
Глава 1

Общие принципы организации биологических систем

Живые организмы представляют собой открытые динамические системы. Важнейшие процессы, в них протекающие, – химические реакции и транспорт веществ. Прямые и обратные связи, определяющие поведение живой клетки, регуляцию ее жизнедеятельности, реализуются специфическими молекулами и надмолекулярными системами на основе молекулярного узнавания [М.В. Волькенштейн, 1978].

Взаимодействие системы со средой происходит через составляющие ее элементы, каждый из которых может взаимодействовать со средой независимо друг от друга. Целью элементов является сохранение устойчивого состояния в течение достаточно продолжительного времени или «выживание». Воздействие со стороны среды носит характер возмущения, выводящего элемент из устойчивого состояния с возможным гибельным исходом. Поэтому подвергаемые разрушительному воздействию среды элементы вынуждены объединяться в систему с целью увеличения вероятности выживания, повышения надежности, устойчивости и т.д. Поэтому и возникают высокомолекулярные соединения, живые организмы, популяции, общественные образования.

Однако проблема системной организации носит противоречивый характер: объединение элементов в систему расширяет возможности системы в целом, но ограничивает возможности самих элементов.

Связи в системе образуют ее структуру, характеристики которой и обеспечивают в конкретном плане «поведение» системы как единого целого. Главной структурной особенностью, определяющей целостность системы,

является нелинейность, которую можно выразить как невозможность линейного представления взаимодействия и взаимосвязи элементов системы. Вместе с другой системной особенностью - иерархичностью структуры – нелинейность придает «усилительный» характер этой структуре, что приводит к таким особенностям сложных систем, как: лавинообразные процессы; спонтанность и непредсказуемость поведения, пороговые эффекты (скачкообразные переходы, дискретность состояний и пр.); экспоненциальные и логарифмические зависимости; наличие ветвящихся процессов и др. [А.И. Яблонский, 1986].

Крайне важным является понимание принципов организации биологических систем. Известно, что фило- и онтогенетическое развитие любой биологической системы возможно лишь при широком диапазоне колебаний жизненных процессов как в системе в целом, так и в отдельных ее звеньях. Нормально функционирующая и развивающаяся система не может непрерывно находиться на грани жизни и смерти, когда любое изменение внешних и внутренних условий может прервать ее дальнейшее развитие. Система не может существовать и тем более развиваться, если она не обладает достаточным запасом прочности, обеспечивающим ей свойства надежности и адаптивности. Иными словами, наличие широкого диапазона жизненных возможностей является основным условием существования биологических систем. Колебания или отклонения (применительно к физиологическим, гомеостатическим системам применяют термин «реакции»), происходящие в системе в допустимых пределах, возможны благодаря регуляторным механизмам, осуществляющим возврат к исходному состоянию, или так называемому состоянию относительного постоянства.

Системный подход в биологии предполагает, во-первых, что живой организм представляет собою многоуровневую систему взаимосвязанных, но не однозначных процессов, происходящих в определенных пространственных и временных границах; во-вторых, что способность удерживать эти границы – имманентное свойство биосистем, определяющее в конечном счете способность органического мира к эволюции; и, в-третьих, что закономерности одного системного уровня несовместимы с закономерностями иных системных уровней биоиерархической организации.

Системный анализ связан с разработкой научного инструментария, позволяющего решать практические задачи по пониманию сущности и конструированию систем, включающих человеческий, целенаправленный фактор, и по управлению такими системами. Системный анализ является проекцией идей, связанных с общей теорией систем и системным подходом, на практические исследовательские задачи.

В первом приближении можно считать, что системный подход, системный анализ и общая теория систем отражают оперативные, тактические и стратегические задачи изучения сложных систем, в том числе биологических. Предпосылкой изучения биосистем является их описание. При этом возникают трудности, связанные с системной сложностью. Во-первых, измерение всех переменных, с помощью которых можно провести описание, трудоемко, а в ряде случаев невозможно. Во-вторых, достаточно сложно установление взаимосвязей между переменными уже после того, как их измерения занесены в исследовательский протокол. В-третьих, способность человека к восприятию ограничена. Выбрать минимальное число показателей, достаточное для изучения системы, а затем конструктивно увязать их между собой - задача, которая относится к стратегии научного сознания. По этим причинам в современном естествознании основным методом изучения очень сложных систем признается математическое моделирование. Например, экспериментально воспроизвести процесс эволюции на Земле во всей его протяженности и многообразии нельзя, но его модели вполне доступны для эксперимента.

