т. е. характер гальванотропизма зависит от силы дьйствующего тока: с изменением силы тока их трансверсальный гальванотропизм переходит в катодный гальванотропизм.

Эти различные явления, наблюдаемы у одного и того же вида нужно рассматривать, как различные стадии гальванотропической реакции.

IV.

Гальванотропизм при возбуждении сократительных элементов: парамиды, спиростомь, лавримария, сензория, силовыхия. Третей прикрьз зависимость различных стадий гальванотропизма и гальванотропизма от силы раздражающего тока: *Syngonium nutans*. — Выводимая возбуждением сократительных элементов протистов при трансверсальном положении их тьла. — Зависимость различных стадий гальванотропизма от силы тока.

1. Факт существования катодного гальванотропизма при одновременном сокращении тьла протистов не есть единственный случай, наблюдаемый исключительно у спиростомь. Наличием возбуждения сократительных элементов—миомерь или миомерь или вообще кортикальной плазмы, сопровождающего направляющее движение тьла можно констатировать и у некоторых других инфузорий. Напомним общезвестный катодный гальванотропизм парамид при ольвой форме тьла. Ть же явления я наблюдаю у одного вида из этого

же порядка *Holotricha Lacrymaria olor* (рис. 15), которая уже при 0,3 МА катодно-гальванотропична; особенно ясно выступают явные ориентировки при 0,5 МА, когда эта плавучая инфузория своей гибкой подвижной шейкой ориентируется относительно катода и попадает в гомодромное положение. Однако длинная ось ее тела не располагается строго параллельно линиям тока, потому что протисты плавают к катоду не в обычно вытянутом состоянии; его тело резко изгибается вследствие неправильных сокращений кортикальной плазмы, обыкновенно яснее выраженных на задней ядронной части; контуры тела вместо прямо очерченной линии представляют чередующиеся выгибыобразные взблески утолщения и сужения; (рис. 16); неправильно извиваясь из стороны в сторону, инфузория преимущественно расположена все-таки гомодромно и очень медленно в таком сокращенном состоянии плавать к катоду.

2. *Stentor coerules* и *Stentor polymorphus* в высшей степени чувствительны к раздражениям электрическим токам (26, стр. 45) и обнаруживают совершенно ясный катодный гальванотропизм; по моим наблюдениям уже при 0,05 МА; ориентин скорости наблюдается в пределах 0,1—0,2 МА. Их гальванотропизм уже было описан М. Фервормом (2) и Р. Перасем (12, р. 114); я остаюсь отнюдь, что при переизгибании к катоду тело этой громадной инфузории принимает всегда яйцеобразную форму вследствие возбуждения многочисленных мюнем, заданных в ее актоплазм, сокращение которых мгновенно связывает за замыканием тока. Трубообразная форма тела мгновенно переходит в яйцеобразную, и протисты, ориентируясь перистою к катоду, плавают по направлению к нему.

3. Очень интересно отношение гинотрих к токам различной силы. Большинство инфузорий этого порядка обладают сократительными элементами и реакцией на раздражение токами различной силы заслуживает внимания для выяснения зависимости характера гальванотропической реакции от силы действующего тока. Представляю гинотрих, удобных для этих опытов, является большая и распространенная инфузория *Stylonychia mytilus*.

а. Влияние гальванического тока на этих инфузорий было уже исследовано М. Фервормом (2) и подробно изучено А. Пют-

тером (16, р. 267—284). По описаниям последнего автора свободно плавающая инфузория обнаруживает катодный гальванотропизм при слабых токах (цифровых данных нет), тогда как бьющая и спокойно лежащая, т. е. тигмотактированные индивидуумы, не отвечают на ток вследствие тормозящего влияния раздражения соприкосновения. При токах средней силы свободно плавающая опять направляется к катоду, а бьющая и лежащая инфузория сейчас же после замыкания тока устанавливается перпендикулярно к направлению тока, таким образом, что перистою их имеет лаво от себя катод, т. е. обращена к катоду. При сильных токах (40 элементов) наступает зернистый вид. Таким образом, единственным нормальной реакцией стилионхий есть катодный характер гальванотропизма.

б. В последней моей работе уже было замечено (26, стр. 41), что перистою стилионхий обладает крайней чувствительностью. (Р. с а е, 25), а двигательные органы в морфологическом и функциональном отношении очень высоко развиты. Такая сложность в устройстве и высокая степень дифференциации двигательных органов заставляет уже наперед ожидать и сложную реакцию этого вида *Hypotrichae* на ток. Опыты, на основании которых я привожу ниже следующие выводы, производились над совершенно чистой разновидью *Stylonychia mytilus*, капля которой, не содержащая никаких посторонних примесей помещалась в каплюновую камеру. Сейчас же по замыкании слабых токов (0,3—1,0 МА) стилионхий принимали перпендикулярное положение относительно направления тока, причем перистою их всегда была обращена к катоду; при инверсии тока они поворачивались по полукругности по направлению часовой стрелки на 180° и снова располагались перистою к новому катоду.

Интересная картина получается в тех случаях, когда в этой же камере вместе со стилионхиями находится и парамития.

При этой силе тока (в среднем 0,6 МА) все парамитии обнаруживают ясный катодный гальванотропизм, тогда как стилионхий располагаются перпендикулярно к линиям тока; при инверсии тока бесполовая парамития толпой сразу устремляется к новому катоду, а стилионхий поворачивают по полукругности свою перистую к этому же полюсу и спокойно пребывают, приняв перпендикулярное положение к линиям тока.

Итак, первая стадия реакции *Stylonychia mytilus* на минимальное раздражение постоянным током есть трансверсальная гальванотаксис. Приняв раз такое положение, протист пребывает в нем во все время прохождения тока; если он случайно выходит из этого положения, то начинает бесполою биться или плавать в камере и вскоре снова становится перпендикулярно к току. Сказавательно, трансверсальное положение есть вынужденное, которое протисты принимают путем исключения. Объяснить эту реакцию очень легко, если мы напомним,



Рис. 15. *Lacrymaria olor*.



Рис. 16. *Lacrymaria olor*. Сокращение тела ее при катодном гальванотропизме.

что возбудимость *Stylonychia mytilus* (26, стр. 41) при раздражении отъемным индукционным ударом наименьшая при поперечном положении.

е. Если увеличивать силу тока постепенно при помощи реостата до 1—2 МА, то, трансверсально расположенный стилонихий изменяя это положение, поворачиваются передним концом тела к катоду, быстро плывут по направлению к нему и очень быстро собираются у катодного квадратного бруска. При увеличении тока они поворачиваются и, расположенный поперечно с новым направлением тока, устремляются к новому катоду. Вторая стадия реакции стилонихий, следовательно, есть катодный гальванотропизм, вызываемый токами средней силы, которые у *Paramecium* обуславливают обитием скорости.

При действии сильных токов наступает ясное возбуждение сократительных элементов, конфигурация тела изменяется и наступает распад инфузорий; наблюдаемая при этом явления подробно уже описаны мною (26, стр. 41).

Итак, ориентировка *Stylonychia mytilus* относительно поперечного гальванического тока находится в прямой зависимости от силы тока; слабые токи вызывают трансверсальный гальванотаксис, который при действии сильных токов сменяется катодным гальванотропизмом.

V.

Заключение.

На основании изложенных в этой главе фактов, полученных в виде представителями различных порядков инфузорий: *Holotricha* (*Paramecium*, *Opalina*, *Laureymaria olor*), *Heterotricha* (*Spirostomum*, *Stentor*) и *Hypotricha* (*Stylonychia*) можно считать прочно установленным следующую важный вывод: характер гальванотропичной реакции противостоит на электрической ток, — ориентировка их относительно поперечной и скорости поступательного передвижения —, находится в непосредственной зависимости от силы действующего тока; изменяя силу раздражающего тока можно на одних и тех же противях получить различные стадии, геар. типы реакций гальванотропизма и гальванотаксиса.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Условия и причина одновременности различных стадий реакции гальванотропизма при обчной постановке опыта. — Критика теории Джиннига-Литтера интерференции гальванотаксиса и гальванотропизма.

I.

Условия отсутствия гальванотропичной реакции у инфузорий, находящихся в области пленки в камере.

Положу несколько опытов, при которых наблюдаются факты, легко понятные и объяснимые с точки зрения зависимости характера реакции инфузорий от силы тока; с ними нередко приходится встречаться при исследованиях гальванотропизма.

1. В камере наряду с парамециями (*Paramecium caudatum*, *aurelia*) находится две различные пленки детрита (рис. 17 а); одна из них сравнительно мала, превосходит парамецию в 2—3 раза,

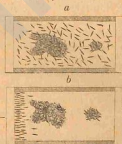


Рис. 17. Распределение парамеций в камере с пленками детрита: а — покойное распределение; б — распределение инфузорий при гальванотропизме.

тогда как другая, расположенная на рисунке слева, по величине очень значительна и занимает порядочную площадь камеры; обе пленки расположены на дне камеры и совершенно покрыты жидкостью, в которой находится в очень большом числе парамеции. Замыкаем гальванический ток при 0,1 МА, катод которого приходится теперь слева. Сейчас же все парамеции, как обыкновенно, ориентируются относительно катода, поворачиваются передним концом к нему и быстро плывут по направлению к левому катодному квадратному бруску. Скорость передвижения их, зависящая посыл замыкания тока, равномерной, правильной, одинаковой для всех инфузорий, при дальнейшем внимательном наблюдении оказывается различной в различных частях ванны; инфузории поэтому движутся к левому бруску не стройной, регулярной толпой, а беспорядочно; одни из них, плывущая в свободных частях ванны, передвигаются к катоду довольно быстро и равномерно, тогда как другие, находящиеся или попадающие в область пленок из детрита, экирививаются в пленку и плывущая здесь, движется очень медленно и крайне несправильно или даже остается экирививными на одном и том же месте; последние даже не ориентируются относительно катода, — длинной осью своею они находятся под разными углами к параллельным линиям тока и передним концом тела обращены в различные стороны. В силу такого неравномер-

ного движения и даже отсутствия перемещения в областях кучек детрита, по прошествии минуты не все инвузории собрались у катодной каолиновой ствнки. После продолжительного прохождения (1—2 мин.) токи расположeние их в камере имeет следующий характер: они разделились на три группы: часть парамеций находится у каолинового катодного бруска, довольно много парамеций плавают и остаются на месте в области большой пленки детрита и несколько экземпляров топятся у малой кучки детрита.

Инвертируем ток; сейчас же за замыканием все парамеции, находившиеся у новой каолиновой ствнки, поворачиваются передним концом к новому катоду и устремляются вперед. Некоторые из них прямо плывут к правому полюсу (катоду) в тех свободных частях жидкости (вапан), которые расположены между восковыми полосами и большой пленкой детрита; тогда как экземпляры, плавающие в средней продольной полосе между электродами, натакаиваются на кучку детрита, попадающую в занимаемую ею область, и большинство из них остается здесь; их регулярные движения, направленные на перемещение к катоду, прекращаются, и находясь в области пленки, они вместе с другими инвузориями плавают в пределах ее, не испытывая, повидимому никакого влияния тока. Сь другой стороны, почти все парамеции, находившиеся на пленках и у пленок после инверсии тока опять остаются в разнообразных положениях в области этих пленок, и лишь единичные экземпляры устанавливаются гомодромно, плывут по направлению к катоду; некоторые из них достигают правого катода, остальные же поспешно возвращаются снова в область пленок детрита. Те же явления повторяются и при новой инверсии.

Вь конць концов, после нескольких изменений направления тока, лишь очень немногие экземпляры приплывают к катодному полюсу; большинство инвузoрий топится теперь в области пленок. Пленки представляются как бы инкрустированными инвузориями, составленными из массы противоять (рис. 17 в); парамеции обильно пленку со всех сторон; они находятся и над нею и под нею и расположены в ее свободных краях, образуя розетки самых причудливых форм; инвузории располагаются не только на пленках, но находятся по соседству с ними на вапках ибудь вместех два января.

Ивления, наблюдаемая при описываемом опыте, были зарегистрированы мною еще в 1898 году. Наблюдения были повторены много раз; вь камеру помещались одна или несколько пленок в различных расстояниях одна от другой, кусочки бумаги, тонкия итнки, и результаты получались всегда те же. Во всех этих опытах наблюдался тот факт, что данная сила тока, проходящего через камеру по параллельным линиям (параллельные электроды) вызывает направляющих образом вь катоду на пара-

меций, свободно плавающих вь жидкости, и не оказывают видимого эффекта на инвузории, находящихся вь области пленок детрита.

2. Подобные опыты производились не только над парамециями, но и над многими другими инвузориями: *Colpidium Colpoda*, *Colpoda cucullus*, *Chilodon cucullulus*, *Oxytricha fallax*, *Oxytricha platystoma*, *Stylonychia mytilus* и *Stentor polymorphus*. Наблюдения над ними производились сначала случайная, совместная с наблюдениями над парамециями, потому что не всегда была чистая культура исключительно парамеций, и капля, помещенная вь камеру содержала различные виды противоять. Затеь были поставлены специальные опыты, давшие вполне согласные результаты, почему я и стану подробно останавливаться на описании этих опытов. Укажу лишь на опыты над стенторами и стилонихиями, которые много способствовали высшему описываемых явлений.

3. Несколько капель разводки, содержавшей большое количество *Stentor polymorphus* помещались вь каолиновую камеру. Стенторы, приняв ящцеобразную форму, вь начале быстро плавают по камере вь различных направлениях; спустя несколько минут некоторые из них прикрываются своим задним концом к какому нибудь предмету и вытягивают свое тело вь длинную трубу, расширяющуюся по направлению к перистоматальному отверстию. Вь момент замыкания очень слабого тока, иногда уже при 0,005—0,02 МА, стенторы мгновенно сокращают свое трубообразное тело, которое притом принимает ящцеидную форму. Положение стенторов относительно направления гальванического тока явлет решающее значение а наступление и степень реакции сокращения яненья. Отношения кь раздражению постоянным током те же, которые наблюдаются при кратковременном раздражении отдельным индукционным ударом минимальной силы и которая была описана вь статье о действии отдельного размыкательного индукционного удара (26) на стр. 48: наиболее выраженное сокращение наблюдается при антиромном прохождении тока, и самая слабая реакция получается при попережном положении относительно линий тока; наибольшее значение играет положение перистоматального отверстия относительно анода. При неполной степени сокращения стенторы принимают ящцеидную форму, остаются синхронизированным своим концом; при значительном же раздражении они становятся почти шаровидным, причеь часто отрывается оть яства, кь которому были прирешены. Вместе с стенторами вь камеру попадали кусочки детрита, листья водорослей, образовывавшие иногда громадные пленки, кь поверхности и краямь которых прирешивались стенторы и принимали форму длинной трубы. Присутствие пленок и вытянутых вь трубу стенторов требуются условиями опытов.

После этих необходимых предварительных замечаний перейдем кь описанию опытов.

Сейчас же всегда за замыкаем постоянного тока в 0,02 МА все свободно плавающие стенторы ориентируются перистомальным кончиком к катоду и плывут к нему; длинная ось их овального тела иногда несколько укорачивается. Некоторые из экисприванных у громадных пленок стенторов только сокращают свое тело во большей или меньшей степени и остаются на тях же мѣстах; явления сокращения сильнее всего выражены у тѣх стенторов, длинное тело которых вытянуто на значительное расстояние от плавки к жидкости и свободно в ней перемѣщается из стороны в сторону; слабе сокращаются экисприванные стенторы, расположенные перпендикулярно к току и также вытянувшиеся в свободную жидкость. Очень незначительно выражена реакція стенторов, находящихся в области пленок и не выступающих в свободную жидкость; они или едва сокращают свое тело, или остаются незначительными при трубообразной зорби, чаще в случѣ поперечнаго положенія. Свободно плывущий в гомодирном направлении стентор, поворачивая в область плавки при инверсии тока, остается здѣсь, поворачивается в различна сторону и не реагирует на направляющее вліяніе тока. Тѣмъ данной силы не оказываютъ возбуждающее вліяніе на стенторов, находящихся в области пленок, они не направляютъ к катоду свободно плавающихъ здѣсь противъ и не всегда вызываютъ сокращеніе мидемъ у экисприванных. Слѣдовательно, на раздражающее вліяніе постоянного тока минимальной силы скорее всего реагируютъ стенторы в свободной жидкости и слабе всего, находящиеся в области большихъ пленокъ, составленныхъ изъ различныхъ стороннихъ призмѣей.

4. И у *Stylonychia mytilus*, находящейся в области какой нибудь плавки, реакція на постоянный токъ также выражена неясно и неопредѣленно при тѣхъ условіяхъ, когда у свободно-плавающихъ или бѣгающихъ в жидкости наблюдается катодный гальванотропизмъ. При 0,1—0,2 МА послѣднія ориентируются переднимъ кончикомъ тѣла относительно катода и плывутъ к нему, тогда какъ сидящая на кучкѣ детрита продолжаютъ спокойно ползти по ней, не испытывая повидному никакого вліянія тока; иногда лишь некоторая изъ нихъ дѣлаетъ порывистыя движенія, выдвигаютъ глаза, и располагаются трансверсально къ направлению тока, причѣмъ перистомъ ихъ обращена къ катоду. При инверсии тока послѣднія поворачиваются по полуокружности снова перистомой къ новому катоду и остаются в этомъ положеніи, перпендикулярномъ къ току, а находящаяся в жидкости, въ пленки, стремительно плывутъ къ нему. Такое различное отношеніе къ току—отсутствіе реакціи или трансверсальное положеніе у находящихся в области плавки и одновременно съ этимъ настояцій катодный гальванотропизмъ у находящихся в свободной жидкости—въ одной и той же камерѣ наблюдается у *Stylonychia mytilus* лучше всего при 0,2 МА (камера $1,5 \times 1,5$ см.).

5. Во всѣхъ случаяхъ описанныхъ опытовъ при одинаковой силѣ тока, проходящаго чрезъ жидкость—разводку въ камерѣ, наблюдалается, слѣдовательно, одновременно различный характеръ реакціи, сильнѣе выраженной у инеузурій в жидкости и слабо-проявляющейся либо совсемъ отсутствующей у инеузурій в области какихъ-нибудь пленокъ.

II.

Характеръ движенія инеузурій при усилении направляющаго тока—одно-временность различныхъ стадій реакціи у инеузурій одного и того же вида въ одной и той же камерѣ.—Ослабленіе интенсивности реакціи у инеузурій в области пленокъ.

Научимъ отношеніе инеузурій в этихъ условіяхъ опыта, т. е. когда в камерѣ находятся пленки детрита, зоопленъ, или довольно крупныя остатки листьевъ, кусочки водорослей, къ гальваническому току, сила котораго мѣняется при помощи реостата. Объектами для этихъ опытовъ на основаніи предыдущихъ данныхъ избираемъ, во первыхъ, *Paramecium aurelia* и *caudatum*, у которой, какъ известно изъ изложенныхъ выше данныхъ (стр. 34), въ высшей степени отчетливо проявляется зависимость скорости передвиженія отъ силы тока, и, во вторыхъ, *Stylonychia mytilus*, реагирующую различно ориентировкой относительно полюсовъ при разныхъ силахъ тока.

1. Медленно и постепенно увеличиваемъ силу дѣйствующаго тока сейчасъ же послѣ замыканія; *Paramecia* в свободной жидкости устремляются къ катоду, находящаяся же—экисприванная и плавающая в области пленокъ—пока не реагируетъ. Движенія парамецій только что началось и скорость перемѣщенія еще не достигла своего максимума. Размыкаемъ токъ на очень короткое время; парамецій отчасти плаваютъ равномерно по всей камерѣ, отчасти находятся в области пленки детрита; здѣсь они заняты своимъ обычнымъ, никогда не прекращаемымъ, занятіемъ—пользуясь соедѣствомъ обильнаго пищевого материала, который и усваиваютъ, прикрепившись къ пленкѣ детрита; и некоторыя пока плаваютъ в области пленки, какъ бы въ поискахъ за мѣстечкомъ, богатымъ обильной пищей. Замыкаемъ снова токъ; инеузурій свободной жидкости сразу устремляются къ катоду. Увеличиваемъ силу тока и внимательно слѣдимъ за парамециями кучки детрита; и которые локализируются этой области, раньше не реагируя; начинаютъ ориентироваться переднимъ кончикомъ тѣла относительно катода, оставляютъ предѣлы пленки и устремляются къ какому-нибудь бруску; большинство же инеузурій, особенно экисприванная, остаются у пленокъ. Снова замыкаемъ на короткое время токъ; опять—обычное распределеніе покоя; часть противъ плыветъ в жидкость, остальные заняты усвоеніемъ пищи у пленокъ; замыкаемъ токъ и усваиваемъ его. У плавающихъ в свободной жидкости наблюдается орпизмъ скорости; в области детрита уходитъ къ катоду уже много инеузурій;

некоторые из фиксированных обнаруживают явное беспокойство, плотные прилегают или забираются в пленку, другие же отрываются, беспокойно мечутся, принимают гомодромное положение, оставляют пленку и устремляются к катоду. При инверсии тока этой силы инверзии, проходящая через границы пленки, не так легко остаются в ее пределах, как наблюдалось при минимальной силе тока, но после некоторых колебаний в ее области, устремляются все-таки к новому катоду. Если уже в начале инверсии продолжать усиливать ток, то ясно можно видеть, что уже очень много протестов оставляют пленку и плывут к катоду. Часто остающаяся пленку инверзии увеличивается при той силе тока, проходящего через камеру, которая у плавающих в свободной жидкости вызывает даже замедление движения при несколько измененной, овальной форме тела. Интересно поведение при этом протестов пленки; они оставляют ее пределы не сразу, а отделившись экземплярами. Протесты отрываются от пленки, движут в ее пределах несколько беспокойных движений, выходят иногда из пределов пленки, снова быстро возвращается сюда, имея нормальную продолговатую форму; они стараются избегнуть направленного влияния тока, но, тем не менее, ровным образом принимают гомодромное положение, оставляют пленку и плывут к катоду при измененной форме тела, которая по пути к катоду принимает овальный вид. У пленки детрита осталось, однако, еще много парамеций, и все они имеют нормальную продолговато-вытянутую форму, тогда как у плывущих в этой же камере к катоду она приняла овальный вид.

2. Размыкаем снова ток, даем сократившимся парамециям возможность оправиться и восстановить форму тела; распределение вскорь обычное, — большинство снова у кучи детрита. Запускаем ток этой же силы, на которой мы и прекратили опыт; явления те же. Сейчас же увеличиваем немного ток; движения инверзии, плывущих в жидкости резко замедляются, тело их принимает форму груши; поведение протестов, фиксированных у пленки беспокойное; они отрываются от пленки, движут порывистая движения в ее пределах, у некоторых из них форма тела становится овальной, другие еще сохраняют обычный вид; поплав, ровным образом в свободную жидкость, они устанавливаются гомодромно, и тело их принимает грушевидную форму. При внимательном наблюдении легко заметить, что инверзии области пленки ведут к способам передвижения тесно пытаются избегнуть направленного влияния тока, который, как видно из наступивших беспокойных движений, оказывает на них теперь действие; чуть отделившись от пленки, они начинают порывисто двигаться и лишь только попадают в свободную жидкость, хотя бы у края пленки, они ровным образом принимают гомодромное положение и не могут уже избегнуть направленного влияния тока; форма тела их сейчас же становится грушевид-

ной. Таким образом, при этой силе тока наблюдается большое разнообразие в плавании формы тела протестов; наименьшая степень изменения замечается у фиксированных возле пленок инверзии, которых осталось здесь еще довольно много.

При дальнейшем увеличении тока тело инверзии в свободной жидкости разрушается; протесты, фиксированные у пленок, обнаруживают сильное беспокойство, и тело их, лишь только они выплывут за границы пленки, мгновенно сокращается, принимает грушевидную форму и вскорь разрушается. Явления, наблюдаемые при постепенном нарастании силы тока, повторяются и при замыкании тока соответствующей силы; так напр., при замыкании тока, вызывающего форму свободно плавающей парамеции, наблюдаются уже беспокойная движения и у парамеций пленки; они начинают оставлять пленку и плывут к катоду; при замыкании очень сильного тока, вызывающего мгновенное разрушение протестов в жидкости, наблюдаются явления изменения формы тела, неординарно выраженные, и у инверзии пленки. Хотя при последней силе тока часть фиксированных у пленки инверзии и остается по форме почти неизменными, тем не менее тоже опытным путем на них влияние, что обнаруживается их беспокойными движениями.

3. Замедление в появлении реакции и ослабление в ее степени наблюдается и у *Stylogygia mytilus* в тех случаях, когда они фиксированы в каких-нибудь пленках или бгаются по ним. Сила тока, направляющая инверзии, плывущих или бгающихся в остальной жидкости, к катоду, вызывает у находящихся в области пленки лишь трансверсальное расположение перистомы к катоду, т. е. первую стадию реакции, или не проявляет на некоторых из них никакого влияния. Последние протесты начинают беспокойно бгать по куче детрита в различные стороны при том же, сила которого убывает свободно плавающим; поплав случайно же границ пленки, они также погибают. Регулируя постепенное увеличение силы тока можно вызвать и у некоторых стазоний пленки катодный гальванотропизм, после того как они, продвигаясь несколько беспокойных движений, оставили пленку.

Влияние более сильных токов уже не представляет значительного интереса; важно лишь поведение инверзии находящихся в пределах пленок при токах, максимальная сила которых вызывает явления разрушения протоплазмы у свободно плавающих в жидкости, в особенности же их отношение к силе тока, которая является оптимальной для получения гальванотропических явлений у инверзии в свободной жидкости.

4. Из всех описываемых опытов видно, что постоянный ток произвождает возбуждающее влияние и на инверзии, фиксированных у пленок детрита или находящихся в их пределах; при этом наблюдается лишь

замедление в появлении и ослабление в степени реакции сравнительно с реакцией протистов в свободной жидкости, т. е. реакция имеет тот же характер, но иступает при точках сравнительно большей силы и проявляется значительно слабее.

III.

Наблюдение Дженнингса интерференция между явлениями тигмотаксиса и гальванотаксиса. — Теория Пюттера, объясняющая трансверсальной гальванотаксис, интерференцией с тигмотаксисом. — Личные наблюдения — Различные стадии реакции зависят от разности силы раздражающего тока, уровня выделения тока и односторонней циркуляции токов. Различной густоты в различных местах капли при неодинаковой среде. — Неопределенность понятий «раздражение соприсосновения (contact Stimulus Дженнингса и Kontaktreiz Пюттера)» и «гальванотаксис».

Раньше чем перейти къ выяснению причин этой количественной разницы в реакции протистов свободно плавающих в жидкости и фиксированных у пленок или находящихся в их пределах, а остановилось на исследованиях Дженнингса и Пюттера, имеющих тесное отношение къ только что изложенным моим опытам.

1. Не только сь описанными здесь наблюдениями, но вообще сь вопросом о зависимости явлений гальванотропизма от силы тока, находится в теснейшей связи вопрос о т. наз. «интерференция явлений тигмотаксиса и гальванотаксиса». «Интерференция» явлений тигмотаксиса и гальванотаксиса есть, собственно говоря, теория, пытающаяся объяснить некоторые явления гальванотаксиса. В виду тесной связи этой теории сь разсматриваемыми в этой главе явлениями, а нахожу необходимым для ясности и последовательности изложения остановиться здесь на разсмотрении исключительно фактических данных, на которых базируется эта теория.

Въ литературном очерке я уже изложил (стр. 7) сущность этой теории.

2. Основное наблюдение сделано было Г. Дженнингсом, который впервые описал в 1897 году «интерференцию тигмотаксиса и гальванотаксиса» (17). По его наблюдениям парамеций, тигмотаксированных передним концом у кусочка бумаги, растительного материала, не отбывают на ток даже 10—20 хромовых элементов (17, pp. 262 и 305), тогда как свободно плавающие парамеции направляются къ катоду при влиянии пяти-шести и даже меньшого числа элементов. Къ сожалению автор не дает цифровых данных силы тока. Отсутствие гальванотропичной реакции у тигмотаксических парамеций Г. Дженнингс (17, p. 312) объясняет борьбой между двумя раздражениями, — между раздражением соприсосновения (the contact Stimulus) и раздражением постоянным током. Электрический

ток заставляет парамеций плыть къ катоду, стимул соприсосновения подавляет это возбуждение, и инфузория остается въ прежнее соприсосновении сь платиновою телью. Однако, при действии очень сильных токов (30 хромовых элементов), как пишет Г. Дженнингс, парамеции одна за другой оставляют свою позицию (p. 312) и большинство ихъ уплывает къ катоду. Таким образом, уже самъ Дженнингс признает, что явления гальванотропизма могут быть вызваны у тигмотаксированных парамеций, но для этого нужны очень сильные токи.

3. А. Пюттер расширил наблюдение Г. Дженнингса и развил его мысль в целую теорию, объясняющую, главным образом, трансверсальный гальванотаксис Spirostomum и Stylonychia интерференцией гальванотаксиса сь тигмотаксисом. Обь эти инфузории обыкновенно тигмотаксированы; изъ нихъ спироостома почти всегда фиксирована задним концом тела, тогда как остальная часть тела свободно перемещается сь стороны въ сторону, а стилонихии, как известно, обычно бьгает или фиксирована у какого-нибудь предмета (кучка детрита, зооглея) и сравнительно рьже плавает в жидкости. Однако, изъ моих наблюдений (стр. 39) видно, что Spirostomum не является исключительно трансверсально-гальванотаксичной, как описал М. Ферворн и подтверждает А. Пюттер; токи соответствующей силы вызывают у этой инфузории настоящей катодный гальванотропизм. Мои наблюдения, противоречащие утверждению М. Ферворна и А. Пюттера, не являются единичными; уже К. Кельш, как сказано (стр. 37), подмечал у спироостома катодный гальванотропизм и Г. Вааленгрейв нашел, что и тигмотаксическая спироостома обнаруживает катодный гальванотропизм. Стилонихии, расположенные перпендикулярно къ направлению слабого тока, при бьже сильных токах совершенно отчетливо устремляются къ катоду и дают, следовательно, какъ уже было описано, вторую стадию реакции (стр. 44).

Итак, изъ наблюдений Г. Дженнингса и А. Пюттера видно, что и тигмотаксированные протисты реагируют на постоянный ток, но для этого нужны очень сильные токи, потому что при бьже слабых токах раздражение соприсосновения (contact Stimulus) подавляет возбуждающее влияние электрического тока.

4. Мои наблюдения показывают, что замедление въ наступлении реакции, т. е. появление ее при бьже сильных токах, и ослабление степени реакции наблюдаются не только исключительно у фиксированных у пленок (или, как принято, тигмотаксированных) инфузорий, но и у находящихся в сьр. плавающих, въ ихъ пределах, очень близко около нихъ. Характеръ реакции несколько не изменяется, ослабляется лишь степень ее, т. е. при одной и той же силе тока реакция инфузорий, фиксированных и находящихся у пленокъ выражена слабее реакции свободно-плавающих, вследствие чего въ камеръ при данной

силъ тока наблюдаются одновременно нѣсколько стадій реакціи. Въ статьѣ о возбуждающемъ вліяніи отдѣльнаго индукціоннаго удара (26) подробно изложено, что реакція протистовъ проявляется въ зависимости отъ раздражающаго вліянія тока либо въ возбужденіи лишь рубчинокъ, либо къ этому присоединяется и возбужденіе сократительныхъ элементовъ. Постоянный токъ у параміи, напр., также вызываетъ эти двѣ стадіи: слабые токи заставляютъ рубчатый аппаратъ работать какъ обычно, причемъ протисты всегда направляются къ катоду, болѣе сильные токи вызываютъ измѣненіе формы тѣла вслѣдствіе возбужденія сократительныхъ элементовъ. Если въ одной и той же камерѣ при одной и той же силѣ возбуждающаго тока, проходящаго по параллельнымъ линиямъ, наблюдаются у различныхъ инфузорій одного и того же вида разныя стадіи реакціи, то естественно заключить, что одні инфузоріи, реакція которыхъ выражена яснѣе, испытываютъ болѣе сильное раздраженіе, а другія, реагирующія слабѣе, находятъ водъ вліяніемъ меньшаго по силѣ раздраженія, не реагирующія вовсе не испытываютъ никакого раздраженія. Определенная стадія реакціи, какъ подробно мною изучено водъ дѣйствіемъ отдѣльнаго размыкательнаго удара (26), роковымъ образомъ зависитъ отъ силы раздражающаго удара; различный характеръ стадій или типа реакцій гальванотропами всѣхъ инфузорій на постоянный токъ также находится, какъ изложено въ третьей главѣ, въ тѣснѣйшей зависимости отъ силы циркулирующаго тока. Если для инфузорій въ одной и той же камерѣ отвѣчаютъ на постоянный токъ реакціями различныхъ стадій, болѣе выраженной и менѣе выраженной, то на первую дѣйствуетъ болѣе сильный, а на вторую менѣе сильный токъ. Если при прохожденіи черезъ камеру тока въ 0,6—1,0 МА, свободно плавающая инфузорія плыветъ къ катоду, а экирированная и находящаяся у пленокъ не обнаруживаютъ этой реакціи, то послѣднія, следовательно, находятся подъ вліяніемъ болѣе слабаго тока, чѣмъ первыя. Что причина заключается именно въ этомъ, видно изъ того ряда опытовъ (стр. 47), когда съ нарастаніемъ силы тока соответственнымъ образомъ увеличивается интенсивность реакціи, какъ у свободно плавающихъ, такъ и у экирированныхъ у пленокъ инфузорій. Повышеніе силы раздраженія сейчасъ же скажется въ увеличеніи степени реакціи со стороны инфузорій, находящихся у пленокъ, въ томъ смыслѣ, въ какомъ вообще постепенно развиваются различныя стадіи въ зависимости отъ увеличенія силы раздражающаго отдѣльнаго размыкательнаго индукціоннаго удара (26, стр. 49—51) или постоянного тока. Ослабленіе въ проявленіи реакціи инфузорій, находящихся у пленокъ, зависитъ прежде всего отъ того, что черезъ мертвую пленку, г. е. черезъ экирированныхъ у ней протистовъ проходитъ болѣе слабый токъ, чѣмъ въ жидкости. Токъ циркулируетъ, неравномерно въ камерѣ, въ которой находится болѣе или менѣе плотная тѣла; когда въ жидкости находится вучка детрита, вусочки растений, булжги или зооглея водъ детрита, то черезъ раз-

личныя точки даннаго сѣченія въ камерѣ, содержащей и жидкость и плотныя тѣла, проходитъ токъ различной густоты. Черезъ пленку, а, следовательно, черезъ находящихся водъ нея протистовъ, проходитъ токъ меньшей силы, чѣмъ черезъ сосѣдную съ ней жидкость. Токъ въ данномъ сѣченіи вѣдъ вѣднѣе; меньшая часть его идетъ черезъ пленку и большая часть жидкости. Для доказательства этого положенія не нужно искать никакихъ методовъ регистраціи; для этой цѣли отдѣльно могутъ служить сами экспериментирруемые объекты; болѣе точнаго гальванометра, чѣмъ сама, напр., параміи, не нужно и требовать. Ея реакція на токъ представляютъ непремѣнныя, определенныя, законообразныя явленія, зависящія отъ силы дѣйствующаго тока. Ея ориентировка относительно катодовъ, увеличеніе скорости передвиженія до определенныхъ предѣловъ, измѣненія формы тѣла,—все это показатели для известной густоты тока, которые непосредственнымъ образомъ доказываютъ, что черезъ пленку детрита и находящихся здѣсь протистовъ проходитъ токъ меньшей густоты, чѣмъ въ сосѣдней жидкости, гдѣ реакція инфузорій выражена яснѣе.

5. Итакъ, отсутствіе или менѣе выраженная реакція протистовъ, экирированныхъ или находящихся въ области пленокъ, объясняется вѣднѣе токъ въ неодинаковой средѣ, состоящей изъ жидкости и изъ пленокъ; большая часть тока проходитъ черезъ жидкость и вызываетъ поэтому болѣе выраженную реакцію протистовъ, меньшая же часть идетъ черезъ мертвую пленку и очень слабо или совсѣмъ не возбуждаетъ находящихся здѣсь протистовъ. Это не есть допущеніе только, но простой, непосредственный выводъ изъ фактическихъ данныхъ. Это объясненіе, вытекающее непосредственно изъ описанныхъ фактовъ, основано на роковой зависимости различныхъ стадій реакціи протистовъ отъ силы циркулирующаго тока и на законообразномъ, постепенномъ развитіи этихъ реакцій и у инфузорій, находящихся у пленокъ, при усиленіи силы тока. Съ нарастаніемъ силы раздражающаго электрическаго тока измѣняется и реакція протистовъ въ известномъ, определенномъ, последовательномъ и типичномъ отношеніи. Между степенью интенсивности реакціи, г. е. между различными стадіями ея, и силой раздражающаго тока существуетъ пропорціональная зависимость. Известная степень реакціи наступаетъ при определенной силѣ тока; если этой реакціи нѣтъ, то раздраженіе еще не достигло определенной силы. Только болѣе слабой силой тока, проходящаго черезъ пленку, и объясняется болѣе слабая реакція находящихся здѣсь протистовъ.

6. Это объясненіе очень просто и легко понятно; оно основано на определенныхъ физиологическихъ волчаніяхъ. Поэтому нѣтъ никакой необходимости вводить для объясненія описанныхъ явленій какое-то невѣроятное, какъ это дѣлаетъ Г. Дженнингъ а за нимъ и А. Пюттеръ. Г. Дженнингъ допускаетъ, что раздраженіе со-

прикосновения подавляет раздражение электрическим током. Между тем как в сущности совершенно неизвестно, что такое раздражение соприкосновения, в чем оно проявляется и чем его можно измерить? Сами явления соприкосновения только получили общее название — тигма таксис; и опять без никаких точных указаний, что, собственно говоря, нужно разуметь под этим названием. Итак, первая половина теории Дженнингса — Пюттера заключается в допущении неизвестного, вторая утверждает, что это неизвестное подавляет раздражение электрическим током, тогда как на основании приведенных фактов можно исторически утверждать, что раздражения током не существует, потому что сила его еще очень незначительна. Разъ иль раздражителя, иль и оснований признавать иль что подавляющее влияние несуществующего раздражителя. Самъ Г. Дженнингс (р. 312) впрочемъ говоритъ въ заключеніи:

«Описанное здѣсь явленіе можетъ, вѣроятно, найти объясненіе съ болѣе простой точки зрѣнія, когда будетъ болѣе выясненъ точный характеръ реакціи одноклеточныхъ организмовъ на раздраженіе, и въ особенности, когда будетъ лучше изученъ существенный характеръ вліянія электрическаго раздражителя».

7. Различная стадія реакціи, наблюдаемая одновременно въ одной и той же камерѣ, при находженіи въ ней плотныхъ частей въ видѣ пленокъ дегтя, бактерій (зооглей), кусочковъ растеній, у микроскопическихъ животных и того же вида, объясняются неравномернымъ распределеніемъ тока въ камерѣ; жидкость является лучшимъ проводникомъ, чѣмъ по сторонамъ мертвыя частицы, потому что находящіяся у послѣднихъ противы реагируютъ слабѣе, чѣмъ плавающія въ жидкости. Съ этимъ обстоятельствомъ необходимо серьезно считаться при изслѣдованіяхъ надъ гальванотропизмомъ простѣйшихъ; условия равномерности прохожденія тока чрезъ каждую точку сѣченія жидкости въ камерѣ должны быть соблюдаемы строжайшимъ образомъ. Этимъ объясняются явленія камеръ съ параллельными электродами, въ особенности камеръ М. Фервора.

