

Joint Institute for Nuclear Research

MODERN PROBLEMS
OF RADIOBIOLOGY, RADIOECOLOGY
AND EVOLUTION

*Proceedings of the International Conference
dedicated to the Centenary of the Birth
of N. W. Fimofeeff-Ressovsky*

Dubna, 6–9 September 2000

Объединенный институт ядерных исследований



СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ
И ЭВОЛЮЦИИ

*Труды Международной конференции,
посвященной 100-летию со дня рождения
Н. В. Тимофеева-Ресовского*

Дубна, 6–9 сентября 2000 г.

УДК 577.391(042+091)
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434
С56

Под общей редакцией **В. И. Корогодина**
Составители: **В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина**

Использованы документы и фотографии из личных архивов
В. И. Иванова, В. И. Корогодина, Ц. М. Авакяна,
П. Д. Усманова, М. А. Реформатской.

Обложка **Ю. А. Туманова**

Edited by **V. I. Korogodin**
Composed by **V. L. Korogodina, N. I. Dubrovina**

Documents and pictures are from the personal archives of
V. I. Ivanov, V. I. Korogodin, Ts. M. Avakian,
P. D. Usmanov and M. A. Reformatskaya.

Title page design by **Yu. A. Tumanov**

Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции: Тр.
С56 **Международ. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Н. В. Тимофеева-Ресовского / Под общ. ред. В. И. Корогодина; Сост.: В. Л. Корогодина, Н. И. Дубровина. — Дубна: ОИЯИ, 2001. — 493 с.; 23 с. фото.**

ISBN 5-85165-673-5

Сборник включает статьи и доклады, представленные на международной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и эволюции», посвященной 100-летию юбилею русского ученого Н. В. Тимофеева-Ресовского (Дубна, 6–9 сентября 2000 г.). Помимо оригинальных научных статей по генетике, радиобиологии, радиоэкологии, самоорганизации материи и эволюции, в книгу вошли воспоминания коллег, учеников, друзей Н. В. Тимофеева-Ресовского, а также документы, публикуемые впервые.

Книга содержит портреты Н. В. Тимофеева-Ресовского и фотографии, сделанные на конференции.

Издание представляет интерес для широкого круга читателей.

УДК 577.391(042+091)
ББК 28.071.2я434+28.081.28я434

ISBN 5-85165-673-5

© Объединенный институт ядерных исследований, 2001

Н.В. ТИМОФЕЕВ-РЕСОВСКИЙ
И АКСИОМАТИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

Б.М. Медников

Межфакультетская НИЛ молекулярной биологии и биоорганической химии
им. А.Н. Белозерского, Московский государственный университет

На протяжении всей своей научной деятельности Н.В. Тимофеев-Ресовский живо интересовался проблемами теоретической биологии и активно участвовал в ее создании. Свидетельством тому может быть его последний доклад 28 февраля 1980 года на заседании Московского отделения Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова, в том же году опубликованный в № 9 журнала «Природа» под названием «Генетика, эволюция и теоретическая биология».

В этой работе Тимофеев-Ресовский приходит к выводу, что «в настоящее время никакой теоретической биологии, сравнимой с теоретической физикой, нет». Иными словами, биология, в отличие от математики и физики, не аксиоматизирована. Нет более или менее общепринятой совокупности исходных положений, на основании которых можно было бы построить систему непротиворечивых взглядов, охватывающих всю науку о живом. Не так уж важно, как такие исходные положения называть – аксиомами (как в геометрии), принципами (как в физике), началами (как в термодинамике), – главное, чтобы они в данной системе взглядов были абсолютными истинами, поддаваясь проверке практической деятельностью или экспериментом, или строго выводились из принципов той же физики. В дальнейшем я буду их называть аксиомами, как делал ранее (1982).