Теория надежности является методологической основой изучения механизмов, ограничивающих существование как технических, так и биологических систем. В случае биологических объектов речь идет о механизмах, определяющих продолжительность их жизни. Между процессами, ограничивающими продолжительность жизни организмов, и процессами износа, которые мы наблюдаем в неживой природе, существует определенная аналогия. В проблеме надежности ключевую роль играет возраст функционирования технического устройства или биосистемы, как важнейшей переменной, определяющей частоту поломок, отказов или болезней, а также бимодальный характер распределения числа повреждений в зависимости от возраста. Современные данные подтверждают справедливость этого и свидетельствуют о том, что бимодальное распределение отказов является универсальной и фундаментальной закономерностью, справедливой как для живых существ, так и для технических устройств.

В настоящее время в теории надежности выделяют следующие три периода функционирования систем.

1) Период приработки, называемый также периодом «выжигания» дефектных элементов. Он характеризуется высокой начальной интенсивностью отказов, резко снижающейся со временем. Именно такая же динамика интенсивности смертности наблюдается в начале жизни большинства организмов, включая человека. У человека этот период соответствует возрасту повышенной детской смертности (0–5 лет) и также в значительной мере

обусловлен преимущественной гибелью ослабленных организмов с врожденными дефектами.

2) Период нормальной работы, соответствующий возрасту низкой и приблизительно постоянной интенсивности отказов. Этому периоду соответствует наблюдаемый у всех живых существ период низкой и примерно постоянной интенсивности смертности. Для человека этот период оказывается довольно коротким и кончается слишком рано – 10–15 лет.

3) Период старения, проявляющийся в неуклонном росте интенсивности отказов с возрастом. Этому периоду соответствует период роста интенсивности смертности, который также характерен для большинства живых существ, и описывается обычно законом Гомпертца-Мейкхэма, основной смысл которого состоит в том, что на значительном возрастном интервале интенсивность смертности растет по закону геометрической прогрессии, т.е. экспоненциально. Для человека период старения находится в пределах примерно от 20 до 100 лет

Таким образом, существует удивительное сходство в распределении времен жизни технических и биологических систем, имеющее бимодальный характер. Это сходство не только внешнее, но и внутреннее. Однако эта аналогия долгое время не имела своего научного развития. Отчасти это было связано с тем, что сама теория надежности как научная дисциплина начала формироваться в годы второй мировой войны в связи с опытом эксплуатации сложных радиоэлектронных систем. Да и само по себе сопоставление биологических и технических систем мало что могло дать, поскольку эти системы долгое время были просто несоизмеримы по своей сложности. Поэтому такие попытки сопоставления воспринимались как проявление механицизма. В этом отношении весьма показательны высказывание А. Комфорта: «Различия между старой телегой и старой лошадей слишком разительны, чтобы можно было рассматривать «изнашивание» в широком смысле как объяснение старения». Поэтому большинство биологов, изучающих старение и продолжительность жизни, считало концепцию износа чрезмерным упрощением и свои усилия направляло на поиск генетической программы старения, выделение белков и гормонов "старения", а также на поиск биологических часов, определяющих видовой предел продолжительности жизни. Эти исследования, несмотря на ряд несомненных удач, связанных с установлением кардинальных научных фактов, не имеют принципиального значения для развития теории надежности биологических систем.

В то же время, по мере технического прогресса, прежде всего, с развитием кибернетики и бионики начался процесс стирания различий между

биологическими и техническими системами, были найдены общие принципы функционирования тех и других. В конечном итоге, все основные препятствия и недоразумения, стоявшие на пути использования теории надежности в биологии, к настоящему времени устранены. Создан математический аппарат этой теории, который может быть применен для изучения как сложных технических, так и биологических систем. Математическая теория надежности может служить вполне достаточной методологической основой для изучения механизмов и факторов, определяющих развитие тех или иных патологических процессов, которые лимитируют продолжительность жизни, поскольку она не навязывает свои решения, а лишь указывает на наиболее эффективные методы исследования. Это не цель, а средство.

Среди основных параметров, характеризующих надежность или жизнеспособность систем, выделяют следующие.

Устойчивость, т.е. способность восстанавливать установившееся состояние после возмущающих воздействий. Известно, например, что в облученном организме происходит заметное падение динамической устойчивости по отношению к экзо- и/или эндогенным факторам.