Для однообразія наблюдаемыхъ реакцій необходимо, чтобы жидкость въ камерѣ не содержала, по возможности, кромѣ противотѣ, никакихъ постороннихъ примѣсей. Мало того, самое устройство камеры должно быть возможно тщательнымъ; сравнительно большой слой капакаго базальта, при посредствѣ котораго прирѣданы къ стеклу капаковые бруски, выступающій углубокъ внутрь камеры, неправильныя внутренне края соскоковъ полосокъ, примѣсь металлическихъ солей въ воскъ, — все это вѣнша вниманію можетъ до нѣкоторой степени вліять на густоту циркулирующаго у дна и стѣнокъ камеры тока. Для чистоты опытовъ необходимо предельно строго соблюдать всѣ условия равномернаго прохожденія тока чрезъ камеру.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Методъ одновременнаго наблюденія различныхъ стадій реакціи гальванотропизма и доказательства активности этого явленія.

I.

Значеніе острокопечныхъ электродовъ для одновременнаго наблюденія различныхъ стадій гальванотропизма. — Различная скорость перемѣщенія по различнымъ кривымъ линіямъ тока; зависимость отъ густоты тока. — Избирательное поведение параміевъ.

1. Различный характеръ явленій гальванотропизма можно одновременно наблюдать въ одной и той же камерѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда сила тока различна въ разныхъ частяхъ камеры. Это условіе экспериментально прекрасно выполняется при употребленіи острокопечныхъ электродовъ, которые даютъ возможность въ одномъ и томъ же опытѣ наблюдать вліяніе токовъ различной силы. Острокопечныя электроды, погружающіяся въ жидкость съ микроскопомъ въ большой камерѣ (6 сан. \times 3 сан.), притовдвались изъ каулина или платиновыхъ проволокъ; послѣднія зашпачивались въ стеклянную трубочку, изъ которыхъ выступали концы проволокъ въ 5 мм. діаметру. Густота тока, конечно, наибольшая въ тѣхъ частяхъ жидкости, гдѣ расстояние между электродами наименьшее.

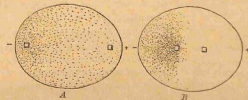


Рис. 18. Опытъ Фервора съ острокопечными электродами: А — начало перемѣщенія параміевъ по кривымъ линіямъ тока; В — собраніе параміевъ посреда капакаго электрода посреда продолговатаго вѣнша тока. (2, р. 30, фиг. VII a—b; рисунокъ взятъ изъ *Alg. Phys.*, 4-е изд., Фервора фиг. 236).

М. Фервортъ уже въ своей первой работѣ показывалъ, что при опытахъ съ острокопечными электродами микроскопическія перемѣщаются по кривымъ линіямъ тока, соединяющимъ оба заостренные полюса (рис. 18). Картина, наблюдаемая посреда замыканія тока, по описанію М. Фервора (2, р. 30), похожа на ту, которая наблюдается въ расположенія желѣзныхъ опилокъ, помещенныхъ на листъ бумаги надъ подобнообразнымъ магнитомъ. Притомъ М. Фервортъ не указывалъ на зависимость различной скорости перемѣщенія параміевъ отъ различной густоты тока, циркулирующаго по кривымъ линіямъ между острыми электродами.

2. Чрезъ жидкость камеры проходитъ токъ, сила котораго по кратчайшему разстоянію между острыми (рис. 19) наибольшая, вызывающая optimum скорости. По линіямъ а (рис. 19) параміевъ, согласно

изложенному выше (стр. 34), будут перемещаться несколько скорее, чем по кривым тока b и b_1 . Если густота тока, проходящего по прямой a будет несколько меньше оптимальной, то по крайним кривым, соединяющим оба полюса инуэзии не будут перемещаться. Не испытывая здесь направляющего влияния тока, они плавают спокойно в различных направлениях, как и в угловых участках камеры e_1, e_2, e_3, e_4 , где ток не циркулирует.

3. Сближаем несколько электродов и снова замыкаем тот же ток (рис. 136). По линиям a парамции перемещаются теперь в меньшем числе и несколько медленнее, чем по кривым b и b_1 ; в первом участке ток теперь сильнее невыгодного для скорости, и началось замедление движения без изменения пока формы тела, а в частях b и b_1 , ток достиг силы, вызывающей наибольшую a скорость. Некоторые экземпляры инуэзии удаются из области линий a .



Рис. 136. Гальванотропная парамция при остроконечных электродах.

4. Это стремление выбраться из сферы влияния слабого тока еще яснее выражено у застигнутой в этих областях парамции в момент замыкания тока при еще более сближенных электродах (рис. 136). Ток по кратчайшим линиям, соединяющим острия электродов, стал настолько сильным, что вызывает изменение конфигурации тела; поэтому инуэзии стараются моментально удалиться из сферы вредного влияния. Инуэзии, успевшие сейчас же после замыкания тока уйти из участков a , резко изменяют форму тела и останавливаются и погибают. Сильное раздражение заставляет их удалиться в части e_1, e_2, e_3, e_4 , находящиеся вне сферы влияния этого тока.

5. Раздвигаем электроды и выбираем путем опыта ток такой силы, которая вызывает уже небольшое изменение формы тела у парамции в областях кратчайших расстояний a . Инуэзии плавают равномерно по всей камере; замыкаем ток. Парамции быстро оставляют центральные части между остриями, избегая вредного влияния, попадают в участки периферических кривых b и b_1 , и плывут по ним к латодному острию. Картина получается еще более поучительная при инверсии тока: все инуэзии плывут к новому катоду лишь по периферическим кривым и избывают кратчайших линий между остриями.

6. Таким образом, в одной и той же жидкости инуэзии по

кривым линиям тока, проходящих между остриями электродов, перемещаются с различными скоростями в зависимости от густоты тока, наибольшей по центральным линиям и наименьшей по периферическим кривым.

Изоложенными опытами констатируются факты большой важности, доказывающие, что *гальванотропизм протистов есть явление (прежде всего) активное*. Эти факты показывают, что протист, эта физиологическая одноклеточная единица, относится избирательно к токам различной густоты: он совершенно ясно образует уходить из сферы действия слабых токов и старается попасть в части камеры, где ток не циркулирует и не оказывает на него никакого влияния.

II.

Критика теории катарфического объяснения явлений гальванотропизма. — Исследования В и р у к о в а. — Опытная проверка основных данных В и р у к о в а. — Нечеткость опытов В и р у к о в а и схематичность его результатов. — Причина различных распределений при электродах разной формы; активное стремление парамции уйти из сферы влияния слабых токов и попытка в места, где отсутствует его возбуждающее влияние. — Невозможность при постановке опытов В и р у к о в а (стандиполюсы электроды) наблюдать описанный им факт катарфизма мертвых животных частей. — Отсутствие признаваемой В и р у к о в ы м аналогии между катарфизмом мертвых частей и передвижением к катоду живых парамций; различия в условиях опытов и самих фактах; ориентировка живых протистов относительно полюсов; определенная работа рывчатости изменения формы тела вследствие возбуждения сократительных элементов животного. — Нет ли одного факта в пользу катарфического объяснения гальванотропизма. — Experimentum crucis, доказывающее несостоятельность катарфического объяснения; одновременная афарфиза мертвых частей и выходящего гальванотропизма и независимость одного явления от другого. — Инуэзии, убитые хлороформом и мертвые, вышедшие из слюнных коллоидальных средств, не реагируют. — Бездоказательность катарфического объяснения гальванотропизма В и р у к о в а.

1. Опыты, сходные с основными опытами М. Ферворна с остроконечными электродами, были проведены В. В. Вирюковым (13) в 1889 году не с постоянным током, а с индукционными ударами¹⁾; оригинальность его методики заключается в том, что он придал листовым стандартным электродам различную форму: треугольную (соответствующую обычным остроконечным электродам), изобразную и грибообразную. Его наблюдения подтвердили факт, описанный кратко и ясно М. Ферворном (2, стр. 30) что при остроконечных геср. треугольных электродах инуэзии перемещаются

¹⁾ Индукционными ударами пользовался в начале своих наблюдений над гальванотропизмом в 1886 г. и М. Ферворн, замкнутый контур с 1888 года индукционные удары постоянным током, так как, при этом отношении к показателю яснее выражено (2, р. 25).

по кривым линиям тока. Исключая то замыкательные, то размыкательные удары, автор пишет, как и следовало ожидать, что парамедии, над которыми он исключительно экспериментировал, перемещаются всегда к полюсу движущегося удара; индуктор при индуктивности прерывистом токе действует по тому полюсу, на котором находится минус удара сильнейшего¹, т. е. размыкательного (р. 42) 9. Кроме того автор описывает, как и М. Фервори² влияние силы тока на распределение парамедии в ванне относительно линий тока при различной форме электродов и приходит к основному выводу, что: «индуктор передвигается всегда в тех частях ванны, где сила циркулирующего тока наименьшая и располагаются на поверхности электрода, оставаясь всегда свободными те части его, где плотность (или количество) тока наибольшая» (13, стр. 41).

Этот же результат получен был уже М. Фервори² как сказано (стр. 57) при остроконечных электродах.

Противоположное отношение к силе тока наблюдал Б. Бирюков³ у мертвых вавшихся частей: «кармин, крахмал и споры *Lycosporium* под влиянием индукционного тока движутся всегда в тех частях ванны, где циркулирует ток наименьший и занимают всегда те места электродов, где плотность тока наибольшая, оставаясь неподвижными там, где циркулирует ток слабейший» (стр. 45).

Это различие в отношениях к току парамедии и мертвых частей Б. Бирюков объясняет напою то общее раздражимостью индуктор⁴. Дадим дальше место словам автора:

«Чтобы сделать несомненным, что передвижение индуктор при действии тока в значительной степени зависит от общей раздражимости их, надо было исключить действие пока неизвестного нам фактора, вызывающего перенесение индуктор (иными образом крахмала, кармина) от одного полюса к другому» (стр. 47). Для этого он выравнивает помощью Гельмгольцакого прибора замыкательные и размыкательные удары и не замечает передвижения к полюсам парамедии, равным образом кармина, крахмала и ликоподия. «Следовательно, сила, направлявшая ранее индуктор, крахмал, кармин к одному из полюсов, теперь исключен из поля действия, независимо от того, в чем мы будем искать ее происхождение. Оказывается, что после уравнения замыкательного и размыкательного ударов индуктор устремляется из тех частей ванны, где расстояния между электродами наименьшия, туда, где эти

¹ В этих цифрах, указывают страны последнего переиздания исследований Б. Бирюкова, напечатанного в третий раз в Трудях Московского Физиологического Института в год 1902 года; оно является в сущности несколько расширенным изложением тех же самых исследований, которые были в 1899 году напечатаны в Тр. Сиб. Общ. Изв. т. XXX, вып. 2 и переведены на немецкий язык в *Phys. Arch.*, Bd. 77.

расстояния наибольшия (фиг. XVII и XVIII). При этом, индуктор всегда передвигается по направлению, перпендикулярному к направлению тока» (стр. 48).

«Не нужно», поясняет автор дальше, «думать, что индуктор как бы предвигает места, где циркулирует наименьший ток. Никакого предвигания здесь нет: индуктор направляется при уравненных токах из мест, где расстояния между электродами наименьшия, в места, где эти расстояния наибольшия, только по той причине, что от первых по направлению к вторым сила циркулирующего тока постепенно убывает» (стр. 48).

Крахмал, кармин и ликоподий в случаях действия уравненных ударов остаются совершенно неподвижными в направлении перпендикулярном к направлению тока» (стр. 48).

Свои рассуждения об общей раздражимости автор заключает так:

«Итак, различие в передвижении индуктор (парамедии) и кармина к полюсу замыкательного удара, теперь легко объясняется общей раздражимостью индуктор, которая заставляет индуктор переходить из мест, где ток сильнее, в места, где он слабее. Этою раздражимостью не обладает кармин и крахмал, и по этой причине эти вещества остаются совершенно неподвижными после уравнения токов. Следовательно, при действии токов невыравненных, в то время как неизвестная нам пока сила заставляет индуктор двигаться к одному из полюсов, общая раздражимость побуждает их передвигаться по направлению перпендикулярному к направлению тока (из тех частей ванны, где циркулирует ток слабейший); от взаимодействия этих двух сил и является движение индуктор не по кратчайшему расстоянию от острия одного полюса к острию другого (как это наблюдается на крахмал и кармин), а по кривым линиям, представляющим дальнейшее расстояние между обоими полюсами» (стр. 48—49).

2. Следовательно, общая раздражимость, как я понимаю автора, и как, полагаю, надо его понимать, обуславливает у парамедии стремление избгнуть влияние тока, уйти из мест действия его по перпендикуларам к линиям тока и заставляет удалиться от влияния другой силы, переносить их к катоду. Мертвые частицы, не обладающие общей раздражимостью, не могут уйти из сферы влияния тока и передвигаются прямо к катоду, не избирая мест слабейшего действия тока. В местах слабейшего влияния тока индуктор, очевидно, не раздражается, их общая раздражимость находится как бы в покое, и здесь именно проявляется переносное влияние тока, и при том еще сильнее, чем в кратчайших местах между электродами. Эта сила есть катодическое действие тока, которая, как известно, сильнее всего проявляется именно там, где ток сильнее, и влияние ее обнаруживается прежде всего на мельчайшия вавшихся частицы по кратчайшим расстояниям между электродами.

Хотя Б. Вируковъ и признаетъ „общую раздражимость“, но во всей своей работѣ преслѣдуетъ исключительно цѣль объяснить гальванотропизмъ физическими явлениями катодореза. Это объясненіе построено на зыбкой почвѣ скорее чисто теоретическихъ разсужденій, чѣмъ на опытахъ и знакомствѣ съ фактическими данными. Факты Б. Вируковъ освѣщаетъ непонравно, поэтому объясненіе его становится сомнительнымъ, чтобы катодорезъ играть важную роль въ явленияхъ гальванотропизма. Авторъ полагаетъ (стр. 69), однако, что его „объясненіе гальванотропизма приблизительно не только для индукторъ, „но и для другихъ безопытныхъ, и для позвоночныхъ“, т. е. для громаднѣйшихъ рыбовъ и годовастиковъ.

Преслѣдуя исключительную цѣль дать объясненіе гальванотропизма, авторъ старается подыскать факты, которые говорятъ, по его мнѣнію, въ пользу катодорезаго объясненія. Доказательствомъ служатъ тѣ явления, которыя уже въ первой работѣ М. Ферварна (2 р. 28) вѣско свидѣтельствуютъ противъ вліянія катодореза на гальванотропизмъ простѣйшихъ.

3. Допустимъ, однако, на время существованіе „общей раздражимости“ и согласимся съ толкованіемъ автора, являющагося защитникомъ объясненія гальванотропизма физическимъ вліяніемъ катодореза. Проверимъ самые опыты и тогда перейдемъ къ критической оцѣнкѣ теорій Б. Вирукова.

Мои проверочныя изслѣдованія исправляютъ нѣкоторыя неточности опытовъ Б. Вирукова и вносятъ дополненія, поэтому и подробно останавливаюсь на изложеніи опытовъ. Постановка была та же, которая описывается и у Б. Вирукова. Станіондевые электроды различной формы приклеивались къ предметному стеклу канадскимъ бальзамомъ; раздѣлы и форма электродовъ соответствовали рисункамъ Б. Вирукова; помѣщавшаяся между ними капля прикрывалась покровнымъ стекломъ на восковыхъ ножкахъ.

4. Различная напряженія индукционныхъ ударовъ производятъ вообще различныя эффекты, согласно съ описанными уже выше для постоянного тока при остроугольныхъ капионовыхъ электродахъ или платиновыхъ иглахъ. Опишемъ явления, наблюдаемая при токахъ средней силы, къ вліянію которыхъ относятся и описанія Б. Вирукова. Действующими ударами, т. е. направляющими въ одно изъ полюсовъ, являются исключительно размыкающіеся удары, такъ какъ одинъ замыкающійся при этомъ разстояніи катушекъ (22—19 сан.) не оказывающъ ровно никакого вліянія на паразиты. Ср. также мои опыты съ отдѣльнымъ индукционнымъ ударомъ (26).

а. При трехугольныхъ электродахъ индукторъ направляется къ катоду по кривымъ линіямъ тока съ различными скоростями въ различныхъ частяхъ капли, какъ было уже описано выше, и избегаютъ среднихъ частей капли. Достигнувъ полюса, оны не распределяются такъимъ краснымъ треугольникомъ изъ электродъ, оставая свобод-

ными его края, какъ рисуетъ Б. Вируковъ (рис. 20); парамедіи плаваютъ не только въ этихъ мѣстахъ элетрода, но въ значительномъ числѣ и въ участкахъ a и a_1 , гдѣ сила тока очень слаба или гдѣ токъ даже не проходитъ (рис. 21). Утвержденіе автора, что „лири перемѣны направленія тока въ индукторъ, какъ бы по командѣ“, т. е. сразу, „устремлялись по кривымъ линіямъ тока къ противоположному полюсу въ тѣхъ мѣстахъ капли, гдѣ разстоянія между электродами были наибольшія, и распределялись на поверхности элетрода попеременно, оставляя острия совершенно свободными“ (стр. 39) также не вѣрно. При инверсии тока въ первые моменты наблюдается картина, далеко не соответствующая той, какую глазъ привыкъ видѣть въ камерѣ съ параллельными электродами. Здѣсь индукторъ не сразу, не „по командѣ“ устремляется къ противоположному полюсу, а идетъ небольшими группами; плаваютъ къ новому катоду лишь тѣ протисты, которыя находятся или попадаютъ къ краснымъ частямъ элетрода; протисты же, расположенныя въ отдаленныхъ частяхъ отъ краевъ станіонды и у угловъ покровного стекла очень продолжительное время остаются здѣсь, не уходя, и только тогда устремляются къ катоду по кривымъ линіямъ тока, когда случайно попадутъ въ мѣста капли, гдѣ циркулируетъ токъ. Легко понять, почему происходитъ эта задержка у бывшаго минуса размыкающагося удара: токъ главнымъ образомъ проходитъ по металлу и лишь ничтожнѣйшая часть его циркулируетъ въ жидкости, покрывающей станіонды; въ угловыхъ частяхъ подъ покровнымъ стекломъ также идетъ токъ. Распределеніе индукторъ при такихъ электродахъ представлено на рис. 21; для сравненія привожу рисунокъ Б. Вирукова (рис. 20). На поверхности элетрода и въ углахъ подъ покровнымъ стекломъ индукторъ находится внѣ раздражающаго вліянія индукционныхъ ударовъ, спокойно плаваютъ по всѣмъ направлениямъ (Партнякъ, объект. 2 или 3), и тогда лишь устремляются къ новому катоду, когда, приближившись къ краснымъ частямъ элетродовъ,



Рис. 20. Распределеніе парамедій на поверхности катоднаго станіондевого элетрода по Вирукову (33, фиг. 13). (См. тѣ же электроды у проф. В. Шевцова, 33, рис. на стр. 32).

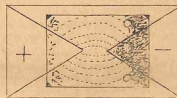


Рис. 21. Распределеніе парамедій при тѣхъ же условияхъ по моимъ опытамъ. Индукторъ собирается въ углахъ a и a_1 , гдѣ тока нѣтъ; нѣкоторые экземпляры остаются въ противоположныхъ углахъ и въ краевыхъ частяхъ жидкости надъ аноднымъ элетродомъ.

ищей станіонды; въ угловыхъ частяхъ подъ покровнымъ стекломъ также идетъ токъ. Распределеніе индукторъ при такихъ электродахъ представлено на рис. 21; для сравненія привожу рисунокъ Б. Вирукова (рис. 20). На поверхности элетрода и въ углахъ подъ покровнымъ стекломъ индукторъ находится внѣ раздражающаго вліянія индукционныхъ ударовъ, спокойно плаваютъ по всѣмъ направлениямъ (Партнякъ, объект. 2 или 3), и тогда лишь устремляются къ новому катоду, когда, приближившись къ краснымъ частямъ элетродовъ,

попадут в части капли, где циркулирует более сильный ток: Поэтому при инверсии ударов, они плавают к новому катоду не массой, не толпой, а небольшими группами; только через 3—5 минут большинство их собирается у нового катода.

6. В момент прохождения индукционных ударов через электроды вилообразной формы параменты, равномерно до того распределенные по капле в громадных количествах, устремляются к минусу размыкательных ударов главным образом по наибольшим расстояниям между электродами, но не „исключительно“, как описывает Б. Бирук в (рис. 22). Достигнув этого полюса протитовь располагаются в местах капли, ближайших к краевым частям покровного стекла, как представлено на рис. 23; главная же масса их находится в бухтах α , образуемой выступами. При этой именно форме электродов получается распределение, совершенно не согласно с описанием В. Бирукова: „достигнув полюса, инеузори оставляют свободными острия и краевые части электрода и располагаются „плотную массу на некотором расстоянии от этих частей“ (стр. 39); в угловых участках параменты плавают свободно, так как ток здесь не проходит. При инверсии тока инеузори опять не плавают сразу, стремительно, все к новому катоду, протитовь, находящиеся на электродах и в бухтах α , продолжают плавать спокойно, и устремляются постепенно, единицами к новому отрицательному полюсу и притом лишь те, которые приближаются к выступам или к линии, соединяющей внутри оба выступа электрода. Только через 2—3 минуты в бухтах β собирается четвертая или третья часть всех парамент; значительное количество пока толпится в бухтах прошлого катода и на его металл; следовательно, теперь инеузори располагаются на обоих электродах и в их бухтах, где циркулирует слабший ток, не действующий на протитовь (рис. 23).

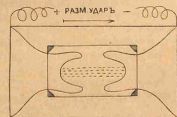


Рис. 22 Движение параментов исключительно по линиям наибольшего расстояния (Бирук, 13, фиг. X).



Рис. 23 Распределение параментов под покровным стеклом при вилообразных электродах: влияние средних токов.

Чрезвычайно поучительны явления, наблюдаемые при увеличении напряжения индукционных ударов. Описанные сейчас явления начи-

наются при 18—17 сан. расстояния спиралей; при 17—16 сан. инеузори скорее переминаятся по кратчайшим расстояниям между выступами и несколько медленнее по линиям соединяющим бухты. При 16—14 сан. тью их изменяется, в области перных путей в камере инеузория принимает опильную форму, даже подается кончик сади; — явления возбуждения сократительных элементов эктоплазмы; эти изменения наблюдаются только у инеузори, не успевших уйти в бухты соединяющие бухты, где возбуждающее влияние тока выражено слабее. Параменты гибнут в кратчайших расстояниях между выступами (рис. 24) и явления катода гальванотонизма наблюдаются при этой силе тока исключительно в средних линиях, соединяющих бухты; достигнув катода, инеузори располагаются тесной, сплоченной толпой, главным образом, в самой глубокой бухты, на металл их сравнительно меньше. Их можно легко повернуть всех при инверсии тока к новому катоду размыкательных ударов тогда, когда они находятся еще в пути и не достигли бухты; но раз он плотнался в глубинь бухты, инверсия не дает моментального движения всех в другому катоду. Лишь единичные экземпляры идут туда в последнем случае и только через 3—5 минут в той бухте собирается большинство протитовь; причем индивидуум, попавшие случайно на границу самых выступов (рис. 24 a и a_1) моментально погибают, эктоплазма их ложается



Рис. 24 Гальванотонизм параментов при вилообразных электродах. Влияние средних токов; гибель инеузори в кратчайших расстояниях между выступами, сплочение в бухте, устремление в краевых катодных участках над покровным стеклом.

и эктоплазма расплывается (особенно при 13—12,5 сан.), а в более отдаленных частях металла (b и b_1), в особенности же в глубокой бухты они плавают свободно. При 12,5 сан. они еще в меньшем числе остаются в области прежнего катода и еще медленнее собираются мало-помалу у нового отрицательного полюса; даже после 10-минутного действия индукционного тока в анодной бухте остается еще много параментов. При 11 сан. расстояния спиралей инеузори почти не выходят из анодной (после инверсии, — здесь раньше была катод) бухты, находится в самых глубоких ее частях; параменты, находящиеся на металл анода, удаляются к первоначальной части его. Очень редко отдельные экземпляры при изменении уже форм достигают нового катода, где плавают в жидкости над металлом; находящиеся в катодной бухте отодвигаются от ее свободных краев и плавают сплоченной толпой посрединь ее (рис. 24).

« Описание опытов у В. Бирукова вообще не вполне точно, а рисунки его схематизированы и мало соответствуют действительности.

При грибовидной форме электродов протисты располагаются не только так, „что оставляют свободными оба острия шляпки и „широкую кайму электрода“ (Б. Вирук о в, стр. 39, рис. 25), но и в угловых частях камеры (рис. 26) a_1 и a_2 , a_3 и a_4 , откуда при инверсии почти не уходят.

Следовательно, получаются самые разнообразные картины в распределении инфузорий на электродах в зависимости от формы электродов, времени прохождения и силы действующего тока.

Реакция гальванотроизма, как таковая, проявляется во всех частях камеры при известных пределах силы тока. Одновременность различных стадий avviene от различной густоты тона, циркулирующего в разных частях капли. Избывая вредного деформирующего влияния сильного тока, инфузории путем *выбора* попадают в места, где ток направляет их к катоду при возможно неизменной форме тьма, или в места где ток не оказывает на них раздражающего влияния (рис. 21, 22, 23 и 26 — угловые участки).



Рис. 25. Распределение парамеций на поверхности грибовидного электрода по Вирук о в (из фиг. XI).

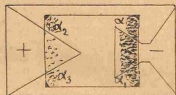


Рис. 26. Распределение парамеций при тех же условиях по моим опытам. Инфузории собираются в углах a_1 , a_2 , a_3 и a_4 .

5. Переходим теперь к подробным опытам над действием индукционных ударов на мертвые взвешенные частицы кармина, крахмала и споры ликополия. Б. Вирук о в постулав (стр. 43—44) „совершенно так, как раньше“, „Возьмем каплю „такой воды, поместим ее между остриями треугольных электродов, накрываем стеклами и „ком в составных ножках и „пропускаем прерывистый индукционный ток“, т. е. автор опять пользовался станиоловыми же электродами. „Другими словами, постулав совершенно так, как постулав раньше, когда изучал влияние индукционного тока на инфузории. Только теперь следует наблюдать явления, происходящие при пропускании тока, не под микроскопом, а под лупой, так как частицы кармина, будучи значительно меньше инфузорий, под лупой не видны. Ток, как и прежде, прерывался около 100 раз в секунду (молоточек Гальске) и первичная спираль Дю-Буа Реймювского индукционного аппарата была соединена с двумя элементами Даниэля“.

Автор видит в микроскоп передвижение к катоду „при более или менее познуж наведения вторичной спирали на первичную“, перенос частиц кармина, крахмала и споры ликополия к мигну размыкательных ударов по кратчайшим расстояниям между электродами.

Я постулав так же, даже соединял первичную спираль с аккумулятором 4 вольт, но не мог подвигать в микроскоп (Гартнак объектив 5) перенос мертвых частиц в какую либо сторону, как не видан и замечавший в нашем институте, которые по моей просьбе любезно контролировали эти наблюдения. Я думаю, что самый аппарат Дю-Буа Реймюв, которым я пользовался для этих опытов, давал индукционные удары того же направления, как и аппарат у Б. Вирук о в, потому что парамеции начинали реагировать при 20—18 сан. расстояния спиралей (у Б. Вирук о в также 15—20 сан.), тьма не менее мы не удалось при этих условиях подвигать перенос мертвых взвешенных частиц к катоду.

На основании своих наблюдений я утверждаю, что при подобной постановке опытов этого и видеть нельзя, потому что при полном наведении катушек в камеру так бурно идет элетролиз, наблюдается такое обильное выделение газов у станиоловых электродов и разложение металла, что в капле при наблюдении в микроскоп происходит ужасающая буря, которая может нарушить всю регулярность в переносе частиц, если она и существует. При более же слабых токах, в особенности же, что имеют чрезвычайно важное значение, при расстоянии спиралей, которое вымывает у протистов явления гальванотроизма, ничего не наблюдается. Это было отмечено уже и М. Фернором (2 стр. 28) относительно постоянного тона.

Потому станиоловые электроды нужно считать совершенно непригодными для этих целей, между тьма как у Б. Вирук о в мы не находим никаких указаний, чтобы онъ пользовался какими либо другими электродами; напротив, как видно из приведенной цитаты, онъ совершенно определенно говорит, что постановка опытов была та же.

6. Тьма не менее перенос взвешенных частиц в одному из полюсов можно получить при токах очень большого напряжения. Такие опыты уже давно (1861 г.) были произведены Квинке (27 стр. 515), пользовавшимся, главным образом, статическим зарядом от Лейденских банок либо от электрической машины; рьже онъ употреблял индукционный ток или постоянный от 80 элементов Грове; „все-таки при последних действие не так выступало, как „при первых (jedoch trat die Wirkung bei letzteren nicht so hervor, wie bei dem ersten“ (pp. 577—578), т. е. при статической машине. Перемещение взвешенных частиц наблюдал и Вейль (28) при действии сильной Румкоровой спирали.

7. Б. Вируковъ признаетъ наибольшую аналогию между перемещением мертвыхъ взвешенныхъ частицъ и передвижениемъ живыхъ парамеций: «здесь существуетъ полная параллелизмъ явлений и поэтому несомненно является вопросъ, не есть-ли причина движения инфузорий общия съ причиной движения карина, крахмала? Видъ всякаго раздѣла изменится направление движения инфузорий, — оно изменится также и для карина, крахмала. А такъ какъ причина движения взвешенныхъ въ водѣ мертвыхъ частицъ къ определенному полюсу есть катифорическое дѣйствіе тока, то мы съ полнымъ правомъ можемъ предположить, что благодаря той же самой причинѣ и инфузории передвигаются отъ одного полюса къ другому» (стр. 40) ¹⁾.

Часть всѣхъ приведенныхъ здесь опытовъ видно, однако, что между этими явлениями, имѣть не только полное параллелизмъ, но и поверхностнаго сходства. Явления переноса мертвыхъ взвешенныхъ частицъ наблюдаются при токахъ очень большой силы. При тѣхъ же условіяхъ когда всѣ парамеции, громаднѣйшія сравнительно съ частицами крахмала, карина и ликоподія, движутся къ катодустройной толпой, и это массовое движеніе можно наблюдать и невооруженнымъ глазомъ или при помощи слабой лупы, — при тѣхъ же условіяхъ даже некоторыя мельчайшія мертвыя частицы, замѣтныя лишь при объективѣ 5 и окулярѣ 4 Гартна не передвигаются ни къ одному изъ полюсовъ, ни на самую ничтожнѣйшую величину микрометрическаго окуляра и остаются на одномъ и томъ же мѣстѣ. Парамеции же всегда поворачиваются переднимъ концомъ къ катоду и перемищаются въ томъ-же направленіи съ определенною скоростью въ зависимости отъ силы тока. Даже значительное усиленіе тока, не только замедляющаго движеніе парамеций, но и убывающаго ихъ, еще не перемищаетъ мертвыхъ частицъ къ полюсамъ.

8. Для полной аналогіи и условія опыта должны быть одни и тѣ же. Врядъ ли можно говорить о «полномъ параллелизмѣ» между передвиженіемъ парамеций къ катоду и перенесеніемъ туда мертвыхъ частицъ, если при минимальной уже (0,06 МА или 22—18 сан. расстоянія спиралей) силѣ тока всѣ парамеции ориентируются и плаваютъ къ катоду, а «при болѣе или менѣе полномъ удлинненіи вторичной «спирали на первичную» лишь некоторыя взвешенныя, мольчайшія, видныя въ микроскопъ, мертвыя частицы переносятся очень медленно къ катоду. Еще болѣе повлотно, явленіе можетъ быть, аналогія между анафорозомъ и передвиженіемъ парамеций при сильныхъ токахъ къ аноду, которое признаетъ Б. Вируковъ. Чтобы получить движеніе къ аноду мертвыхъ частицъ Б. Вируковъ (стр. 57), воспользовался на этотъ разъ «сильной Румкорфовой спиралью (отъ прибора, назначеннаго для «полученія х-лучей) и, прерывая токъ выходящимъ при спиралѣ прерывателемъ (около 70 разъ въ секунду), — наблюдалъ во всѣхъ слю-

«яхъ взвешенныхъ въ водѣ частицъ крахмала, карина и пр. передвиженіе къ полюсу размыкательнаго удара», что вполне согласно съ наблюденіемъ Книжника и Вейля, уже раньше описавшихъ эти опыты. «Если мы вспомнимъ, что парамеции при значительномъ усиленіи тока, какъ постоянного, такъ и индуціоннаго, движутся уже не къ катоду, а къ аноду (или къ полюсу размыкательнаго удара) и на пути къ нему погибаютъ, быть можетъ указаннымъ выше параллелизмъ между явлениями, наблюдаемыми съ одной стороны на инфузоріяхъ, а съ другой на каринѣ, крахмалѣ и пр., — сдѣлается еще «болѣе вероятнымъ»».

Напомню, во-первыхъ, что «значительное усиленіе тока», вызывающее уже tetanusъ энтоплазмы (см. мои опыты надъ отдѣльнымъ индуціоннымъ ударомъ—26, стр. 28 и постояннымъ токомъ—здесь, глава шестая) и распавшимъ энтоплазмъ, равняется всего лишь въ-несколькимъ сантиметрамъ (3—4) сближенія катушекъ обыкновеннаго сапнаго аппарата, что значительно отличается отъ напряженія Румкорфовой спиралы для х-лучей; во-вторыхъ, само явленіе передвиженія парамеций при сильныхъ токахъ заднимъ концомъ къ аноду представляетъ картину, не имѣющую никакого сходства съ поступательнымъ движеніемъ впередъ къ катоду; парамеции перемищаются къ аноду при грушеобразной формѣ тѣла крайне медленно лишь на незначительную величину и «на пути къ нему», что говорить и Вируковъ, погибаютъ; онѣ никогда не достигаютъ анода, тогда какъ катодъ быстрее всего онѣ достигаютъ при несколько неизмѣнной конфигураціи; наконецъ, какъ увидимъ въ отдѣл IV-омъ, это непродолжительное движеніе къ аноду предъ окончательнымъ разрушеніемъ обусловлено работой рѣсничекъ сзади напередъ (стр. 94-95).

9. Чемъ болѣе, до известнаго, предельно, сила тока, тѣмъ значительнѣе должны быть выраженныя явленія катифореза взвешенныхъ частицъ. При опытахъ надъ живыми парамеціями явленія носятъ совершенно противоположный характеръ. Съ усиленіемъ тока скорость передвиженія ихъ значительно уменьшается.

Приведу еще слѣдующую опытъ.

При 14 сан. расстоянія спиралей парамеция очень быстро направляется къ катоду по параллельнымъ линиямъ тока въ камерѣ съ параллельными электродами. Мгновенно двигается вторичную спираль на первичную. Всѣ находящіяся въ пути парамеции мгновенно останавливаются, измѣняютъ форму тѣла, которое сейчасъ же расплывается. Токъ такой силы можетъ, пожалуй, прозватьъ катифорическое дѣйствіе лишь на мертвыя частицы, у живыхъ же протѣкаетъ, какъ видно изъ этого опыта, оно мгновенно вызываетъ рѣзкое возбужденіе сократительныхъ элементовъ поперечнаго плазма, парадитъ рѣсничекъ и расплываетъ тѣла. Можно было бы, согласно опытамъ Книжника надъ мертвыми частицами, ожидать, что съ измѣненіемъ силы тока, съ столь значительнымъ ее усиленіемъ, парамеции будутъ вынесены переносомъ

¹⁾ Куркинъ и др.

саться к аноду, чего, однако, как видно из этого опыта, в действительности нет.

Словом, мы имеем много фактов против катастрофического объяснения гальванотропизма простейших и ни одного за него.

10. Для того, чтобы показать, что катастрофическое влияние тока в смысле простого пассивного механического перенесения инвезурий к катоду, как принимает В. Вирков, не имеет никакой роли в явлениях гальванотропизма, необходимо было бы сделать опыт, в котором были бы одновременно и анафорез мертвых и вившихся частиц и катодный гальванотропизм живых инвезурий. Это было бы *experimentum crucis*, которым чрезвычайно просто и в высшей степени доказательно устранялась бы возможность участия анафореза в явлениях гальванотропизма.

Подобное наблюдение, не раз демонстрированное товарищам, занимающимся в институте, сделано мною при следующей постановке опыта: между двумя полосками из пластической гинны (электроды Лудова) и покрываем стеклышком помещается капля какой-нибудь слизистой коллоидальной среды, содержащая несколько противоязвительных замедлителей; толщина слоя жидкости 1—1,5 мм; через камеру проходит постоянный ток от динамо-машины. Замыкаем ток 1—1,5 МА; парамедия ориентируется передним концом к катоду и плывет к нему при неизменной форме тела. Увеличиваем проходящий через камеру ток до 2—2,5 МА; сейчас же по замыкании тока в камеру наступают совершенно отчетливые и вполне определенные явления анафореза: по направлению от катода к аноду несутся не только вившиеся в слизистой капле частички и бактерии, но и маленькие кусочки гинны, отторгнутые от катодной полоски; и что замечательно, несмотря на очевидную опасность самых благоприятных условий для пассивного переноса к аноду и парамедия, она все-таки продолжает плыть к катоду. Форма тела ее несколько изжжена, движения несколько замедлены, но она борется с анафорическим влиянием, перемещается гомомерно и, при осторожной регуляции силы тока, может достигнуть катода. Если сила действующего тока сравнительно велика и явления анафореза выражены интенсивно (от катодной полоски отторгается много глиняных частиц), то инвезурия часто принимает почти грушевидную форму, успевая все-таки ориентироваться передним концом тела к катоду; и при этих условиях она борется с анафорезом: мелкие мертвые частицы и бактерии несутся к аноду, она же остается почти на одном и том же месте.

Одновременность передвижения парамедия к катоду и частиц к аноду можно было бы, как кажется на первый взгляд, объяснить, по аналогии с электрическими опытами, тем, что в разных слоях жидкости могут наблюдаться, по-первых, передвижения в

разных стороны, и тем, во-вторых, что характер передвижений к тому или другому полюсу зависит от различной величины и природы парамедия и мертвых частиц (третие). Против такого объяснения описанного опыта говорить то, что, во-первых, явления анафореза мертвых частиц и передвижения живых парамедия к катоду происходят одинаковым образом во всех слоях капли, — во-вторых, что величина отторгаемых от катодной глиняной полоски кусочков и глыбок и переносимых к аноду инвезурий превосходит размеры парамедия; часто такая глыбка зарывает пространство между предметным и покрывным стеклами перед плывущей к катоду парамедией, и инвезурия встрявливает это препятствие тщательно ударяется передним концом тела или иногда обходит его (Ср. Отд. V, глава первая).

Итак, этим опытом констатируется одновременная наличие явления катодного гальванотропизма живых инвезурий и анафореза безжизненных частиц во всех слоях капля и доказывается независимость одного явления от другого. Если анафорез в известных пределах не устраняет направляющего влияния тока на противоязвитель, то нет логических оснований приписывать катодный гальванотропизм анафорезу.

11. Кроме того важно напомнить, что парамедия, ориентирующаяся передним концом тела к катоду, перемещается в нем (Отд. IV) при определенной работе ресничек, направленной на поступательное передвижение в гомодромном именно направлении; другими словами, уже самый характер явления катодного гальванотропизма, способ передвижения инвезурий к катоду, исключает пассивность перемещения.