Есть еще два условия, каким биологические аксиомы должны отвечать. Прежде всего, каждая из них и вся построенная на них система должна быть применима к любому из живых организмов (по возможности не только на Земле) – от вируса до человека. Выпадение какого-либо биологического феномена из нашей системы свидетельствует о том, что наша система неполна. С другой стороны, аксиомы должны быть специфичными только для живой природы. Например, включение в эту систему закона сохранения энергии или второго начала термодинамики будет некорректным (хотя все живые организмы этим законам подчиняются). Однако биологическая

аксиома может быть выведена из положения, имеющего силу в отраслях естествознания, исследующих нижние уровни строения материи (например, в физике и химии).

Н.В. Тимофеев-Ресовский указывал в последних работах два таких, как он называл, общебиологических естественно-исторических принципа. Первым из них он назвал принцип дарвиновского естественного отбора. Это, действительно, одно из практически общепринятых положений общей биологии. В существовании естественного отбора в настоящее время никто не сомневается, даже те исследователи, которые отрицают его значительную роль в эволюции. Второй принцип разработан самим Н.В. Тимофеевым-Ресовским в ходе обсуждения общих проблем биологии с М. Дельбрюком и П. Дираком в конце 20-х – начале 30-х годов и сформулирован как «принцип конвариантной редупликации дискретных кодов наследственной информации, передаваемых от поколения к поколению» (1980). В цитируемой статье автор указывал, что эта формулировка еще недостаточно строга и совершенна. Действительно, принцип конвариантной редупликации прямо исходит из идеи матричного синтеза генов, выдвинутой Н.К. Кольцовым. При этом для нас не имеет значения то, что Кольцов, оставаясь на уровне знаний своего времени, полагал, что ген имеет белковую природу. Но репликация ДНК, как принято говорить сейчас, или редупликация, как предпочитал называть этот процесс Н.В. Тимофеев-Ресовский, не всегда конвариантна. Уровни конвариантности как раз определяются отбором. Слишком стабильные, инвариантные генетически системы были бы нежизнеспособными при смене внешних условий. Они просто не могли бы эволюционировать. С другой стороны, чересчур лабильные гены, накопив запас мутаций, перестали бы работать. В тех случаях, когда развитие генетически детерминированной структуры выходит из-под контроля отбора, относительно быстро происходит ее редукция (глаза подземных и пещерных животных, крылья нелетающих птиц, потеря легких безлегочными саламандрами, гемоглобина – белокровными щуками и т.д.). Этот процесс, названный И.И. Шмальгаузенем распадением коррелятивных связей (1969), широко распространен в эволюции. Дальнейшее возрастание конвариантности, распространение ее на селективно-значимые структуры, привело бы к быстрому вымиранию вида. Поэтому все рассуждения о том, что ход эволюции тормозится медленными темпами мутационного процесса, не имеют под собой

основания. Мутаций не много и не мало, а ровно столько, чтобы обеспечить эволюционный процесс в нормальных условиях. Техногенное загрязнение биосферы нарушает это равновесие.

Было бы логичным разделить на два принципа (аксиомы) редупликацию (или матричный синтез) и конвариантность (или возникновение изменений генетических структур). Но этого мало. Прежде чем постулировать конвариантность кодов наследственной информации, надо как-то обосновать само их существование. Здесь явно не хватает начальной аксиомы!

В той же работе 1980 года Тимофеев-Ресовский предлагает для обсуждения еще один естественно-исторический феномен. Именно: достаточно ли естественного отбора для объяснения прогрессивной эволюции или же в нашу систему аксиом надлежит ввести еще одну, по сути аналогичную «принципу градаций» Ламарка. Напомню, что «стремление к усовершенствованию» было основным тезисом эволюционного учения Ламарка. Однако принятие этого тезиса вызывало к жизни неразрешимые противоречия, из которых самым невинным была проблема совместного существования высших и низших форм. Ламарк обошел ее, допуская постоянно идущее возникновение жизни, отказавшись от преемственности форм в эволюции. Ясно, что это объяснение в настоящее время имеет только исторический интерес. Последовательное применение принципа градаций вообще выводит эволюционную теорию за пределы научного естествознания – к энтелехии Аристотеля.