Точность выполнения операции (адекватность реакции в биологии) по отношению к заданности того или иного процесса, либо способа его воплощения. Отклонение от заданного способа или теоретического расчета (в технических системах), либо от нормы реакции (в биологических) характеризует величину ошибки. Применительно к радиобиологии многие системные физиологические, биохимические реакции в ответ на действие возмущающих агентов (раздражителей) количественно и качественно изменяются.

Быстрота операции (скорость реакции), т.е. среднестатистическое число операций или скорость отклонения от устойчивого (равновесного) состояния биологических параметров за единицу времени. В качестве примера можно привести уменьшение скорости распространения нервного импульса, наблюдаемое при старении и радиационном воздействии.

Нагрузочная характеристика, которая рассматривается как параметр, характеризующий связь между величиной нагрузки (силой возмущающего воздействия) и ответом системы. В частности, для иллюстрации отметим, что многие ткани старого или облученного организма реагируют на гормоны при меньших их концентрациях, однако величина максимального ответа на высокие концентрации у них уменьшена. Это означает, что диапазон изменения ответа системы на стимул сужается.

Таким образом, использование теории надежности позволяет разумно классифицировать множество различных изменений в организме (адапта-

ционно-приспособительного, компенсационного, патологического, восстановительного характера), обращая при этом особое внимание на те, которые существенны для его жизнеспособности.

Выход значений перечисленных параметров за допустимые пределы в теории надежности называют «отказом». Большинство систем организма являются избыточными по числу функционирующих элементов. Такое резервирование обеспечивает нормальную работу системы в целом даже при временном отказе большой группы элементов. Однако уменьшение числа элементов по разным причинам (болезнь, лучевая травма, старение), т.е. снижение резервирования ведет к существенному ослаблению надежности системы и увеличению вероятности смерти.

Занимаясь многолетними исследованиями особенностей и закономерностей функционирования системы гемостаза, являющейся многоуровневой и многокомпонентной с «каскадным» типом реакций, наличием активирующих и ингибирующих элементов, А.А. Маркосян [1968] сформулировал и предложил четыре принципа надежности биологической системы:

а) принцип избыточности элементов управления и протекающего процесса;

б) принцип дублирования и взаимозаменяемости элементов регулирования и процесса;

в) принцип совершенного и быстрого возврата к состоянию относительного постоянства;

г) принцип динамичности взаимодействия звеньев самой системы.

Большой фактический материал по онтогенезу системы гемостаза, включающий эмбриональный и постнатальный (вплоть до старческого возраста) периоды ее развития, позволил А.А. Маркосяну [1968] выделить четыре периода индивидуального развития биологической системы: (1) становления и формирования надежности, (2) развития надежности, (3) стабилизации надежности, (4) нарушения надежности.

Никто не сомневается в том, что развитие - это противоречивый процесс. Поэтому периодизация индивидуального развития любой биологической системы является условной. В природе действуют общие законы, диалектическая сущность которых часто не лежит на поверхности. В нашем случае – это законы развития организма и законы термодинамики. В соответствии с основами термодинамики функционирование открытой системы, какой является живой организм, может искусственно поддерживаться, если каким-то образом прилагается усилие, направленное на сохранение упорядоченности в живой системе, которое противодействует возрастанию в ней энтропии (как меры разупорядоченности), но приводит к уве-

личению энтропии в окружающей среде. Применительно к живым существам данное положение достаточно емко выражено в законе Клода Бернара, согласно которому «свободная жизнь организма возможна только при сохранении постоянства состава его внутренней среды».

По мнению М.В. Волькенштейна [1978], важнейшая особенность обсуждаемой ситуации состоит в том, что биологическая система не является статистической; это – динамическая система, своего рода химическая машина, поведение которой определяется положением и функциональностью взаимозависимых составных частей. Части эти макроскопичны (макромолекулы, надмолекулярные системы, клетки, ткани), соответственно функциональные изменения их относительно расположения не сопровождаются сколько-нибудь заметными изменениями энтропии. Биологическая система есть система именно в том смысле, что ее части взаимосвязаны и их энергия не аддитивна. Тем самым, в системе не выполняются исходные предпосылки статистической механики, и работа биологической машины не может быть полно описана в терминах энтропии или количества информации. На этом основании автор считает, что эффективность рассмотрения открытой системы, исходящего из функции диссипации, т.е. из скорости продукции энтропии, по-видимому, недостаточна для биологии. Энтропия – принципиально усредненная статистическая величина, которая дает лишь весьма ограниченную характеристику биологической системы, что однако никак не противоречит описанным выше возможностям применения неравновесной термодинамики в биологии, ибо термодинамика открытых (биологических) систем, в сущности, кинетика. Все жизненноважные процессы (развитие, метаболизм, гомеостаз), протекающие в живых организмах, являются биокинетическими.