12. Физики изучали явления анафореза в U — образно изогнутых трубках; перемещение жидкости и вившихся частиц происходило на ничтожную величину, наблюдавшуюся помощью микроскопа. Никто подробно не исследовал, что происходит при пропускании тока через свободную каплю, расплывшуюся в цилиндрическом пространстве, не замкнутом с двух противоположных продольных сторон между предметным и покрывным стеклами, или через тонкий, не покрытый сверху, слой жидкости между двумя электродами, или через слой жидкости с свободной верхней поверхностью, заключенный в камеру — шпиль с колющими или металлическими электродами. Нужно еще доказать, существует ли во всех этих случаях при той силе тока, которая направляет инвезурий к катоду, анафорез, какими явлениями он проявляется и сопровождается, каковы условия для возникновения анафореза, и как изменить ту силу, которая перемещает жидкость или вившиеся частицы к одному из полюсов. С точки зрения физики все это требует новых опытов, и пока они еще не произведены, нет равно инва-

них оснований считать, что и в свободной капле и в том же явлении и подчинены тем же законам, как и наблюдавшиеся в капиллярной трубке. Аналогия может быть лишь в тех случаях, когда параллельные опыты над мертвыми частями и живыми объектами будут сделаны при совершенно одинаковых условиях и прежде всего при одинаковой силе тока.

13. Наблюдение М. Фервора над парамециями, повторенное мною над ними и над многими другими инфузориями, что убитая хлороформом парамеция не перемещается пассивно, как нужно было бы ждать от мертвых частей, ни к одному из полюсов, противоречит также «полному параллелизму» между перенесением безжизненных частиц и передвижением живых противосто. В. Бирруко в коротко объясняет это тем, что мертвые инфузории «падают на дно капли, а это обстоятельство препятствует циркулирующему в воде току действовать на них каталогически», так как ток влияет лишь на живущие в воде вещества (стр. 50). Такое произвольное объяснение опровергается следующими опытами.

а. Приемлемы мною для изучения биологических явлений у противосто слизистых коллоидальных среды являются удобным методом для опытов в том смысле, в котором В. Видерманн (38, p. 183) в своей литературной сводке о гальванотрипах считает желательными. В сравнительно живых растворах слизистых сред *Lichen Caragaheen* или *Semen Psyllii* (20) парамеция, убитая хлороформом, не падает на дно камеры, а находится в взвешенном состоянии. Ток, проходящий через такую среду не оказывает на находящиеся в ней убитых инфузорий ни малейшего влияния.

б. Другое наблюдение опыта можно произвести на мертвых инфузориях в тех же слизисто-коллоидальных средах; в очень густых консистенциях *Lichen Caragaheen*, *Semen Psyllii*, *Semen Cydoniae* и *Gummi Tragacanthae* инфузории погибают на 6—10 день от процессов интоксикации (20), почти сохраняя свою форму. Самый сильный ток не производит на них никакого действия; они остаются в одном и том же положении, на тех же местах и не изменяют формы тела. Для контроля над сравнительно живыми силами тока, можно мертвых инфузорий, взятых для исследования вскоре после умирания (6. ч. 10-ый день), смешать в той же консистенции с густой консистенцией с живыми подвижными парамециями. Последние под влиянием тока известной силы ориентируются и падают к катоду, тогда как первые остаются неподвижными. При очень сильных токах живые погибают, интоксикация их расплывается; причем в моих многочисленных опытах я никогда не наблюдал, чтобы зерна интоксикации, освободившиеся после разрыва интоксикации, при этой силе тока пассивно перенеслись к катоду. Оптимум влияния тока не сопровождается никакими изменениями формы тела противосто.

Индукционные частые удары при этой постановке опытов также не производят никакого влияния на мертвых парамеций.

Таким образом, последние опыты над убитыми хлороформом и мертвыми инфузориями, живущими в слизисто-коллоидальных средах, показывают, что эти противосто не реагируют ни на отдельный индукционный удар, ни на ряд частых ударов, ни на продолжительное действие постоянного тока; они потеряли свою возбудимость и стали инертной массой. Этой потерей возбудимости и объясняется, почему мертвые парамеции не перемещаются к катоду.

14. Итак, на основании всего изложенного можно утверждать, что нет никаких доказательных фактов, говорящих в пользу возможности объяснения гальванотрипа, как каталогического действия тока, как пассивного перенесения частиц к катоду. Все приведенные в этой главе факты, основанные на зависимости реакции гальванотрипов от силы тока; ориентировка относительно полюсов, изменение скорости передвижения и конфигурации тела, говорят против пассивного влияния каталогизации; зависимость характера реакции от силы тока свидетельствует в пользу того, что гальванотрипам есть активная реакция противосто, обусловленная каким то процессом возбуждения этих живых существ.

О других данных, говорящих против каталогического объяснения см. отдален пятый и шестой.

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Возбуждение сопратительных элементов столбцами и изменение форм тела противосто. Критика теории внутреннего каталогизма Карлгрена и Лерса.

I.

Условия изменения конфигурации противосто. — Непосредственное возбуждение сопратительных элементов; активность реакции; опыты с отдельными индукционными размыкающимися ударами.

Гальванотрипам инфузорий сопратительству, как мы видели, наименьшей формы тела некоторых противосто, условия и причины возникновения которого постараемся здесь выяснить.

1. Конфигурация парамеций при слабых и средних токах несколько не изменяется. Оптимум влияния тока увеличивается до известного предела скорость поступательного передвижения, причем форма тела остается пока совершенно нормальной; на это обстоятельство, имеющее громадное значение для выяснения причины направленного влияния электрического тока, мы не раз уже обращали внимание. Лупа и небольшое увеличение микроскопа дают возможность видеть в этих случаях, что парамеция при несколько не измененной форме тела, строго передвигается к катоду. Дальнейшее усиление тока

вызывает сначала замедление движения, затем некоторое изменение формы, — передний кончик становится несколько более широким, округляется, а задний суживается и несколько заостряется (рис. 31,4); через некоторое время после замыкания тока ивузория может принять свой нормальный вид. При новом усилении тока нормально вытянутая парамеция принимает грушеобразную форму с заостренным кончиком на задней (рис. 31,5), теперь анодной половине тела, вращаясь почти на месте вокруг продольной своей оси. Эти явления значительного изменения формы тела суть следствие усиленного сокращения кортикальной плазмы (ср. 26), сопровождаемого выдвиганием содержимого трихоствы на задней анодной стороне тела, что было уже описано М. Ферворном (3) и К. Дудловым (9); иглы трихоствы не образуют при этом каких-либо характерных фигур, которыми замечены мною при мгновенном действии единичного индукционного удара (26, стр. 29—26), когда содержание их мгновенно выстреливается в виде нескольких игл из очень ограниченной области анодной стороны тела, но представляющей массу игел, беспорядочно по всем направлениям выдвинутых из заднего поперечного тела или лучше — из заднего конца тела.

2. Доказательство положения, что здесь мы действительно имеем дело с активным сокращением кортикальной плазмы вследствие возбуждения ее элементов током, а не с каким-либо другим явлением, представляют найденные мною факты мгновенного строго локализованного сокращения актоплазмы (гл. обр. парамеций и лагриймарин) при раздражении отдельными индукционными размыкательным ударом (26 стр. 15); с нарастанием напряжения удара область пространства и степень интенсивности сокращения также увеличиваются, и тело протиста после мгновенного сильного раздражения принимает же грушевидную форму. При замыкании довольно сильного постоянного тока парамеция почти сейчас же сокращает кортикальную плазму и содержимое трихоствы выдвигается вследствие этого наружу. В предшествующей моей работе (26) я подробно изложил явление отдельного индукционного удара, так как этими опытами доказывается непосредственная возбудимость сократительных вообще элементов актоплазмы, а следовательно и активность явления изменения формы. Сильные токи сразу вызывают значительный продолжительный tetanus кортикальной плазмы до того сильный, что актоплазма ломается и актоплазма распадается, — протист окончательно погибает. При очень сильных токах этот разрыв актоплазмы происходит моментально, и актоплазма разлетается во все стороны.

3. Такие же явления возбуждения сократительных элементов, — имеем и иногда наблюдаются, как было описано (стр. 38—40 и 42), при направляющем действии постоянного тока и у *Lacrymaria*, *Stenlor* и *Stylogyechia*. Форма тела других несократимых протистов не изменяется сейчас же за замыканием сильного тока.

4. Итак, изменение конфигурации тела протистов, быстро следующее за замыканием постоянного тока известной силы есть результат непосредственного возбуждения током сократительных элементов, — кортикальной плазмы, миемем или миемов. Раздражение этих сократительных элементов электрическим током подчинено известным законам, изложенным уже в моей работе на стр. 35, 41 и 45; возбудимость их слабее всего проявляется при поперечном положении волокон относительно направления раздражающего тока (26).

II.

Объяснение Шенка и Каратрена изменения формы тела протистов под влиянием тока; зависимость явления от действия внутреннего катафореза. — Физическая теория гальванотропизма Каратрена: явления внутреннего катафореза; коренное отличие ее от объяснений Бирюкова. — Опыты Каратрена. — Незначительность изменения формы тела мертвых парамеций при очень сильных токах; отсутствие сходства с изменениями конфигурации у живых протистов; различная условия опытов, делающая аналогию невозможной. — Отрицательные результаты при повторе опытов Каратрена над мертвыми парамециями на слитном-коллоидальных средах. — Опыты с очень сильными токами, неустранимыми при обычных условиях гальванотропизма. — Дополнение Перая к теории Каратрена; недостаточность данных последнего.

1. Шенк (29) и О. Каратрен (19), однако, считают изменение формы протистов при гальванотропизме за пассивное явление, за следствие внутреннего катафореза, и на этом последний автор строит свое объяснение поступательного движения ивузурой к катоду. Его объяснение гальванотропизма, основное, как и объяснение Б. Бирюкова (13), на катафорез, коренным образом отличается от последнего и не имеет с ним ни малейшего сходства. Тогда как Б. Бирюков рассматривает передвижение ивузурой к полюсам, как чисто пассивное явление, аналогичное тому же при действии сильных токов на мертвые живые ткани, происходящее вследствие развития электродвижительной силы (трение между протистами или частями и водой), О. Каратрен приписывает решающую роль катодориссым процессам, выходящим изнутри самого протиста при прохождении тока. Но его мнение базируется на катодаго и сморщивание анодного конца есть чисто физический процесс.

2. Обратимся к опытам, на которых О. Каратрен основывает это утверждение.

а. Непосредственно после замыкания довольно сильного тока колдовий *Volvox* агнеис обнаруживают ясно выраженный катодный гальванотропизм, который, однако, при более продолжительном действии тока, может стать уже не сильным и перейти (через $\frac{1}{2}$ часа) в анодный гальванотропизм; последний протекает не так правильно, как

катодный. Партегонидии внутри колоний, как и свободныя зернышки внутри других видов протистов перемещаются к аноду. Очень скоро после замыкания очень сильных токов наступают у колоний *Volvox aureus* сморщивание анодной стороны, увеличивающееся во время прохождения тока. На катодной стороне наблюдается некоторое расширение. Замычательно, что эти явления, равно как и перемещение партегонидий к аноду, О. Карлгрень получал не только на живых, но и на мертвых экземплярах, убитых формалином или эфиром; небольшое расширение катодной и сморщивание анодного конца наблюдалось у живых, но неподвижных колоний *Volvox aureus* при действии 30 ти угле-цинковых элементов (стр. 56). Къ сожалению, автор не дает выражения силы тока в миллиамперах.

6. Получить те же явления при этой силе тока у мертвых *Raganaeicum aeneum* и *Burgatia*, *Colpidium colobum* и амёбь ему не удавалось. Такъ какъ сила тока имеетъ решающее значение, то послушаемъ самого автора: «Вначале опыты давали отрицательные результаты, и не имьл достаточно сильного источника тока; когда же позднее я воспользовался 70 маленькими углецинковыми элементами, я получил хорошие результаты» (стр. 63), и далее: «источные электроды прилаживались в расколотии отъ одного до нескольких миллиметров» (стр. 64); следовательно, сила тока, проходящая через это пространство, была очень велика. При токе такой большой силы явления сморщивания анодной половины и разбухания катодной очень ясно выступали вестая лишь при продолжительномъ действии тока, течение 5—10 минут (стр. 64).

На основании этихъ удачныхъ результатовъ, полученныхъ на мертвыхъ инфузорияхъ при 70 элементахъ, 1 миллиметр расстояния между электродами и 5—10 минут продолжительности действия тока, авторъ принимаетъ, что и у живыхъ протистовъ катодотокъ действие тока является главной причиной ихъ движения къ катоду, «такъ какъ явления идентичны». Переносъ жидкости внутри организма играетъ существенную роль въ явленияхъ гальванотропизма; передвижение отъ анодной стороны тела вызываетъ здесь возбуждение сокращения (contractorische Erregung), притяжение ее къ катодной стороне производитъ возбуждение расслабления (expansorische Erregung) (стр. 73).

3. Однако, эти опыты нельзя считать дозательными, потому что описанная явления далеко не «идентичны» съ явлениями при гальванотропизме и получены при совершенно не соответствующихъ условияхъ. У автора нетъ никакихъ доказательствъ, что физическая явления переноса жидкости внутри тела живыхъ протистовъ въ действительности происходятъ отъ задняго конца тела въ переднюю и при слабыхъ или среднихъ токахъ, когда имьетъ место максимумъ скорости при несколько неизменной формъ, поэтому эту теорию нельзя считать состоятельной.

У живыхъ парамидий явления изменения конфигурации тела при

действии сравнительно сильныхъ токовъ наступаютъ, какъ было выше описано, сейчас же вслѣдъ за замыканіемъ тока, и получаемая при этомъ картина имьетъ совершенно иной видъ (рис. 31, 4, 5 и 6), чьмъ



Рис 27. Измѣненіе конфигураціи тела мертвой парамидии послѣ 5 мин. вліянія тока отъ 70 углецинковыхъ элементовъ (рис. 4е, табл. I. Карлгрень, 19).

тъ бугристая сморщивания и выпячивания, которая идетъ на своихъ рисункахъ Карлгрень и которая онъ получалъ у мертвыхъ парамидий (рис. 27). Ни въишняя форма, ни самый характеръ сморщивания и набухания несколько не напоминаютъ асана закрученного переднего и резко очерченнаго кончика задняго конца тела парамидий, мгновенно сократившейся почти сейчас же послѣ замыкания сильного тока.

При пропускании же тока отъ динамомшины (110 вольтъ при 3—7 МА въ камерѣ) черезъ густой растворъ слизисто-коллоидальныхъ средъ, въ которыхъ находились мертвыя парамидии (стр. 72) при неизменной формѣ я не наблюдалъ никакихъ ясно выраженныхъ изменений конфигураціи протистовъ. Но снмья наблюденія надъ взаимнѣмъ токовъ такой силы, по моему мнѣнію, не имьютъ никакого смысла,

такъ какъ условия ихъ производства не соответствуютъ условиямъ для получения явлений гальванотропизма. Большое значение имьетъ опытъ, описанный здѣсь на страницѣ 72-ой, когда въ камерѣ какой нибудь слизистой среды одновременно находится и живыя и мертвыя парамидии; сила тока, вызывающая мгновенное сокращеніе кортикальной плазмы живыхъ парамидий и изменение формы тела въ грушевидную, не производитъ никакого вліянія на мертвыя.

4. Перлъ (12) разделяетъ мнѣніе Карлгрена, что внутреннія катарфорическія явления играютъ значительную роль во вліяніи тока на протистовъ. Онъ наблюдалъ при действии тока движение мельчайшихъ зернышекъ автоплазмы внутри тела инфузорій въ направленияхъ, определяемыхъ структурными особенностями тела; явления расширения на катодѣ и сокращения на анодѣ суть снмства катарфорическаго вліянія тока, раздражающаго при этомъ протоплазму. Вызванное электрическимъ раздраженіемъ движение внутри протоплазмы является возбудителемъ, вызывающимъ активную реакцію растяжения и сокращения рнскнчекъ (р. 122).

Слѣдовательно, тогда какъ Карлгрень о переносѣ жидкости отъ анода къ катоду судитъ по анализи съ вставленіемъ у мертвыхъ объектовъ, Перлъ заключаетъ объ этомъ по движению мельчайшихъ зернышекъ внутри протоплазмы протистовъ. Если существуетъ токъ жидкости отъ анода къ катоду, т. е. задняго конца тела къ переднему, и если форма тела при этомъ не измѣняется, что и наблюдается при максимумѣ скорости, то должеъ существовать внутри автоплазмы токъ противоположнаго направленія. Теперь является вопросъ, суще-

стствует ли движение зернышек внутри зитоплазмы нормально при обычных условиях, или оно вызвано действием тока? Вот вопросы, на которые обязательно ответить раньше, чем строить «идеическую теорию, стремящуюся объяснить явления полярного возбуждения простыми пассивными переносом частиц внутри протоплазмы, производящим активное возбуждение. Движение зитоплазмы, resp. заключенных в ней образований, нормально всегда совершается внутри параметий в определенном направлении и много раз было описано различными наблюдателями. Эти движения внутри протоплазмы у живого протиста существуют всегда и могут служить поводом для точных заключений. На основании своих наблюдений я не могу сказать, чтобы при гальванотропизме параметий и др. инфузорий действительно наблюдались какие нибудь изменения в обычном перемещении зернышек в зитоплазме; по крайней мере, я никогда не видел при орбитальном гальванотропичной реакции никаких нарушений в движении зернышек внутри зитоплазмы¹⁾.

5. Таким образом попытка Бардгрина и Перля создать теорию, объясняющую полярный возбуждения при гальванотропизме внутренним катодореомом, не опирается на факты, а потому бездоказательна.

III.

Стадия быстрого изменения формы тела сократимых протистов есть результат сокращения зитоплазмы вследствие непосредственного возбуждения довольно сильным током ее сократительных элементов.

¹⁾ После того как эта работа была написана, появилась статья Г. Валленгрейна, который категорически отрицает на основании своих опытов факты Перля движения зернышек внутри тела протистов при действии постоянного тока (30).

О Т Д Ы Л Ы IV.

Реакция рясничек, первое и основное явление гальванотропизма протистов. Критика теории гальванотропизма Ферварна-Лудлова.

1.

Несовершенство метода, примененного Лудловыми для изучения рясничек при гальванотропизме. — Преимущество слезисто-коллоидальных сред в специальной методика; исследование работы рясничек при нормальных условиях. — Камеры и электроды; аппарат для продолжительного наблюдения одного и того же индивидуума. — Объекты опытов.

1. Явления, описанные в предыдущем отделе наблюдаются при помощи лупы или при слабых увеличениях микроскопа. При слабых токах инфузории, как бы избегая чего то, устремляются к катоду. Уже à priori можно предполагать, что такое ускоренное перемещение их вперед обусловлено нормальной работой рясничек спереди назад, причем ритм ударов рясничек, втроитно, ускорен и энергия ударов увеличена. При сильных токах движения протистов замедляются, они останавливаются, вращаются при измененной форме тела на одном почти месте вокруг своей продольной оси или даже движутся задним концом назад; при этих явлениях работа рясничек, повидимому, значительно изменена.

Действительность участия рясничек в явлениях гальванотропизма доказана уже, как подробно указано в литературном очерке многими авторами (стр. 7). Вопрос о характере измененной деятельности рясничек чрезвычайно важен. Схема К. Лудлова, как видно из литературного очерка, подтверждена и принята всеми авторами, занимавшимися гальванотропизмом простейших. Однако несовершенство методов, которыми пользовались авторы (20), побудило меня заняться наблюдениями над влиянием тока на рясничатый аппарат протистов. Перехожу к описанию результатов, полученных мною при специально выработанных для этой цели методах.

2. Точная наблюдение над характером движений рясничатого аппарата протистов возможен лишь при сильном увеличении. Ряснички можно отчетливо наблюдать лишь при системах D и даже F

Цейса. Но при тех условиях, при которых производится наблюдение в обычной разводке, движения эти нельзя видеть, потому что протисты так быстро исчезают из поля зрения, что наблюдатель может лишь быстро захватить форму тела. Чтобы увидеть самые рывочки и характер их движений, необходимо замедлить скорость перемещения протистов. С этой целью К. Лудловъ воспользовался методом Этля и Гейсена (10 и 11), которые раньше его применяли для этих же целей желатину. В статье "Новый метод изучения прижизненного строения и движений протистов" (20) подробно изложено, почему желатина в той метод, которым пользовался К. Лудловъ и др., является средой не вновь пригодной для замедления движений протистов. Предлагаемая мною слизисто-коллоидальная среда: *Lichen Caraganeae*, *Semen Psyllii*, *Semen Cudoniae* и *Gummi Tragacanthae*—является более простым и удобным методом. Преимущества этого метода уже мною изложены, здесь же необходимо сказать несколько слов о специальном приложении его для изучения деятельности рывочек при гальванотризмизме.

Наблюдения над рывочками аппарата должны производиться при возможно нормальных условиях, т. е. объектами опытов могут быть лишь такие экземпляры, характер движений рывочек которых ничем не отличается от нормального. Это одно из главных и непрелюемых условий опытов. Поэтому наблюдения производятся не в очень густых средах; даже *stadium colloïdale* (20, стр. 54) должно представлять сравнительно подвинутую, дрожавшую текучую массу. Консистенция среды должна быть таковой, чтобы достигнуто было возможно значительное замедление движений, но чтобы характер ударов рывочек оставался все время нормальным. Движения рывочек должны быть замедлены, равномерно и нормально по направлению; слизистая среда, вязкость которой является препятствием работ рывочек, не должна быть очень густой и вызывать утомление протиста. В последних случаях протист может лежать неподвижно на одном и том же месте; рывочки его уже больше не работают, а лежат свободной, направленной перпендикулярно к поверхности тела. Над протистами при таком именно расположении рывочек и производил К. Лудловъ (9) свои наблюдения при гальванотризмизме. В нормальных условиях парияция находится в постоянном движении, прои случает т. наз. тигмотаксиса, при котором иезуорий фиксированы к одному месту (Г. Дженнингс, 17). Поступательная их движения находятся, конечно, в связи с определенной работой рывочек спереди впазд; причём скорость передвижения зависит от ритма, амплитуды и энергии удара рывочки. Для наблюдений над характером деятельности рывочек при движениях постоянного или иезуорийного тона, нужно избирать объекты, которые ничем по характеру движения рывочек не отличаются от нормальных. Поэтому я хочу, что для таких опытов неудобны уставки

протисты, неподвижно лежащие на месте с перпендикулярно расположенными или впазд в различных сторонах движущимися рывочками. Объектами во всех моих исследованиях над рывочками были подвижные экземпляры с нормальным характером ударов рывочек. Для проверки наблюдений К. Лудлова, чтобы соблюсти условия его опытов, я пользовался также приблизительно 0,8—1% раствором желатины (9, р. 337); но значительное большинство опытов произведено над иезуориями в слизисто-коллоидальных средах средних и выше-средних концентраций (*medium sirupoidale et colloïdale*). Эти среды дают возможность иметь массу материала при совершенно одинаковых условиях замедления движений. Одна и та же разводка из среды, приготовленной в пробирках, является источником однообразного материала итечение нескольких дней. Консистенция среды позволяет легко и быстро удалить из камеры исследовываемых капил и замкнуть их новыми. Большинство опытов произведено над иезуориями в *Alga Caraganeae*; ранее я употреблял для замедления движений *Semen Psyllii*, *Semen Cudoniae* и *Gummi Tragacanthae*. Обыкновенно 5—8 к. е. разводки с громадным количеством иезуорий в воду с листьями наливался в узкую и широкую пробирку, над которой предварительно помещались маленькие веточки *Lichen Caraganeae* (20, стр. 49), небольшие кусочки *Gummi Tragacanthae* (стр. 50), несколько зерен *Semen Cudoniae* (стр. 50), шерстяными пополам или, наконец *Semen Psyllii* (стр. 49). Через 1—3 часа иезуорий из этих слизистых сред можно было уже употреблять для опытов; обыкновенно эксперименты над такими объектами начинались на другой день.

3. Капли с иезуориями переносились при помощи пипетки непосредственно над пробирку и распределялись тончайшим слоем 1—1,5 мм. между двумя уступообразными коллоидными аэстродами (рис. 4); такая камера предварительно смачивалась водой, а затём на некоторое время погружалась в слизистый раствор слабой концентрации; капля покрывалась покровным стеклом соответствующих размеров, покочившимся на выступках коллоидных брусков и не придававшим свободно плавающим в слизи каплям иезуорий. Такая камера имеет преимущество пред глиняными полосками К. Лудлова (9, таб. VII), потому что не агрязняется, и из ней можно сразу без большой затраты времени произвести много опытов. Полоски К. Лудлова, которая по мьрь надобности готовится всякий раз из пластической гины, уступая в указанном уступообразным аэстродам, являются тем же менее очень пригодными для этих опытов; я сам пользовался этими глиняными полосками, на зюстренные внутренние края которых накладывалось покровное стекло прикрывавшее каплю. Наконец, для этих же опытов я употреблял описанные на стр. 13 глиняно-битые аэстродами; между свободными концами нитки осторожно распределялась капля, прикрываемая покровным стеклом.

Съ уменьшениемъ консистенции среды, т. е. съ уменьшениемъ сопротивления работъ рѣсничекъ, скорость поступательныхъ перемѣнѣй протистовъ, конечно, нѣсколько увеличивается. Среда, однако, набирается такая—medium situpoidale, чтобы инфузории не быстро уходили изъ поля зрѣнія и чтобы движения рѣсничекъ были совершенно отчетливо замѣтны. Ближайшая задача заключается въ исследованіи характера движения рѣсничекъ въ то время, когда инфузорія ориентируется и направляется подъ вліяніемъ тока къ катоду, а не остается на мѣсть. Чрезвычайно желательно поэтому прослѣдить наблюдаемую инфузорію на возможно большемъ прострѣанствѣ и наблюдать ее даже все время, когда она передвигается, положимъ, съ середины камеры до стѣнки камеры. Эта дѣль очень легко достигается слѣдующимъ очень простымъ приспособленіемъ: маленькіе неполярные электроды, прикрываемые къ пробѣ, надвываются на двѣ стеклянныя невысокія палочки; нижній конецъ каждой палочки закрывается въ другой пробѣ, которая свободно ходитъ въ пазахъ третьей, приклеенной по днѣ стеклянной пластинки (18×4 см.), ближе къ концамъ ея; между послѣдними пробками остается свободное пространство, куда помѣщается предметное стекло съ камерой—электродами. Вращеніе пробки на стеклянныхъ столбикахъ и передвиженія всего столбика въ пазахъ нижней дѣлтъ возможность легко устроить контактъ кварцевыхъ брусковъ или гляннанныхъ полосокъ съ шпильчатымъ носкомъ сапфира. Такое расположеііе и камеры и электродовъ значительно облегчаетъ производство этихъ трудныхъ и тонкихъ наблюдений, такъ какъ даетъ возможность при наблюденіи въ микроскопъ передавать камеру во все стороны. Глазъ, такимъ образомъ, все время имѣетъ предъ собой одинъ и тотъ же объектъ втеченіе очень продолжительнаго времени въ любыхъ мѣстахъ камеры. При инверсии тока можно даже при сильномъ увеличеніи видѣть одинъ и тотъ же объектъ по днѣмъ всей камеры и отчетливо изучить все перемѣны, которыя съ нимъ происходятъ подъ вліяніемъ продолжительнаго раздраженія токомъ, т. е. дѣятельность рѣсничекъ и состояніе антоплазмы. Въ дѣль постоянного тока включался гальванометръ и жидкій реостатъ, прослѣдить котораго можно смѣлвлять (рис. 7). Этотъ реостатъ необходимъ для опытовъ, такъ какъ постепенное, равномерное и медленное увеличеніе силы тока является вторымъ существеннымъ условіемъ. Индукционные удары получались отъ обыкновеннаго снѣжнаго аппарата, соединеннаго съ аккумуляторомъ въ 2—4 вольты.

4. Объектныя сдѣланы: *Paramecium auricula, caudatum* и *bursaria*, *Colpidium colpoda*, *Colpoda euculcis*, *Opalina ranarum*, *Spirostonium teres* и *ambigua*, *Stylonychia mytilus*, *Stentor polymorphus*.

Результаты расположенія рѣсничекъ подъ вліяніемъ дѣйствія постоянного тока или частыхъ индукционныхъ ударовъ представляются въ общемъ одинаковыми у всѣхъ почти протистовъ. Наилучшимъ объектомъ является *Paramecium*, почему я, краткости ради, останавливаюсь

на подробномъ описаніи реакцій рѣсничатаго покрова лишь у этого вида инфузорій; относительно же другихъ видовъ сдѣлаю соответствующія дополненія.

II.

Новые термины передвиженій рѣсничек.— Характеристика и раздѣленіе передвиженій рѣсничекъ: колебательныя движенія, флексорное и экстензорное движеніе и оттопсы.

1. Нѣсколько словъ о терминахъ употребляемыхъ къ перемѣненію рѣсничекъ. За типъ примемъ перемѣненіе рѣснички у парамеции въ обычныхъ нормальныхъ условіяхъ. Обыкновенно наблюдаются движенія каждой рѣснички въ одной почти плоскости, направленныя обычно спереди назадъ и сравнительно рѣже сзади напередъ; въ первомъ случаѣ согласная работа всѣхъ рѣсничекъ направлена на передвиженіе всей инфузоріи впередъ и концомъ впередъ, а во второмъ заднимъ назадъ. Для названія этихъ движеній я полагаю бы наибѣе простымъ воспользоваться терминами, которые получили право гражданства въ анатоміи и физиологіи двигательныхъ органовъ вообще и съ которыми ассоціируются вполнѣ опредѣленныя представленія о движеніи.

Обычное, наибѣе частое передвиженіе рѣснички спереди назадъ назовемъ флексіей, тогда, въ противоположность этому, передвиженіе въ обратную сторону обозначимъ экстензіей; оба передвиженія активны и направлены на опредѣленную дѣль, проявляясь, какъ отвѣтъ на извѣстныя условія раздраженія. У высшихъ животныхъ съ дифференцированными мышачными фасціями производится сокращеніями опредѣленныхъ группъ мышць, экстензія органа достигается сокращеніями ихъ антагонистовъ. Рѣсничка или щетинка простѣйшихъ не есть сократительный элементъ, который въ состояніи сокращенія занимаетъ одно положеніе, а въ состояніи расслабленія— другое; она является лишь двигательнымъ органомъ, на положеніе котораго вліяютъ, быть можетъ, невѣстные пока элементы антоплазмы или возможно также, что она несетъ въ себѣ способность взымать положеніе кагда илн впередъ. Во всякомъ случаѣ она является двигательнымъ органомъ, способнымъ активно перемѣнѣть обыкновенно въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ, и въ общемъ, следовательно, по характеру проявленія самого движенія является до некоторой степени аналогичной органамъ движенія высшихъ животныхъ. Поэтому перемѣненіе рѣснички, какъ активное явленіе въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ—спереди назадъ и сзади напередъ, назовемъ флексорнымъ и экстензорнымъ передвиженіемъ. Эти термины не дѣлтъ точной характеристикой того и другого перемѣнѣнія, но обозначаютъ лишь направленіе перемѣнѣнія и указываютъ на активность передвиженія рѣснички въ ту или другую сторону; оба акта суть явленіе возбужденія сокращенія въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ.

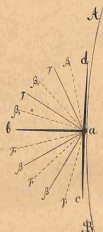
2. Покойным положением реснички будем считать перпендикулярное положение относительно плоскости тѣла, которое часто наблюдаем у парameций, утомленных въ очень густыхъ слизисто-коллоидальныхъ средахъ (рис. 28, *ab*). Простота ради допустимъ, что флексорное движение реснички происходитъ лишь въ секторѣ *bac* по направлению отъ *b* къ *c*, а экстензорное — лишь въ секторѣ *bad* отъ *b* къ *d*; первый секторъ назовемъ областью флексорнаго движения, второй — областью экстензорнаго и движения.

Скорость или ритмъ движения реснички въ томъ или другомъ направленіи могутъ быть различны; также въ широкихъ пределахъ колеблется и энергія или сила движения реснички. Въ этомъ отношеніи нужно различать: 1, собственно движение и 2, ударъ реснички. Слѣдовательно, въ зависимости отъ энергіи перемѣщения реснички мы имѣемъ флексорное и экстензорное движение или ударъ. Обыкновенно флексорная движениа чаще и энергія ихъ удара въ общемъ сильнѣе. Кроме того нужно различать еще третій видъ перемѣщенія реснички, — колебательныя движениа; когда она подобно пружинѣ дѣлаетъ періодическія колебанія вперед и назадъ около положенія *ab* при очень небольшой амплитудѣ.

Амплитуда перемѣщенія реснички можетъ различаться въ самыхъ широкихъ пределахъ. Не всегда ресничка начинаетъ свое движение непременно изъ положенія *ab*. Начало флексорнаго движениа можетъ быть въ любыхъ точкахъ не только флексорной, но и экстензорной (β и β_1) областей; то же нужно сказать и объ амплитудахъ экстензорнаго движениа (γ и γ_1).

Сила удара зависитъ, конечно, отъ амплитуды; чѣмъ больше амплитуда, тѣмъ, обыкновенно, значительнѣе сила удара реснички. Однако, нужно замѣтить, что эта зависимость не всегда наблюдается. Сила флексорнаго, напр., удара, начинающагося въ флексорной области, можетъ въ некоторыхъ случаяхъ превосходить силу удара того же направленія, начинающагося отъ какихъ-нибудь точекъ β экстензорной области. Въ общемъ, конечно, чѣмъ чаще ритмъ, больше амплитуда и выраженнѣе энергія перемѣщенія реснички, тѣмъ значительнѣе и сила удара, флексорнаго или экстензорнаго.

Рис. 28. Схема перемѣщеній реснички.



III.

Реакція ресничекъ у *Paramecium caudatum*, *avirella* и *bursaria*. — Непродолжительная и слабая реакція ресничекъ на вѣтеръ у парameций, неподвижно лежащихъ въ очень густыхъ средахъ. — Реакція ресничекъ на токъ при ихъ нормальной работѣ. — Механизмъ установившагося передняго конца тѣла и характеръ движенья ресничекъ при перемѣщеніи къ катоду въ слизисто-коллоидальныхъ средахъ средней вязкости. — Флексорные удары почти всѣхъ ресничекъ при обрѣзаніи возбуждающаго вліянія тока; несходство съ общепринятой схемой Лудлова. — Причины равныхъ результатовъ Лудлова и моихъ. — Зависимость степеней и продолжительности возбужденія ресничекъ при данной силѣ тока отъ вязкости среды. — Повышеніе возбужденности противостоитъ въ густыхъ средахъ, какъ слѣдствіе утомленія. — Характеръ расположенія ресничекъ при среднихъ токахъ; различіе реакцій ресничекъ въ жидкихъ и густыхъ средахъ. — Характеръ и степень возбужденія ресничекъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, зависятъ отъ силы раздражающаго тока. — Различныя стаіи реакціи ресничекъ Лудлова въ видѣть при своемъ методѣ лишь одну изъ нихъ. — Вліяніе сильныхъ токовъ на измѣненіе формъ тѣла.

1. Беремъ каплю густой среды (изъ *Gummi Tragacanthae*), въ которой инфузориі движутся крайне медленно и продолжительное время остаются въ полѣ зрѣнія; реснички ударяютъ спереди нѣсколько очень мало и медленно; движениа ихъ совершенно отчетливо видны. Иногда удары ресничекъ прекращаются и инфузориі лежатъ спокойно на мѣстѣ, мало и безпорядочно дѣлая ресничками въ разные стороны. Замыкаемъ токъ въ 0,01 МА въ восходящемъ направленіи для инфузориі съ послѣднимъ расположеніемъ ресничекъ; они не оказываютъ повидимому на протѣста никакого вліянія; увеличиваемъ силу тока 0,015 до 0,05 МА и замѣчаемъ, что въ большинствѣ случаевъ реснички передняго, т. е. катоднаго, конца тѣла работаютъ теперь энергичнѣе; ритмъ ихъ движенья ускоряется и движениа эти направлены въ одну сторону, а именно въ переднюю концы тѣла, т. е. обратно нормальнымъ. Размыкаемъ токъ и реснички опять принимаютъ перпендикулярное расположеніе относительно поверхности тѣла.

Замыкаемъ помощью вышнѣ направленные токы въ нѣсколькихъ случаяхъ же за замыкаемъ тока начинаютъ энергичнѣе работать реснички задней, теперь катодной, части тѣла и движениа ихъ направлены впередъ противоположно нормальнымъ. Съ усиленіемъ тока до 0,05 МА область распространена движущихся впередъ ресничекъ нѣсколько увеличивается и реснички почти по всей задней половинѣ движутся сюда впередъ.

При поперечномъ положеніи парameций относительно направленія тока ритмическія движениа ресничекъ начинаются опять такіа лишь на катодной половинѣ тѣла и опять такіа эти движениа направлены по всей этой поверхности сюда впередъ; при инверсіи появляется та же игра ресничекъ на противоположной, теперь катодной, боковой половинѣ тѣла.

До сих пор эти результаты совершенно сходны с теми, какие описывает К. Лудлов для неподвижно лежащих парамеций, наступает живое движение (lebhaft Bewegung der Sihen), причём реснички изменяют свое положение, они несколько загнуты «вперед» (9, стр. 539.).

2. Если же, получивши при минимальном раздражении на катодной стороне тела эти «живые движения» ресничек, мы не разожмем их сейчас же ток, а оставим его замкнутым, то увидим, что несколько успешней на катодной лишь стороне ритм мало по-малу замедляется и самый характер движений сзади наперед сменяется обычными видами колебаниями ресничек во все стороны, или же они опять остаются без движений, приняв приблизительно перпендикулярное положение относительно поверхности тела. Раздражение током такой силы (0,015—0,05 МА) неподвижной парамеции вызывает, следовательно, скоропреходящая, слабая, правда, лишь «живые движения», а не энергичные удары в определенную сторону и с определенным эффектом. Что эти движения скоропреходящие, доказывает приведенный сейчас опыт; что эти движения очень слабы, можно заключить из опытов над парамецией, расположенной поперечно к направлению тока, которая при энергичных ударах ресничек сзади наперед должна была бы повернуться передним концом к катоду; между тем такого поворота нет, следовательно, энергия движений ресничек крайне незначительна. Причиной непродолжительности и слабости реакции является, конечно, слишком большая вязкость среды.

Все подобные наблюдения над неподвижными формами не могут иметь, как уже указано, большого значения, темь как протисты при этих опытах находятся в ненормальных условиях.

3. Большого внимания заслуживает реакция интуэории, которая обладает еще способностью передвижения и в такой густой сравнительно среде. Такие объекты в первые дни встрчаются чаще, чем неподвижные формы. Над такими экземплярами К. Лудлов не экспериментировал. Случалось иногда что интуэория, лежащая совершенно спокойно, вдруг начинала работать всеми ресничками; при раздражении ее в такой период преемник слабейш токком К. Лудлов не наблюдал никаких последствий раздражения. Мои объекты все время перемещались, хотя и очень медленно, по разным направлениям. При замыкании тока у них иногда наблюдалось небольшое утишение ритма, увеличение амплитуды и энергии сокращения ресничек, вследствие чего они несколько быстрее перемещались вперед; а в других, более редких случаях, удавалось видеть, что реснички катодной стороны в первый момент замыкания тока работают сами наперед; но и то и другое вскоре сменялось обычными медленными и слабыми движениями ресничек, и протисты уже не реагировали на ток этой минимальной силы.