Как справедливо отмечал Н.В. Тимофеев-Ресовский, причина неразработанности этой проблемы в том, что «пока нет не то что строгого или точного, но даже мало-мальски приемлемого, разумного, логичного понятия прогрессивной эволюции». Однако вряд ли справедлив его упрек биологам, не удосужившимся до сих пор сформулировать это понятие. Недостатка в попытках не было, но единственной удачей оказалось предложение А.Н. Северцова о разделении расплывчатого понятия «прогресс» на две категории: биологический и морфофизиологический. С первым «прогрессом», по крайней мере, понятно: его можно измерить строго количественно по увеличению численности, биомассы, расширению ареала, возрастанию скорости видообразования. Вряд ли, однако, этот феномен всегда связан с прогрессивной эволюцией и заслуживает этого названия. Скорее, это то, что американцы называют prosperity – процветание, а прогресс – лишь один из способов его достижения.

Морфофизиологическому прогрессу до сих пор не найдено общепринятого определения, и вряд ли это случайно. Только самое общее, на уровне термодинамики и теории информации, определение типа «прогресс – это локальное повышение уровня сложности структуры и понижение энтропии» может удовлетворить большинство исследователей. Дальнейшая конкретизация неизбежно приводит к субъективным оценкам вроде «принципа цефализации». Возможно, в линии, ведущей к человеку, опережающее развитие центральной нервной системы действительно может считаться показателем прогрессивной эволюции, хотя человек, став разумным, не всегда это подтверждает своими деяниями. Однако ни к устрице, ни к кольчатому червю этот принцип неприменим. Не следует ли считать, что для каждой эволюционной линии существует свой критерий прогрессивной эволюции? Еще Энгельс отмечал, что каждый прогресс в то же время является регрессом, так как ограничивает развитие в других направлениях. То, что в одной группе является прогрессивным, в другой может оказаться признаком регресса или примитивного состояния. В группе плоских червей нервная система и органы чувств лучше всего развиты у примитивных турбеллярий и трематод - прогресс в развитии одних систем организма, как правило, сопровождается регрессом других.

В конечном счете еще Дарвин хорошо понимал это, считая тот феномен, который мы называем теперь морфофизиологическим прогрессом, не самоцелью, а лишь средством для выживания. Организмы прогрессируют лишь в тех случаях, когда усложнение структур способствует их выживанию, борьбе за существование. Но если прогресс морфофизиологический лишь один из путей прогресса биологического, нет нужды возводить способность к нему в ранг основополагающего принципа - аксиомы. Из уже цитированной работы Тимофеева-Ресовского ясно видна его точка зрения: «ведет ли естественный отбор обязательно к прогрессивной эволюции - *хочется верить, что ведет*» (курсив мой. - Б.М.). Мы вправе трактовать постановку этой проблемы Тимофеевым-Ресовским как своего рода риторический вопрос, но никак не прямое указание на необходимость воскрешения ламаркэра «закона градаций». Это важно подчеркнуть, ибо статья Тимофеева-Ресовского может быть истолкована по-другому. Так, В.И. Корогодин отмечает (1985), что, «...как пишет Тимофеев-Ресовский, посылка, содержащаяся в этой триаде (т.е. в сочетании наследственности, изменчивости и отбора. - Б.М.), недостаточна, чтобы объяснить такой важнейший общебиологический

феномен, как прогрессивное развитие жизни». Мимолетно высказанное сомнение уже трактуется как утверждение. Но в дальнейшем В.И. Корогодин усложнение генома, ведущее к повышению надежности передачи генетической информации, прямо связывает с его селективной ценностью, т.е. возвращается на дарвиновский путь. Однако дело уже сделано: у невнимательного читателя складывается твердое убеждение, что Тимофеев-Ресовский вернулся к Ламарку. Как мы видим, это далеко не так.

Вновь обратимся к процессу аксиоматизации биологии. Полагая, что все основные принципы для создания теоретической биологии уже сформулированы в разное время разными исследователями, я как-то сделал попытку объединить их в непротиворечивую, необходимую и достаточную систему (1982, 1984). Сначала эта система состояла из четырех аксиом. Потом С.П. Панушко (в то время студент-математик) предложил разделить четвертую аксиому на две (аксиома усиления и аксиома отбора). В результате система стала, на мой взгляд, логичнее.