В.М. Дильман [1981], обсуждая в данном контексте закон К. Бернара, приходит к выводу, что этот фундаментальный закон несовместим с требованиями, предъявляемыми при осуществлении развития организма, ибо постоянство запрещает развитие. «Поэтому если условием жизни является стабильность, то в равной мере условием развития является запрограммированное нарушение стабильности. Соответственно наряду с законом постоянства внутренней среды организма существует закон отклонения гомеостаза, или, точнее, оба этих закона отражают то единство противоположностей, которое обеспечивает и развитие, и само существование развивающейся живой системы». По мысли В.М. Дильмана, закон постоянства гомеостаза и закон отклонения гомеостаза являются двумя проявлениями одного общего закона. Поэтому, когда заканчивается развитие, действие этих взаимосвязанных законов не отменяется, что делает в итоге

конечным индивидуальное существование каждого развивающегося организма. Именно в связи с этим естественная смерть у высших организмов – смерть регуляторная.

В основу регуляции не только сложных биологических, но и технических систем положен универсальный принцип отрицательной обратной связи. Для технических систем он позаимствован из живой природы. В кибернетическом понятии слово «отрицательный» обозначает, что регулятор тормозится действием периферического фактора или сигнала, тогда как снятие «отрицательного» тормозящего влияния приводит к стимуляции периферического звена. В этом и заключается механизм обратной, т.е. взаимной связи. Такой механизм автоматически поддерживает постоянство биологического процесса, и применительно к системам, которые обеспечивают постоянство внутренней среды, данный процесс принято обычно обозначать как гомеостатический процесс, или гомеостаз.

Исторически теоретические основы системной регуляции в биологии и медицине связаны с научными исследованиями выдающихся ученых прошлого столетия. В 30-х годах XX века М.М. Завадовский обосновал и сформулировал общебиологический принцип регуляции процессов развития и гомеостаза – принцип «плюс–минус взаимодействия», который, как выше отмечено, в настоящее время широко известен как механизм обратных связей (*feedback mechanism*). Первые публикации по данной проблеме относятся к 1933–1935 гг., но обобщающую и основополагающую работу М.М. Завадовский опубликовал в 1941 году под названием «Противоречивое взаимодействие между органами в теле развивающегося животного» [М.М. Завадовский, 1941]. Следовательно, М.М. Завадовский предвосхитил аналогичные представления Норберта Винера, изложенные им в книге «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», первое издание которой появилось в 1948 году [Н. Винер, 1983]. Однако, как это часто бывает с новыми, оригинальными идеями в связи с субъективными причинами (борьба научных школ, консерватизм и догматизм взглядов в среде ученых-биологов) и объективными обстоятельствами того времени (трудности предвоенных и военных лет, сталинские репрессии) принцип «плюс–минус взаимодействия» М.М. Завадовского не избежал недооценки, либо попыток превратного толкования и стремлений ограничить его применимость только взаимодействиями типа отрицательной обратной связи, т.е. в направлении «от плюса к минусу». В действительности же М.М. Завадовский, формулируя свой принцип, представлял себе эти взаимодействия в организме во всей их сложности и полноте. Он многократно подчеркивал, что взаимосвязи неизбежно должны включать не только от-

ношения типа «плюс–минус», но и «плюс–плюс» и «минус–минус». Он писал, что количественные значения положительных и отрицательных влияний не всегда равны между собой, ибо это приводило бы к равновесию. Хотя теоретическое обобщение было сделано на основе анализа гуморальных взаимосвязей и регуляций, оно отнюдь не ограничивалось этими рамками. Как бы предвидя последующие успехи в области нейроэндокринологии, М.М. Завадовский отмечал, что «система организма осуществляет свое развитие не только на основе взаимно-противоречивых взаимодействий гуморальных агентов, но и на основе взаимодействия этих элементов и вмешательства в эту систему нервных импульсов, и на основе взаимодействия организма как целого, так и его частей с внешней средой».