4. Консистенция среды средняя; поступательная движений пара-

мений, хотя и замедленная, имеют совершенно нормальный характер; интуэории свободно пережмщаются во все стороны; реснички отчетливо видны при объектив В, еще лучше Д Цейсса. Направляющее влияние тока начинает проявляться при 0,02 МА. Если интуэория не находится в гомодриомном положении, а длинная ось ее образует какой-нибудь угол с параллельными линиями тока, то она, работая всеми ресничками старается наискрачайшим образом принять это положение. Расположение ресничек притом различно при

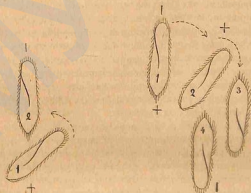


Рис. 29. 1—при ориентировке; 2—при пережмщении к катоду.

Рис. 30. 1, 2 и 4—при пережмщении к катоду; 3—при ориентировке.

Влияние тока на расположение и движение ресничек у *Paramecium caudatum*. Различные положения данной оси; в общем реснички на катодной части тела во время поворачивания интуэории из положения а в положение в (рис. 1, стр. 4) ударяют энергичнее, чем на анодную; движения катодных направлены обыкновенно вперед, а анодных назад. Строгого разделения тела протиста на анодную и катодную половины относительно характера ударов ресничек нет; чаще оно наблюдается лишь при поперечном расположении протиста (рис. 1е), когда действительно реснички всей катодной поверхности ударяют астензорными ударами более энергичными, чем электросорные удары анодной половины тела. Лишь только передний конец тела выходит из перпендикуляра и начинает сдвигаться к катоду (напр., вправо), большинство ресничек уже работает электросорными ударами, причём превалирует энергия ресничек правой половины тела, которая помогают реснички небольшого участка передней поверхности своими астензорными ударами; электросорная движения ресничек левой заднебоковой теперь поверхности выражены очень слабо. Вообще направление ударов ресничек различно в различных положениях, как равным образом различна и сила движений различных ресничек (рис. 29 и 30). Работая попеременно то астензорными, то электросор-

ными ударами тѣхъ или другихъ, мѣняющихся въ числѣ и расположеніи, группъ рѣсничекъ, и измѣняя, что чрезвычайно важно, энергію ихъ ударовъ, противъ принимаетъ однородное положеніе. Характеръ распределеія и энергія работы различныхъ группъ рѣсничекъ мѣняется такъ же, какъ при поворачиваніи при обыкновенныхъ условіяхъ, когда противъ наиболее простымъ образомъ измѣняетъ положеніе своей длинной оси. Разница лишь въ томъ, что когда средний конецъ тѣла парамеция находится въ анодной четверти, прерывающа энергія экстензорныхъ ударовъ группъ рѣсничекъ, находящихся въ катодной, обыкновенно, половинѣ тѣла; если же передній конецъ поворачивается уже въ катодной четверти, энергіею всего работаютъ экстензорными ударами рѣснички поверхности тѣла, ближайшей къ аноду, и эти помогаютъ экстензорные удары небольшого числа рѣсничекъ передняго конца. Таковы въ общемъ направленіе и энергія ударовъ различныхъ группъ рѣсничекъ при различіи продолжительномъ и трудномъ поворотѣ относительно полюсовъ на 180° , если токъ заставитъ парамецию въ антидромномъ положеніи.

Въ другихъ положеніяхъ противъ несравненно проще поворачивается къ катоду при переменной работѣ различныхъ рѣсничекъ опять-таки съ возможно меньшимъ числомъ группъ и меньшей затратой силы. Расположеніе группъ рѣсничекъ и сила ихъ ударовъ представляютъ большое разнообразіе; сила ударовъ данныхъ группъ имѣетъ рѣшающее значеніе на поворотъ въ ту или другую сторону. На рис. 29-омъ — изображенъ моментъ ориентировки относительно катода парамеция, энергичнѣе всего работающаго экстензорными ударами небольшого числа рѣсничекъ анодной поверхности тѣла, тогда какъ остальные рѣснички расположены въ экстензорной области и мало перегибаются при небольшой сравнительно амплитудѣ; почти вся работа приходится на долю экстензорныхъ ударовъ. Возле сложное расположеніе рѣсничекъ изображено на рис. 30-омъ — 2. Наконецъ, нужно прибавить, что очень часто ориентировка парамеция относительно катода наблюдается при расположеніи всѣхъ рѣсничекъ въ экстензорной области и при энергичныхъ экстензорныхъ ударахъ рѣсничекъ лишь анодной части тѣла противътоку; это случай наиболее простой работы рѣсничекъ, — поворотъ совершается энергичными ударами лишь немногихъ рѣсничекъ, тогда какъ остальные не принимаютъ никакого участія.

5. По мѣрѣ приближенія передняго конца тѣла инеузоріи въ катодной четверти къ линии тока число рѣсничекъ съ экстензорными ударами въ области передняго полюса послѣдовательно уменьшается, и, лишь только парамеция приняла однородное положеніе, всѣ рѣснички ея ударяютъ спереди назадъ. Въ направленіи движенія рѣсничекъ передней, теперь катодной, и задней, теперь анодной, половины поверхности тѣла нѣтъ ровно никакой разницы, — всѣ рѣснички дѣлаютъ правильныя, нормальныя, ритмическія, экстензорныя движенія спереди назадъ, вслѣдствіе чего инеузорія плавно и медленно перед-

вигается впередъ по направленію къ катоду. Инверсируемъ токъ; противъ опять возможно скорѣе и проще поворачивается на 180° при переменной работѣ и энергіи экстензорныхъ и экстензорныхъ ударовъ различныхъ группъ рѣсничекъ и плыветъ къ катоду, причемъ всѣ рѣснички его работаютъ экстензорными движеніями.

Если во время движенія инеузоріи по направленію къ катоду осторожно и медленно усилитъ токъ, то легко можно замѣтить, что ритмъ ударовъ рѣсничекъ участится, амплитуда движеній увеличится, энергія ударовъ по всей поверхности усилится, и поэтому противъ теперь быстрѣе плыветъ къ катоду. Рѣснички всей поверхности тѣла быстрые и энергичнѣе работаютъ опять экстензорными ударами. Но при этомъ можно отчетливо видѣть, что небольшая часть рѣсничекъ поларнаго участка передняго конца тѣла направлена впередъ, и онѣ торчатъ, какъ щетинки щетки, какъ изображено на рис. 29-омъ, фиг. 1, и 30-омъ, фиг. 1 и 3; другое расположеніе представляетъ фиг. 4.

6. Даемъ нѣсколько минутъ отдыха противъстиму и начинаемъ новую серію опытовъ опять съ силы тока $0,03-0,06\text{MA}$ (20—18 сан.), расстоянія спиралей снанаго аппарата). Расположеніе и работа рѣсничекъ у направляющихся къ катоду опять тѣ же. Увеличиваемъ силу до $0,05-0,06\text{MA}$ (19—18 сан.). Скорость передвиженія инеузоріи опять немного увеличивается, теперь нужно съ болѣею осторожностью и сравнительно быстро перегибать всю стеклянную пластинку съ камерой и электродами (стр. 82), чтобы усилить такъ объектомъ. Удары рѣсничекъ очень энергичны, ритмъ ускоренъ. Почти всѣ рѣснички работаютъ экстензорными ударами; говорю почти всѣхъ, потому что небольшая часть рѣсничекъ передняго полюса направлена впередъ; теперь совершенно ясно видны ихъ колебательныя движенія особенно на самомъ полюсѣ, направленныя вправо и лѣво; онѣ являются какъ бы рудель, разбѣгающимъ жидкостью и облегающимъ, слѣдовательно, поступательныя движенія впередъ. Число этихъ направленныхъ впередъ рѣсничекъ уже значительно больше, и онѣ занимаютъ не только самый полюсъ, но и вѣтвуютъ, съажетъ $\frac{1}{6}-\frac{1}{5}$ часть передней половины тѣла (рис. 31—1). Такое расположеніе и направленіе ударовъ рѣсничекъ соответствуетъ ориентіи^у скорости передвиженія инеузоріи.

7. Изъ изложенныхъ опытовъ видно, что полученные мною результаты кореннымъ образомъ отличаются отъ схемы К. Лудлова, приведенной въ литературномъ очеркѣ (стр. 4). Наблюденія К. Лудлова (9) были подтврждены Р. Перлемъ (12), К. Кельшемъ (5) и Н. Валдегренгомъ (6 и 7) не только для парамеция, но для многихъ другихъ инеузоріи. Всѣ авторы единогласно утверждаютъ, что у направляющихся къ катоду инеузоріи рѣснички всей поверхности тѣла, раздѣляются строго на двѣ половины: въ передней катодной половинѣ онѣ движутся впередъ, а въ задней, на одной, онѣ продолжаютъ работать назадъ. По моимъ же опытамъ, при ориентіи^у скорости почти всѣ рѣснички работаютъ экстензор-

ными ударами и небольшая группа рёсничек полярного закругленного переднего конца тѣла направлена вперед.

8. Какъ объяснить эту разницу результатовъ наблюдений авторовъ и мошк? Почему получилось противорѣчье?

Напомнимъ еще разъ, что постановка опытовъ К. Дудлова и мошк отличается глав. обр. тѣмъ, что онъ экспериментировалъ надъ неподвижными объектами въ густой средѣ желатина, застывшей въ платный студень, тогда какъ я производилъ опыты надъ *подвижными индивидуумами въ санисто-коллоидальной средѣ*, вязкость которыхъ не является такимъ препятствіемъ для передвиженій протистовъ, какъ застывшая въ студнеобразную массу желатина. Бываетъ, въ этомъ именно обстоятельстве и лежитъ причина различія между результатами К. Дудлова и мошк. Санисто-коллоидальная среда даетъ возможность отнѣсти на этотъ вопросъ.

а. Степень консистенціи этихъ средъ, какъ подробно изложено въ специальной статьѣ (20), можно легко и быстро дѣлать. Увеличеніе вязкости достигается двумя способами: 1) въ пробирку прибавляется новое количество какаго-либо санистаго вещества, и получается болѣе густая консистенція и 2) помѣщаютъ нѣсколько капелек (0,5—1 куб. сан.) въ часовое стеклышко и оставляютъ подсыхать на очень слабомъ огнѣ, чтобы среда мало-по-малу стужалась. Въ обоихъ случаяхъ консистенція среды медленно увеличивается до того, что въ концѣ концовъ получаются неподвижные экземпляры протистовъ. Для описываемыхъ ниже опытовъ предпочтительнымъ является второй способъ, дающій возможность производить цѣлый рядъ опытовъ надъ протистами въ постепенно возрастающихъ консистенціяхъ. Уменьшеніе вязкости среды достигается последовательнымъ прибавленіемъ по каплямъ воды въ часовое стеклышко съ ивузориями въ санистой средѣ.

Избираемъ консистенцію среды 6-го параграфа опытовъ, когда при 0,03—0,06 МА или 20—18 сан. разстоянія спиральной парамеции плывутъ къ катоду вслѣдствіе электрическихъ ударовъ рёсничекъ почти всей поверхности тѣла, кромѣ рёсничекъ пошаровидного переднего конца тѣла, направленныхъ вперед. Увеличиваемъ мало-по-малу консистенцію среды и черезъ рядъ свѣжихъ, все болѣе и болѣе густыхъ капелек пропускаемъ токъ. Въ началѣ явления со стороны рёсничекъ получаются тѣ же; но въ капляхъ, въ которыхъ движенія протистовъ крайне замедляются, реакціи протистовъ уже нѣтъ. Нужно замѣтить, что силу тока, вызывающую одну и ту же степень реакціи нужно подмѣнять опытнымъ путемъ. Поэтому въ различныхъ капляхъ приходится начинать опыты съ минимальной силы тока, которая едва вызываетъ лишь первую реакцію со стороны рёсничекъ, и затѣмъ последовательно при помощи реостата увеличивать ее до наступленія желаемого эффекта.

Рядъ многочисленныхъ наблюдений показалъ, что извѣстный из-

нимую силу тока ускоряетъ лишь на время движенія рёсничекъ; ритмъ движеній учащается, энергія ихъ какъ будто нѣсколько увеличивается, потому что протистъ перемигивается немного быстрее. Характеръ измѣненія направленія и силы ударовъ рёсничекъ при разныхъ положеніяхъ длинной оси тѣла протистовъ соответствуетъ описанному на стр. 87—88. Явленіе втораго усилія движеній рёсничекъ продолжается, однако, очень не долго, скоро прекращается, и втеченіе остальнаго времени прохожденія тока, послѣдній не оказываетъ уже на протистовъ видимаго вліянія. Иногда парамеция, начавшая ориентироваться при опредѣленной работѣ рёсничекъ относительно катода, не успѣваетъ даже достигнуть гомодромнаго положенія; явления возбужденія прекращаются, и она прозволно движется въ камерѣ. Время продолжительности описаннаго характера возбужденія рёсничекъ сокращается по мѣрѣ увеличенія консистенціи среды, т. е. періодъ возбужденія рёсничекъ при данной силѣ тока тѣмъ короче, и явленія тѣмъ слабѣе, чѣмъ выше степень вязкости среды; въ очень густой средѣ, въ особенности у свободно лежащихъ объектовъ, онъ короче всего.

б. Опыты въ обратномъ смыслѣ даютъ противоположные результаты. Если постепенно и медленно будемъ разбавлять санисто-коллоидальную среду водой, то вмѣстѣ съ общимъ увеличеніемъ скорости перемигиванія увеличивается, при минимальной силѣ тока и при прочихъ равныхъ условіяхъ, и періодъ возбужденія, т. е. эффектъ нѣсколько успешной дѣятельности рёсничекъ.

в. Съ увеличеніемъ силы тока этотъ періодъ дѣлается нѣсколько болѣе продолжительнымъ; въ среднихъ концентраціяхъ при всегда опредѣленномъ характерѣ работы рёсничекъ, — сразу впередъ на катодной сторонѣ и спереди назадъ на анодной —, и при поблѣвшихъ энергіи ударовъ различныхъ группъ рёсничекъ, противъ уже поворачивается переднимъ концомъ къ катоду и плыветъ къ нему при описанныхъ выше направленіяхъ движеній рёсничекъ. Всѣ рёснички ударяютъ энергичными электрическими ударами, кромѣ расположенныхъ у передняго полюса, которыя торчатъ впередъ, какъ щетинки щети. Въ болѣе густыхъ средѣхъ лишь нѣкоторые единичные протисты поворачиваются къ катоду и плывутъ къ нему инокторое, очень непродолжительное, время; вскорѣ, однако, они поворачиваются къ какому нибудь сторону и плывутъ даже противъ направленія тока.

Парамеции, крайне медленно перемигивающіяся или неподвижно лежащія съ валками колебательными движеніями рёсничекъ въ очень густыхъ санистыхъ средѣхъ, послѣ замыканія тока загибаютъ катодныя рёснички впередъ, анодныя—назадъ, иногда даже поворачиваются переднимъ концомъ къ катоду, но въ этомъ положеніи ни на одну къ нему останавливаются либо съ перпендикулярно расположенными, либо колеблющимися рёсничками, либо, опять медленно и мало работая ния, перемигиваются по всѣмъ направленіямъ, не испытывая повидному уже вліянія тока.

Большинство же параметрий при этой силе тока (около 0,06—0,1 МА) усиленно двигают в некоторое время рёсничками при любом положении оси тьла относительно направления тока на катодной половине сади наперед, а на анодной сзади назад; последний эффект в среде такой концентрации вполне соответствует описаниям К. Лудова; и у него эти движения рёсничек при соответствующей силе тока искорь пропадают, и протист не может ориентироваться относительно катода (9, p. 54). Причем, по его наблюдениям, движения рёсничек катодной половины, направленные сади наперед всегда продолжительнее и энергичнее, чем нормально направленные движения в анодной половине (9, p. 54).

Итак, в густых средах и эта сила тока производить скоропреходящий эффект; возбудимость рёсничек понижена и непродолжительна, и протист не в состоянии ориентироваться относительно полюсов. Эти факты понижения возбудимости легко объясняются явлениями утомления, наступающего у инфузорий, как вследствие усиленной работы рёсничек в очень густых средах, так вазотк которых оказывается большое сопротивление движению рёсничек.

9. а. Постепенное дальнейшее усиление тока (с 0,1 МА) опять в каталах различной консистенции даёт следующие явления. В инфузории в слизистой среде (medium sirupoidale) сейчас же вадь за замыканием тока быстрыми движениями ориентируются относительно катода и плывут к нему при несколько неизменной форме; теперь в катодной передней половине направлено вперёд уже большее число рёсничек; область втх рёсничек сь усилением тока все больше распространяется постепенно назад; сейчас рёснички уже $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{3}$ части передней половины тьла направлены вперёд (рис. 31—2). При новом усилении тока, напр. до 0,15—0,2 МА, почти половина рёсничек этой части тьла направлена вперёд. Можно заметить, что направленные вперёд рёснички делают экстензорные движения. Инфузории плывут к катоду при таком именно расположении в передней четверти тьла; рёснички остальных $\frac{2}{3}$ работают электрорными ударами. Скорость передвижения протистов становится несколько замедленной. Следовательно, шагичим скорости были раньше и наблюдается для среды этой консистенции приблизительно при 0,05 МА; теперь инфузория плывет к катоду при новом уже расположении рёсничек, большинство которых всегда ударяют спереди назад,—

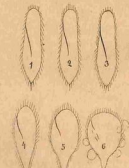


Рис. 31. Различные стадии расположения и движения рёсничек. Размещение садиатум при последовательном усилении силы направляющего тока.

замедленной. Следовательно, шагичим скорости были раньше и наблюдается для среды этой консистенции приблизительно при 0,05 МА; теперь инфузория плывет к катоду при новом уже расположении рёсничек, большинство которых всегда ударяют спереди назад,—

электрорно работающа рёснички и по числу и по энергии преобладают над экстензорно работающими. При инверсии тока протисты быстро поворачиваются к новому катоду и плывут к нему.

б. Такого расположения рёсничек мы не находим у инфузорий в густых и очень густых средах. Неподвижные инфузории теперь долго и энергично работают рёсничками, характер расположения которых для различных воложений изображен на рис. 1-ом, вазотк изь работы К. Лудова. Здсь рёснички в катодной половине тьла наклонены вперёд и ударяют сади наперед "движениями расширения" (expansorische Bewegungen,—термин, введенный М. Ферворном и примененный К. Лудовым для гальвано-тропизма), а рёснички анодной всегда работают нормально спереди назад "движениями сокращения" (contractorische Bewegungen по терминологии М. Ферворна и К. Лудова). Эти перемены по энергии экстензорных и электрорных, как мы назвали, движений сравнительно продолжительны и быстры; однако, протист, находящийся в любом положении, не поворачивается передним концом к катоду. Эти наблюдения над параметриями в такой густой консистенции совершенно, следовательно, сходны с наблюдениями К. Лудова. Опять нужно подчеркнуть, что протист не ориентируется и не переключается.

10. Уже изь всех этих опытов видно, что реакция рёсничек на постоянный ток в 0,8—1,0%, желатинь, наблюдавшаяся К. Лудовым и описанная им, как типичное явление, вполне соответствует лишь тем моим результатам, которые получены в очень густых слизисто-волокнистых средах у неподвижных индивидуумов, и есть не что иное, как одна изь стадий характерных реакций рёсничек на раздражение электрическим током. Инфузории, свободно плывуща к катоду при несколько неизменной форме, направляются током к полюсу при совершенно новом расположении рёсничек.

11. а. Продолжим, однако, опыты. Продолжим, какое направление принимают рёснички протистов при дальнейшем усилении тока. Опять начнем сь средах консистенции. При 0,2—0,3 МА рёснички, направленные вперёд в катодной части тьла, занимают уже половину катодной поверхности тьла; экстензорными ударами небольшой сравнительно амплитуды они как бы прижимаются к поверхности тьла. Рёснички задней анодной половины тьла работают спереди назад очень быстрыми электрорными ударами. Протист переключается вперёд еще медленно, чем раньше. При инверсии он поворачивается к новому катоду при сьмьл положении рёсничек изображенной на рис. 30-ом и направляется к катоду при расположении рёсничек рисунка (рис. 31-го, 3).

б. Концентрация среды повышена сравнительно сь предыдущим опытом. Инфузории, медленно и сь трудом переключаясь в та-

кой более густой средь, при нарастании силы тока ориентируются и стараются плыть к катоду. Расположение рёсничек соответствует только что описанному, но работа аны несколько иная. Амплитуда и энергия экстензорных движений на катоде значительней; электрические удары рёсничек задней анодной половины тла очень быстры и энергичны. Кроме этого изменения в направлении и силе ударов рёсничек, наблюдается еще новое явление; форма тла уже вскоре после замыкания тока несколько изменялась; против паз вытунто-цилиндрического стала несколько более коротким и приняла овальную конфигурацию (рис. 31, 4).

Особенно резко выражено это изменение формы у непозвизных индивидуумов в очень густой средь. При 0,3—0,45 МА тлаю их принимает ясно овальную форму; движения рёсничек, направление которых изображено на рисунке 31—4 чрезвычайно быстры; противи мало-по-малу поворачиваются передним концом к катоду. По размывании постоянного тока противи принимает прежний нормальный вид. Последний опыт вновь соответствует наблюдению К. Лудова; только такие экземпляры с рёсничками, перпендикулярно расположенными к поверхности тла, и из 0,8—1¼ расторг желатинны ориентировались передним концом к катоду у К. Лудова при 0,54 МА.

е. При 0,5 МА парамедии в очень густых средях, в которых он медленно, но плавно, без всяких усилий перемещаются в различные стороны, ориентируются и плывут к катоду еще медленней, чым при 0,4 МА; форма тла отчетливо овальна.

12. Иное расположение, амплитуда и энергия ударов рёсничек и резкое изменение конфигурации противи наступают при сильных токах в жидких средях оть 0,15—0,3 МА, в густых иногда лишь при 0,5—0,8 МА.

Область рёсничек, работающих экстензорными ударами распространяется еще более вад; визуория принимает форму груши или шара (рис. 31, 5 и 6) или, как сравнивает К. Лудов (Flaschen—Kurbisform, p. 54), форму тынковой бутылки. Противи не перемещается уже вперед; он вращается почти на мьст вокруг своей продольной оси, что особенно хорошо видно в средях средних концентраций. Большинство рёсничек ударяет теперь вперед, меньшинство лишь в области конического кончика грушевидного тла направлено назад; амплитуда и энергия ударов в тлах и других почти одинакова, преобладают экстензорные удары. Сь дальнейшим усилением тока уже рёснички ¼ передней шаровидной поверхности начинают вперед; противи как будто бы борется сь всяким-то препятствием; лишь рёснички конической части работают вад электрическими ударами небольшой амплитуды, онь скорей как бы прижимаются к поверхности тла; энергично действуют экстензорными ударами рёснички шаровидной части тла, и противи потому, вращаясь вокруг данной

оси, очень медленно задним концом перемещается к аноду. Когда противи принял форму шара сь небольшим коническим кончиком, почти все рёснички ударяют вад вперед, лишь в области кончика онь направлены назад и прижаты к нему.

Сократившийся задний анодный конец выдвигается содержащее трихоидность; при сильном раздражении и значительном изменении формы тла содержащее трихоидность освобождается (выдавливается) почти по всей поверхности тла в вид неправильных беспорядочно разбросанных паз; на поверхности тла появляются гомогенные глянцовые шары, отголзама донается и зтолзама расплывается.

У поперечно лежащих парамедии под влиянием постоянного тока наступает очень интересное изменение конфигурации: на одной боковой стороне тла появляется вогнутость, вадная сторона становится выпуклой, и противи принимает форму полумьсада. Отмьчу, что между моментам замыкания тока и началом изменения формы тла протекает очень небольшой промежуток времени, что особенно легко наблюдается у визуорий в слабых средях, где вообще изменения формы протекают медленно.

Иногда зтолзама парамедии, принявшей даже шаровидную форму, не сразу разрывается. Противи продолжает вьртяться на одном и том же почти мьсте; хотя рёснички его работают экстензорными движениями, онь все-таки не перемещается назад. Причина вращательного движения зависит, вьртито, оть иного, вь связи сь изменением формы тла, расположением спиральных линий, по которым тянутся оснований рёсничек, как это подробно описано мною у *Lacustraria olor* (26, стр. 36).

Образование конического кончика наблюдается и на переднем конце тла при замыкании сильного тока вь антидромном направлении.

Описанная картина ваднейшей расположении рёсничек и формы тла, вполне согласна сь данными Лудова, Ферворма и др., наблюдается при сильных токах независимо оть концентрации среды. Явление разрушения противи под влиянием постоянного тока подробно описаны в последние время К. Бельштейн (5).

13. Реакция рёсничек *Paramecium aurelia* и *barbaria* ничьм не отличается оть реакции *Paramecium caudatum*. Совершенно т же стадия в расположении рёсничек наблюдаются и у *мелкого парамедии* (отд. VI.) при направлении влияния постоянного тока; при довольно сильных токах иногда наблюдается превращение экстензорных ударов при сравнительно небольшом изменении формы тла.

IV.

Реакция рёсничек у *Colpidium colpoda* и *Colpoda caecalis*. — Независимо оть одностороннего воздействия рёсничек на всег диней тла *Sphaerostomum* неоготается ваднейшей Кельвн Валдеггер, не могь сразу видеть весь рёсничек у простомы и у одлинн.

1. *Colpidium colpoda* и *Colpoda caecalis* плывут передним концом.

кь катоду при слабых токах вследствие флуксориных ударов рёсничек всей почти поверхности тлаа. Орбитум скорости наблюдается при 0,05—0,1—0,2 МА, когда небольшие группы рёсничек переднего конца торчат, как щетка. Подробно описанное Р. Пераемъ (12, р. 99—107) расположение рёсничек у *Colpidium colpoda*, вполне согласное со схемой К. Дудлова, т. е. представляющее раздвигание поверхности тлаа на двѣ равных половин, изъ которыхъ въ катодной рёснички ударяютъ впередъ, а въ анодную назадъ, составляетъ лишь вторую стадию реакціи рёсничекъ на токъ, которая по моимъ наблюдениямъ наступала при 0,2—0,4 МА.

2. Какъ реагируютъ на раздраженіе токкомъ *Spirostomum ambiguum* и рёже встречающаяся *teres*, я не могъ подъумать. Даже въ густыхъ средахъ эта цезуэрия беспрестанно извивается свое огромное длинное (2—3 мм) тлао изъ стороны въ сторону вслѣдствіе могучихъ перемѣныхъ сокращеній мюнема. Для того чтобы ясно видѣть рёсничку нужно наблюдать ее при объективѣ С или D Цейсса; громадная, толстая спиростома занимаетъ при этомъ почти все поле зрѣнія; она даже не укладывается своимъ длинникомъ въ поле зрѣнія, такъ какъ постоянно исчезаетъ отсюда то передней, то задней концемъ; следовательно, одновременно и отчетливо видѣть всё ея рёснички, при необходимости для этой цѣли увеличеній, никакъ невозможно. Да и распредѣленіе ихъ по отдѣльнымъ участкамъ также недоступно наблюдению, потому что протистъ непрерывно извивается, ось длиннаго участка измѣняетъ все время свое положеніе, и рёснички, следовательно, находятся подъ перемѣннымъ вліяніемъ различнѣйшихъ направленій тока. Результатъ моихъ наблюденій надъ рёсничками *Spirostomum* поэтому я считаю неубыточными, по крайней мѣрѣ затрудняясь дѣлать на основаніи ихъ какіе либо выводы. Какойнибудь закономерности въ распредѣленіи рёсничекъ подъ вліяніемъ дѣйствія постоянного тока вслѣдствіе указанныхъ причинъ подъумать не удалось.

3. Тѣмъ не менѣе наблюденія трехъ авторовъ: Р. Перля (12), К. Кёльши и Г. Валленгрена являются болѣе составными; по крайней мѣрѣ они описали расположеніе и движеніе рёсничекъ у спиростомъ при дѣйствіи тока, признавая для нихъ схему К. Дудлова. К. Кёльшъ (5) пользовался методомъ, который я считаю негоднымъ для этихъ цѣлей и на недостатки котораго уже указалъ въ статьѣ о методахъ наблюденія рёсничекъ (20). К. Кёльшъ не видѣлъ рёснички непосредственно, а заключающъ лишь о характерѣ направленія ихъ движеній по направленіямъ движеній вѣшнихъ въ окружающей средѣ частицъ тонко растертой туши (5, р. 401); следовательно, наблюдая при сравнительно слабыхъ увеличеніяхъ. Не только постоянная смѣна направленія движенія различныя группы рёсничекъ создаетъ неправильные токи въ окружающей жидкости, но неосозданное извиваніе спиростомы, иногда даже очень незначительное, вдругъ нарушаетъ всякій порядокъ въ движеніи вѣшнихъ частицъ; въ резуль-

татъ нѣтъ никакихъ, по моему убѣжденію, основаній для воплѣй точныхъ заключеній.

Г. Валленгрень (7) написалъ о реакціи рёсничекъ у спиростомъ большую работу (pp. 516—555). Онъ экспериментировалъ надъ спиростомами въ обычной водной развѣдкѣ и непосредственно наблюдал ихъ рёснички при сравнительно сильныхъ увеличеніяхъ такъ же, какъ и раньше у Орпаліа. Онъ пользовался 3-й или 3-й линзою Лейтца; „если употребить“, пишетъ дальше Г. Валленгрень (6, р. 361), „несколько болѣе сильное увеличеніе (Leitz; Wasserimmersion, ок. 2), то можно безъ труда увидѣть, что рёснички . . . сильно ударяютъ впередъ. . . .“ Само собою разумеется, что авторъ видѣлъ при такомъ увеличеніи у *Spirostomum*, какъ и у Орпаліа, лишь рёснички небольшого сравнительно участка поверхности тлаа, такъ какъ рёснички всей поверхности тлаа протиста, при такомъ увеличеніи не могли быть доступны для одновременнаго наблюденія, а это именно обстоятельство и является важнымъ условіемъ для точныхъ заключеній¹⁾. Тѣмъ не менѣе авторъ категорически утверждаетъ, что у спиростомъ нѣтъ мѣсто то же полярное возбужденіе, какое наблюдается у остальныхъ катодно-гальванотропическихъ формъ, т. е. постоянный токъ вызываетъ возбужденіе растаженія (expansorisch erregt) катодныхъ рёсничекъ и возбужденіе сокращенія (contractorisch erregt) анодныхъ (7, р. 528).

V.

Заключеніе.—Полнѣе сходство реакціи гальванотропизма въ обычной развѣдкѣ и свѣтло-катодныхъ средахъ.—Три стадии реакціи рёсничекъ на раздраженіе токкомъ.—Неосознанность теорій Фервора и Дудлова, объясненія явленій гальванотропизма полярнымъ возбужденіемъ рёсничекъ на катодъ и возбужденіемъ сокращенія на анодъ.—Орбитумъ направляющаго вліянія тока сопровождается нормальными флуксориными ударами всѣхъ рёсничекъ.

1. При гальванотропизмѣ мы имѣемъ дѣло съ свободною переключаемости кь катоду протистами, поэтому наблюденія надъ рёсничками

¹⁾ Считаю необходимымъ напомнить, для сравненія, при какихъ увеличеніяхъ наблюдалъ рёснички Валленгрень (1) и при какихъ изучалъ малюга (2):

1) Лейтцъ—объект.	3, окулар. 2	увеличиваетъ къ . . .	70 разъ.
" "	" "	" "	" . . . 235 "
" "	" "	" "	" . . . 615 "
2) Цейссъ—объект.	В, "	" "	" . . . 145 "
" "	Д, "	" "	" . . . 420 "
" "	Р, "	" "	" . . . 1000 "

Для наблюденія рёсничекъ я обыкновенно пользовался объективомъ В или D; очень рѣдко употреблялся для исключительныхъ случаевъ объективъ F. Длина спиростомы въ вытучномъ состояніи достигаетъ 2 мм. При любезномъ содѣянніи и участіи проэктора при кафедрѣ истологій М. М. Гарднера я могъ видѣть уже при увеличеніи въ 125 разъ (окуляр, 2, аплорух. 4 Цейсса) только небольшую часть неподвижныхъ объектовъ соотвѣствующей длины. Валленгрень не могъ видѣть отчетливо и определенно рёснички всей спиростомы не только при увеличеніи въ 615 разъ, но даже—въ 235 разъ.

должны провадиться не над неподвижными объектами, но над подвижными, свободно и плавно перемещающимися в различных направлениях протистами; эта цель лучше достигается при помехе индукторий в сланцево-коллоидальной среде, в которых движения их замедлены, но свободны, при нормальных электрических ударах рясничек. В этих средах ток известной силы направляет протистов к катоду, причем, регулируя силу тока, можно заставить индукторий перемещаться с различными скоростями; максимум скорости получается при усилении тока до известного предела, после которого дальнейшее усиление замедляет уже движение и меняет форму тела. Следовательно, протисты в сланцево-коллоидальных средах дают реакцию гальванотропизма в отношении идентичную той, которая наблюдается при влиянии на них электрического тока и в обыкновенной водной разводке.

2. Многочисленными наблюдениями, изложенными в этой главе, установлено, что при минимальной силе тока, которая уже направляет индукторий к катоду, ряснички всей поверхности тела работают нормальными электрическими ударами (рис. 31—1). При максимум'е скорости несколько рясничек полушаровидной полярной оконечности переднего конца тела направлены вперед и своими колебательными движениями сильно и вправо облегчают поступательное перемещение индукторий к катоду, обусловленное энергиями, большой амплитуды электрическими ударами рясничек всей остальной поверхности тела. При такой работе рясничек наблюдается optimum направляющего влияния постоянного тока и частых индукционных ударов. Это первая стадия реакции рясничек.

3. С увеличением силы действующего тока число рясничек загнутых вперед в катодной части тела постепенно все увеличивается назад (рис. 31—3). Скорость передвижения несколько уменьшается; когда при известной силе тока ряснички почти всей передней, теперь катодной, половиной тела направлены вперед, то их экстензорные удары уменьшают экстензорную работу остальных задних рясничек и замедляют скорость поступательного передвижения протиста; в это время энергия и амплитуда электрических ударов задних анодных рясничек превращается над экстензорными ударами несколько меньшего числа передних. Форма тела почти неизменна. Вторая стадия реакции рясничек.

4. С дальнейшим усилением тока число направленных и переваливающих вперед рясничек увеличивается уже большую половину тела. Энергия и амплитуда

туда экстензорных их ударов стала значительно (рис. 31, 4—6). Поступательное движение вперед, несмотря на усиление противодействие электрических ударов задних рясничек, прекращается, и протист остается почти на одном и том же месте; заметны лишь вращательные движения вокруг длинной оси тела; последние явления сопровождаются изменением формы тела из вытянуто-цилиндрического в продолговато-овальную. При новом усилении тока область работающих сзади вперед рясничек еще дальше распространяется назад; протист принимает форму груши, задняя часть и установка ряснички заднего конического анодного конца тела движутся вдали с небольшой амплитудой ударами и тесно борются с энергичными экстензорными ударами значительного напряжения рясничек шаровидной теперь части тела. Протист перемещается теперь медленно назад, задним концом к аноду, лишь на небольшую длину, вращаясь вокруг своей продольной оси, так как более носе теперь расположено спиральных рядов рясничек, несмотря на экстензорные их удары, препятствуя движению назад. Это третья стадия реакции рясничек.

5. Направляющее влияние электрического тока на протистов вызывает прежде всего определенным характером для различной силы тока стадии возбуждения рясничек. Реакция рясничек есть первое и основное явление при гальванотропизме, общее всем рясничкам.

На основании опытов над рясничками протистов, поставленных в условия наблюдения, возможно близки к нормальным, реакцию рясничек на раздражение постоянным током или индукционными ударами можно разделить на последовательные три стадии (за тип избираем парамоний):

а. Optimum реакции гальванотропизма, т. е. при максимум скорости сопровождается энергичными электрическими ударами почти всех рясничек кроме небольшого числа рясничек переднего полушаровидного конического конца тела, которые своими колебательными движениями помогают поступательному перемещению протистов к катоду.

б. Область направленных вперед рясничек отодвигается при средних токах почти к половику поверхности тела; передняя катодная рясничка движется экстензорными движениями, уменьшающая работу экстензорных ударов задней анодной половиной поверхности тела, а вместе с тем и скорость передвижения протистов. Энергия и амплитуда электрических ударов превращается пока над экстензорными.

в. Значительное большинство рясничек при действии сильных токов ударяют несчастными экстензорными ударами; форма тела резко изменяется и при-

нимается видъ гриши и затѣмъ шара, въ области конического кончика котораго только небольшая группа рѣсничекъ направлена къзади. Дальше слѣдуетъ разрывъ сильно сокращенной эктоплазмы и расплавление энтоплазмы.

6. Наблюдения К. Лудлова надъ измѣненіемъ рѣсничекъ подлѣдшіемъ постояннаго тока, описаны совершенно правильно и вполне соответствуютъ тѣмъ условіямъ постановки опытовъ, при которыхъ они произведены. Рѣснички дѣйствительно въ катодной половинѣ движутся сюда впередъ—возбужденіе растяженія (разслабленія), по терминологіи М. Ферворна, а въ анодной продолжаютъ работать спереди назадъ—возбужденіе сокращенія. Эти движенія вполне закономѣрны лишь при особыхъ условіяхъ, при наблюденіяхъ въ очень густомъ для этихъ цѣлей 0,8—1,0 % растворѣ желатинѣ. Результаты К. Лудлова, послужившіе краеугольнымъ камнемъ для теоріи гальванотропизма М. Ферворна,—суть собственно вторая стадія реакціи рѣсничекъ на постоянный токъ.

Полученные мною факты даютъ возможность не входить въ подробный критическій анализъ теоріи противоположныхъ полярныхъ возбужденій рѣсничекъ при гальванотропизмѣ М. Ферворна (З, р. 443): сами факты краснорѣчиво говорятъ противъ этой теоріи.

Optimum вліянія тока сопровождается нормальными фазековыми ударами почти всѣхъ рѣсничекъ; двигательный эффектъ рѣсничекъ направленъ на передвиженіе въ гомодирномъ направленіи; при наибольшей скорости итъ мѣста возбужденію разслабленія на катодѣ и возбужденію сокращенія на анодѣ.

ОТДѢЛЪ V.

Независимость гальванотропизма отъ механическихъ и химическихъ препятствій. Новые опыты.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Независимость гальванотропизма отъ механическихъ препятствій.

I.

Реакція гальванотропизма есть активное явленіе.

1. Фактическія данныя, приведенныя въ предыдущихъ отдѣлахъ даютъ много вѣсныхъ доказательствъ, что раздраженіе электрическимъ токомъ вызываетъ у протистовъ определенную *физиологическую реакцію*.

Поступательныя движенія инфузорій къ катоду суть результатъ прямого вліянія тока на протоплазму, гесп. рѣсничатый аппаратъ инфузорій; электрический токъ вызываетъ, какъ мы видѣли въ отдѣлѣ IV-мъ (стр. 98) прежде всего, при минимальной уже силѣ, возбужденіе рѣсничекъ, отвѣчающихъ на это раздраженіе со строгой закономѣрностью; определенное направленіе и энергія ударовъ различныхъ группъ рѣсничекъ, зависящія отъ силы тока, обуславливаютъ различную скорость перемѣщенія протиста. Быстрое, вслѣдъ за замыканіемъ тока, измѣненіе конфигураціи протистовъ, въ эктоплазмѣ которыхъ заложены сократительныя элементы, есть результатъ возбужденія послѣднихъ въ дѣйствиѣ раздраженій токомъ.