Н.Г. Яблоков и Ю.Г. Юсуфов, рассматривая ее, удачно предложили назвать каждую аксиому (или принцип, как они ее называют, пользуясь физической терминологией) по фамилиям исследователей, ее впервые сформулировавших или обосновавших. Это также удачное нововведение, так как мне приходилось встречать не очень завуалированные упреки в плагиате, хотя я с самого начала подчеркивал, что несу ответственность не за сами аксиомы, но лишь за их компоновку в систему.

Развивая предложения Яблокова и Юсуфова, можно прийти к выводу, что некоторым аксиомам следует присвоить имена нескольких авторов: как выдвинувших их впервые, так и окончательно их обосновавших прямым экспериментом или сведением к более общим закономерностям термодинамики или квантовой физики. Рассмотрим еще раз эту систему, а также выводы, которые можно трактовать как теоремы биологии.

1. Аксиома Вейсмана - фон Неймана (аксиома структуры, по С.П. Панушко). Сформулировать ее можно так: *все живые организмы должны быть единством фенотипа и программы для его построения – генотипа, передающейся по наследству из поколения в поколение.* Впервые это положение было выдвинуто Вейсманом (фенотип = сомагенотип = зародышевая плазма). Фон Нейман доказал его строго математически, исходя из основных положений теории информации.

Известно, что клетки, теряющие генотип (например, эритроциты млекопитающих), теряют и способность к размножению и исправлению повреждений. Нервные клетки, в норме не делящиеся, сохраняют вместе с ядром и способность к росту и репарации. Наконец, генотипы могут существовать и за счет чужого фенотипа (эндогенные вирусы).

Теоретики неоднократно пытались предложить мысленные эксперименты, в которых фигурируют организмы без генотипа, т.е. передающие по наследству не описание структуры, а саму структуру. Так, А.Б. Флоринский, в критическом письме в редакцию журнала «Наука и жизнь» рассматривает гипотетические автоматы, соединенные парами, как сиамские близнецы. Один из них строит свою копию, используя как образец другой автомат, а затем они меняются местами. Не следует упрекать подобную систему в чрезмерной сложности (в конце концов, в онтогенезе живых организмов реализуются и более изощренные модели, типа чередования поколений и так далее). Уязвимость всех подобных моделей в другом. Историческое развитие жизни с приспособлением и усложнением структур немислимо без принципа кодировки, сжатия информации. По наследству передается не только нуклеотидная последовательность, но и возможность построения по заключенной в ней программе первичных последовательностей белков (аминокислотных последовательностей), время и интенсивность их синтеза, расположение клеток и их дифференциация и т.д. – вплоть до безусловных рефлексов и способности развивать условные. Г. Патти справедливо указывает, что «...процессы простого матричного копирования недостаточны для эволюции путем естественного отбора. Там, где нет различия между генотипом и фенотипом, или между описанием признака и самим признаком (иными словами, где нет процесса кодирования, который связывает описание с описываемым путем сведения многих состояний к одному), не может быть эволюции путем естественного отбора».

Из этой аксиомы естественным путем вытекает возможность феномена, присущего только живой природе, – чередования поколений, осуществляемого согласно передающимся по наследству программам, она же удовлетворительно разрешает многовековой спор сторонников теорий преформации и эпигенеза.

2. Аксиома Кольцова - Крика - Уотсона. *Генетическая программа синтезируется матричным путем. В качестве матрицы, на которой строится ген будущего поколения, используется ген предшествующего ему поколения.*

Эта аксиома носит имя Н.К. Кольцова, впервые выдвинувшего идею матрицирования гена, и Ф. Крика и Дж. Уотсона, расшифровавших структуру двойной спирали ДНК, из которой со всей непреложностью вытекал механизм ее полуконсервативного матричного синтеза. Из всех основополагающих принципов общей биологии этот наиболее разработан, уже сейчас можно видеть пути его дальнейшего развития.