Принцип «плюс–минус взаимодействия» оказался весьма плодотворным и, по существу, общебиологическим, позволяя понять сложные взаимосвязи, осуществляющиеся в самых различных явлениях. Безусловно, идейное содержание монографии М.М. Завадовского перекликается с «кибернетическими» воззрениями Н. Винера. Принципиальное различие между идеями М.М. Завадовского и Н. Винера заключается в том, что первый изучал экспериментально обратные связи в формообразовательных и физиологических процессах живого организма, а второй привлек математический подход для построения теории управляющих систем. Значение обратных связей для биологических процессов было не только четко сформулировано, но и доказано М.М. Завадовским, поэтому приходится сожалеть, что иногда, говоря об обратных связях, не ссылаются на классические исследования М.М. Завадовского. Несмотря на то, что ученый полностью понимал всю глубину этого обобщения и его значение для практики (в первую очередь, для медицины), он, тем не менее, не отдался всецело разработке этого важнейшего направления своих исследований, переключившись на исследование других биологических и животноводческих проблем.

И все же, осенью 1956 года М.М. Завадовский выступил на семинаре по кибернетике в Московском государственном университете, где излагал сущность своих работ, иллюстрируя значение обратных связей для поддержания гомеостаза в развивающемся организме. Доклад вызвал большой интерес. Эти исследования М.М. Завадовского, несомненно, являются наиболее крупным вкладом в понимание роли управляющих систем в живом организме, поэтому они вызывали и продолжают вызывать такой большой интерес со стороны биологов и кибернетиков [Л.В. Крушинский, 1981].

Большой вклад в разработку проблем, связанных с деятельностью биологических систем, внес выдающийся физиолог П.К. Анохин (ученик И.П.

Павлова). На основе многолетних и многочисленных исследований им создана теория функциональной системы. С точки зрения П.К. Анохина [1968, 1980], функциональные системы – это динамические само-регулирующиеся организации, деятельность всех составных элементов которых способствует получению жизненно важных для организма приспособительных результатов. Центральным системообразующим фактором каждой функциональной системы является результат ее деятельности, определяющий в целом для организма нормальные условия течения метаболических процессов, адаптационно-приспособительных актов.

Рассматривая организм животного как совокупную деятельность многообразных и иногда принципиально различных функциональных систем, П.К. Анохин [1980] замечает, что их соотношение, точки прикосновения и перекрытия друг с другом являются специальной большой проблемой, которая при достаточно глубоком ее исследовании приведет нас, несомненно, к формулировке таких законов, которые физиологически разъяснят нам туманную формулу «организм – как целое». Так, например, различные функциональные системы имеют различную степень выраженности морфогенетически определенного компонента, и это накладывает свой отпечаток на взаимодействие такой функциональной системы с другими, менее стабильными.

Надо помнить, что функциональная система представляет собой систему активно объединенных процессов, которые, раз объединившись, стремятся сохранить созданную архитектуру соотношений. Понятие функциональной системы не может быть заменено понятиями «рабочее содружество центров», «конstellация центров» и т.д. Эти последние понятия, отражая собой лишь простое взаимодействие различных нервных образований, не характеризуют наиболее важного и решающего свойства функциональной системы: активно изменять соотношение и устанавливать определенным образом направленное соподчинение между ее компонентами.

Из этого уже видно, что функциональная система приобретает новые, не свойственные ее частям качества и формы поведения, которые ей присущи только как целостному образованию. Важным преимуществом этой концепции является также и то, что она аргументирована целиком на физиологической основе как по манере экспериментирования, так и по использованию всего нейрофизиологического материала. В этом отношении функциональная система представляет собой совершенно реальную основу для решения одной из самых волнующих физиолога проблем: законов интегрирования нервных процессов.

Функциональная система может быть по преимуществу врожденной, т.е. определенной морфогенетически, или, наоборот, по преимуществу созданной заново, т.е. эпизодической, приспособляющей организм для данного момента. Однако и в том, и в другом случае, поскольку она сложилась как система, она неизбежно приобретает новые свойства, не присущие частным процессам, являющимся традиционным объектом исследования классической физиологии.

Поскольку в целом организме существует множество полезных приспособительных результатов, обеспечивающих различные стороны его обмена веществ, целостный организм существует благодаря совокупной деятельности многих функциональных систем. В настоящее время имеются все основания говорить об иерархии различных функциональных систем организма, которая, как подчеркивал П.К. Анохин, представляет собой ни что иное, как иерархию отдельных результатов деятельности этих систем.

Преимущество общей теории функциональной системы перед другими теориями систем и «системных подходов» состоит именно в том, что она предоставляет конкретные возможности для системного анализа различных классов явлений природы и общества. Наряду с этим функциональная система является связующим звеном между синтетическим и аналитическим уровнем исследований.