2. Токъ возбуждаетъ протоплазму, и протистъ моментально послѣ замыканія направляется къ катоду. Роговое направляющее вліяніе тока проявляется незамѣнно даже въ тѣхъ случаяхъ, когда въ области катода, или вообще въ жидкости камеры, будутъ условія, препятствующія инфузоріямъ собираться у катоднаго электрода. Эти условія могутъ быть даже гибельными для протистовъ, тѣмъ не менѣе послѣдніе неизбѣжнымъ образомъ стремятся собираться на катодѣ.

Условія, препятствующія передвиженію инфузорій къ катоду могутъ быть механическія и химическія. Вліяніе тѣхъ и другихъ было подмѣчено мною впервые при наблюденіи явленій гальванотропизма въ обычныхъ условіяхъ, а впоследствии уже была придумана специальная постановка опытовъ для доказательства прямого вліянія тока на протистовъ и независимости реакціи гальванотропизма отъ физическихъ и химическихъ препятствій.

II.

Механические препятствия. — Наблюдения при обычных условиях; прегарды на пути передвижения: каолиновая ствѣлка, бухта въ глиняныхъ электродахъ, шпелки дегрита, кусочки растений. — Ориентальная роль давления течений жидкости. — Токъ въ жидкости при движении циклопа: явленіе отрицательнаго реотропизма при различныхъ электродахъ; пузырьки газовъ у мотыльчичьихъ электродовъ. — Экспериментальные условия для доказательства независимости гальванотропизма отъ односторонняго давления. — Постановка опытовъ на принципъ односторонняго присасыванія.

1. Факты, наблюдаемые при обычныхъ исследованіяхъ надъ гальванотропизмомъ въ камерѣ М. Ферворна, уже убѣждаютъ въ независимости этого явленія отъ значительныхъ препятствій.

а. Парамеций, достигшия катода бруска, управляютъ своимъ переднимъ концомъ въ его внутреннюю ствѣлку, усиленно продолжаютъ работать рѣсничками; уже отталкиваясь вѣскольکو къзадѣ, снова устремляются къ ствѣлкѣ анода, стараются ее какъ будто проломить. Наблюдаемая картина даетъ впечатлѣніе, что какаѣ то сила все продолжаетъ стимулировать противъ его въ томъ же направленіи; не смотря на встрѣтившееся препятствіе движению, парамеций продолжаютъ работать въ томъ же направленіи, обнаруживая стремленіе своими щетинными усиками сбросить эту преграду и идти дальше. Получается впечатлѣніе, что, если бы не было катодной ствѣлки, являющейся заградой, парамеций были бы вѣчными странниками, перемѣщающимися подъ вліяніемъ тока въ одномъ и томъ же направленіи.

б. Эту борьбу со встрѣтившимся препятствіемъ, это стремленіе сбросить преграду еще яснѣе можно наблюдать у парамеций въ камерѣ, полюсными ствѣнками которой составляютъ двѣ полоски изъ пластической глины (такъ наз. электроды К. Лудлова, 9, табл. VII, фиг. 6). Получается очень поучительная картина. Парамеций, достигшия катодной глиняной полоски, упирается въ ее свободный внутренней край своимъ переднимъ концомъ и усиленно продолжаетъ работать рѣсничками, какъ бы стараясь протиснуться черезъ глинѣ. Своими усиками она буквально роетъ глинѣ; въ стороны летятъ малые кусочки глины и вскорѣ образуется маленькая бухта въ которой безпокойно трудится парамеций, продолжая толкать глинѣ, при вращательныхъ движеніяхъ, переднимъ концомъ тѣла. Медленно увеличивая помощью реостата до известнаго предѣловъ силу тока, можно иногда видѣть вѣкоторое увеличеніе энергии и ускореніе ритма этихъ безпокойныхъ ударовъ въ глинѣ.

в. Наталкиваясь на какое нибудь препятствіе въ самой камерѣ, по пути перемѣщенія (небольшая кучка дегрита съ зооглеями, кусочки растений и т. п.), парамеций, послѣ щетинныхъ попытокъ его сдвинуть, обходитъ его и направляется дальше къ катоду.

2. а. Интересно слѣдующее наблюденіе: въ камерѣ иногда нахо-

дится циклопъ (*Cyclops limbratus* Fischer), который своими быстрыми и стремительными передвиженіями выталкиваетъ жидкость, что создаетъ въ ней токи по всевозможнымъ направленіямъ. Послѣ замыканія тока циклопъ начинаетъ безпокойно двигаться въ камеру; тѣмъ же мѣнѣе всѣ парамеций толпой плывутъ къ катоду.

б. При наблюденіяхъ надъ гальванотропизмомъ случается иногда, что кисть или глина одного электрода чуть касается вращаемой жидкости съ инуэзоріями у каолиноваго бруска камеры М. Ферворна (10 — 20 мм. \times 15 — 30 мм.). Жидкость изъ камеры присасывается мало-помалу къ этому электроду въ силу капиллярности и часто скоплевается, хотя и чрезвычайно медленно, между каолиновымъ брускомъ камеры и вращаемымъ или глинянымъ концомъ электрода. Въ жидкости этой стороны, и въ камерѣ наблюдается теченіе по направленію къ мѣсту прикосновенія электрода (къ бруску). При помощи лупы уже можно ясно видѣть движеніе къ нему подвижныхъ мелкихъ частицъ, бактерий и вѣкоторыхъ инуэзорій, даже парамеций; инуэзоріи сопротивляются уносимому ихъ теченію, быстро плаваютъ туда и сюда; большинство изъ нихъ, въ особенности при сильномъ теченіи, борется съ давлениемъ течения. При этомъ, следовательно, у противъ наблюдаются съ поразительной иногда отчетливостью, скажемъ, *явленія отрицательнаго реотропизма*.

Въ такой моментъ замкнемъ токъ въ противоположномъ направленіи относительно течения жидкости, т. е. анодъ приходится на присасывающій электродъ. Сейчасъ же послѣ замыканія тока всѣ инуэзоріи стараются повернуться переднимъ концомъ къ катоду и съ изумительной энергіей борются противъ бурнаго для нихъ течения. Эта борьба съ настоятельностью продолжается до тѣхъ поръ, пока большинство изъ нихъ не преодолѣтъ сопротивленія течения и не попадутъ въ катодную область капли, гдѣ передвиженія инуэзорій къ катоду совершаются болѣе спокойно. Теченіе жидкости къ одному полюсу продолжается во все время этого опыта; мертвые взвѣшенные частицы и бактерии передвигаются къ присасывающему электроду, и жидкость по ту сторону аноднаго бруска; хотя и медленно, но постепенно, прибываетъ.

в. То же самое можно наблюдать и при пользованіи питательными электродами, описанными на стр. 13 и призываемымъ мною для болѣе тонкихъ опытовъ надъ протистами. Различная степень влажности нитокъ того и другою электрода является причиной присасыванія жидкости къ данному электроду. Въ капляхъ получаются теченія, противъ давления которыхъ энергично борются инуэзоріи, находящіяся подъ вліяніемъ направленія тока, противоположнаго теченію.

4. Причиной течения, гальванотропизма, односторонняго давления въ испульзуемой жидкости съ инуэзоріями, кромѣ капиллярности электродовъ, могутъ быть пузырьки газовъ, выделяющихся на томъ и другомъ металлическомъ электродѣ.

Для получения явления гальванотропизма у морских инфузорий (отдѣлъ VI) нужна довольно значительная сила тока, которая при металлическихъ электродѣхъ вызываетъ явления электролиза—выдѣляетъ на платиновыхъ или сталивыхъ электродахъ пузырьки газовъ. (Еще одинъ мотивъ, почему для изсѣдованій гальванотропизма необходимо всегда пользоваться преимущественно неполяризующимися электродами). Обычно и быстро выдѣляющиеся на катодномъ электродѣ пузырьки водорода производятъ въ камерѣ цѣлые водовороты и бурные течения въ различныхъ направленияхъ (рис. 32).



Рис. 32. Независимость реакціи гальванотропизма морскихъ парамеций отъ теченій въ камерѣ при выдѣленіи пузырьковъ газа на металлическихъ электродахъ—*a* и *a*₁ (изображены лишь на катодномъ электродѣ).

зори, направляемая токомъ, энергично борется съ течениями и пробирается къ катоду, упираясь иногда въ стѣнку изъ мельчайшихъ пузырьковъ газа, расположенныхъ почти параллельно концу электрода.

Вотъ факты, попутно наблюдаемые при опытахъ и показывающіе независимость реакціи гальванотропизма отъ направленія давленія въ жидкости, г.е. отъ перемѣщеній жидкости въ ту или другую сторону.

3. а. Экспериментально эта самостоятельность дѣйствія тока на протистовъ и независимость отъ перемѣщенія жидкости къ аноду или

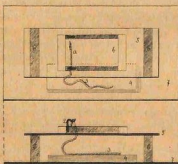


Рис. 33. Камера для доказательства независимости гальванотропизма отъ односторонняго давленія въ жидкости, противоположнаго направленному вліянію тока. Описана въ текстѣ.

къ катоду можетъ быть доказана слѣдующимъ простымъ опытомъ. Расположеніе его изображено на рис. 33. Приготовивъ обычнымъ образомъ камеру М. Фервора (18 мм. × 26 мм.) и наполнивъ ее нѣсколькими каплями настоа съ инфузориями и прикладываемъ къ квадратнымъ брускамъ неполяризующіеся электроды. Вдоль внутренней стѣнки положительнаго полюса протягиваемъ сухую толстую бумажную нитку—1, скрученную вдвое и погружаемъ ее въ жидкость; выходящую часть ее перебарываемъ черезъ маленькій крючекъ—2, чтобы нитка не касалась полосокъ изъ янтридина или слѣдова воска съ каинфолью, замыкающихъ вмѣстѣ съ квадратными брусками полюсы камеры. Свободные длинные концы нитокъ—3—набрасываемъ на нѣсколько рядовъ фильтровальнаго бумажнаго, вертикальнаго полюса—4. Полоски фильтровальнаго бумажнаго лежатъ на стеклѣ—5, на 20 мм. ниже

предметнаго стекла—5, помѣщеннаго на суберитовыхъ столбикахъ—6. Нитка въ силу капиллярности въ этомъ приборѣ присасывается жидкости, фильтровальная бумага помогаетъ этому. Присасывающее дѣйствіе нитки сказывается въ незамѣтномъ движеніи жидкости къ мѣсту *a*. Величина этого односторонняго давленія, г.е. скорости течения жидкости, находится, конечно, въ прямой зависимости отъ толщины нитки или отъ числа рядовъ нитокъ; поэтому лучше всего, что обыкновенно и дѣлалъ я, протянуть еще другую нитку, скрученную вдвое, опять у того же аноднаго бруска, но въ противоположномъ направленіи, т. е. свободный конецъ ее перебарываемъ черезъ другой крючекъ, прирѣванный къ концу другой полоски изъ янтридина (стр. 104). Присасывающее дѣйствіе нитокъ должно быть выражено незначительно, но ясно.

Ожидаемъ момента, когда жидкость покажется на фильтровальной бумагѣ; небольшое увеличеніе (лупа, Гартнакъ 2) обнаруживаетъ передвиженіе взвѣшенныхъ частицъ (ликоподія, крахмала) къ аноду и безпорядочное движеніе инфузурій (парамеций) въ этой половинѣ камеры. Замыкаемъ токъ, анодъ приходитъ тамъ, гдѣ присасываютъ нитки. Несмотря на теченіе жидкости по направленію къ аноду, въ силу присасывающаго дѣйствія нитокъ, всѣ парамеции, преодолевая сопротивленіе этого, сравнительно небольшого давленія, устремляются въ противоположномъ направленіи своимъ переднимъ концомъ къ катоду и собираются здѣсь.

б. Еще проще можно сдѣлать тотъ же опытъ съ тѣми же результатами, если одну или двѣ узкихъ полоски фильтровальнаго бумажнаго набросить на длину какого нибудь салазки, съ котораго свободный конецъ бумажнаго свѣшивается бы черезъ квадратный брусокъ въ жидкость камеры съ инфузориями. Сейчас же замыкаемъ токъ, анодъ котораго приходится на салазокъ съ полоской фильтровальнаго бумажнаго. Присасывающее вліаніе теперь выражено сильнѣе, чѣмъ въ предыдущемъ опытѣ. Парамеции, борясь съ теченіемъ, вслѣдствіе непосредственнаго возбудяющаго вліанія тока устремляются и плывутъ въ направленіи противоположномъ давленію, т. е. теченію жидкости, и собираются вскорѣ у катоднаго бруска.

III.

Нарушеніе условій тренія въ случаѣ односторонняго давленія доказываетъ независимость гальванотропизма отъ катодизма.—Вещность опыта. Вирукова надъ измѣряемъ электродвижущей силы въ жидкости съ живыми парамециями; работа рѣшечекъ нарушаетъ регулярность въ силѣ тренія.

1. Напомнимъ, что ниткообразное объясненіе явленій гальванотропизма въ томъ видѣ, какъ его признаетъ Б. Вируковъ (13), состоитъ въ томъ, что при пропусканіи тока въ жидкости и на границѣ живыхъ частицъ и инфузурій развивается электродвижущія силы. По аналогіи явленій, совмѣстительность которой я уже ви-

двигались раньше (стр. 59—69), Б. Вируков и для перемещения инеузурий къ полюсамъ признаетъ законы, найденные Фаншамъ (Цэдальперъ и др.) для жидкостей съ мертвыми вѣшными частями при одностороннемъ давленіи или при пропусканіи тока чрезъ трубку съ капиллярнымъ пространствомъ. «Если величина электродвижущей силы, развивающейся въ жидкости, будетъ меньше силы, переносимой жидкостью по направлению пропускаемаго тока, равнымъ образомъ, если величина электродвижущей силы, развивающейся на границѣ вѣшнныхъ частичекъ и этой жидкости, будетъ и меньше силы, направляющей жидкость къ одному изъ полюсовъ,—то жидкость будетъ двигаться по направлению тока, а частички вѣшного въ ней вещества будутъ двигаться въ ту же сторону, въ которую движется эта жидкость» (по Вирукову, р. 33—34).

2. Можно, пожалуй, допустить, что и въ жидкости съ свободной поверхностью, какъ равно и на границѣ плавающихъ въ ней противъ, также развиваются электродвигательныя силы. Если разнота электродвигательныхъ силъ, развивающихся а) въ жидкости и б) на границѣ плавающихъ инеузурій, обуславливаетъ перемѣщеніе ихъ къ катоду, то при моихъ опытахъ величины и знака этихъ электродвижущихъ силъ должны бы были значительно нарушиться, такъ какъ условіе односторонняго притягиванія въ противоположномъ направленіи создаетъ новый моментъ, нарушающій тренія жидкости и измѣняющій силу тренія на границѣ ея съ противомъ, а, следовательно, измѣняющій и электродвижущую силу.

Однако, я считаю лишнимъ и безцѣльнымъ входить въ дальнѣйшія въ этомъ отношеніи разсужденія, такъ какъ при изслѣдованіяхъ гальванотропизма мы имѣемъ дѣло не съ мертвыми, неподвижными, инертными частями, а съ живыми, свободно перемѣщающимися объектами, произвольно работающими различными группами своихъ рѣсничекъ и плавающими въ жидкости въ самыхъ разнообразныхъ направленіяхъ. Поэтому опыты Б. Вирукова надъ сравнительнымъ измѣреніемъ электродвигательной силы, развивающейся при одностороннемъ давленіи на жидкость безъ парамей и на жидкость съ парамеями, и полученныя изъ цѣрновыхъ данныхъ не могутъ имѣть никакого значенія (р. 62). Парамей въ этихъ условіяхъ перемѣщаются не только изъ слоя въ слой, а впередъ и назадъ, и производятъ ударами своихъ рѣсничекъ такіе водовороты въ капиллярной трубкѣ, такъ нарушаютъ условія тренія, производимаго одностороннимъ давленіемъ на жидкость въ капиллярной трубкѣ, что нельзя говорить о какой нибудь постоянной величинѣ для электродвижущей силы при этихъ условіяхъ опыта. На основаніи этого и самую постановку опытовъ можно считать не достигавшею цѣли; произвольныя движенія живыхъ парамей нарушаютъ каждый моментъ всякую регулярность въ силѣ тренія, чего не наблюдается на мертвыхъ частяхъ, остающихся неподвижными въ различныхъ слояхъ жидкости и инертно перемѣщающихся подъ вліяніемъ односторонняго давленія.

3. Поставленные мною опыты краснорѣчиво доказываютъ независимость явленія гальванотропизма отъ катодическаго вліянія тока. Если бы катодорезъ и игралъ роль въ передвиженіи парамей въ катуду (ориентировка остается всетаки необъясненной), то одностороннее давленіе, гесср. теченіе жидкости въ моихъ опытахъ или значительно умевшало бы или совершенно уничтожило бы это катодорезное вліяніе тока (вовыя условія тренія). Между тѣмъ какъ, не смотря на сильное движеніе жидкости къ аноду, протисты преодолеваютъ это давленіе и плывутъ къ катоду. Притчемъ явленія гальванотропизма, какъ и въ обычныхъ условіяхъ опытовъ, зависятъ отъ силы тока: при сильныхъ токахъ форма тѣла измѣняется, но протистъ ориентируется переднимъ концомъ къ катоду. Слѣдовательно, приведенные здѣсь опыты даютъ еще одно свидѣтельство противъ возможности участія катодореза въ явленіяхъ гальванотропизма (см. стр. 70).

IV.

Итакъ, явленія гальванотропизма простѣйшихъ не зависятъ ни отъ механическихъ препятствій по пути передвиженія, ни отъ односторонняго давленія, гесср. противоположнаго теченія жидкости; электрическій токъ производитъ непосредственное возбужденіе протиста, заставляющее его преодолевать всѣ физическія препятствія, встречаемыя на пути передвиженія (къ катоду).

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Независимости гальванотропизма отъ химическихъ препятствій. Факты, опровергающіе теорію Леба и Воджотта.

I.

Наблюденія М. Фервора и Г. Мутона

1. Независимости дѣйствія гальваническаго тока на противомъ отъ совместнаго дѣйствія какого либо химическаго раздражителя не была еще подвергнута прямой экспериментальной разработкѣ. Только у двухъ авторовъ М. Фервора (36) и Г. Мутона (37)—мы находимъ икотворныя наблюденія, относящіяся къ этому вопросу.

Такъ у М. Фервора, въ его Protisten Studien (36, р. 129), описано наблюденіе, показывающее, что гальваническій токъ, самъ по себѣ безропный для протистовъ, съ «жесткой необходимостью» пруждаетъ противомъ плыть въ опредѣленномъ направленіи, сплывши на вѣрную гибель, гдѣ ни одинъ изъ нихъ не избѣгаетъ печальной участи. Если въ каплю воды погрузить мѣдные электроды, то послѣ

продолжительного прохождения тока на электродах скопляются кучи продуктов распада: положительная сторона, после замыкания тока, парамии избгают электродов и собираются в средней части; если жидкость равномерно смывать, все парамии в несколько секунд гибнут. Если прибавить парамии к катоду во время прохождения тока, то все парамии устремляются к одному электроду прямо в область действия адвонитых веществ и в несколько секунд погибают.

Г. Мутонъ (37, p. 1248) наблюдал, что некоторые инеузории, относясь отрицательно-хемотропно к продуктам образующимся на свинцовом катодном электродѣ, все-таки под влиянием постоянного тока собираются вблизи этого электрода, гдѣ положительное действие гальванотропизма уравнивается отрицательный хемотропизмъ; поэтому продукты электролиза не влияют на передвижение парамии к катоду, которое обуславливается прямымъ влияниемъ тока на инеузорий.

Прямое влияние тока на инеузорий Г. Мутонъ выводит изъ того опыта, при которомъ инеузории собираются в промежутке стальной полосы (рис. 34) *aBa*, а не в *aa*, гдѣ отложившиеся продукты электролиза даже убываютъ ихъ; онѣ избгаютъ этихъ мѣст и собираются тамъ, гдѣ действие тока минимальное; направленныхъ движений нѣтъ, онѣ непрямыли. При инверсии инеузорий мало-помалу идутъ къ электроду *A*, и притомъ только тѣ, которая попали в *aa*; т. е. продукты электролиза, несмотря на то, что находятся по одну и по другую сторону соединительной лини *aa*, на нихъ не влияют, и инеузории плывутъ исключительно подъ „прямымъ“ влияниемъ тока в тѣхъ мѣстахъ *aAa* конструированной Г. Мутонъ камеры, гдѣ токъ на нихъ действуетъ; в мѣстахъ *aBa* онѣ недействительны, потому что проходятъ по стальной (ср. опыты на стр. 63—66).



Рис. 34. Камера Мутонъ (37) для доказательства прямого влияния тока при гальванотропизмѣ инеузорий.

Повторяя наблюдение М. Феррера и Г. Мутонъ, я получаю аналогичные результаты.

II

Химическая преемственность.—Опыты Дженнингса, положительный отрицательный хемотропизмъ.—Новый методъ для наблюдения явлений хемотропизма.—Отношение гальванотропизма къ положительному и отрицательному хемотропизму.

1. Для точныхъ опытовъ къ наѣмченному мною направлению нужно пользоваться такими химическими веществами, которая представляли бы опредѣленные соединения и не оказывали бы, по крайней мѣрѣ

въ известной концентрации, рѣзкаго вреднаго влияния на против.

Многочисленные опыты Г. Дженнингса (17), произведенные главнымъ образомъ надъ парамиями, установили положительный хемотропизмъ у *Silata* для кислотъ и кислотъ соединений и отрицательный для щелочей и щелочныхъ соединений. Реакция хемотропизма зависитъ не отъ тонотропизма, т. е. реакци движениа вслѣдствие наѣмченна осмотического давления въ окружающей средѣ, а отъ химической природы соединений. Это заключаетъ вывести Г. Дженнингсъ (17, p. 275) на основаніи того, что изотонические растворы, т. е. растворы равныхъ осмотическихъ давлений, не вызывали одинаковый замѣтный отрицательный хемотропизмъ.

Для опытовъ съ отрицательнымъ хемотропизмомъ я пользовался 0,1—0,2% растворомъ ѣдкаго натра.

2. Опыты хемотропизма, на основаніи своихъ наблюденій, я считаю болѣе удобнымъ производить не при помощи капиллярныхъ пипетокъ, какъ принято (Г. Дженнингсъ, Г. Деаъ и др.), а при помощи пергаментной перегородки, отдѣляющей химическую среду отъ наблюдаемыхъ инеузорий.

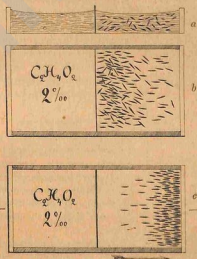


Рис. 35. Независимость гальванотропизма отъ положительнаго хемотропизма: *a* — поперечный разсѣкъ камеры; посрединѣ пергаментная перегородка, по краямъ каптолины полосы, *b* — парамии собираются въ области диффузирующей среды кислоты, с — нѣтъ влияния тока онѣ остаются въ области истройной массы плывутъ къ катоду, направо.

пергаментную перегородку въ жидкость съ инеузориями на другую половину и вызываетъ положительный (рис. 35а) или отрицательный (рис. 35а) хемотропизмъ противъ.

3. Одну половину такой камеры я наполняю разводкой, содержащей громадное число парамеций, другую раствором сёрной или уксусной кислоты; предпочтительнее сёрная кислота (ислетучка). Кислота дифундирует в разводку с инфузориями, и инфузории мало-помалу вследствие положительного хемотропизма собираются по преимуществу у стёнки пергамента (рис. 35б). При замыкании тока 0,1—0,2 МА в направлении от кислоты к разводке, т. е. обратному положительному хемотропизму, все парамеции сразу ориентируются передним концом к катоду (рис. 35а), быстро плывут к нему и собираются у катодной каюзиновой стёнки.

Считаю необходимым сюда же отнести следующий опыт Дженнигса (17, р. 270), описанный лишь без всякого отношения к доказываемому здесь положению. В середине камеры с инфузориями он опускает каплю дистиллированной воды или слабой кислоты, парамеции собираются сюда и при пропускании тока переходят лишь на катодную сторону капли, не дальше. Если же опустит каплю 0,01% сёрной кислоты, то инфузории, образуя вокруг нее кольцо, относятся отрицательно к центру; при прохождении тока, он движется только по окружности капли, с одной стороны на другую.

4. Значительно больший теоретический интерес (влияние природы раздражителей) имеют отношения гальванотропизма к отрицательному хемотропизму, ради чего собственно и была поставлена настоящая опыты.

Парамеции, как известно по опытам Г. Дженнигса, относятся отрицательно к щелочным растворам. В правую половину моей камеры с пергаментной перегородкой я помещаю разводку с парамециями, в левую раствор 0,2% йода натрия. Через некоторое время парамеции все дальше и дальше уходят от пергаментной перегородки вследствие вредного влияния равномерно диффундирующего щелочного раствора йода натрия; граница, отделяющая их от свободной части жидкости волея перегородки (рис. 36а), представля-

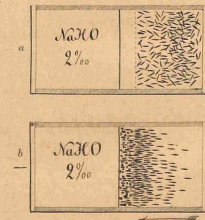


Рис. 36. Независимость гальванотропизма от отрицательного хемотропизма: а — парамеции уходят из области диффундирующей слева щелочи, движутся в обозначенную раздѣльную линию; б — стимулируются постоянным током парамеции плывут к левому катодному полюсу, переходят раздѣльную линию и попадают в сферу вредного влияния щелочи; неправильными точками обозначены тела протистов, погибших у пергаментной перегородки.

ет почти прямую линию, параллельную перегородке. Теперь замыкаем в направлении, противоположном отрицательному хемотропизму, т. е. от разводки к щелочи. Все инфузории сразу устремляются в направлении к пергаментной перегородке, доходят до прежней раздѣльной линии, останавливаются здесь на некоторое время главной массой, образуя как бы сжатые ряды; они безостановочно движутся в этом мѣстѣ в стороны, уходят даже назад, но, снова ориентируясь передним концом к катоду, опять приходят сюда, переходят раздѣльную линию и идут в раствор диффундирующей щелочи, приближаясь к самой перегородке, из которой удаляются передними концами.

5. Этот переверь раздражения электрическим током над вредным раздражением щелочи выступает еще поразительнее в следующих опытах.

Продолжаем предыдущий опыт. Инверсируем направление тока: все инфузории сразу быстрыми движениями устремляются к новому катоду, к правому каюзиновому бруску. Новая инверсия, т. е. опять ток идет от катода к щелочи; та же рамка у раздѣльной линии, которая теперь отодвинулась уже немного вправо; тот же переход через нее; то же роковое движение в раствор щелочи и приближение к самой пергаментной перегородке (рис. 36б). Здесь уже инфузории получают грушеобразную или шаровидную с кончиком сзади форму; часть их гибнет вследствие действия йодной щелочи, от вредного влияния которой они раньше уходили.

Теперь же вследствие определенной работы рывочечей, под влиянием возбуждения током, они плывут в раствор, в котором погибали.

6. Если рамка у раздѣльной линии продолжается сравнительно долго, то стоит лишь немного при помощи реостата усилить ток, как все инфузории вследствие его возбуждающего влияния в определенном смысле, преобладающего над раздражением щелочью, быстро переходят эту линию, чтобы погибнуть в щелочи.

Непродуктивная сравнительно задержка инфузорий у раздѣльной линии указывает на стремление их избежать раздражающего и вредного влияния щелочи. Но при данных условиях этого никоим образом нельзя достигнуть. Возбуждение, вызываемое током, заставляет их в концѣ концов идти по параллельным линиям тока в щелочи.

Рис. 37. Независимость гальванотропизма от отрицательного хемотропизма: а — парамеции уходят из области камеры, в которую диффундирует щелочь; б — парамеции, направляемые постоянным током к катоду, обходят круг токсического влияния щелочи.

Рис. 37: Two diagrams, labeled 'а' and 'б', showing the movement of paramecia in a chamber with a diaphragm. Diagram 'а' shows paramecia moving away from the diaphragm towards the right. Diagram 'б' shows paramecia moving from the diaphragm towards the left, bypassing a shaded area representing the influence of alkali. Labels 'NaOH' and '0,2%' are present in both diagrams.

7. В другой постановке опыта инеургии находить возможность избить вредного и губительного влияния щелочи. Опыт производится в обыкновенной камере М. Фервария, в которую вносится вытянутый конец капиллярной pipетки с 0,1% фидного натрия; pipетка удерживается неподвижно на маленьком штативе. Через 1—2 минуты около конца pipетки образуется круг свободный от инеургии (рис. 37 а). Замыкает ток; все парамии устремляются к катоду и стараются обходить круг токсического влияния щелочи и идут, как изображено на рис. 37 б, у самых боковых стенок камеры, избегая попадать в область площади круга с максимальным содержанием щелочи.

Из сравнения двух последних опытов видно, что направляемые током к катоду протисты: 1) избивают, если возможно, раздражающего и вредного влияния токсических агентов и 2) если этой возможности нет, вследствие прямого действия на них электрического тока, ровным образом направляются к самой щелочи, где и гибнут.

III.

Теория непрямого влияния тока Лёба и Боджетта—Критика других авторов.—Опровержение теории опытами, наложенными в этой главе.

1. Изложенные в этой главе опыты служат фактическим доказательством несостоятельности химической теории непрямого влияния тока на протистов Ж. Лёба и С. Боджетта (18), поэтому здесь кстати остановимся на разбор этой теории.

Основным фактом для разуждений Ж. Лёба является его опыт, совместно с С. Боджеттом, что фидки натря обуславливают такое же выделение слизи на кожу впади развитых амфиб, каковая получается при действии постоянного тока, возбуждающего секретю желез у анодного полюса.

Лёб и Боджетт допускают, что и явления гальванотропизма простейших объясняются непрямым действием тока вследствие раздражения протоплазматических образований электроположительными ионами, действующими свободными и отлагающимися из окружающей среды на внешней анодной поверхности протистов. Еще Дю-Буа Реймонь показав, что на границе неоднородных электролитов происходит выделение ионов. Если Пезюгерсовый закон есть выражение внутреннего электролиза образования (мускул, нерв) через которое проходит ток, то упомянутая отклонения от Пезюгерсовского закона происходит вследствие выделения ионов внешнего электролита, в котором находится протоплазматическое образование⁴ (р. 519). «Если гомогенное протоплазматическое образование находится в каком нибудь электролите (напр., в физиологическом растворе поваренной соли), то происходит электролиз, как во внутреннем, так и во внешнем электролите. Электроположи-

тельные ионы внешнего электролита (напр. Na), отлагаются на анодной поверхности протопласта, а электро-отрицательные (Cl) внешнего электролита таким же образом отлагаются на катодной поверхности протопласта. Выделяющиеся на анодной стороне электроположительные ионы (Na) соединяются с гидроксидом воды и образуют щелочь. Последняя остается неизменной и вследствие этого может пропитать влияние на протопласта. Выделяющиеся на катодной стороне протопласта электро-отрицательные ионы (Cl) могут (но не должны) образовать кислоту. Щелочные животных образований препятствуют вредному влиянию кислоты⁴ (р. 520).

Таким образом, раздражающей является лишь свободная щелочь, оказывающая химическое вредное влияние на анодную поверхность протиста.

Для доказательства справедливости такого допущения Лёб и Боджетт соответствующими опытами стараются установить, что 1) возбуждающее действие постоянного тока на анодной стороне идентично с действием щелочей, которые образуются здесь вследствие отложения электро-положительных ионов внешнего электролита и 2) возбуждающее действие тока всегда обнаруживается там, где анод вступает в протопласт, т. е. там, где происходит отложение электроположительных ионов внешнего электролита. Последнее доказывается, как уже сказано там, что капля 0,25% NaHO выливается на соответствующих местах кожи амфибном выделение секрета. 0,1%, раствор NaHO вызывает такое же изменение формы, такое же образование кончика на заднем кончике, такой же ресаль, какие наблюдаются при влиянии тока. На основании аналогий явлений при действии тока с результатами, полученными при действии щелочи, Лёб и Боджетт считают свое допущение доказанным, что источником раздражен являются образования внешнего электролита.

2. Аналогиче между явлениями нет никакой.

а. Прежде всего считаю необходимым отметить, что возбуждающее влияние тока проявляется уже при несколько неизменной форме, и что самое явление гальванотропизма (направляющее влияние) происходит вследствие определенного возбуждения рсансчек, характер которого зависит от силы тока. Реакция гальванотропизма есть прежде всего реакция движения, а не изменения формы тела.

б. Теория Лёба и Боджетта не объясняет механизма ориентировки протистов относительно полюсов тока и не выясняет причины ориентировки.

в. Уже М. Ферварь (3, р. 430) указав, что изменения в форме тела и образование кончика, наблюдаемая при действии тока, отличаются от изменений, наступающих под влиянием различных химических и термических раздражений. Последняя исследования Гольдбергера точно устанавливают, что щелочи вызывают реакцию нарушения в форме тела, оканчивающаяся разрушением протиста; наблюдаемая картина не напоминает явлений при действии тока.

1. Образование кончика, т. е. конического сужения, наблюдается и тогда и у переднего конца.

д. О. Карлгрень совершенно справедливо и основательно замечать, что Лёб и Боджетт допускают одностороннее влияние щелочи при прохождении тока, а опыты для доказательства этого положения производят с раствором щелочи, раздражающим поверхность тела противосто со всех сторон.

Уже все это доказывает несостоятельность теории Лёба и Боджетта.

3. Самый вопрос об отложении ионов при условиях так наз. неполяризующихся электродов ждет еще экспериментального решения характера этих явлений. Относительно образования щелочи на границе внешнего и внутреннего электролита мы пока имеем лишь одно наблюдение Г. Деля, противоречащее допущению Лёба и Боджетта. Г. Дель (15, р. 336) пытался открыть присутствие образующейся кислоты и щелочи под влиянием прохождения через электролит тока при неполяризующихся электродах. Источники электрода были погружены в U-образную трубку, наполненную 0,6% раствором поваренной соли, к которому был прибавлен еноль-стапель; ток от 12 элементов пропускался в течение 24 часов, причем не было никакого следа окраски.

4. Независимость реакции гальванотропизма при действии тока от раздражений внешними химическими веществами совершенно ясно доказывается моими опытами, помещенными в настоящей главе; они же являются фактическим доказательством несостоятельности теории Лёба и Боджетта. Несмотря на раздражающее и вредное влияние щелочи, диффундирующей в жидкость с индураторами одновременно с влиянием тока, протисты всегда направляются к катоду. Количественное содержание токсических веществ, окружающих их протоплазму со всех сторон, в данном случае неизмеримо больше, чем можно допустить при электролизе внешней жидкости (если образование щелочи на внешней анодной поверхности при этом происходит), тем не менее протисты, стимулируемые током, устремляются в токсическую среду.

IV.

Итак, явления гальванотропизма простейших не зависят от химических препятствий на пути передвижения или у полюсов; электрический ток вызывает непосредственное возбуждение протиста в определенном смысле, превалирующее и подавляющее раздражение и вредное влияние химических агентов, в роковым образом вследствие этого направляется протистов в токсическую среду, где они гибнут.

ОТДЕЛЪ VI.

Гальванотропизмъ въ искусственныхъ и естественныхъ соляныхъ растворахъ. Новые опыты надъ морскими протистами.

I.

Условия изменения химического состава среды. — Опыты Деля надъ поляризуемыми видами инфузорий. — Влияние на протистовъ различныхъ химическихъ веществъ; опыты надъ *Ranunculus*; вредное действие NaCl ; исследования Дженнингса и Гольдбергеръ. — Реакция гальванотропизма парамеций изъ NaCl по опытамъ Виррукова, Лёба и Боджетта и Петтера; истинный источникъ ошибокъ въ опытахъ Виррукова.

1. Различная стадия реакции гальванотропизма у протистовъ находится (отдѣлъ III, стр. 32 — 44) въ прямой зависимости отъ силы дѣствующаго тока. Этотъ законъ полученъ на основаніи опытовъ надъ протистами при нормальныхъ условияхъ, въ ихъ обычной средѣ. Представляетъ интересъ, какъ вліяетъ на реакцію гальванотропизма измѣненіе химическаго состава среды, въ которой производится надъ протистами исследование? Точного и опредѣленнаго отвѣта на этотъ вопросъ у авторовъ мы не находимъ.

2. Въ этомъ отношеніи Г. Дель (15) на основаніи сравненій реакцій хемотропизма и гальванотропизма признаетъ между ними въ широкомъ общемъ параллелизмъ; причемъ притяженіе (attraction) къ кислотамъ соответствуетъ притяженію къ аноду, а притяженіе къ щелочамъ таковому же къ катоду. Опыты производились въ нейтральномъ физиологическомъ раствѣ поваренной соли, надъ 5-ю видами инфузорий, паразитирующихъ въ кишечникѣ *Rana temporaria*: *Opalina ranarum*, *Nyetolerus cordiformis*, *Balanidium entozoon*, *Balanidium elongatum* и *Balanidium duodeci*. При измѣненіи реакціи среды измѣнялся и характеръ гальванотропизма; въ щелочныхъ и нейтральныхъ растворахъ инфузории были всегда анодно-гальванотропичны, а въ кислыхъ растворахъ (прибавленіе 0,15% укусон. кислоты) становились катодно-гальванотропичными. Следовательно, при измѣненіи химическаго состава электролита, измѣняется и реакція гальванотропизма протистовъ: въ кислой средѣ *Opalina ranarum*, напр., становится катодно-гальванотропичной.

3. А. Пюттеръ (16, p. 298), однако, не согласен, чтобы химический состав среды играл роль в характере реакций гальванотропических в нескольких строчках он говорит, что наблюдал в одной и той же жидкости, в поваренной соли, в одно и тоже время движение *Oralinae* галаганъ къ аноду, а *Balanidium eupozon* къ катоду; обихъ инверсий онъ наметил въ кишечникъ одной лягушки.

4. Эти данные касаются отношений паразитирующихъ видовъ къ постоянному току при условиихъ измѣненія состава электролита.

Большій интересъ представляетъ реакція гальванотропама классическаго объекта для наблюдений надъ протистами—*Paramecium*—при измѣненіи состава электролита. Не нужно забывать, что въ этихъ опытахъ создается искусственная обстановка, вводятся новые условия, нормальная для экспериментируемыхъ объектовъ, *Oralina*, *Nystoleirus* и *Balanidium* живутъ въ кишечникъ лягушекъ, и физиологическій растворъ поваренной соли является, какъ принято думать, средой, приближающейся къ обихой для нихъ. Полагаютъ, что опыты ведутся въ нормальныхъ условияхъ, когда эти протисты помещены въ 0,4—0,75% растворъ поваренной соли. Результаты Деда получены, следовательно, уже при измѣненіи этого условия, потому что онъ прибавлял къ этой средѣ вдѣи натрїи или уксусную кислоту. Нѣтъ основаній также думать, что при прохожденіи тока состояніе этихъ электролитовъ все время остается постояннымъ, при условияхъ непосредственнаго прибавленія кислоты или щелочи.

5. Раньше чѣмъ перейти къ вліанію тока на *Paramecium* въ различныхъ электролитахъ и приводить данныя авторовъ, нужно сказать два слова объ отношеніи протистовъ къ различнымъ химическимъ веществамъ, въ особенности къ хлористому натрію.