Прежде всего, реализоваться матрицирование гена может только в открытой системе с подводом энергии и структурных элементов, необходимых как для синтеза программы, так и для репарации ее повреждений и синтеза эффекторной системы фенотипа. При этом поступающие извне структурные элементы с затратой энергии *ассимилируются*; параллельно идет противоположный процесс *диссимиляции* – деградации систем организма, являющихся источником энергии или отслуживших свой срок до структур с минимумом свободной энергии. Таким образом, из второй аксиомы неизбежно вытекает необходимость обмена веществ. Обмен веществ многие до сих пор считают аксиомой биологии, наивно полагая, что при этом следуют Энгельсу. Но Ф. Энгельс сам писал в «Анти-Дюринге», что «...с обменом веществ мы не подвигаемся ни на шаг вперед, ибо тот своеобразный обмен веществ, который должен объяснить жизнь, в свою очередь, сам нуждается в объяснении при посредстве жизни». Обмен веществ не самоцель, а вторичное явление, не аксиома, а теорема. Более того, Энгельс назвал и то, более фундаментальное, свойство жизни, из которого обмен вытекает, – самообновление химических составных частей организмов (т.е. репликацию и репарацию в современной терминологии, самоподдержание и самовоспроизведение).

Можно сослаться также и на Э. Шредингера, писавшего: «...представляется нелепостью, чтобы существенным был именно обмен веществ. Любой атом азота, кислорода, серы и т.д. так же хорош, как и любой другой того же рода. Что могло бы быть достигнуто их обменом?» (1947). Естественно, признание обмена веществ вторичным феноменом по сравнению с редупликацией по Тимофееву-Ресовскому отнюдь не ставит под сомнение важность для биологии этого принципа.

Второе, не менее важное следствие, вытекающее из рассматриваемой нами аксиомы, касается темпа матрицирования или количества копий, снимаемых с исходной. Поясню это примером. Считается, что Эдисон изобрел звукозапись. Однако каждая запись на восковом валике его фонографа существовала только в единственном экземпляре, как первые дагерротипы или последние фотографии по системе «Поляроид». Лишь запись на плоском диске позволила получить неограниченное число копий, т.е. осуществить матрицирование.

Фонографу Эдисона соответствовал бы в природе некий организм, который раз в жизни приносил бы одного потомка, а затем погибал, как единорог из «Голубиной книги». Однако с гена-матрицы можно получить, хотя бы в принципе, неограниченное число копий. При возможности совместного существования этих копий мы получаем рост численности организмов по экспоненциальному закону. Фактически из второй аксиомы можно вывести в принципе всю теорию динамики численности популяций (что, в общем, и сделано, в значительной мере интуитивно).

Есть еще одно положение, претендующее на роль основного закона биологии, но, на мой взгляд, являющееся следствием матричного принципа. Одним из величайших открытий молодого Пастера было установление факта оптической (зеркальной) изомерии химических соединений с асимметрично расположенным атомом углерода – и асимметрии живой природы в этом отношении. Все аминокислоты в белках земных организмов левые, а сахара-пентозы в нуклеиновых кислотах правые, хотя термодинамически зеркальные изомеры равновероятны. Чистоту зеркальной изомерии вслед за Пастером считают важнейшим признаком жизни, ее изначальным свойством.

Однако и левые сахара, и правые аминокислоты отнюдь не чужды живой природе. В качестве примера можно привести хотя бы правые аминокислоты в пептидах бактериальных оболочек и некоторых антибиотиках белковой природы, вроде грамицина. Но не все эти соединения синтезируются нематричным путем. Отсюда следует, что оптическая асимметрия живой природы (хиральность) является следствием матричного принципа.