Использование теории функциональной системы как метода для анализа саморегуляторных приспособлений организма в условиях патологии дало возможность П.К. Анохину сформулировать основные черты компенсации нарушенных функций при ряде заболеваний и некоторых хирургических вмешательствах. Точно также были раскрыты механизмы приспособления и устойчивости функциональных систем в экстремальных условиях, т.е. на границе патологических состояний. Материалы этих работ дали возможность представить основные правила формирования защитных приспособлений организма к экстремальным условиям, что также важно для понимания изменений состояния организма человека в условиях радиобиологического и сопутствующего ему психогенного стрессов.

В последние годы активно разрабатывается и внедряется в биологию и медицину так называемая квантово-биологическая теория организации любой материальной системы (механической, физико-химической, биологической, социологической). Она интегрировала (синтезировала) разнородные знания, принципы, законы и постулаты из разных областей современной науки – квантовой механики, термодинамики, теории относительности, теории информации и др. Ее основой стала теория квантовой энтропийной логики, которую создал профессор Теодор ван Хоуэн – специалист в

области квантовой физики и социальной психологии. Он высказал гипотезу, смысл которой заключается в том, что величина потери системной организации материальной системы, находящейся во взаимодействии с электромагнитным излучением, не может принимать произвольные значения, а также быть равной нулю. Плотность поля энтропии элементарных систем обязательно должна быть равной целому числу, кратному определенному количеству энергии системы. Тем самым Т. ван Хоуэн определил взаимосвязь между степенью деструкции системы и максимальным количеством энергии, которое система может излучить или поглотить¹.

Каждая материальная система имеет избирательное взаимодействие с электромагнитным излучением определенной длины волны, энергия квантов которого адекватна энергии разрушения связи (энтропийному потенциалу) основных компонентов системы. В процессе взаимодействия компонентов системы с квантами электромагнитного поля изменяется величина плотности поля энтропии системы, что вызывает нарушение гравитационно-статического равновесия во внешней среде. В свою очередь, изменение градиента гравитационного поля вызывает изменение кривизны пространства, что приводит к изменению величины значений энтропии системы, для каждого компонента которой характерны строго определенные (квантовые) состояния величины поля энтропии.

Любая материальная система, в том числе биологическая, может находиться только в таких стационарных состояниях, в которых энергия внутренней связи компонентов превышает энергетический фон полей энтропии окружающей среды. В соответствии с постулатами квантово-энтропийной логики всякое событие, даже в очень малом масштабе времени, при кажущейся непрерывности происходит дискретно, путем изменения фазовых состояний системы. Если величина стимула, под которым понимается любое внешнее воздействие, в нашем случае ионизирующей радиации, превышает критический порог, величина энтропии системы скачкообразно возрастает, иными словами, резко увеличивается поток отказов и снижается надежность функционирования всех элементов системы.

Известно, что энергия внутримолекулярных связей равняется 6–12 эВ, в то время как энергия ионизирующих излучений измеряется сотнями, тысячами и миллионами эВ. Совершенно очевидны несоизмеримость энергий и неизбежность разрушения внутримолекулярных связей в клетке при действии радиации. В этом отношении действие ионизирующих излучений, конечно, беспороговое. Согласно общепринятым представлениям,

¹ см. Квантово-биологическая теория. Под общей ред. проф. В.В. Бойко и проф. М.А. Красноголовца. Харьков: "Факт", 2003. - 967 с.

разрыв внутримолекулярных связей заканчивается либо гибелью молекулы, либо восстановлением повреждения. Процессы гибели молекул и клеток постоянно происходят в организме, являясь неизменным проявлением жизнедеятельности. На разных стадиях онтогенеза эти процессы протекают с разной скоростью. Как вследствие естественных процессов, так и под влиянием природного радиационного фона в клетках постоянно появляются хромосомные aberrации, которые обычно элиминируются. Клетки с не элиминирующимися повреждениями могут дать потомство и реализоваться в виде генетических аномалий и развития злокачественных опухолей.

Завершая эту главу, хотелось бы подчеркнуть, что различные аспекты общей теории систем, основные принципы системного подхода и системного анализа с учетом структурно-функциональной организации биологических систем будут, на наш взгляд, полезными для понимания системной дестабилизации и дезинтеграции, обусловленных воздействием ионизирующей радиации на биологические объекты и, главным образом, на человека.