Прибавленіе NaCl, даже въ видѣ слабыхъ растворовъ, является для прѣсноводныхъ нормальныхъ средъ. Наблюденія многочисленныхъ авторовъ уже не разъ показали, что ивкторіи соли, щелочи и кислоты являются для протистовъ сильными возбудителями, вымываютъ со стороны протистовъ бурныя реакціи (Г. Дженнингъ, 17) и производятъ вліаніе нарушенія въ ихъ структурѣ. Достаточно привести справку изъ новѣйшей работы Г. Гольдбергера (31), что 0,3—1,0% растворы NaCl производятъ разстройства формы и структуры у *Paramecium caudatum*, *Colpidium colobus*, *Vorticella microstoma*, *Vorticella nebulifera*, *Euplates charon* и *Amphileptus carchensis*; протоплазма ихъ темнѣетъ и становится зернистой; въ концѣ концовъ наблюдается распадъ ея. Частый растворъ NaCl оказывается даже менѣе вреднымъ для протистовъ, чѣмъ таковой же съ CaCl₂ и KCl—Ригеревскій и Говеласевскій растворы, изъ которыхъ послѣдній употребляется для наблюдений надъ лягушечникъ сердцемъ и другими мышцами. Исследования послѣднихъ дѣтъ относительно вліанія хлористаго натрія на протоплазму показали, что іоны натрія лишаютъ протоплазму другихъ іоновъ, необходимыхъ для ея существованія, напр.

іоновъ Са. Эта химическая гипотеза имѣетъ за себя то обстоятельство, что прибавленіе извѣстныхъ катионовъ къ раствору NaCl лишаетъ его «долготая» дѣйствія на протоплазму ивкторіяхъ животныхъ (Ж. Лёбъ, 32). Изъ сказаннаго понятно, какія ненормальные условия вносятъ непосредственное прибавленіе 0,6—0,75% NaCl къ катодъ съ инверсіями, которые подвергаются опыту.

6. Послѣ этой справки о вредномъ вліаніи NaCl на протистовъ при непосредственномъ прибавленіи его растворовъ къ катодъ съ инверсіями переходимъ къ вліанію постоянного тока и частыхъ индукціонныхъ ударовъ на инверсію въ физиологическомъ растворѣ NaCl. Въ этомъ отношеніи существуетъ немного наблюдений. Опыты произведены Лёбомъ и Боджеттомъ, Бируковымъ и, наконецъ, А. Пюттеромъ.

Б. Бируковъ (13, p. 58) кроме категорическаго заявленія, выраженнаго въ изслѣданныхъ словахъ, что парамеции: «въ физиологическомъ растворѣ поваренной соли движутся не къ катоду, а къ аноду» (какъ опалива), что впервые доказалъ Лёбъ¹⁾ не говоритъ ни одного слова больше объ этомъ важномъ опытѣ.

В. Бидерманнъ (38, p. 184) въ литературной сводкѣ о гальванотропизмѣ также говоритъ, что Лёбъ и Боджеттъ наблюдали движеніе парамецій въ физиологическомъ растворѣ поваренной соли къ аноду, а не къ катоду. Авторитетное свидѣтельство Лёба заслуживаетъ серьезнаго вниманія. И действительно у него мы читаемъ: «легко можно достигнуть, что тѣ же парамеции съ той же скоростію и безъ исключенія плывутъ къ аноду и собираются здѣсь» (18, p. 532). Послушаемъ, однако, какъ описываетъ этотъ опытъ Лёбъ, работавшій совместно съ Боджеттомъ (p. 532—533):

«... ждать когда всѣ парамеции соберутся на катодѣ. Тогда опускаютъ немного физиологическаго раствора поваренной соли. Тотчасъ парамеции оставляютъ катодъ и идутъ къ аноду. Парамеции, попавшія въ верхній слой воды движутся въ этомъ случаѣ обратно къ катоду, и въ то время какъ въ нижнихъ слояхъ онѣ идутъ опредѣленно къ аноду, въ верхнихъ онѣ снова плывутъ постоянно къ катоду, такъ что наблюдатель имѣетъ предъ собой одновременно движеніе въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ». Въслѣдствіе большаго удѣльнаго вѣса раствора соли сначала падаетъ на дно, и такъ парамеции идутъ къ аноду, тогда какъ на поверхности въ обыкновенной водѣ онѣ плывутъ къ катоду²⁾. Дальше слѣдуетъ объясненіе этого явленія: «въ физиологическомъ растворѣ поваренной соли парамеции движутся не впередъ, а назадъ. Это объясняетъ, почему въ физиологическомъ растворѣ поваренной соли онѣ идутъ къ аноду¹⁾, а не къ катоду. Токъ, какъ обыкновенно, направляетъ инверсію переднимъ концомъ къ катоду. Но такъ какъ подъ вліаніемъ поваренной соли (въслѣдствіе потери воды) она движется назадъ, то и достигаютъ анода¹⁾». (18, p. 533).

1) Куренъ, мор.

В приведенных словах нет утверждения, что в NaCl парамции становятся анодно-гальванотропными, т. е. поворачиваются передним концом тела к аноду и плавают к нему ¹).

Впрочем, сам В. Вируков² относительно этих опытов, сознает, что «к сожалению область подобных опытов с замкнутой природной среды инвезурий различными жидкостями, весьма ограничена; так как каждый вид инвезурий приспособлен обыкновенно к той среде, где встречается и быстро погибает при изменении этой среды другой» (р. 58).

В опытах с хлористым литием и калием, сернокислым магнием и бромистым натрием В. Вируков не наблюдал движений парамций к катоду потому, что тотчас по прибавлении солей движения становились медленными, форма тела изменялась, и парамции распались.

Таким образом, факт движения инвезурий в другой среде (не в воде) к аноду опытами В. Вирукова не доказан. Источить ошибок его опытов, как видно из слов Лёба и Боджета, заключался в том, что прибавление NaCl к капле с парамциями направляющимся к катоду, раздражает их и вызывает некоторое время движение задним концом тела к аноду, что симулирует движение их к аноду под влиянием тока.

Такое движение не имеет ничего общего с гальванотропностью, и А. Пюттер³ (16, p. 297) совершенно основательно замечает, что существенный момент, именно положение оси тела, остается неизменным. Его опыты, описанные в нескольких словах, привели к прямо противоположным результатам. «Если оставить некоторое время животных в растворе поваренной соли, они привыкают к новой среде и снова плавают нормальным образом вперед». После этого они с прежней точностью под влиянием постоянного тока плавают к катоду, «как прежде в обыкновенной воде» (р. 297). Автор изучал гальванотропность в 3%, сернокислой магнезии, 1% хлористого бария, 1% фосфорнокислого натрия и 0,02% сернокислой изди и получал те же результаты, если выливать, пока движения животных снова примут нормальный характер.

7. Таким образом, диаметрально противоположные результаты В. Вирукова и А. Пюттера легко объясняются тем, что постановка опыта у В. Вирукова была несовершенна. Он поступал так же, как Лёб и Боджеть. Последние прибавили несколько капель раствора поваренной соли в камеру с инвезуриями и в то время, когда ток замкнули и парамции плыли к катоду. Подобная постановка опытов, согласно многим профессорам, является очень неудачной; раздражение поваренной солью вызывает бурную реакцию движений у парамций, настолько беспорядочную, что усудить за чьим индус и подмнить что индус сейчас же всегда за прибавлением

¹ Давление задним концом к аноду есть активное явление, обуславливаемое гальванотропными ударами большинства ринхетов (см. стр. 94 — 95).

раствора NaCl совершенно не мыслимо. Сейчас же наступают движения на одном и том же месте вокруг оси, или маневренная движения по окружности небольшого радиуса, или ось движущегося тела является образующей конуса. Такой метод негоден для этих целей, потому и воспользовался другим приемом уже упомянутым в предыдущей работе (26, стр. 30).

II.

Собственная гальванотропия. — Постепенное приспособление протистов к новой химической среде, как непременное условие опыта. — Незамышленная реакция гальванотропизма протистов, культивируемых в растворе NaCl.

1. К инвезуриям куб. сант. разводки с инвезуриями постепенно течение больше или меньше продолжительного времени прибавлялся раствор NaCl до получения желательной концентрации; инвезурии мало-по-малу без всякого вреда для себя привыкали к этой новой среде. Обыкновенно NaCl прибавлялся течение 10—16—24 часов, после чего инвезурии подвергались влиянию постоянного тока или частных индукционных ударов. Во всех случаях без исключения, при калиевых, платиновых и станиоловых электродах, я всегда наблюдал катодный гальванотропизм. *Paramecium caudatum, auritia, bursaria, Colpidium colpodii и Colpoda caecilia*. Сейчас же по замыкании тока инвезурии, культивируемые в 0,5—0,75% NaCl ориентируются передним концом своего тела относительно катода и устремляются к нему. Постоянство результатов не возбуждало никогда никаких сомнений.

а. Направляющее влияние тока начиналось обыкновенно при 1,2—2,0 МА (размеры камеры от $10 \times 10 \times 2$ мм. до $22 \times 16 \times 3$ мм); более слабые токи не производили никакого эффекта ни в момент замыкания, ни во время своего прохождения; движения протистов оставались нормальными, и они свободно перемещались во все стороны. Когда ток достиг определенной силы (реостат), парамции поворачиваются передним концом тела к катоду и начинают плыть к нему по силе вытянутой спиральной линии, ничем не отличающейся от нормальной. С усилением тока увеличивается до известных пределов и скорость передвижения совершенно так же, как и у парамций в пресной воде; maximum скорости выдвигается в среднем при 3,0—5,0 МА. При более сильных токах уже выдвигается некоторое замедление; при очень сильных токах конфигурация протиста изменяется, эктоплазма парамций ложится и эктоплазма расплавляется.

б. Индукционные удары (первичная катушка соединена с аккумулятором 2—4 вольт) при очень частых прерывах прерывателя Гейфа начинаются проявлять свое направляющее влияние к индус размыкательных, движущихся на протистов, ударов лавы при 12—10 сан. расстояния спиралей. Optimum влияния наступает при

—7 сан., а при 5 сан. начинается замедление поступательного передвижения, которое значительно всего при 3—2 сан. между спиралями.

Даже при полном нажатии катушек парамеций не погибают. Движения их значительно замедляются, часть их останавливается, но они всетаки устремляются к катоду. При инверсии парамеций, принявших овальную форму, поворачиваются к новому катоду и плывут к нему.

Значительные изменения вызываются лишь при аккумуляторе в 4 вольта в перичной спирали. Начало движения при 13 сан.; maximum скорости при 10—8 сан.; замедление при 7—5 сан.; 3—2 сан. значительными изменениями в конфигурации при продолжительном действии ударов; часть парамеций движется медленно задним концом к анодному полюсу, очень немногие даже поворачиваются от катода, плывут иногда по направлению к аноду, но и эти и те снова ориентируются относительно минусе размыкательных ударов и опять плывут к нему; форма тела изменяется в грушевидную и шаровидную с небольшими коническим кончиком сзади.

Таким образом, замедля естественной среды физиологическим раствором хлористого натрия не изменяет результаты влияния постоянного тока и частых индукционных ударов. Характер реакции противостоит остается тот же и различные стадии гальванотропизма находятся, как и для пресноводных противостоит, в непосредственной зависимости от силы действующего тока.

2. Несравненно большее значение для последующих выводов и дальнейших рассуждений иметь другой факт, наблюдаемый при этих опытах, на который пока нами не было обращено внимание.

Ток, проходящий через обычную пресноводную или в растворе NaCl разводку, должен достигнуть известной силы, чтобы вызвать явления гальванотропизма у инфузорий данной камеры.

Приведу из своих протоколов пример. Размеры камеры 18×15 мм., толщина слоя жидкости 2 мм.; пресноводных парамеций направляются в этой камере к катоду при 0,06—0,12 МА. Если в эту же камеру после тщательной промывки и пропитывания кадиловых стенок раствором NaCl поместить парамеций, культивированных в физиологическом растворе этой же соли, и пропустить ток прежней силы 0,06—0,12 МА., то никакого эффекта не наблюдается. При одной и той же аэотроводимельной силе густота тока проходящего через сечение раствора NaCl, вследствие лучшей проводимости этого электролита, будет, конечно, большей, чем при прохождении через жидкость обычной разводки; вводимое сопротивление жидкого резиста с сдвигаемым просветом и уменьшаем силу тока до известной величины. То же наблюдается при прохождении через камеру частых индукционных ударов. При напряжении ударов 19—17 сант. расстояния спиралей пресноводных парамеций направляются к минусе размыкательных ударов. Парамеция же, культив-

вированные в NaCl, при том же расстоянии катушек (17 см.), всетаки еще не испытывают никакого влияния тока, так как ни в чем не проявляется их реакция, хотя напряжение ударов теперь, как известно, вследствие лучшей проводимости этого электролита, больше, чем в первом случае. Чтобы получить передвижение к катоду парамеций, культивированных в NaCl, нужно сдвинуть катушки на 13—12 сант. расстояния между ними, т. е. значительно увеличить напряжение ударов, которые только теперь вызывают направляющим образом. То же нужно сдвинуть и с постоянным током; он начинает возбуждать протоплазму противостоит в определенном смысле и направлять их к катоду лишь при 1,2—2,0 МА.

Итак, при прочих равных условиях, сила тока, необходимая для возбуждения инфузорий в физиологическом растворе поваренной соли несколько превосходить силу тока, направляющую противостоит в поясам в обычных пресноводных разводках.

III.

Опыты в естественных, болотных, растворах. — Инфузория морской воды: их реакция на постоянный ток и частые индукционные удары. — Фришман направляющий влияние тока на морских парамеций проявляется при значительно большей силе, чем у пресноводных. — Реакция *Candylostoma patens*.

1. До сих пор опыты проводились над инфузориями, естественная среда которых заключалась искусственной. Как известно уже из наблюдений Коля (33) в 1854 протоплазма инфузорий при постепенном приближении солей легко приспосабливается к новым средам, и противостоит живут в них. Однако, результаты получать еще большую живность и выводы приобрести большее значение, если те же опыты будут поставлены в естественных условиях, т. е. над инфузориями, для которых соляные растворы известного состава и концентрации являются нормальной средой. Такими объектами являются морские инфузории, на которых до сих пор еще не было исследовано направляющее влияние электрического тока. Эти противостоит являются особенно ценным материалом для описываемых опытов, которые могут быть проведены над ними в нормальных для них условиях. Экспериментирова над морскими противостоит, мы имеем чистый опыт, мы совершенно свободны от введения вредных солей, влияющих химической строй протоплазмы, а вместе с тем, быть может, и характер возбуждения противостоит. Мы можем поэтому прямо считаться с полученными результатами и без всяких поправок делать непосредственные выводы. Кроме всего этого опыты над инфузориями в естественных соляных растворах могут служить контролем для опытов в искусственных средах.

Материалом для этого ряда опытов служили инвезурии Черного моря и аквариума с морской водой. С. А. Зернов, заведующий Севастопольской Биологической Станцией Имп. Акад. Наук, которому я приношу мою глубочайшую благодарность, несколько раз любезно присылал мне морскую воду с населением, водоросли из Севастопольской бухты и из аквариумов с морскими животными, находившимися на станции. Водоросли с песком и морской водой помещались в один банки, изл с морской водой в другие; вода держалась всегда на одном уровне; по временам она старательно продувалась, когда начинала несколько издавать запах. Инвезурии жили в этих сосудах в течение продолжительного времени; они погибли лишь тогда, когда, по прекращении опытов, была оставлена всякий уход за разводкой. Камерой для паслздонния служила обыкновенная каолиновая камера (от 10×10 мм. до 40×30 мм.) М. Фервора, рже употреблялись платиновые или стальные электроды. Об источниках электричества для раздражения и вообще о подробностях методики см. стр. 15—16.

Общее содержание солей в морской воде (П. Ренъяр, 34, р. 429—430) равняется $17,66\%$, из того числа хлористого натрия $14,19\%$, т. е. значительно больше, чем в предыдущих опытах с физиологическим раствором NaCl.

Действию тока были подвергнуты следующие виды морских инвезурий: *Paramecium maritimum*, *Uronema marino*, *Condylostoma patens*, *Euploes charon*, *Euploes patella* и *Uronychia trifurca*.

2. В объеме реакции гальванотропизма морских протистов мало отличается от реакции пресноводных, поэтому я ограничусь общим описанием, останавливаясь лишь на специальных частностях.

Paramecium maritimum точно так же, как и пресноводный парамеция, сейчас же после замыкания тока ориентируются своей длинной осью относительно полюсов таким образом, что передним кончиком тела поворачиваются к катоду и плавают по направлению к нему по линиям тока, которые завляют от формы электродов. Обыкновенно и пользуются параллельными электродами; в такой камере все парамеция стройной толпой передвигаются к катоду по параллельным линиям, со скоростью несколько большей, чем пресноводный. И вообще морские парамеция передвигались быстрее пресноводных, хотя по величине были немного меньше посаженых. Путь передвижения парамеций морской воды ничем не отличается от пути пресноводных и представляет вытянутую спиральную линию. Скорость движения очень немного увеличивается с увеличением до известных предельных сил тока.

а. В камере 40×25 мм. с каолиновыми стянками ток $1,5—2,0$ МА, начинает проявлять пока слабое направляющее влияние; парамеция постепенно собираются у катода. При инверсии тока анагард достигает противоположного катода только через 2 минуты;

через 4 минуты часть у катода, большинство в катодной половине и только через 7 минут большинство пришло к катодному каолиновому бруску. Боле слабые токи от $0,2—0,6$ даже $1,0$ МА ни на распределение инвезурий по камп, ни на их движение не оказывают никакого влияния даже в том случае, если ток замкнут в течение 15 минут. Направляющее влияние тока начинается приблизительно с $2,0$ МА, и асие всего проявляется при $4,0—6,5$ МА, когда наблюдается максимум скорости для парамеций. Если в камп одновременно находятся и другие инвезурии, напр. громадная *Condylostoma* и мелкая *Uronema*, то сейчас же по замыкании тока $6,5$ МА первыми собираются и ведут к новому катоду парамеций и через 2—3 минуты большинство их уже в катодной половине, а часть у каолиновой стянки; *Condylostoma patens* достигают катода при более медленных движениях только через 7—10 минут, когда они все так собираются и плавают в этой области, как и *Euploes*. Некоторое замедление движения начинается при $10,0—12,0$ МА, становится значительно выраженным при $15,0—17,0$ МА, когда парамеция продолжают вставать камп, хотя и очень медленно, по спирали с большим числом оборотов и крутыми подъемами при сравнительно мало измененной форме тела. При $17,0—22,0$ МА поступательные движения вперед прекращаются, против принимается овалную или грушевидную форму тела с постепенно спускающейся кзади конической частью и впадет задним кончком к аноду. Только при $25,0—30,0—40,0$ МА тело парамеций принимает шаровидную форму с небольшим коническим кончиком и вскорь распадается при описанных выше (стр. 74) явлениях.

б. Совершенно так же явления и та же постепенность наблюдается при раздражении частыми индукционными ударами; первичная спираль соединена с аккумулятором 2 вольт. Морские парамеция начинают направляться при платиновых электродах (15 мм. расстояния) к минусу размыкательных ударах при $13—12$ сан. расстояния спираль; оршум действия ударов наблюдаются при $12—10$ сан. При 7 сан. инвезурии плавают у катодного полюса, борются с выталкивающимися здесь пузырьками газа, уходят в жети свободной от пузырьков, но вскорь снова возвращаются, чтобы протиснуться к выходу (стр. 104). Даже при полном надвигании кутухе и очень частых переменах ($20—40$ в 1') тело парамеций, изменившее несколько свою конфигурацию, все-таки не распадается. После размыкания тока и прекращения влияния ударов такого сильного направления парамеций вскорь принимают свой нормальный вид.

3. а. В подобных же условиях (та же камера, те же электроды, та же степень выполнения ее разводкой, тот же индукционный сваяный аппарат, первичная спираль которого соединена с аккумулятором 2 вольт) пресноводные парамеция направляются к минусу размыкательных ударов при $17—16$ сан. расстояния спиралей, а направ-

жение ударов при 12—10 сан. убивает их; тогда как при этом же расстоянии спираль удары большого напряжения только направляют морских протистов из зипуусу размыкательных ударов.

6. На прѣсноводных парамеций, помещенных в камеру 22×17 мм., постоянный ток обнаруживает орбитум своего направляющего влѣнія, какъ видно изъ одного протокола, при 0,4 МА; при токѣ 2,0—3,0 МА возбуждаются элементы кортикальной плазмы, актоплазма лопается и энтоплазма распадается, — протисты гибнут. Парамеций, культивируемая в морской водѣ (2 части морской воды на 1 часть прѣсноводной разводки), maximum скорости передвижения развивали лишь подъ влѣніемъ тока въ 3,5—4,0 МА.

Можно было бы думать, что токъ въ 4,0 МА, в морской водѣ при данныхъ условіяхъ опыта, — камера, электроды и электрообудительная сила, — вполне соответствуетъ 0,4 МА прѣсной воды; другими словами, что гальванометръ показываетъ въ первомъ случаѣ, какъ и слѣдовало ожидать, значительно бoльшую густоту тока, потому что первый электродитъ, превосходящій второй значительнымъ содержаниемъ солей, является лучшимъ проводникомъ. Контрольное наблюдение, однако, показываетъ, что, при прочихъ равныхъ условіяхъ, (при одной и той же, конечно, электровозбудительной силѣ и при одной и той же температурѣ) густота тока, проходящаго чрезъ камеру съ прѣсноводной разводкой, равняется 0,4 МА, при которыхъ наблюдается maximum скорости у прѣсноводныхъ парамеций; если теперь, послѣ необходимыхъ предосторожностей и тщательной промывки камеры въ морской водѣ, наполнить камеру этой водой, то миллиперометръ отклоняется до 0,9 МА, которые только что начинаютъ направлять морскихъ парамеций къ катоду; такая величина нарастанія густоты тока есть результатъ лучшей проводимости тока вследствие болѣе значительнаго содержания солей. Токъ такой силы, однако, еще мало возбуждаетъ протистовъ; они не идутъ стройной толпой; лишь въ некоторые принимаютъ гомодромное положение, плывутъ къ катоду, но возвращаются назадъ и опять свободно перемѣщаются въ камерѣ; нужно въ сколько усилить токъ, чтобы все протисты усерднѣли къ катоду; орбитумъ влѣнія тока, характеризующееся maximum'омъ скорости, какъ уже сказано, наблюдается только при 3,5—4,5 МА. Кромѣ того, раздраженіе индукціонными ударами уже рѣшаетъ эти сомнѣнія и безъ подобныхъ контрольныхъ опытовъ. Прѣсноводная парамеция возбуждается напряженіемъ индукціонныхъ ударовъ при 17—16 сан. расстоянія спиралей, которое несколько не влѣяетъ на морскихъ инеузурій, хотя въ послѣднемъ случаѣ напряженіе, вследствие лучшей проводимости электродитъ, несколько больше.

Вообще, параллельное нарастаніе густоты тока, соответствующее прибавкѣ солей электродитъ въ навѣстномъ водичествѣ, еще не является достаточнымъ для того, чтобы вызвать реакцію протистовъ въ этомъ новомъ электродитѣ. Нужно еще несколько увеличить, какъ

видно изъ только что изложенныхъ опытовъ, силу тока, чтобы онъ сталъ дѣйствующимъ на протистовъ. Въ этомъ отношеніи послѣдніе опыты находятся въ полномъ согласіи съ результатами параллельныхъ опытовъ, произведенныхъ надъ парамециями одной и той же разводки, изъ которой часть протистовъ вѣчене набѣганнаго времени приспособилась къ соляному раствору, къ 0,4—0,75% NaCl.

4. Паслѣдованіе надъ влѣніемъ постоянного тока и частыхъ индукціонныхъ ударовъ на другихъ протистовъ приводитъ къ тѣмъ же результатамъ, подтверждающимъ выводъ, сдѣланный относительно парамеций, и дающъ возможность обобщить его и для другихъ морскихъ протистовъ.

Громадная подвижная *Condylostoma patens* свободно и довольно быстро перемѣщается въ камерѣ. При замыканіи тока 2,0 МА движенія этихъ инеузурій, какъ будто, уходящія замедляются. *Condylostoma* плыветъ, отставая вѣскользь отъ входной впередъ парамеции, перемѣщается къ катоду при несколько не сокращенномъ тѣдѣ. При 15,0—17,0 МА движенія ихъ значительно замедляются, тѣдѣ сокращается, принимаятъ овальную форму и энтоплазма его темнѣетъ. При размыканіи тока тѣдѣ снова удлинняется и энтоплазма дѣлается болѣе прозрачной. Обѣ отношенія этого вида инеузурій къ частымъ индукціоннымъ ударамъ не могутъ сказать ничего опредѣленнаго.

Uronema marina уже при 0,6—0,7 МА начинаютъ перемѣщаться къ катоду.

Вообще характеръ наблюдавшихся явленій тотъ же, поэтому я остановился лишь на подробномъ описаніи опытовъ надъ наиболее удобными объектами—парамециями; кромѣ того, это въ является чрезвычайно удобнымъ для сравненія результатовъ, полученныхъ при различныхъ условіяхъ опыта, такъ какъ встрѣчается, какъ въ морской, такъ и въ прѣсной водѣ.

5. Реакція рѣсничекъ, подробно изученная мною, главнымъ образомъ, надъ морскими парамециями, ничѣмъ не отличается отъ реакціи прѣсноводныхъ инеузурій. Морскія парамеции для этой цѣли помѣщались въ сланиетна среды. Характеръ расположенія рѣсничекъ, гесп. различныя стадіи ихъ реакціи зависятъ отъ силы направляющаго тока; орбитумъ реакціи гальванотропизма получается при элевсорныхъ ударахъ рѣсничекъ почти всей поверхности тѣла, лишь небольшое число рѣсничекъ передняго конца парамеций направлены впередъ.

6. Итакъ, изъ всего изложеннаго слѣдуетъ, что морскіе протисты, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, реагируютъ на токъ болѣе сильнѣ, чѣмъ прѣсноводные протисты (парамеции).

Реакція гальванотропизма морскихъ парамеций по характеру своего проявленія ничѣмъ не отличается отъ таковой же прѣсноводныхъ и подчиняется тѣмъ же законамъ въ зависимости отъ силъ тока. Разъ

личия стадий реакции обусловлены работой ртисичек, направление и энергия ударов которых представляют те же отношения к силе действующего тока, как и мною найдены для прѣсноводныхъ протистовъ.

IV.

Понижение возбудимости живой протозоамъ въ соляныхъ растворахъ.—
Зависимость степени реакции отъ концентрации солевой среды.

1. Для возбужденія морскихъ протистовъ электрическимъ токомъ нужна большая величина этого раздражителя, чѣмъ для возбужденія прѣсноводныхъ (сравни также опыта съ отдѣльнымъ индукционнымъ размыкательнымъ ударомъ, 26 p. 31), другими словами протисты морской воды обладаютъ нѣсколько пониженной возбудимостью по отношению къ электрическому току сравнительно съ прѣсноводными протистами. Тодественное понижение возбудимости наблюдается и у парамеций, приспособившихся къ физиологическому раствору хлористаго натрія.

2. Это понижение возбудимости протистовъ въ соляныхъ растворахъ имѣть чрезвычайно важное значеніе для выясненія сущности и характера процессовъ возбужденія живыхъ элементарныхъ организмовъ при раздраженіи электрическимъ токомъ, поэтому я приведу еще двѣ серии опытовъ, доказывающихъ еще разъ несомнѣнность этого вывода изъ изложенныхъ уже опытовъ.

а. Къ нѣсколькимъ куб. см. морской воды съ громаднымъ количествомъ инеузорій (главнымъ образомъ, парамеций) постепенно, въ теченіе 1—2—3 сутокъ, прибавлялся дистиллированная вода и такимъ образомъ мало по малу уменьшалась концентрація соляного раствора. На 1 объемъ разводки прибавлялось 3—5—10 и 100 объемовъ дистиллированной воды. Къ этой ловой средѣ парамеция отлично приспособлялась. Для получения реакцій гальванотроизма нужна была во всѣхъ этихъ случаяхъ послѣдовательно уменьшавшаяся сила тока, меньшая, чѣмъ для возбужденія инеузорій морской воды обчной концентрации, т. е. съ уменьшеніемъ концентрации соляного раствора характеръ возбужденія протистовъ при раздраженіи электрическимъ токомъ остается тотъ же, но степень возбудимости повышается. Сила тока вынуждающая въ болѣе концентрированномъ растворѣ лишь опредѣленную реакцію со стороны ртисичекъ, съ пониженіемъ концентраціи солей уже возбуждаетъ сопратительные элементы, чѣмъ обусловливается измѣненіе формы тѣла протиста.

б. Вторая серия опытовъ, противоположная по смыслу только что описаннымъ, производится надъ инеузориями прѣсвой воды. Эти опыты были проведены надъ *Paramecium aurelia* и *caudatum*, *Stylo-nychia nitidus* и *Euplozes eharon*. Къ прѣсноводной разводкѣ, содержащей громадное количество протистовъ, описанныхъ уже образцовъ

втеченіе 1—3—7 дней прибавлялась морская вода въ различныхъ количествахъ; максимумъ прибавленія рассчитывалось такимъ образомъ, чтобы количество солей въ новой средѣ равнялось такому же въ морской водѣ; создавались слѣдовательно, искусственно условия, въ которыхъ находится инеузорія въ морской водѣ¹⁾. Надъ такими разводами съ различными, увеличивавшимся содержаніемъ морскихъ солей былъ сдѣланъ рядъ опытовъ и оказалось, что возбудимость протистовъ для тока одной и той же силы послѣдовательно уменьшалась. Тогда какъ въ разводахъ меньшихъ концентрацій протисты на данную силу тока отвѣчали вышей, болѣе выраженной, стадіей реакціи; въ соляныхъ растворахъ болѣе высокихъ концентрацій при тѣхъ же условіяхъ они давали меньшую, менѣе выраженную, стадію реакціи. Другими словами, съ повышеніемъ содержанія солей въ разводкѣ характеръ возбужденія протистовъ при раздраженіи электрическимъ токомъ остается тотъ же, но степень возбудимости понижается.

V.

Выводы.

Новые опыты, изложенные въ настоящей главѣ, надъ инеузориями въ искусственныхъ и естественныхъ соляныхъ растворахъ приводятъ къ слѣдующимъ выводамъ:

1. Характеръ реакцій свободно живущихъ инеузорій на раздраженіи электрическимъ токомъ нисколько не зависитъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, отъ той среды, въ которой онѣ находятся и подчиняется законамъ возбужденія, найденнымъ для прѣсноводныхъ инеузорій. Прѣсноводные парамеция даютъ совершенно одинаковыя стадіи реакцій и въ прѣсвой водѣ, и въ растворѣ хлористаго натрія, и въ морской водѣ.

2. Реакція морскихъ инеузорій ничѣмъ не отличается отъ реакцій прѣсноводныхъ того же вида и ничуть не измѣняется, если къ морской водѣ постепенно прибавляется дистиллированная вода, т. е. концентрація солей электролита понижается.

3. Протисты морской воды, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, реагируютъ на раздраженіе электрическимъ токомъ болѣе сильн, чѣмъ прѣсноводные того же вида (парамеция).

4. Степень возбудимости протистовъ понижается съ увеличеніемъ концентрации солей въ электролитѣ.

¹⁾ Замѣчу кстати, что при этихъ условіяхъ наблюдалось размноженіе *Euplozes eharon* въ громадномъ количествѣ.

ть, и наоборот, съ пониженіемъ концентраціи солей степень возбудимости повышается; характеръ возбужденія остается тотъ же.

5. Непременнымъ условіемъ для получения положительныхъ результатовъ при опытахъ въ искусственныхъ соляныхъ растворахъ является постепенное приспособленіе протистовъ къ этимъ средамъ втеченіе болѣе или менѣе продолжительнаго времени.

Изложенные въ этой главѣ опыты рождаютъ вопросы: 1) почему возбудимость протистовъ въ соляныхъ растворахъ при раздраженіи электрическимъ токомъ меньше возбудимости прѣсноводныхъ одного и того же вида и 2) почему вообще возбудимость, при прочихъ равныхъ условіяхъ, понижается съ увеличеніемъ концентраціи солей электролита, и наоборотъ? Эти вопросы имѣютъ важное значеніе для выясненія вообще причины возбужденія при раздраженіи живого существа вообще причина возбужденія при раздраженіи живого существа электрическимъ токомъ; къ рѣшенію его, представляющемуся мнѣ въ настоящее время, на основаніи полученныхъ фактическихъ данныхъ я возвращаюсь въ последующемъ изложеніи (см. Заключение).

ОТДѢЛЪ VII.

Измѣненіе химическихъ процессовъ въ протоплазмѣ протистовъ при гальванотропизмѣ. Новые опыты.

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

I.

Условія электролиза въ жидкости, содержащей протистовъ; внутренней электролитъ, возможность нарушенія молекулярнаго строенія протоплазмы протистовъ при возбужденіи.

1. Направляющее вліяніе постоянного тока и частыхъ индукционныхъ ударовъ на протистовъ обуславливается, какъ подробно изложено въ отдѣлѣ IV-омъ, опредѣленнымъ возбужденіемъ рѣсничекъ и сократительныхъ элементовъ эктоплазмы (стр. 98 и стр. 42). Эктоплазма живыхъ протистовъ, въ которой и имѣютъ мѣсто процессы обміна, процессы ассимиляціи и диссимиляціи веществъ, накопленія и освобожденія энергій, не можетъ оставаться индифферентной при прохожденіи тока чрезъ жидкость въ камерѣ.

При прохожденіи тока въ камерѣ, содержащей жидкость съ инфузориями, разводка представляется вѣншиимъ электролитомъ, а находящіяся въ ней протисты являются внутреннимъ, также разбавленнымъ электролитомъ. Токъ, проходящій чрезъ электролитъ, производитъ въ окрестности явленія электролиза; нужно поэтому признать, что овъ можетъ произвести измѣненія не только во вѣншиемъ электролитѣ камеры, — въ разводкѣ, не только на границѣ внутреннихъ — протистовъ — и вѣншиаго электролита, но и въ самихъ внутреннихъ электролитахъ, т. е. въ протоплазмѣ живыхъ протистовъ.

Съ этой точки зрѣнія для выясненія сущности процессовъ возбужденія живого вещества, вызванныхъ раздраженіемъ электрическимъ токомъ, имѣетъ громадное значеніе вопросъ, сопровождаются ли процессы возбужденія живого протиста химическими измѣненіями въ его протоплазмѣ и въ чемъ именно заключаются эти измѣненія?

А priori можно предполагать, что алектрической токъ, вызывающій у протистовъ опредѣленные реакціи возбужденія, производитъ колебанія молекулярнаго строенія протоплазмы и эти нарушенія могутъ

служит причиной возбуждения протистов; ток, проходящий через тло протистов, может вызывать в его эндоплазм какие то, незначительные хотя бы, изменения в строении ионов; нарушения химического равновесия в эндоплазм, вызванные током, могут являться источником возбуждения.

Для решения поставленного вопроса должны быть, конечно, найдены фактические данные, с несомненно доказывающей наличием нарушения химического равновесия в протоплазме протистов при раздражении электрическим током. Позволяющий или отрицательный ответ на этот вопрос, полученный на основании специальных опытов при внесении гальванотроном, будет иметь вместе с тем и более значение для физиологии протистов возбуждения при раздражении живого вещества электрическим током.

II.

Методика опытов.—Надифференциал для протеста индикатор химический изменения в его протоплазме: метод прижизненной окраски; инвертирует.—Объекты исследований.—Первые неудачные опыты.—Метод прижизненной окраски протистов, движки которых равномерно замедлены в слитно-коллоидальных средах.—Значение различных отбросов окраски образованной эндоплазм; определяемая степень интенсивности окраски.—Камеры и электроды.—Основные условия успешности исследований.

1. Уже с 1898 года я был занят исследованием метода, который давал бы возможность подыти, сопровождаются ли процессы возбуждения протистов при направлением действия постоянного тока или частых индукционных ударов химическими изменениями в их протоплазме? Это было ближайшей задачей, за решение которой я принялся.

Химически изменения в протоплазме протистов непосредственно в микроскоп наблюдать нельзя. Поэтому сущность метода состояла в том, чтобы ввести в протоплазму такое вещество, которое, будучи надифференциальным и безразличным для протистов, служило бы показателем происшедших в тле протиста химических изменений. Для этой цели чрезвычайно пригодными являются красящие вещества, употребляемые для так называемой прижизненной окраски живых объектов.

2. Независимую услугу оказывает нейтральрот (Neutralrot)—краска, открытая Виттом и введенная Эрлихом в микроскопическую методику; Провачек (39) изучил отношения в ней протоплазма живых протистов. Нейтральный раствор этой краски имеет оранжево-красный цвет, который от прибавления щелочи принимает желтоватый оттенок и переходит затем в желтый цвет; в кислом растворе эта краска окрашивается в розовато-фиолетовый, в фиолетово-розовый или, наконец, в насыщенно-фио-

летовый цвет в зависимости от меньшего или большего содержания кислоты или кислых соединений. Нескольких капель самого слабого раствора этой краски (0,05—0,1%) вполне достаточно, чтобы 2—5 к. с. разведки в пробирке окрасилась течение нескольких минут. Общий тон окраски обыкновенно получается фиолетовый или фиолетово-розовый; все пищевые (пищеварительные) вакуоли окрашиваются в фиолетовый цвет, что указывает, следовательно, на их кислую реакцию; мелкие включения и различные зернышки красятся в фиолетовый и фиолетово-розовый цвет; лишь некоторые мельчайшие жерты частицы принимают нейтральный красноватый или розоватый оттенок; пульсирующая вакуоля у парамеции иногда показывает щелочную реакцию.

3. Объектами опытов были: *Paramecium caudatum* и *aurelia*, *Stylonychia mytilus*, *Euglenes charou* и *Spirastromum amblygum*.

4. Приступая к изучению влияния тока на таких прижизненно окрашенных протистов, я надеялся увидеть изменения в характере и степени окраски зернышек, включений и вакуолей, resp. в эндоплазме протистов. Мои первые опыты далеко не оправдали моих надежд и оканчивались полнейшей неудачей. Никаких изменений в окраске эндоплазмы я не мог тогда подыти, и почти склонен был уже думать, что ток, проходящий через каплю с инфузориями и направленный их к катоду, не вызывает никаких химических изменений внутри протоплазмы. Однако, дальнейшие мои опыты показали, что отрицательные результаты получались только вследствие несовершенства методики.

В первых опытах я помещал 1—2 капли разведки с прижизненно окрашенными инфузориями в камеру с неполярными электродами и прикрывал покрывным стеклышком. Протисты свободно перемещались очень быстрыми движениями в разные стороны; при помощи объектива Цейсса я сейчас же наблюдал общий характер окраски различных парамеций, так как через поле зрения прощывала то одна, то другая инфузория; парамеция, тигмотактированная у комочка детрита, давала возможность хорошо рассмотреть их окраску. Через каплю пропускался ток; протисты устремлялись к катоду и собирались там; я передвигал камеру, устанавливая под микроскопом это место ступки катода, у которой собрался инфузория, и наблюдал опять за общим характером окраски при прохождении через каплю ток. Окраска протистов, как тогда мне казалось, несколько не изменялась; ток пропускался иногда течение 3—5 минут, но я не мог подыти никакой ясной разницы между окраской инфузорий у катода электрода и тигмотактированных раньше у комочка детрита. Нужно сказать, что в этих условиях инфузория перемещалась быстро из стороны в сторону, вследствие чего нельзя было тщательно рассмотреть частности окраски: парамеция во все время дробления быстро исчезала из поля зрения. При линзе В я наблю-

даль общий характер окраски всѣхъ протистовъ и находилъ его неизмѣннымъ. Для сравненія характера окраски служили капли съ окрашенными протистами изъ той же разводки, помъщавшимися въ такую же камеру, но не подвергавшимся вліянію тока.