В самом деле, представим рацемический, состоящий из правых и левых пентоз полимер - аналог нуклеиновой кислоты, какой мы можем получить в эксперименте. Сможет ли он реплицироваться? Нет, потому что азотистые основания – аденин,

гуанин, цитозин и тимин (или урацил) в последовательности «торчат» в разные стороны и комплиментарного гомолога образовывать не могут. А при синтезе белка только левые аминокислоты могут присоединяться к своим адаптерам – транспортным РНК, скелет которых образован правыми пентозами. Рацематная ДНК термодинамически вероятнее, но не может реплицироваться, а потому исключается из эволюции. Здесь соблюдается тот же принцип, что и при образовании фосфодиэфирных связей в нуклеиновых кислотах. Известно, что во всех земных ДНК и РНК распространены связи 3'-5' (между третьим и пятым атомами углерода в соседних пентозах, если считать от атома, к которому присоединены азотистые основания). Но в экспериментах по абиогенному синтезу несравненно чаще возникают связи другого типа (3'-3', 5'-5' и т.д.). Можно было, конечно, возвести это в какой-либо исходный, аксиоматического толка, биологический принцип. Однако нам хорошо известно, что при помощи этих связей возникают ветвящиеся полимеры, неспособные к репликации, у которых процесс возникновения комплиментарной нити обрывался бы на первой вилке. К редупликации способна лишь неветвящаяся нуклеиновая кислота, образованная мономерами хиральности одного знака.

В связи с этим возникает вопрос, имеющий до открытия во Вселенной новых форм жизни чисто теоретическое значение, – какие особенности ДНК характерны для всех полимеров, выполняющих роль генотипов, а какие присущи жизни лишь в земном ее варианте? Ясно, что наследственные матрицы должны быть линейными, одномерными и неветвящимися. Как справедливо указывал М.В. Волькенштейн (1963), плоские двумерные матрицы затрудняли бы диффузионные процессы, а на трехмерных была бы невозможна репликация. Дальнейшее уточнение свойств наследственных программ, которые еще предстоит открыть в космосе, может быть только гипотетическим:

- 1) Н.К. Кольцов предполагал, что при репликации возникают двойные гомологичные нити генов (подобное тянется к подобному). Мы теперь знаем, что вторичная структура ДНК образована водородными связями между комплиментарными, а не идентичными звеньями цепи полимера. Всегда ли это так или же где-то реализуется механизм, предложенный Кольцовым? Быть может, принцип комплиментарности обязателен для матрицирования вообще – ведь типографский

набор, печать и оттиск с нее, негатив и позитив не идентичны, а комплиментарны друг другу.

- 2) Возможно ли образование матричных макромолекул из мономеров с симметричной структурой? Если это так, то оптическая асимметрия ДНК, РНК и белков является атрибутом жизни лишь в ее земном варианте и правило Пастера нельзя распространять на всю Вселенную.

Можно сформулировать немало таких проблем, которые в будущем, несомненно, станут объектом анализа теоретиков биологов. Например: обязательна ли для жизни АТФ или возможны другие макроэрги, не на основании фосфатных групп? И так ли обязательны макроэрги вообще? Ведь энергия может накапливаться впрок, например на мембранах (энергия разности потенциалов).

3. Аксиома Дарвина - Тимофеева-Ресовского. *В процессе передачи из поколения в поколение генетические программы в результате многих причин изменяются случайно и ненаправленно, и лишь случайно эти изменения оказываются приспособительными.*

Эти предположения непосредственно восходят к дарвиновской неопределенной изменчивости. С 1859 года они редко оспаривались, хотя утверждения о том, что неопределенная изменчивость не может быть материалом для эволюции, можно слышать и по сей день. Чаще всего оспаривается ненаправленность изменений генетического материала вследствие терминологической ошибки - отождествления ограниченности и направленности. Этот вопрос был рассмотрен мною ранее (1984).