5. Когда первые опыты показали, что измѣненій окраски при наблюденіи многихъ инеузорій сразу подмѣтить нельзя, я замедлялъ движенія объектовъ и избиралъ для наблюденій лишь одну парамецію. Тогда я прибавлялъ къ разводкѣ съ окрашенными инеузоріями растворъ желатинны, въ которомъ движенія протистовъ были замедлены и равномерны. Такая капля помъщавшаяся въ камеру съ квадратными брусками; я набирала одну парамецію и, научивъ при системѣ Вейсса ея окраску, замыкала токъ. Инеузорія ориентировалась переднимъ концомъ къ катоду и плавала по направленію къ нему, я наблюдалъ за нею все время прохожденія тока, но и у такой медленнo перемѣщавшейся къ катоду парамеции я всегдa не могла подмѣтить определенныхъ казихъ либо измѣненій въ окраскѣ зитоплазмы. Опыты тогда производились не только надъ *Paramecium aurelia*, но и надъ *Colpidium colroda*. Въ протоколахъ опытовъ того времени встрѣчаются описанія, что окраска зитоплазма „какъ будто стала свѣтлѣе“; другія наблюденія, однако, этого не подтверждали. Такимъ образомъ, и эти опыты, когда во все время прохожденія тока наблюдается одна и таже инеузорія, дали также отрицательный результатъ, по крайней мѣрѣ, я не могъ подмѣтить измѣненій.

6. Терпѣливо продолжая, однако, наблюденія и варьируя ихъ на различные лады, я пріучался подмѣчать различныя отбѣнки въ окраскѣ зернышекъ, включеній и вакуолей у нормальныхъ инеузорій до вліянія на нихъ тока. Путемъ опыта глазъ привыкъ улавливать самую незначительную разницу въ отбѣнкахъ окраски парамецій различныхъ разводокъ, на одинаковое число куб. см. которыхъ было прибавлено одинаковое количество краски одного и того же раствора. Интенсивность окраски измѣнялась въ одной и той же разводкѣ по времени; до первѣшняго предѣла она увеличивалась и достигала своего maximum; и, меруя включенія и пылевая вакуоли измѣняли свой цвѣтъ изъ розовато-фіолетоваго въ насыщенно фіолетовый. Чѣмъ больше прибавлялось краски къ разводкѣ, тѣмъ скорѣе и насыщеннѣе получалась окраска тѣла протистовъ. Вообще глазъ привыкъ наблюдать малѣйшіе нюансы въ окраскѣ и различія степени насыщенія одного и того же цвѣта. Оказалось, что эти наблюденія чрезвычайно трудны и требуютъ большаго упражненія и навыка для отличія различныхъ отбѣнокъ окраски зитоплазмы протистовъ, крайне измѣчивой и зависящей отъ массы условій.

7. Многочисленныя наблюденія показали, что для констатированія наличия измѣненій, нужно доводить степень окраски до определеннаго лишь предѣла. Когда я пріучался различать отбѣнки окраски и вмѣсто желатинны сталъ привыкать къ замедленнымъ движеніямъ протистовъ

слизистыя среды, я получалъ другіе результаты. Желатинна является не вполне удобной средой для этихъ опытовъ; хотя слабокислую реакцію раствора ея, легко перевести въ слабо щелочную, но очень трудно, какъ уже указано въ специальной статьѣ (20) получить необходимую консистенцію. Слизистыя среды оказываютъ для этихъ цѣлей незаменимыя услуги и даютъ легкую возможность получать массу одного и того же материала. Къ 5—8 куб. см. разводки, содержащей громадное количество инеузорій, я прибавлялъ несколько капель слабого раствора нейтрализатора, равномерно помъщавши разводку тоненькой стеклянной палочкой, и затѣмъ бросалъ на дно пробирки какое либо изъ слизистыхъ веществъ, чаще *Lichen Saraganeus* въ довольно значительномъ количествѣ для получения сравнительно густой слизисто-коллоидальной среды (*medium sirupoidale et colloidal*). Черезъ $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ — 1 часть въ пробиркѣ находилось громаднѣе количество приближенно окрашенныхъ инеузорій, движенія которыхъ были равномерно замедлены, но свободны. Такія инеузоріи изъ одной и той же пробирки употреблялись для опытовъ лишь втеченіе первыхъ двухъ-трехъ сутокъ; обыкновенно же описываемые ниже опыты производились надъ инеузоріями изъ слизистыхъ средъ втеченіе первыхъ часовъ окраски. Въ подобныхъ случаяхъ общий характеръ окраски былъ тотъ же, что и раньше, но интенсивность окраски была слабѣе. Даже пищеварительная вакуоли были окрашены въ нѣжный фіолетовый, иногда въ фиолетово-розовый отбѣнокъ, мелкія зернышка были окрашены не въ насыщенно фіолетовый, а въ розовато-фіолетовый цвѣтъ.

8. Капли съ протистами окраски такой интенсивности помъщались въ камеру между квадратными ступообразными электродами (рис. 4 на стр. 13) или гнанными подосками или же между концами нитокъ глянцено-нитяныхъ электродовъ (рис. 5); въ очень рѣдкихъ случаяхъ употреблялись платиновые электроды. Капли обыкновенно располагались тончайшимъ мостикомъ между электродами и образовывали свободную поверхность; сравнительно рѣдко (при большихъ увеличеніяхъ) онѣ покрывались стекломъ. Камеры и электроды помъщались въ аппаратъ, описанный на стр. 82, который даетъ возможность во всякій моментъ, втеченіе какаго угодно времени, во всевозможныхъ мѣстахъ камеры наблюдать одну и ту же инеузорію.

9. Постоянный токъ получался отъ динамо-машини или отъ батареи изъ 40 угле-цинковыхъ элементовъ; въ цѣвь вводился гальванометръ и рѣостатъ. Частые индукционные удары посланались отъ самага аппарата, соединеннаго съ аккумуляторами 2—4 вольтъ.

10. Определенная степень окраски протистовъ, равномерность зинедненія ихъ движеній, обиліе однообразнаго матеріала и возможность продолжительнаго наблюденія одного и того же протиста составляютъ четыре условия, существенно необходимыхъ для успѣшности опытовъ.

III.

Общий характер изменений окраски образований антоплазмы при действии электрического тока на протистов. — Восстановление нормальной окраски после прекращения раздражений. — Три стадии: фиолетового, розового и бурого-желтого тонов; односторонности различной окраски во время стадий и асимметричные характерные формы тонов. — Прямое измерение и косвенное измерение окраски протистов; слабые приближенные измерения, — восстановление окраски. — Условия успешности демонстраций опытов; значение субъективной неопределенности при продолжительном наблюдении. — Причины неудачных результатов. — Опыт над перекрашенными объектами. — Интенсивность фиолетовый тон заскрывает включения. — Общий характер химических процессов в антоплазме протистов при процессах возбуждения вследствие раздражения электрическим током. — Изменения окраски морского *Euryles charon*. — Другая красящая вещества; фенолы-фталаты. — Увеличение щелочности некоторых участков антоплазмы при возбуждении протистов. — Неопределенности результатов познаний изменений внутри протиста.

1. Трудно достигнуть, чтобы все инеузории данной среды или капли были совершенно одинаково и равномерно окрашены; часто в одной и той же капле встречается протиста, окраска зернышек, включений и вакуолей которых отличается в значительной степени по интенсивности. Для наблюдения выбирается инеузория, сравнительно слабо окрашенная. После того как характер окраски ее хорошо изучен замыкается ток, проходящий через камеру.

а. Глаз следить за ориентирующейся и идущей к катоду парамеции. Форма тела несколько не изменяется и уже через 0,5—1—2—3 минуты видно, что характер окраски изменился; общий тон стал бледнее, фиолетовые отблески не выступают так резко и вся инеузория стала как бы светлее. При более внимательном рассмотрении оказывается, что фиолетовые пигментные вакуоли принимают сначала фиолетово-розовый отблеск, т. е. такой, в котором преобладает больше фиолетовый цвет, чем слабо розовый; вскоре, однако, розовый цвет становится преобладающим и пигментные вакуоли после 1—3 минут влияния тока окрашены уже в розовато-фиолетовый цвет. Окраска всех мелких включений и зернышек очень скоро значительно бледнеет и они становятся также розово-фиолетовыми; мелкие зернышки получают даже бледно-розовый отблеск. Словом, интенсивность фиолетового цвета в общем уменьшается; число вакуолей и включений, все еще окрашенных в фиолетовый и фиолетово-розовый цвет, теперь стало значительно меньше; они распадаются по антоплазме среди других наблюдавшихся подобных им образований и кажутся теперь более контрастно окрашенными сравнительно с остальной антоплазмой, вследствие чего сама антоплазма кажется как будто более светлой. Это кажущееся просветление всего протиста зависит от уменьшения числа интенсивно окрашенных в фиолетовый и фиолетово-розовый цвет образований и в особенности

мелких зернышек, довольно быстро, уже через несколько секунд, принимающих розоватый отблеск до того слабый, что окраска их становится мало различимой и сливается с фоном остальной антоплазмы.

б. Другая инеузория также стала несколько светлее, т. е. интенсивность фиолетового тона уменьшилась и превалирует розовато-фиолетовый. Сравнительно общий тон окраски всех наблюдавшихся протистов с протистами той же среды, пребывавшими в подобной же камере без влияния тока, глаз легко замечает эту разницу. Общий характер окраски этих и тех инеузорий значительно отличается при первом же взгляде; у протистов, находившихся без влияния тока, преобладает фиолетовый отблеск, а у протистов капли, через которую проходил ток, бросается в глаза розовато-фиолетовый характер окраски (ср. таб. I, рис. 1 и 2).

Эти опыты очень трудны по методике; требуется привычный глаз для наблюдений; однако, если начальная окраска не была очень интенсивна, то наличие изменений во время прохождения тока остается для всякого видящего сомнительным. Эта разница не так, однако, явкая, чтобы всякий наблюдатель мог ее заметить сразу; лица, даже мало знакомые с окраской, всегда говорили, когда я им демонстрировал опыт при данной силе тока, что какая то окраска произошла, но затруднялись точнее определить изменение характера окраски; почти все утверждали, что эта протистов стало как будто светлее.

2. Описанные изменения начинают вскоре за замыканием тока и иногда уже через несколько секунд, особенно при действии частых индукционных ударов можно скоро уже заметить ослабление интенсивности окраски и появление розовато-фиолетового отблеска. Размыкаем ток и видим все за одной и той же парамецией, которую наблюдали во время действия тока. Она теперь уходит от катодной створки электрода и медленно перегибается в камеру то в одну, то в другую сторону. Там и здесь на фоне антоплазмы начинают появляться мелкие зернышки, окрашенные сначала в фиолетово-розовый, затем в фиолетово-розовый и, наконец, в фиолетовый даже цвет. Пигментные вакуоли также становятся более фиолетовыми и интенсивность этого цвета увеличивается. Довольно скоро после замыкания тока и всех протистов опять приобретают нормальный фиолетово-розовый и даже фиолетовый тон окраски включений и вакуолей. Таким образом происходит *оглашение* прежнего характера окраски различных образований в антоплазме парамеции.

3. Более выраженные изменения получаются при пропускании через каплю тока несколько большей силы, чем при предыдущих опытах. Всякий новый опыт производится всегда над новыми объектами. Помещаем между электродами свежую каплю и избираем для наблюдений парамецию, не инстинктивно окрашенную. Замыкаем постоянный ток 0,7 МА. Сейчас же вслед за замыканием парамеция

ориентируются относительно катода при определенном расположении рэсничек (стр. 88). Форма тьла несколько изменилась; инеузория стала немного короче и приняла опальный вид. Рэснички передней катодной половины работают валыми эвектензорными движениями, а рэснички задней половины энергично действуют флюксорными ударами (стр. 94); парамедия плывет довольно медленно к катоду. Окраска инеузории уже скоро после замыкания тока замыкается замкнутым образом. Преобладавший в нормальном состоянии фиолетовый тон теперь становится менее интенсивным, и вскоре стадия фиолетового тона сменяется второй стадией розовато-фиолетового тона с преобладанием розового оттенка. Эта вторая стадия изменений выражена теперь при такой силе тока меньше, чем прежде и по времени появляется раньше, чем в предыдущих опытах. Число включений и вакуолей, окрашенных в фиолетовый и фиолетово-розовый цвет теперь стало меньше; в остальных включениях и вакуолях явнее выражены розоватый оттенок; инеузория маленькия вакуоли и включения вместо фиолетово-розовой получили красновато-розовую окраску и теперь резко отличаются от вакуолей покоя; мелкие зернышки и включения совершенно утратили фиолетово-розовую окраску и приобрели даже желтоватый оттенок. Это—уже момент перехода в третью стадию изменений окраски протиста при раздражении электрическим током.

В конце второй стадии мельчайшими зернышками и включения по окраске очень мало отличаются от окружающей их цитоплазмы, и окраску их очень трудно тогда характеризовать. При продолжительном действии тока инеузория из них начинает принимать желтоватобурый оттенок и снова выдыхается на плазموю фойц эвтоплазмы. Небольшие включения и инеузория вакуоли также начинают получать желтоватый оттенок и окраска их принимает теперь более сложный характер: в тонь ея преобладает желтоватый оттенок, иногда доходящий до бурожелтого. Мало-помалу число таких участков в эвтоплазме увеличивается, и теперь определяется третья стадия окраски под влиянием электрического тока—появление темно-желтоватого или бурожелтого оттенка (таб. I, рис. 3).

4. Чтобы ясно видеть третью стадию нужно еще увеличить силу тока (1,0—2,0 МА.). Опыт опять производится надь связными объектами. При замыкании тока такой силы протист принимает грушеобразную или шарообразную форму с кончиком на заднем андном конце; парамедия вращается на одном и том же месте. Появление темно-желтого оттенка становится довольно скоро заметным даже в больших вакуолях у таких сильно измененных инеузоров. Сила тока увеличивается при помощи реостата постепенно и не должна быть так велика, чтобы вызвать токание эвтоплазмы. Достаточно остановиться на той степени возбуждения сократительных элементов кортикальной плазмы, когда тьло протиста принимает грушеобразный

вид (таб. I, рис. 4). Стадия темнобурого оттенка становится теперь совершенно ясною. Для сравнения, как всегда, служат покойная инеузория из той же окрашенной слизисто-коллоидальной среды, помещенная в подобную же камеру. Разница получается изумительно ясная. Нормального фиолетового тона, характеризующего покойное состояние парамедий, теперь почти нет; лишь инеузория вакуоли и включения сохранили слабый фиолетовый оттенок; большинство вакуолей и включений получили розово-фиолетовый цвет с желтоватым оттенком; меньшая часть включений, единичныя вакуоли и мельчайшия зернышки окрашены в буро-желтый цвет. Для детальных наблюдений быстро сменяем при помощи револьвера линзу В на D или даже F Цейсса. Эти наблюдения лучше всего делать в очень густых средах (medium colloidalе) из Gummi Tragacanthae или Semen Cydoniae.

5. Размыкаем ток и прекращаем его действие. Если опыт останавливаем при силе тока, которая не вызывает еще резких изменений в конфигурации парамедий, то он довольно скоро, как уже описано, принимает свою первоначальную форму и довольно скоро общий тонь окраски становится нормальным при постепенном переходе желтоватой окраски в розово-фиолетовую, затем в фиолетово-розовую, в фиолетово-розоватый и, наконец, кое-где в фиолетовый цвет; в конце концов опять преобладающим является фиолетовый тонь различной интенсивности. При сильных тонах это восстановление нормальной окраски происходит не так скоро и не все объекты принимают свою первоначальную форму; часть шаровидных сь небольшими кончиками на задней части тьла погибает. Большинство же, какь сейчас сказано, принимает нормальный вид и описанныя только что изменения в окраске образованной эвтоплазмы подмечены именно у таких живых объектов, работавших по все время прохождения тока своими рэсничками, определенным образом проявляя возбуждение,—садовательно, описанныя явления наблюдаются у жизнеспособных объектов при довольно сильном раздражении электрическим током.

6. Частые индукционные удары производят ть же изменения в окраске зернышек, включений и вакуолей в эвтоплазме. Начало этих изменений наблюдалось иногда при 19—18 сан. расстояния спирали, изь которых первичная была соединена сь 2 вольтами. При главных электроддах (15×18×1 мм.) нормально окрашенная вакуолия и вакуоли теряли свой интенсивный фиолетовый цвет при 13—12 сан.; уже через 2—5 секунд после действия частых (около 20 в 1') индукционных ударов вся эвтоплазма становилась какь бы светлее; крупныя вакуоли передвигались кь средней тьла; чрезь 3—10 секунд появлялся общий розоватый тонь, а дальше можно было заметить и желтоватый оттенок, наступивший, впрочем, при 10 сан. расстояния спирали, когда форма тьла была несколько

изменили. По прекращении влияния индукционных ударов окраска антоплазмы противостоит принимала свой обычный вид.

7. Восстановление формы и возобновление обычной окраски образованной антоплазмы после действия сильных токов уже показывают, что мы имеем дело с жизнеспособными объектами. Химические процессы объема в антоплазме продолжают свой нормальный ход, показателем чего является возврат обычного флюидного оттенка, в который нормально окрашиваются включения и вакуоли живых парameций. У умирающих и погибающих объектов наблюдается совершенно другая картина. Нужно при этом различать: 1) быстрое и 2) медленное разрушение тела протиста. В связи с этим наблюдаются два главных типа изменений в окраске у парameций, погибающих в слизистых средах при раздражении сильными электрическими токами. Первый тип представляют те инкузории, элементы кортикальной плазмы которых значительно сократились под влиянием сильного раздражения и тело приняло шарообразную форму с небольшими кончиком саиди; общий характер изменений в окраске соответствует описанному выше; антоплазма вдруг оплещается и эктоплазма мало-по-малу выдвигается в окружающую слизистую среду; выдвинутая имется с нею вакуоли очень быстро принимают желтоватый оттенок, долго не изменяющийся, и затѣм спустя довольно продолжительное время обесцвечиваются.

При медленном умирании противостои получалась иная картина. Эти изменения второго типа наблюдаются у парameций в очень густых средах *Gishki Trugascianiae* или *Semen Sudonae*, где жизнеспособность их ослаблена и возбуждение понижена (20). Они очень скоро перестают реагировать на данную даже, небольшую, силу тока, останавливаются в горизонтальном положении, слабо работая своими установившимися ресничками и, не переживая вперед, несмотря на продолжение действия тока, медленно погибают. Форма тела их в начале мало изменяется. Внутри антоплазмы наблюдаются следующие предсмертные явления: кроме окрашенных в фиолетовый или фиолетово-розовый цвет включений и вакуолей вся антоплазма в задней анодной части инфузидно окрашивается в слабый фиолетово-розовый цвет, который теряет преобладающий фиолетовый оттенок и переходит в красно-фиолетовый, когда в задней половине тела становится ясно выраженным красновато-розовым тоном с небольшим лишь примесью фиолетового. Вакуоли пузырчатые очень редки; работа ресничек прогрессивно останавливается, и они распадаются спереди назад, т. е. от катодного переднего конца по направлению к заднему анодному; тело принимает эллипсоидную форму, данная ось которой делается все короче и короче; пуансированная вакуоли всерѣ сильно растягиваются, лишь в задней концы тела несколько ресничек еще не распались и делают безцельными вала движения; область диффузной окраски все уменьшается вширь, теперь она сосредоточена лишь почти

у самой эктоплазмы; включения и вакуоли приобретают постепенно розоватый оттенок с примесью желтоватого; в задней области тела мало-по-малу, беспорядочно, по всем направлениям, выдвигаются содержимое трихосты; слой трихосты делается все слабее и слабее выраженным, какой процесс преимущественно распространяется саиди вперед; в конце концов лишь кое-где в анодной передней части остается заметной палочкообразная исчерченность этого слоя. Вместе с уменьшением области диффузного окрашивания в антоплазме начинают появляться, главным образом, в анодной передней половине, желтоватые зернышки и передничья саиди вакуоли получают желто-бурый цвет. Слой антоплазмы мало затѣмнет у заднего анодного конца откуда начинается распад тела протиста, антоплазма расплывается; еще раньше этого темн и сѣмь появляются глянцевые пузыри, вакуоли, окрашенная в ясный желто-бурый цвет, сосредоточены в передней, еще не распавшейся, половине тела.

Итак, картина предсмертных изменений характеризуется следующими моментами: реснички поворѣт умирает последовательно спереди назад от катода к аноду, сокращение эктоплазмы распространяется обратно саиди вперед; тело протиста поглощает воду из окружающей среды и набухает; в антоплазме появляется диффузная окраска, характеризующая саиди кисую, затѣм нейтральную реакцию задней анодной половины; зернышки передней катодной половины приобретают желто-бурую окраску, как и отщепенная саиди вакуоли (диффузная реакция). Словом, картина предсмертных и посмертных изменений окраски, на которой здесь внимание останавливаться подробно, не имется сходства с описанными выше живыми изменениями образованной антоплазмы, по прекращении раздражения снова принимающими нормальную окраску.

8. Все полученные результаты изменения живянной окраски противостои под влиянием раздражения электрическим током с полной несомнительностью убеждают в открытии нового факта, доказывающего, что явление возбуждения противостои при прохождении электрического тока чрез равноду сопровождается каким-то химическим изменением в антоплазме. Положительные результаты повторились очень часто; лишь в меньшинстве случаев исследование окончилось неудачей, т. е. я не находил изменений; в большинстве же случаев я констатировал наличие изменений. Значение открытого факта несколько не уменьшалось бы, если бы даже сравнительно редко удавалось видеть изменения в окраске образованной антоплазмы. Даже единичные положительные результаты имются, как всегда, больше значения, чѣм неудачные опыты. Уже один положительный результат, указывающий, что как-то изменения в антоплазме происходят, заставляет ближе изучить явление, отыскать причину отрицательных результатов и выяснить условия опыта, когда и как лучше всего констатируются химические изменения в антоплазме противостои при возбуждении электрическим током.

Чтобы быть уверенным в несомненности существования описанных изменений в прижизненной окраске протистов, я просил друга-доцента зоологов В. П. Зыкова, специально занимающегося и известным своими исследованиями по биологии простейших, быть контролером этих опытов.

И ни в чем не предвзял его зарание. Он знал о моих исследованиях над вакуолизацией протистов, видел уже раньше другие мои опыты (26), но об опытах с прижизненной окраской я с ним еще не говорил. И притом взял себе окрашенных из Neutralrot и замедленных в слизистой среде парамеций за $\frac{1}{2}$ часа до демонстрации опытов. Поместить иезуэрий надлежащим образом в камеру с неполярными электродами, я попросил В. П. Зыкова посмотреть окраску парамеций и запомнить общий характер и интенсивность ее. Окраска была особенно удачна; почти все парамеции были одинаково окрашены и степень окраски была не особенно интенсивна и не очень слаба. После этого общего осмотра я избрал одну парамецию, и В. П. Зыков замедлил ее; число и расположение пищевых вакуолей относительно переднего и заднего конца или середины, соседство двух или нескольких вакуолей могут служить главными опознавательными признаками. Я стал наблюдать во время опыта избранную парамецию, так как нужен навык, чтобы передвигать аппарат с электродами и камерой и не утратить из виду намеченный экземпляр. Кроме того, при этом преследовалась и другая цель; на основании предварительных многочисленных демонстраций занимающихся в нашей лаборатории я пришел к заключению, что демонстрируемую иезуэрию лучше периодически показывать наблюдателю. Я замедлил ток такой силы, что форма тела парамеции изменилась очень незначительно; она осталась вытянутой, но приняла несколько овальный вид. Через некоторое время я попросил В. П. Зыкова посмотреть на исследуемую иезуэрию и обратить главное внимание опять лишь на характер окраски образованной энтоплазмы, не говоря о результатах своих наблюдений. Он взглянул; я быстро уловил ту же иезуэрию опять в поле зрения, В. П. Зыков еще раз проследил ее, пока она шла справа влево по диаметру поля зрения, и, когда она начала приближаться к окружности левой стороны, я взял ее опять под свое наблюдение. Ток, конечно, все время замедлил; я немного увеличил силу тока, и иезуэрия приняла овальный вид. По прошествии второго времени я снова, в третий раз, понаблюд. ее. В. П. Зыков; он признал ее за измененный в начале опыта экземпляр и опять проследил, когда она дважды проходила через поле зрения (во время опыта я инвертировал дважды направление тока). После этого я предложил ему для сравнения посмотреть на окраску покойных иезуэрий из той же пробирки, находившихся в такой же камере.

В. П. Зыков, не только поднял наличность изменений,

но коротко, ясно и определенно описал самый характер этих изменений в окраске энтоплазмы: до действия тока была фиолетово-розовый цвет с ясным преобладанием фиолетового оттенка; затим общий тон окраски изменился и стал более розовым и, наконец, в третий раз появился бурый оттенок кое где, местами очень явный. Таким образом В. П. Зыков не только подтвердил открытый мною факт, но совершенно определенно охарактеризовал различные стадии изменений, точно так же, как характеризовал их и я. Нужно сказать, что опыт тогда вышел поразительно удачным, и опытный глаз протистолога, различающий незначительные оттенки в окраске, сразу легко и верно подхватил характерные изменения.

9. Продолжительное наблюдение в микроскоп значительно утомляет, как известно, глаз; утомленный глаз перестает различать незначительные изменения в окраске образованной энтоплазмы. Поэтому при опытах над изменениями окраски протистов нужно избирать смотреть на сильный свет, чаще отрываться от микроскопа и давать глазу отдохнуть. Продолжительное наблюдение за одним и тем же объектом может также притупить глаз; в окраске и притупить способность замечать изменения в характере ее, происходящие довольно медленно и постепенно; вследствие этого лучше всего наблюдать намеченный объект с перерывами, отрываясь от микроскопа, с тем, однако, чтобы не упустить исследуемый экземпляр, чего, при некоторых упражнениях, совсем не трудно достигнуть. Субъективное притупление или ослабление восприимчивости может служить источником ошибок, так как утомленный глаз, не различающий вполне в окраске, может проглядеть наступившие изменения в энтоплазме протистов.

10. Другая условия для получения положительных результатов выяснятся из следующих опытов.

Помещаем в камеру каплю слизистой среды, в которой протисты довольно сильно окрашены. Общий тон окраски исключительно фиолетовый, фиолетово-розового оттенка почти нет; инакше: отдельные вакуоли и включения окрашены в насыщенно-фиолетовый цвет; некоторые вакуоли даже темно-фиолетовые. Замыкаем ток, который направляет парамеций к катоду при несколько измененной проводимости овальной формы. Протисты медленно плывут к катоду. Избираем один объект, замечаем его окраску и связываем с ним. Изменения в окраске не замечены. Инвертируем ток и связываем с тем же протистом, который теперь плывет в противоположную сторону к новому катоду. Характер окраски ведь отстоялся тот же; опять исключительно господствует фиолетовый тон; но интенсивность этого тона в некоторых включениях, зернышках и единичных вакуолях, как будто стала слабее. Однако, даже опытный глаз в случаях такой окраски протистов не может с полной уверенностью утверждать, что произошло ослабление интенсивности окраски.

Окраска была очень насыщена, поэтому трудно судить, чаще даже невозможно, произошли ли какие-либо изменения в интенсивности или характере окраски. Обыкновенно такие перекрашенные или резко окрашенные протисты не дают никаких различимых глазом изменений и наблюдения над такими объектами даже при раздражении довольно сильными токами, изменяющими несколько форму тла, приводят к отрицательным результатам.

Из этого, однако, не нужно выводить заключения, что и в действительности здесь не произошло никаких изменений; при описанных условиях опыта глаз не в состоянии их подметить. Возьмем протистов не так резко окрашенных. У таких объектов тоже господствует фиолетовый тон; интенсивность его вообще слабеет, чем в предыдущих опытах. Выбираем для наблюдений экземпляр, у которого лишь некоторые вакуоли, но все, окрашены в темно-фиолетовый цвет; еще лучше, если они окрашены в фиолетовый цвет, то очень насыщенный. После довольно продолжительного действия тока характер окраски исследуемого экземпляра остается тот же; ведь господствует фиолетовый цвет, но интенсивность окраски стала слабеет.

Следовательно, у довольно интенсивно окрашенных индивидуумов можно иногда заметить лишь ослабление интенсивности окраски, характер же окраски остается тот же; у очень перекрашенных объектов никаких изменений ни в характере, ни в интенсивности окраски подметить не удастся. Только у слабо-окрашенных в Neutralrot протистов можно получить название характера окраски.

11. Не буду входить в подробности описания еще недостаточно изученных мною изменений в окраске образованных антоплазмами *Spirostomum ambiguum* и *Stylonychia mytilus*. Скажу только, что и у *Spirostomum* фиолетово-розоватый тон под влиянием тока 0,6—1,0 MA переходит в ясный розовый; при этом, однако, спироостома становится катодно-гальванотропной и тла ее вследствие возбуждения-moveет несколько изменяет свою форму; антоплазма бурлит, что затрудняет наблюдение. По прекращении раздражения постоянным током розовый тон снова переходит в фиолетово-розовый. При действии сильных токов, когда на анодном конце тла сокращающейся спироостома начинается распад (стр. 40), зерна антоплазмы, вышедшие в окружающую среду, приобретают довольно быстро желто-бурную окраску,—посмертные изменения. *Stylonychia mytilus* дает характерную реакцию, у нее можно хорошо наблюдать третью стадию реакции — появление желто-бурного оттенка.

12. При дальнейших исследованиях удастся, быть может, найти более чувствительный индикатор химических изменений в протоплазме протистов. Не останавливаясь исключительно на Neutralrot, и применяя для этой цели несколько красок; здесь упомяну лишь о тех результатах, которые я получил с *Феноль-Фталеином*.

Опыты были произведены над пресноводными парамециями и морскими *Euplotes charon*. К небольшому к. с. этих разводок прибавлял раствор феноль-фталеина в 0,5% NaHCO₃ и на дно пробирки обычным образом опускался втулочка *Algae Caraganeen*. Опытов произведено пока немного, и лишь некоторые из них, значительное меньшинство, дали положительный результат.

У пресноводных *Paramecium caudatum* во время прохождения тока лишь иногда удается подметить окраску немногих мелких зернышек антоплазмы в розово-красный цвет, чего до влияния тока не было замечено.

Неравненно лучшие результаты дают морские *Euplotes charon*, являющиеся чрезвычайно удобными объектами для этих целей и дающие иногда поразительные результаты. Протоплазма этого вида протистов совершенно прозрачна, как стекло. В нормальном состоянии в ней почти не видно окрашенных феноль-фталеином частей. Вскоре после замыкания тока, мало-помалу, на светлом, прозрачном фоне протоплазмы то там, то здесь начинают выступать маленькие шаровидные зернышки, окрашенные сначала в слабо-розоватый, а затем и в красноватый цвет (таблица 1, фиг. 5). Контраст с состоянием покоя получается изумительный. Эти опыты с феноль-фталеином еще раз показывают, что реакция вторичных участков протоплазмы под влиянием тока становится щелочной. Правда, такие результаты, полученные мною при опытах с феноль-фталеином, единичны, но они до того поразительны, что с ними необходимо считаться. И не могу пока сказать, в чем заключается причина неудачных опытов с этим индикатором и какие должны быть условия постановки опытов для получения положительных результатов.

13. Все описанная в этой главе изменения в окраске образованных антоплазм протистов суть следствие влияния электрического тока. Наличие этих изменений является прямым фактически доказательством, что ток проходящий через вакуолю с протистами производит какие-то нарушения в обычном химическом состоянии протоплазмы последних. Речь доказана наличие изменений, сейчас же, естественно рождается вопрос, каков характер этих изменений. Не забываясь в глубины решения этого вопроса и выяснения деталей, постараемся разобратся в полученных данных и дать себе прежде всего отчет, каков может быть общий характер изменений химических процессов в живой протоплазме при раздражении ее электрическим током?

Интенсивность фиолетового тона сначала ослабляется и последовательно переходит сначала в фиолетово-розоватый, в фиолетово-розовый, розово-фиолетовый и, наконец, появляется темно-желтый оттенок. Вспомня, какие цвета принимает Neutralrot в растворах различных реакций (стр. 130—131), мы должны на основании приведенных опытов прийти к выводу, что явления возбуждения

протистов электрическим током сопровождаются химическими изменениями в протоплазме протиста, показывающими, что щелочность в ней (в некоторых местах) несколько повышается. На это указывает последовательность перехода фиолетового цвета в темно-желтый или в бурожелтый.

Нормально вакуоли и большинство включений имеют кислую реакцию, так как окрашиваются Neutralrot в фиолетовый или в фиолетово-розовый цвет. Нейтрализация такого кислого раствора Neutralrot в пробирке переводит фиолетовую его окраску сначала в фиолетово-красноватую или в фиолетово-розовую, затем в розовый или розовый цвет в зависимости от количественного содержания красок в растворе. При новом прибавлении щелочи раствор приобретает желтоватый цвет. Подобная же изменения наблюдаются и в окраске вакуолей и включений при действии электрического раздражителя. Изменения эти, однако, в протоплазме крайне незначительны по степени проявления. Повлито тогда, почему их удается подытиг лишь у слабо окрашенных протистов. Присутствие большого количества краски мешает заметить изменения; как показываются прямыми наблюдениями, степень изменений крайне незначительна, потому что лишь слабо окрашенная образования энтоплазмы изменяют свой цвет вследствие какого-то нарушения процессов в протоплазме, сопряженных с повышением щелочности; насыщение фиолетовой окраски маскирует наступивший уже переход краски из кислой в нейтральную и даже в м. щелочную и является незаметным для глаза происшедшим уже изменения. Небольшое повышение щелочности в силу нарушения химических процессов в протоплазме протиста изменяет лишь слабую фиолетовую окраску, переводя ее в розовую или даже желтобурную. Переход этот совершается довольно медленно и последовательно; мы уже знаем, что в различных образованиях энтоплазмы появляется сначала фиолетово-розовый цвет и затем уже последовательно нарастает привнес розового, характеризующего теперь нейтральную реакцию; дальше окраска некоторых образований энтоплазмы переходит в темножелтый цвет, показывающий уже аспецелочную реакцию в данном участке. Переход реакции включений и вакуолей из кислой в щелочную совершается не сразу, а постепенно, причем изменения проходят длительный ряд последовательных промежуточных стадий; преобладающий характер этих различных изменений, существующих одновременно, заключается в уменьшении кислотности и повышении щелочности в энтоплазме. Изменения эти по степени очень незначительны и не могут поэтому быть открыты у перекрашенных индивидуумов, в энтоплазме которых превалирует нормальный фиолетовый цвет, характеризующий состояние покоя, и маскирующий происшедшие изменения. Минимальная степень изменения при этом тонким микрохимическом метод может быть открыта, по понятным причинам, лишь при слабозатонь прижизненной окраски протоплазмы протистов.

14. Описанные изменения в окраске наблюдаются в зернышках, включениях и вакуолях, разбавных по всей энтоплазме; об отнесенных т. наз. базальных тлаецк парамий не могу сказать ничего положительного. Мне не удавалось подытиг полярности изменений, т. е. начала локализации процесса относительно полюсов тла протиста, ориентированного гомогорно с направлением тока. Мои наблюдения в этом отношении носят противоречивый характер. Иногда приходится замечать появление щелочной реакции [нейтральность и ферват-стадия] прежде всего в зернышках, расположенных у переднего катодного конца тла; диаметрально противоположные результаты получались, однако, у попережно-дальних парамий. Последние индивидуумы являются чрезвычайно удобными объектами для этих целей. При замыкании тока они располагаются своею длиною осью в направлении его и плывут к катоду; обыкновенно просветление протоплазмы таких прижизненно окрашенных объектов, т. е. ослабление фиолетового тона и превалирование розового, начинается с антодного индивидуума, тогда как в энтоплазме катодного преобладает еще фиолетовый оттенок. Однако, каких-нибудь выводов из этих наблюдений сделать еще нельзя.

IV.

Заключение. — Экспериментальное доказательство нарушения равновесия химических процессов в протоплазме протистов при возбуждении. — Локализация изменений.

1. Положенным в этой главе опытами доказано, что явления возбуждения протистов, наблюдаемая при направляющем влиянии электрического тока сопровождаются химическими изменениями в протоплазме, причем щелочность некоторых участков энтоплазмы повышается. Никакого другого прямого вывода из этих опытов сделать нельзя. Констатирована лишь наличие изменений, на вопрос же, какие именно происходят химические процессы, который сейчас же направляется, еще нет никакого ответа.

Нужно еще заметить, что уменьшение кислотности и увеличение щелочности наблюдается не в самой протоплазме, а в зернышках, включениях и вакуолях, находящихся в энтоплазме, которая, по мнению некоторых протистологов, является мертвыми, а не живыми частями протоплазмы. Сама живая протоплазма не окрашивается; большинство склонно смотреть на окраску включений и вакуолей, как на простое физическое явление — поглощение краски, растворенной в воде. Для наших рассуждений этот вопрос имеет второстепенное значение; совершенно безразлично, соединена ли нейтральность химических веществ протоплазмы или нет. Важно лишь то, что ее присутствие в некоторых частях энтоплазмы характеризует их реакцию и является индикатором ее изменений в ту или другую сторону. Содержимое пылевой вакуоли есть действительно мертвый ма-

териаль, но заключающая его ствол, которая является перепонкой для диффузии в антоплазму переваренных веществ, представляет жизненное образование; вся вакуоля, следовательно, живет, потому что функционирует определенным образом. Из того факта, что изменения наблюдаются лишь в зернышках, включениях и вакуолях, нельзя еще заключать, что ихъ нѣтъ въ остальной антоплазмѣ. Нѣтъ никакихъ оснований предполагать, что токъ вызываетъ химическіе перенорты лишь въ вакуоляхъ и не производитъ измененийъ въ антоплазмѣ. Въ этомъ отношеніи уже прямая наблюденія показывают, что прежде всего и рѣче всего изменяютъ свою реакцію мельчайшія окрашенные зернышки антоплазмы. Токи производятъ во всей антоплазмѣ какаго-то изменения, которая могутъ быть констатированы при этомъ микрхимическомъ методѣ лишь въ нѣкоторыхъ окрашенныхъ частяхъ ея. Эти изменения, являющіяся результатомъ нарушения вслѣдствіе электростатическихъ нормальныхъ процессовъ въ тѣлѣ живого протиста, прежде всего, надо полагать, начинаются въ самой протоплазмѣ и притомъ сейчасъ же вслѣдъ за замыканіемъ тока. Въ измененіи окраски зернышекъ, включений и вакуолей антоплазмы мы видимъ лишь конечный результатъ; мы не можемъ узнать самый процессъ, а регистрируемъ лишь итогъ измененийъ на основаніи показаній реакціи краски. Измененныя вещества живой протоплазмы могутъ путемъ диффузіи вытѣять изъ включенныхъ въ ней мертвыхъ зернышекъ и содержимое вакуолей, изменение реакціи которыхъ можетъ быть, следовательно, вторичнымъ явленіемъ. Поэтому нѣтъ оснований доказывать изменения лишь въ вакуоляхъ и включенияхъ; они начинаются во всей антоплазмѣ.

2. Измѣненіе характера окраски протистовъ при направляющемъ вліяніи электрическаго тока есть результатъ электродинамическихъ процессовъ внутри протиста, а не слѣдствіе диффузіи щелочи, образованіе которой во вѣншемъ электродѣ не доказано (стр. 113—114). Даже если допустить, что она можетъ образоваться на границѣ впаднаго задняго конца и окружающей среды, то реакція протиста была бы на это непосредственное химическое раздраженіе уже иная и измѣненіе окраски, т. е. появленіе щелочной реакціи, наблюдалось бы лишь у задняго конца вслѣдствіе диффузіи сюда щелочи. Не нужно затѣмъ забывать, что мы здѣсь имѣемъ дѣло съ живымъ организмомъ, протоплазма котораго, естественно, можетъ сопротивляться какому-то образомъ этому вѣншему вредному вліянію химическаго агента; поверхностный слой антоплазмы есть живая, а не мертвая перепонка.

Предсмертная измѣненія у погибающихъ объектовъ рѣдко отличаются, какъ изложено (стр. 138), отъ измѣненій реакціи антоплазмы у жизнеспособныхъ индивидуумовъ. Условія пропавшія постороннихъ химическихъ соединеній въ живую протоплазму еще мало изучены; и какъ съ одной стороны не доказано образованіе щелочи во вѣншемъ электродѣ при гальванотропизмѣ, такъ нѣтъ указаній на проникно-

веніе ея въ антоплазму при минимальномъ образованіи въ окружающей средѣ. Протоплазма протистовъ въ химическомъ отношеніи представляетъ сложное сочетаніе различныхъ веществъ обладающихъ высокимъ осмотическимъ коэффициентомъ; однако, только предсмертная измѣненія сопровождаются поглощеніемъ воды изъ окружающей среды и набуханіемъ тѣла протиста.

Изменія измѣненія реакціи окраски наблюдаются, хотя въ слабой степени, уже при нормальной формѣ парамеций; тогда какъ при непосредственномъ дѣйствіи щелочи, являющейся домъ для протоплазмы протистовъ, прежде всего измѣняется значительно образомъ форма тѣла и только потомъ, спустя довольно продолжительный періодъ времени, образованія антоплазмы получаютъ щелочную реакцію у погибающаго протиста. Если бы не было непосредственныхъ наблюденій, доказывающихъ наличность измѣненій при неизмѣненной формѣ парамеций, то конечная измѣненія, отчетливо наблюдаемая при грушевидной формѣ парамеций (табл. I, фиг. 4), могли бы служить посылкою для заключеній о характерѣ начальныхъ измѣненій; и въ этомъ случаѣ протистъ принималъ снова по прекращеніи раздраженія свою форму, и характеръ окраски становился также нормальнымъ. Все это указываетъ, что измѣненія при возбужденіи электрическимъ токомъ локализованы во всей протоплазмѣ протиста и находятся, надо полагать, въ связи съ усиленіемъ процессовъ обмена; по прекращеніи раздраженія электрическимъ токомъ, по удаленіи причины, нарушившей химическіе процессы въ тѣлѣ живого протиста, они снова принимаютъ свое обычное теченіе, и окраска образованій антоплазмы принимаетъ нормальный характеръ. Ближайшій характеръ ихъ определятъ пока не возможно, но наличность ихъ, на основаніи приведенныхъ въ этой главѣ опытовъ, несомнѣна.

3. Нарисовать на бумагѣ картину измѣненій приживленной окраски парамеций подъ вліяніемъ электрическаго тока, вполнѣ соответствующую дѣйствительности,—дѣло чрезвычайно трудное. Поневозможности не остается на мѣстѣ, она направляется къ катоду; чтобы имѣть ее подъ наблюдениемъ, нужно было снаряженіе, описанное на стр. 82; немалымъ, следовательно, срисовывать окраску вакуолей и зернышекъ въ моментъ вліянія тока, т. е. въ моментъ самыхъ измѣненій окраски. Эти моменты едва выраженнаго перехода одной окраски въ другую и являются очень важными, но передать ихъ сейчасъ же нѣтъ времени; кроме того, измѣненія окраски представляютъ, какъ подробно указано въ этомъ отдѣлѣ, чрезвычайно тонкіе, незамѣтные переходы, которые очень трудно передать на бумагѣ; число нюансовъ большое. Если бы рисовать на память на основаніи всего видимаго облюку картину, то пришлось бы наложить цѣлый рядъ послѣдствительныхъ переходовъ, которые врядъ ли сумѣя бы исполнить хромо-автографія.

Тѣмъ не менѣе, естественное желаніе дать хотя приблизительную иллюстрацію описанныхъ въ этомъ отдѣлѣ измѣненій приживленной

окраски при возбужденіи протистовъ объясняетъ приложение въ этой части раскрашенной таблички. Характеръ различной окраски вакуолей и зернышекъ на этой табличкѣ мало соответствуетъ действительности, но даетъ наглядное представление объ общей картинѣ изменений. Одновременно, какъ уже не разъ упоминалось, существуетъ цѣлый рядъ переходовъ въ эритроплазмѣ одной и той же парамеціи, преобладаетъ лишь характерный тонъ; въ схематизированныхъ на этой табличкѣ стадіяхъ изменений приближено окрашенныхъ нейтральность парамеций тонъ, характеризующій ту или другую стадію, утрировать.

Нормальный фиолетовый тонъ фигуры 1-й, характерный для стадіи покоя, переходитъ подъ вліяніемъ продолжительнаго дѣйствія электрическаго тока (постояннаго и частныхъ индукціонныхъ ударовъ) сначала въ розово-фиолетовый, изображенный на фигурѣ 2-й, а затѣмъ — фигура 3-я — въ желто-бурый. Последовательность этихъ стадій представлена на фигурахъ 1-й, 2-й и 3-ей. Нужно, однако, помнить, что третья стадія желто-бурого отътока лучше всего наблюдается уже при измененной силѣ тѣла парамеціи — фигура 4-я, т. е. при дѣйствіи нѣсколько болѣе сильнаго тока. На фигурѣ 5-й представлены розовато-красныя образования въ эритроплазмѣ морского *Euplotes charon*, появляющіяся при направляющемъ вліяніи постоянного тока, — окраска феноль-стадионнаго.

У.

1. Итакъ, направляющее вліяніе постоянного тока для частныхъ индукціонныхъ ударовъ на приближенно окрашенныхъ нейтральность протистовъ, гл. обр. *Paramecium caudatum*, поставленныхъ въ условія опыта, приближающіяся къ нормальнымъ (слизисто-коллоидальная среда), сопровождаются изменениями въ окраскѣ образованій эритроплазмы.

2. Эти изменения по времени протекаютъ медленнее и характеризуются слѣдующими тремя стадіями.

- а. Въ моментъ замыканія тока стадія покоя опредѣляется преобладаніемъ болѣе или менѣе интенсивнаго фиолетоваго тона окрашенныхъ зернышекъ, включеній и вакуолей.
- б. Эта стадія вскорѣ сдвигается второй стадіей, когда общій тонъ окраски становится сначала фиолетово-розоватымъ, а затѣмъ принимаетъ розовый, иногда даже красноватый отътенокъ.
- в. Третья стадія, вызываемая сильными токами, состоитъ въ появленіи въ большинствѣ зернышекъ и въ нѣкоторыхъ вакуоляхъ темножелтаго или бурожелтаго цвѣта, являющагося приписью къ розовато-фиолетовому тону.

3. Эти изменения, наблюдаемыя при прохожденіи электрическаго тока, исчезаютъ послѣ прекращенія его вліянія, и окраска образованій эритроплазмы жизнедѣятельнаго протиста, мало-по-малу, снова приобретаетъ нормальный характеръ покоя съ преобладаніемъ фиолетоваго тона.

4. Постепенность измененийъ окраски со смѣной трехъ стадій, характеризующихся послѣдовательнымъ переходомъ фиолетоваго тона въ розовый и, наконецъ, въ желтоватый цвѣтъ указываетъ, что явленіе возбужденія протистовъ при раздраженіи электрическимъ токомъ сопровождается нарушеніемъ химическихъ процессовъ въ эритроплазмѣ, щелочность образованій которой нѣсколько повышается; съ прекращеніемъ раздраженія процессы обмена веществъ принимаютъ нормальный характеръ, когда окрашенія включения и вакуоли показываютъ кислую реакцію. Тотъ же характеръ измененийъ констатируется при помощи феноль-стадиона у морскихъ *Euplotes charon*.

ОТДѢЛЪ VIII.

З а к л ю ч е н и е.

I.

1. По учению Гельмгольца (40, pp. 341—342) малѣйшая электрическая сила въ состоянн вызвать движеніе ионовъ внутри электрической жидкости въ определенную сторону и тѣмъ проявится перемиженіе въ жидкости электрическихъ зарядовъ этихъ ионовъ. Поляризующій токъ можетъ вызвать отложеніе электроположительныхъ ионовъ (положительныхъ катионовъ Na въ растворѣ NaCl) на анодной поверхности внутреннего электролита (подовникъ, Parathassium), какъ на электродѣхъ. Катионы Na, отлагаясь на поверхности парамедіи и теряя свой электроположительный зарядъ, переходятъ въ видъ-сереніи или нейтральной вещества и могутъ вступать въ химическія соединенія съ окисляемой на анодной сторонѣ парамедіи. То же самое должно происходить, надо полагать, и съ анионами вышнго электролита, отлагающимися на катодной сторонѣ протиста. Этотъ процессъ отнятія зарядовъ отъ ионовъ продолжается непрерывно; во все время прохожденія тока изъ вышнго электролита выделяются все новыя и новыя количества веществъ въ видѣ продуктовъ электролиза, могущія дѣйствовать на протоплазму уже химически.

По такое непрямое дѣйствіе тока на протистовъ помощью химическихъ веществъ, образующихся на границѣ электролитовъ, возможно при существованн условн поляризаціи. При употребленн же неполяризующихся электродовъ и камеръ, съ которыми и производится изслѣдованн гальванотропизма, поляризаціи отсутствуютъ или лучше сказать сведена до возможнѣйшаго мннмума. Въ этомъ упущенн и заключенъ основная ошибка теоретическихъ расужденн Ж. Леба, на которыхъ онъ строитъ свою теорію, о фактической бездоказательности которой я уже говорилъ выше (стр. 113—114).

Ж. Лебъ (18) допускаетъ, что катионы Na вышнго электролита, соединяясь съ гидроксидомъ воды, могутъ образовывать NaHO , дѣйствующій на анодъ парамедіи; анионы Cl съ H образуютъ на анодѣ

концы HCl, нейтрализуемую щелочностью протоплазмы, а потому, по мнѣнію Леба, не являющуюся раздражителемъ. Ничто не мѣшаетъ и здѣсь допустить возможность положительнаго хемотропизма къ образующейся кислотѣ, что будетъ даже проще допущенн двоятаго вліянн щелочи на заднемъ анодномъ концѣ тѣла парамедіи, какъ принимаетъ Лебъ.

Свое допущеніе раздражающаго вліянн свободной щелочи на вышнемъ анодномъ концѣ Лебъ основываетъ на томъ фактѣ, что щелочъ производитъ у амбистомъ совершенно такое же выдѣленіе секрета кожныхъ железъ, какое наблюдается въ мѣстахъ входженія тока. Возможность такой аналогіи болѣе чѣмъ сомнительна. Никакихъ другихъ фактическихъ данныхъ у Леба нѣтъ.

Еще неизвѣстно образуются ли и при какой силѣ тока NaHO и HCl на вышнемъ анодѣ и катодѣ внутреннего электролита (парамедіи) (стр. стр. 114, изслѣдованн Деля); съ другой стороны еще не доказано вполнѣ, что процессы образованн кислоты и щелочи (опять таки при условнхъ поляризаціи) идутъ равномерно въ растворахъ различныхъ концентраціи; нѣвѣрно, напр., что выдѣленіе хлористыхъ анионовъ зависитъ отъ концентраціи гидросолевыхъ ионовъ (Оствальдъ, 41, p. 357). Все это еще требуетъ экспериментальной проверки.

Такимъ образомъ, теоретическія расужденн Леба ошибочны, фактическия данныя его бездоказательны, потому вставленную имъ теорію непрямого дѣйствія тока, вслѣдствіе двоятаго вліянн щелочи, образующейся на границѣ анодной поверхности парамедіи и вышнго электролита, нужно считать несостоятельной.

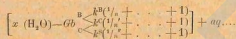
2. Ничто не мешаетъ принять, что при мннмальномъ токѣ, въ особенности при неполяризующихся электродахъ и камерѣ, катионы и анионы вышнго электролита не образуютъ электрическихъ слоевъ на анодной и катодной поверхности внутреннего электролита и диффундируютъ въ воду, или лучше, что процессъ химическаго разоженн вышнго электролита идетъ крайне слабо и не даетъ образованн свободной щелочи на анодной границѣ внутреннего электролита и кислоты на катодной поверхности его; скорее можетъ снова образоваться NaCl.

Хотя Дю-Буа Реймонномъ установлено для пористыхъ позу-проводниковъ, что на границѣ различныхъ электролитовъ происходитъ поляризаціи, но сущность этого процесса, его физическія и химическія условия до сихъ поръ еще не изучены. Нельзя пока ясно и определенно представить себѣ, какіе электролитическіе процессы происходятъ во время прохожденія тока, позволяющн въ растворѣ поваренной соли и находящемся въ немъ протистѣ, представляющемъ въ отношенн содержанн неорганическихъ и органическихъ веществъ гипертонической растворъ (предмертное и помертное набуханіе). Самые процессы поляризаціи и электролиза еще не вполнѣ изучены при простыхъ дѣхъ условнхъ (И. Кабалковъ, 42). Настой, въ которомъ живутъ ивузюры, и жор-

ская вода представляются не простой, а чрезвычайно сложной раствором. Кроме ионов здесь находится много комплексных соединений с которыми ионы образуют равновесие. Все это усложняет лишь два фактора: ионы образуют равновесие. Все это усложняет лишь два фактора: ионы образуют равновесие. Все это усложняет лишь два фактора: ионы образуют равновесие.

3. Ток, действительно, производит прежде всего электролитическое действие, и не только во внешнем, но и во внутреннем электролите, т. е. в окружающей жидкости и внутри тела живого организма, чрез которое ток также проходит. Не лишним будет в этом отношении привести предположение В. Бидермана (38, стр. 185), высказанное им в нескольких словах в его литературном обзоре гальванотропизма простейших; он говорит, что ему «кажется, что электролитические процессы, имеющие место в живом веществе при замыкании тока на мышцах и нервах, играют существенную роль и у простейших».

До сих пор электролиз разработан для водных соляных растворов (Н. Кабуков, 42) и распространяет его на сложные органические тела нет никаких прочных научных оснований. Подчеркну, что в электролизе простейших мы имеем дело с коллоидами, т. е. телами, химическая природа которых совершенно неизвестна. Вспомним, что глобулин одна из главных составных частей протоплазмы может давать по схеме проф. Л. З. Морозовца (43, р. 80) весьма разнообраз-



ных сочетания с кислотами, щелочами и солями, с вислыми, щелочными и нейтральными соединениями. Что происходит в электролизе простейших, мы не знаем. В случае гальванотропизма простейших особый интерес имеют электролиз и других органических тел; в этом отношении многоценная работа самых последних дней не дают опять никаких удовлетворительных ответов. Неизвестно еще, как совершается электролиз мертвых органических тел, и мы не имеем никаких пока оснований представить себе изменение процессов в организованном веществе живой протоплазмы во время прохождения тока при наличии процессов постоянного окисления и восстановления, что вообще характеризует жизнь. Не явилось ли изменение электролиза организованных тел, мы встречаемся здесь с новыми неизвестными усложнениями: а) различные соединения, входящие в раствор, могут окисляться у анода и восстанавливаться

у катода, б) образующиеся комплексные катионы и анионы, в силу непрерывности химической реакции в живой протоплазме, могут снова переходить в нейтральное состояние. Мы можем пока блуждать только в области предположений и строить одну заманчивую гипотезу за другой.

Химические процессы в живой протоплазме под влиянием тока должны быть несколько нарушены, если не в качественном, то в количественном отношении. Это не предположение только, а вывод из открытого мною факта (отдѣл VII). Против представляющей индивидуальную физиологическую единицу, определенным образом, при характерном возбуждении риническ и сократительных элементов протоплазмы, отивается на раздражение током. До сих пор не было никаких фактических данных, что происходит с молекулами протоплазмы живого одноклеточного существа при прохождении, т. е. раздражении электрическим током. Мои опыты установили факт, что приращенная окраска зитоплазмы простейших под влиянием тока изменяется (стр. 147). Реакция живой протоплазмы, т. е. химические процессы в ней изменяются, нарушаются, и некоторые образования зитоплазмы обнаруживают уменьшение кислотности, характеризующей состояние покоя, и увеличение щелочности, являющейся следствием возбуждения протоплазмы.

Нормальные процессы обмена при возбуждении каким то неизвестным еще образом нарушены по всей зитоплазме, хотя приращенный мною микрхимический метод дает нам возможность констатировать явное повышение щелочности в зернышках, впаучевках и вакуолах зитоплазмы. Процессом возбуждения сопровождаются нарушением химической деятельности в живой протоплазме.

4. Основная составная часть протоплазмы есть белок, находящийся в сложном сочетании г. обр. с различными солями; причем неизвестно, какие соли и в каком количестве связаны с организованными молекулами, т. е. неинионизованы, и какие и сколько иниционизованы. Организованная белковая молекула при жизни непрерывно и меняет в протоплазме свой состав, так как процессы окисления и восстановления совершаются непрерывно. Известная степень колебания состава является стимулом для проявления обычного возбуждения, направленного на удовлетворение голода. При обычном условии голод обуславливает движение и ассимиляцию пищевых веществ; значительная доляция, т. е. значительный расход потенциальной энергии, повышение процессов расхода, снова вызывает голод; и таким образом создается безпрерывный круговорот внутренних импульсов, вызывающих обычную физиологическую реакцию у живого организма: движение и стремление найти соответствующий пищевой материал.

Нарушение обычных процессов обмена, повышение привычных колебаний в молекулярном строении белка вызывают уже опреде-

лешую, больше или меньше интензивно выраженную, реакцию со стороны протиста. Тот, проходящий через тьло протиста проваливает нарушение в соединении ионов с быклою, что является источником возбуждения. Достаточно минимальной силы тока, производящей вследствие электролиза слабое, несколько больше нормальных колебаний, нарушение в равновесии ионов быкловых молекул, чтобы вызвать возбуждение определенного характера (гальванотропизм при постоянном токе, давлении рѣсничек вперехъ при единичном индукционном ударе). *Источником возбуждения, внутренним импульсом, является нарушение физических особенностей и химического строения быкловых молекул, превышающее степень обычных колебаний.*

Былок морскихх протистов—сложнѣе сочетание съ различными неорганическими ионами. Процесс электролиза, нарушение состава быкловой молекулы здѣсь выраженъ гораздо интензивнѣе, но небольшие нарушения при дѣйствіи слабых токовъ (стр. 124) не вызываютъ какую либо новую физиологическую реакцию. Протист не испытываетъ вліянія слабого тока, производящаго, конечно, нѣкоторое нарушение в равновесіи ионовъ въ его тѣлѣ. Надо полагать, что въ обычных нормальных условиях колебания въ физико-химическомъ состояніи молекулы быкла протоплазмы морскихх протистовъ совершаются въ болѣе широкихъ предѣлахъ. Электролизъ при слабыхъ токахъ еще недостаточенъ, чтобы довести нарушения химического равновесія до извѣстнаго порога, необходимаго для проявленія возбужденія непривычнаго характера. Наступленіе извѣстной реакціи со стороны протиста находится въ прямой зависимости отъ степени нарушения химического равновесія.

Это заключеніе находитъ себѣ основаніе еще и въ аналогичныхъ явленіяхъ при опытахъ съ химическими раздражителями. Физиологическій растворъ NaCl, вызывающій бурную реакцию у прѣсноводныхъ инеузурій, на морскихх протистовъ не производитъ замѣтнаго вліянія, потому что не вызываетъ значительныхъ колебаний въ химическомъ равновесіи протоплазмы. Чтобы получить определенную новую реакцию со стороны протиста, нужна значительно большая сила тока, чѣмъ для прѣсноводныхъ инеузурій, вызывающія болѣе выраженные электролитические процессы, значительно нарушающія соединеніе ионовъ съ быклою, т. е. рѣзко вѣмняющая его физико-химическое строеніе.

При повышеніи концентрации солянаго раствора (стр. 127) степень возбужденія протистовъ понижается, потому что нарушение в равновесіи ионовъ, вызванное токомъ той же силы, не достигаетъ необходимаго напряженія, чтобы при данномъ соляномъ сочетаніи быкловой молекулы обусловить реакцию возбужденія.

Протисты искусственныхъ и естественныхъ соляныхъ растворовъ нечувствительны къ небольшимъ колебаніямъ въ составѣ и строеніи ионовъ быкловой молекулы; внутренне импульсы, необходимые для обнаруженія той или другой физиологической реакціи, гесп. процессы

возбужденія находятся въ зависимости отъ степени и быстроты колебаній въ химическомъ составѣ протоплазмы. Одна и та же степень въ нарушении равновесія ионовъ быкловыхъ молекул прѣсноводныхъ и морскихх парамей стимулируетъ первыхъ и ничѣмъ не проваливается у вторыхъ. Эта степень нарушения равновесія, преобладающая обычная колебания, достаточна, чтобы вызвать новую реакцию у прѣсноводныхъ парамей; протоплазма же морскихх протистовъ привычна, надо полагать, для колебаній въ этихъ предѣлахъ и не реагируетъ на такое нарушение равновесія. Определенная физиологическая реакція морскихх парамей можетъ быть вызвана значительнымъ колебаніемъ въ строеніи быкловыхъ молекул, которое у прѣсноводныхъ вызываетъ уже грубую нарушения въ процессѣ обѣйна веществъ и гибель протиста.

Слѣдовательно, степень возбудимости протистовъ при одной и той же силѣ раздражающаго тока зависитъ отъ физико-химическаго строения, главнымъ образомъ, быкловыхъ молекул протоплазмы. Молекулы морскихх протистовъ представляютъ сложное сочетаніе съ неорганическими ионами и способны въ обычныхъ условияхъ къ нарушеніямъ состава въ болѣе широкихъ предѣлахъ, чѣмъ менѣе сложная быкловая молекула прѣсноводныхъ. Вследствие этого для проявленія возбужденія нужна болѣе высокая степень нарушения равновесія ионовъ въ протоплазмѣ первыхъ, чѣмъ въ протоплазмѣ вторыхъ инеузурій, такъ какъ въ послѣднемъ случіи уже незначительныя колебания въ физико-химическомъ строѣ быкловой молекулы легко нарушаютъ привычное теченіе обѣйна веществъ и являются источникомъ возбужденія.

5. Итакъ, внутренними стимулами или источниками возбужденія протистовъ при раздраженіи электрическимъ токомъ являются нарушения в равновесіи ионовъ быкловыхъ молекулъ. Этотъ выводъ вытекаетъ изъ опытовъ надъ понижениемъ возбудимости протоплазмы протистовъ въ естественныхъ и искусственныхъ соляныхъ растворахъ. Наличие возбужденія объясняется нарушениемъ обычныхъ химическихъ процессовъ въ энтоплазмѣ протистовъ, вызваннаго электролизомъ при прохожденіи тока. Отъ характера этихъ нарушенийъ въ качественномъ и количественномъ отношеніяхъ зависитъ та или другая степень возбужденія, гесп. проявленіе той или другой физиологической реакціи.

Различныя стадіи реакціи гальванотропизма находятся въ прямой зависимости отъ силы возбуждающаго тока (стр. 32—44), гесп. отъ интензивности нарушения химическихъ процессовъ въ тѣлѣ протиста.

II.

1. На основаніи прямыхъ опытовъ и наблюденій нужно признать существованіе у протистовъ *чувствительныхъ органоидовъ*. Изъ опытовъ вліянія единичнаго индукціоннаго размыкающаго удара видно, что при извѣстной силѣ тока (26, стр. 15—27) раньше и сильнѣе возбуждается область входа тока, т. е. анодная часть протиста.

Изъ тѣхъ же опытовъ ясно, что наиболѣе возбудимымъ у большинства протистовъ является передній конецъ тѣла. Это обстоятельство можетъ объяснить, почему большинство протистовъ ориентируется переднимъ концомъ тѣла относительно катода, стараясь *путемъ исклѣченія* принять гомодромное положеніе, когда передній конецъ тѣла находится въ условіяхъ наименьшаго возбужденія.

Однако, это преобладающее вліяніе возбужденія на анодѣ не имѣетъ мѣста при токахъ очень слабыхъ, по крайней мѣрѣ оно ничѣмъ не обнаруживается. Напомню, что направляющее вліяніе частыхъ индукционныхъ ударовъ при флексорныхъ движеніяхъ рѣсничекъ наступаетъ при такомъ напряженіи, (стр. 20), когда отдельный индукционный удар не вызываетъ обычной реакціи — единичной экстензорный ударъ всѣхъ рѣсничекъ и отсавиваніе инфузурій каеди (26). Минимальная раздраженія суммируются, и реакція уже проявляется въ продолжительной работѣ рѣсничекъ спереди назадъ, какъ слѣдствіе каихъ-то *спутанныхъ импульсовъ*.

Такимъ образомъ, характеръ реакціи протиста при продолжительномъ вліяніи постоянного тока и частыхъ индукционныхъ ударовъ рѣзко отличается отъ реакціи при дѣйствіи единичнаго размыкательнаго индукціоннаго удара. Въ послѣднемъ случаѣ первая стадія реакціи характеризуется мгновеннымъ экстензорнымъ ударомъ всѣхъ рѣсничекъ, послѣ чего протистъ продолжаетъ свое обычное движеніе (26, стр. 12), тогда какъ въ первомъ случаѣ минимальная сила раздражителя обуславливаетъ во все время его вліянія *длительное возбужденіе протиста*, который при флексорныхъ ударахъ всѣхъ рѣсничекъ перемѣщается къ катоду (парамедія); форма тѣла инфузурій при этомъ несколько не измѣняется, сократительные элементы актоплазмы еще не возбуждены; наблюдается пока исключительное возбужденіе рѣсничатаго аппарата, продолжающееся въ теченіе всего періода отъ начала замыканія до размыканія постоянного тока.

Такая *длительность реакціи*, наблюдаемая при дѣйствіи постоянного тока не только у простѣйшихъ, но какъ будетъ изложено во второй части настоящей работы и у другихъ классовъ животныхъ (сазаники, ракообразная, амёбии и рыбы) противорѣчитъ установившемуся въ Физиологіи закону, что постоянный токъ возбуждаетъ только къ моменту замыканія и въ моментъ размыканія. Съ этой точки зрѣнія явленія гальванотропизма имѣютъ чрезвычайно важное значеніе для выясненія характера и сущности процессовъ возбужденія живого вещества при раздраженіи электрическимъ токомъ.

Постоянный токъ вызываетъ длительное возбужденіе протиста, этой физиологической единицы, причемъ въ протоплазмѣ его наблюдаются химическія измѣненія.

Ни количественная, ни качественная сторона измѣненій въ протоплазмѣ неизвѣстна. О локализациі процессовъ относительно полюсовъ внутри тѣла протиста нельзя сказать ничего опредѣленнаго; нельзя

пока дать точныхъ указаній, какое участіе принимаютъ базальныя тѣла рѣсничекъ, расположенная у основанія сосочка между двумя триходитами. Этого вопроса остается пока не разрѣшеннымъ. Можно предполагать, что въ мѣстахъ входа тока, въ самой актоплазмѣ или на границѣ ея съ зитоплазмой, протистъ прежде всего испытываетъ раздраженіе.

Можно допустить, что химическія измѣненія различны по своей интензивности на анодномъ и катодномъ полюсахъ актоплазмы (роль базальныхъ тѣлъ) или на границѣ ея съ зитоплазмой, т. е. внутри протиста, такъ какъ рѣзкія колебанія въ химическомъ равновѣсіи протоплазмы являются могучимъ внутреннимъ стимуломъ для движенія въ опредѣленномъ направленіи. Хотя и нѣтъ доказательныхъ свѣдѣніихъ въ дѣлахъ, но отъ этого допущенія нельзя отказаться. Повышенная возбудимость на анодѣ констатируется лишь при довольно сильномъ раздраженіи и лучше всего доказывается опытами съ отдѣльными индукционными ударами, известное напряженіе котораго вызываетъ мѣстное строго локализованное на анодѣ возбужденіе сократительныхъ элементовъ кортикальной плазмы парамедій (26, стр. 15—27); при минимальной же силѣ тока рѣснички всей поверхности тѣла парамедій работаютъ нормальными флексорными ударами спереди назадъ, что не даетъ оснований для принятія теоріи М. Ферворна двухъ полярныхъ возбужденій рѣсничекъ въ противоположномъ смыслѣ: возбужденіе «растяженія» на катодной половинѣ и возбужденіе «сокращенія» на анодной. Всѣ явленія зависятъ, какъ показываютъ опыты (стр. 98—100), отъ силы тока; при ординарнмъ вліяніи тока и максимумѣ скорости парамедія плывутъ къ катоду вслѣдствіе флексорныхъ ударовъ почти всѣхъ рѣсничекъ.

Эти измѣненія не могутъ имѣть мѣста на вѣнцовой поверхности протистовъ, какъ думаетъ Ж. Лебѣт, такъ какъ опытами, изложенными на стр. 110—112 доказано, что вѣнцая химическія вещества, окружающія въ данномъ мѣстѣ элекролита ту или другую часть поверхности тѣла протистовъ, не останавливаютъ ихъ поступательныхъ движеній, гср. не уничтожаютъ вліянія внутреннихъ импульсовъ, вызванныхъ нарушениемъ обычныхъ химическихъ процессовъ подъ вліяніемъ тока. Внутренніе импульсы при этомъ такъ могучи, что направляють протистовъ роковымъ образомъ въ ядовитую среду, гдѣ они гибнутъ.

Всѣ эти разсужденія справедливы относительно инфузурій, которыя при любой силѣ тока катодно-гальванотропичны и типичнымъ представителемъ которыхъ является парамедія.

2. Инфузорія, обладающія значительно дифференцированными чувствующими элементами перистомы и сократительными элементами (миоанамия), изложенными въ актоплазмѣ, ведутъ себя относительно раздражающаго тока иначе. При минимальной силѣ раздражителя стойкоишія или спиротомы принимаютъ прежде всего поперечное положеніе относительно линий тока (первая стадія реакціи), когда со-

кратительные элементы их еще не возбудимы; прачем перистоматилонийк всегда обращена къ катоду, т. е. въ сторону наименее возбуджающаго полюса (при минимальномъ напряженіи наиболее возбуждаетъ анодъ отдѣльнаго индукціоннаго удара, 26); болѣе сильный токъ вызываетъ и сокращеніе мюзавъ и безокоийнаго движенія; притись, принявъ гомодермное положеніе, плыветъ къ катоду въ сокращенномъ состояніи.

3. Локализациа, характеръ и степень химическихъ измѣненій, надо допустить, различны при различныхъ силахъ тока; паразитирующая опадина въ зависимости отъ силы тока можетъ быть то анодно—, то катодно-гальванотропичной. Вообще относительно объясненія причины самой ориентировки протиста относительно полюсовъ тока въ настоящее время еще ничего опредѣленнаго сказать нельзя ¹⁾.

Изъ всѣхъ изложенныхъ въ настоящей части опытовъ вытекаетъ совершенно опредѣленный выводъ, что направляющее вліяніе электрическаго тока вызываетъ у рясничатыхъ инфузорій рясной воды, искусственныхъ и естественныхъ соляныхъ растворовъ опредѣленную активную реакцию поступательнаго движенія при флексорныхъ ударахъ почти всѣхъ рясничекъ, обусловленную внутренни импулсами, вслѣдствіе нарушенія обычнаго равновѣсія процессовъ обмена веществъ въ ихъ протоплазмѣ, и независящую ни отъ физическихъ, ни отъ химическихъ прелатствій.

Москва—Серпуховъ.
Май—Августъ, 1903 года.

¹⁾ Сообщено 18 февраля 1903 г. въ Отдѣленіи Физиологій Импер. Общ. Люб. Ест., Антр. и Зоолор.

Литература.

1. Kühne. Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. Leipzig, 1864.
2. M. Verworu. Die polare Erregung durch den galvanischen Strom. Arch. f. ges. Phys. Bd. 45. P. 1—36 and Bd. 46, P. 267—303. 1889 u. 1890.
3. M. Verworu. Untersuchungen über die polare Erregung der lebendigen Substanz durch den constanten Strom. Arch. f. ges. Phys., Bd. 62. P. 415—450. 1896.
4. M. Verworu. Die polare Erregung der lebendigen Substanz durch den constanten Strom. Arch. f. ges. Phys., Bd. 65, P. 47—62. 1897.
5. K. Kötlicsch. Untersuchungen über die Zellflussungserscheinungen der Ciliaten Infusorien. Zoolog. Jahrbüch., Bd. 16. Heft. 2. P. 273—422. 1902.
6. H. Wallengren. Zur Kenntnis der Galvanotaxis. Die anodische Galvanotaxis. Zeitschr. f. Allg. Physiol. Bd. II. Heft. 2. P. 341—384. 1902.
7. H. Wallengren. Zur Kenntnis der Galvanotaxis. Eine Analyse der Galvanotaxis bei Spirostomum. Zeitsch. f. Allg. Phys. Bd. II. Heft. 3—4. P. 516—555. 1903.
8. F. Rouss. Sur un nouvel effet de l'électricité galvanique. Mémoires de la Soc. Impér. des naturalistes de Moscou, T. II. P. 327—337. Moscou 1809.
9. K. Ludloff. Untersuchungen über den Galvanotropismus. Arch. f. ges. Phys. Bd. 59, P. 525—554. 1895.
10. E. Stahl. Zur Biologie der Myxomyceten. Bot. Zeitung. 1884. P. 12.
11. P. Jensen. Methode der Beobachtung und Vivisektion von Infusorien in Gelatineauflösung. Biol. Centralbl. Bd. XII. P. 558.
12. R. Pearl. Reaction of Certain Infusoria to Electric Current. Amer. Jour. of Phys. Vol. IV. N III. P. 96—123. 1900.
13. В. Вирниковъ. О движеніяхъ инфузорій въ опредѣленномъ направленіи подъ вліяніемъ гальваническаго тока. Опытъ объясненія гальванотаксиса. Труды Физико-Ест. Ист. Общ. Ун. Т. VI. Изд. 1898. М. 1902.
14. H. Jennings. Studies on Reactions to Stimuli in unicellular Organisms. V. On the Movements and motor Reflexes of the Flagellata and Cilata. Amer. Jour. of Phys. Vol. III. N 6. P. 229—290. 1900.
15. H. Dale. Galvanotaxis and Chemotaxis of Ciliated Infusoria. Journ. of Phys. Vol. XXVI. 1900—1901. P. 291—361.
16. A. Pütter. Studien über Thigmotaxis bei Protisten. Arch. f. Anat. u. Phys., Phys. Abh. Suppl. Bd. P. 243—302. 1900.
17. H. Jennings. Studies on Reactions to Stimuli in unicellular Organisms. I. Reactions to chemical, osmotic and mechanical Stimuli in the ciliated Infusoria. Journ. of Phys. Vol. XXI. 1897. P. 258—322.
18. J. Loeb u. S. Budgett. Zur Theorie des Galvanotropismus. IV. Mittheilung. Ueber die Ausscheidung electropositiver Ionen an der äusseren Anodenfläche protoplasmatischer Gebilde, als Ursache der Abweichung vom Pflüger'schem Erregungsgesetz. Arch. f. ges. Physiol. Bd. 65. Pp. 518—534. 1897.
19. O. Carlgren. Ueber die Einwirkung des constanten galvanischen Stromes auf niedere Organismen. Arch. f. Anat. u. Phys., Phys. Abh. P. 49—76. 1900.

20. П. Статкевичъ. Къ методѣмъ биологическихъ изслѣдованій надъ протистами А. Методы постоянныхъ равновѣснхъ протистовъ. В. Новый методъ наученія прижизненнаго строенія и движеній протистовъ. Извѣстия Имп. Общ. Люб. Естеств. Антроп. и Этногр. Т. XLVIII. Москва 1903.
21. Л. Мороховецъ. Физико-химическія основы биологическихъ и врачебныхъ методовъ изслѣдованія съ физиологической техникой. Отдѣлъ второй. Москва 1897.
22. И. Козовичъ. Nouvelles systéme de régulateur du courant pour l'électrophysiologie et l'électrothérapie. Arch. néolog. med. pp. 185—195. 1894.
23. Dr. Gailliox. Sm. G. Gailliox, Médecine générale. Paris, Novembre 1902.
24. E. Blasius u. F. Schweizer. Ueber Electroplasma und verwandte Erscheinungen. Arch. f. ges. Phys. Bd. 53, pp. 493—549. 1892.
25. E. Hoesele. Die Reaction einiger Infusorien auf einzelne Inductionsschläge. Zeitschrift f. Allg. Phys. Bd. II, Hof. I, pp. 139—168. 1902.
26. П. Статкевичъ. Ueber die Wirkung der Inductionsschläge auf einige Ciliata. Phys. Russe. № 41—45, pp. 1—55. 12 Janvier 1903.
27. G. Quinke. Ueber die Fortführung materieller Theilchen durch strömende Electricität. Poggend. Arch. f. Ann. Bd. 113. 1861.
28. Th. Weyl. Versuche über dipolar-electrische Ladung materieller in Wasser suspendirter Theilchen. Arch. f. Anat., Phys. u. wis. Med. 1876.
29. Fr. Schenk. Kritische und experimentelle Beiträge zur Lehre von der Protoplasma-bewegung und Contraction. Archiv f. ges. Phys. Bd. 66. P. 241—284. 1897.
30. H. Wallengren. Zur Kenntniss der Galvanotaxis. III. Die Einwirkung des Konstanten Stromes auf die inneren Protoplasma-Bewegungen bei den Protozoen. Zeit. f. Allg. Phys. Bd. III, Hft. 1, P. 22—37. 1903.
31. H. Goldberger. Die Wirkung von anorganischen Substanzen auf Protisten. Zeitschrift. f. Biol. Bd. 25 (Neue Folge) S. 503—581. 1902.
32. J. Loeb. Ueber den Einfluss der Werthigkeit und möglicher Weise der electricischen Ladung von Ionen auf ihre antitoxische Wirkung. (Vorläufige Mitth.) Arch. f. des. Phys. Bd. 88, P. 68—78. 1902.
33. F. Cohn. Nova Acta Ac. Caes. L. Carol. S. 135. 1854 (по Goldbergerу, 31).
34. P. Regnard. Recherches expériment. sur les condit. physiques de la vie dans les eaux. Paris. 1891.
35. В. Шевяковъ. Къ биологін прогрѣдшихъ. II. О сократительныхъ элементахъ инфузорій. Записк. Имп. Акад. Наукъ. Т. LXXV. Прилож. № 1, pp. 19—37. 1894.
36. M. Verwoh. Psycho-physiologische Studien. Jena. 1889.
37. H. Mouton. Sur le Galvanotropisme des Infusoires ciliés. Comp. Rendus. de l'Acad. des Sciences. T. 128, p. 1248. 1890.
38. W. Biedermann. Electrophysiologie. Ergebnisse der Physiol., herausgeg. von L. Ather. u. K. Spiro. Jahrg. I. Abt. II, pp. 169—196. Wiesbaden, 1902.
39. S. Prokavček. Ueber Vitalfärbung mit Neutralrot. Biol. Centralbl. Bd. 17. 1897.
40. Н. Борнманъ. Основыи учения объ электрическихъ и магнитныхъ явленіяхъ. Часть I. Электростатика и электрическій токъ. СПб. 1883.
41. О. Оствальдъ. Основы теоретической химіи. Перев. Москва, 1902 г.
42. И. Каблучковъ. Основныи начала физической химіи. Вып. второй. Электрохимія. Москва, 1902.
43. Л. Мороховецъ. Единство протеновыхъ тѣлъ. Томъ церамъ, Глобулинъ и его сочетанія. Москва, 1892.

Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