В конечном счете ненаправленная, неопределенная изменчивость (конвариантность) непосредственно вытекает из аксиомы Кольцова с учетом второго начала термодинамики. Конвариантность - это и есть прирост энтропии в системе генофонда эволюционирующей популяции. Интуитивно это понимали уже первые генетики, но лишь Н.В. Тимофеев-Ресовский еще в ранних работах и обсуждениях с М. Дельбрюком, П. Дираком и К. Циммером пришел к выводу, что основа конвариантности заключается в квантовом механизме нарушений структуры генного материала. Эти ранние работы, конца 20-х – начала 30-х годов, практически

недоступны исследователям, т.к. стали уже библиографической редкостью.¹ Поэтому я излагаю их по более поздней статье. В ней, в первую очередь выражена преемственность идей, восходящих к Дарвину: «мы ... совершенно иными и новыми путями возвращаемся к классическому утверждению Дарвина о случайности и ненаправленности вариаций, служащих материалом для естественного отбора и связанного с ним эволюционного процесса».

Пути действительно были новыми и иными! Подытожив ранние работы с К. Циммером и М. Дельбрюком, Н.В. Тимофеев-Ресовский приходит к выводу, что в мутагенезе наблюдается статистичность, неопределенность, двоякого рода. Одну из них можно назвать классической, термодинамической, она обуславливается термодинамическими флуктуациями. Этот путь возникновения конвариантности недавно проанализирован С.Е. Бреслером (1981), убедительно показавшим, что большинство спонтанных мутаций обусловлено помехами репликации («тепловым шумом»). В принципе, мутагенез можно было бы уподобить банальной химической реакции с очень высокой (50 ккал/моль) энергией активации, если бы не одно обстоятельство, о котором редко вспоминают физики и химики: гены никогда не бывают представлены в молевых количествах. Поэтому статистичность оборачивается здесь полной непредсказуемостью, имея дело с популяцией живых организмов, мы никогда не сможем предсказать, какая из мутаций произойдет первой.

Статистичность второго рода непосредственно вытекает из определения, данного Н.В. Тимофеевым-Ресовским и К. Циммером, так называемого радиуса эффективности объема, образно говоря, размера этой ахиллесовой пяты гена, попав в которую квант энергии вызывает мутацию. Из этих прямых измерений следовало, что эффективный радиус не более чем на порядок превышает атомные размеры. Поэтому необходимо признать и статистичность второго рода – квантовую. Статистичность эта принципиального характера, т.к. вытекает из соотношения неопределенностей В. Гейзенберга. В цитируемой статье авторы прямо указывают, что «...для индивидуальных микрофизических явлений типичен принципиальный дуалитет, на который основывается принципиальная же статистичность явлений и процессов».

¹ Кстати, было бы полезно издать сборник основополагающих работ Н.В. Тимофеева-Ресовского, так как многие его идеи и в наше время выдвигаются без ссылки на автора (например, Эйген, 1983), находя, по остроумному выражению Галилея, «милосердных приемных отцов».

Далеко не все исследователи признают необходимость квантово-механического анализа биологических процессов. В частности, М.В. Волькенштейн исходит из того, что организмы и входящие в их состав молекулы биополимеров слагаются большим числом атомов и поэтому биологические процессы объяснимы на классической основе.

4. Четвертая аксиома, на мой взгляд, - *это так называемый принцип усилителя (или усиления)*, сформулированный Николаем Владимировичем. Суть его в том, что изменения генетического материала, происходящие на квантовом уровне в процессе становления фенотипа, усиливаются – до уровня макротела. Как ни странно, сам Н.В. Тимофеев-Ресовский о нем не упоминал, а ведь от него зависит возможность усложнения структуры организмов в процессе эволюции – морфофизиологический процесс. Многократно усиленные квантовые изменения генотипа становятся доступны селективным процессам. Это аксиома Тимофеева-Ресовского.

5. И вот теперь мы переходим к последней, пятой аксиоме – аксиоме Дарвина: *многократно усиленные изменения генетических программ подвергаются отбору условиями внешней среды.*

Осмелюсь высказать предположение, что эти пять аксиом: аксиома Вейсмана – фон Неймана, аксиома Кольцова – Крика – Уотсона, аксиома Дарвина – Тимофеева-Ресовского, аксиома Тимофеева-Ресовского и, наконец, аксиома Дарвина являются основополагающими принципами биологии и из них можно вывести все биологические феномены не только на Земле, но и во всей Вселенной.