

ЮХАН КАЛАМ

## ПРИНЦИП СИСТЕМНОСТИ В БИОЛОГИИ

На примере капиталистического общества К. Маркс показал, что система обладает такой целостностью, при которой каждый ее элемент есть причина и одновременно следствие состояния другого элемента той же системы и, несмотря на относительную самостоятельность ее элементов, синтезирует их таким образом, что абсолютно самостоятельное существование их становится невозможным, поскольку система стремится подчинить себе все элементы и сама создает недостающие органы (Маркс, Энгельс, 1968). Такое понимание является углублением содержания категорий системности. При системном подходе внимание направлено на состав, на свойства элементов, проявляющихся в их взаимодействии, на установление устойчивых взаимосвязей элементов отдельных уровней, а цельность объекта рассматривается как само собой разумеющееся. На взаимосвязь элементов мы можем смотреть как на обмен информацией между этими элементами. Теория информации была разработана в связи с проблемой передачи информации от источника *A* через канал *B* к приемнику *B* (Shannon, Weaver, 1962). В последние годы информационный характер живых систем изучался во многих работах, но возможным механизмам передачи внутриклеточной информации, т. е. вопросу о том, как и по каким каналам осуществляется эта передача, уделено мало внимания. Только в нескольких трудах указывается, что возможным каналом связи может служить внутриклеточная вода. При этом К. Тринчер (1965) приходит, в конечном счете, к выводу, что живая материя возникла более четырех миллиардов лет назад из праматерии. Как отмечает М. Сетров (1971), этот вымысел остается на научной совести К. Тринчера, так как особое состояние воды в живом не может быть серьезным аргументом в пользу столь далеко идущих выводов. В общем, принцип системности, несмотря на критику, нашел широкое признание как один из методов рассмотрения живого. В основном эта критика заключается в утверждении, что эволюционная теория способна разрешить все проблемы биологии и что сторонники системного подхода пытаются создать особую сферу жизни — организованность, независимую от истории (Презент, 1963; Иоганзен, 1964; Криворучкий, 1964). Здесь мы только ссылаемся, с одной стороны, на работы эволюционистов И. Шмальгаузена (1968, 1969), применившего в своих исследованиях метод системности, и Х. Хабермана (Haberman, 1968), который в определении жизни использовал принцип системности и, с другой стороны, на работу Л. Берталанфи (Bertalanffy, 1952), одного из основоположников теории систем, считавшего, что при определении живого организма



одним из существенных моментов является указание на его историчность. Полный анализ этих вопросов приведен в книге М. Сетрова (1971).

В настоящей статье мы исходили из мысли К. Маркса о том, что несмотря на относительную самостоятельность элементов, система синтезирует их так, что абсолютно самостоятельное их существование становится невозможным. Как известно, физиологические процессы происходят в среде, состоящей из  $\sim 80\%$  воды и  $\sim 20\%$  биомакромолекул. Следовательно, мы имеем дело с нарастающей степенью сложности: отдельная молекула воды  $\rightarrow$  внутриклеточная вода  $\rightarrow$  система вода—биомакромолекулы. Из этого выясняется, что вода должна иметь большое значение в жизнедеятельности организма. В последние годы биологи очень интенсивно изучают роль воды в жизненных процессах. Основным выводом этих исследований является то, что вода в клетке имеет так наз.

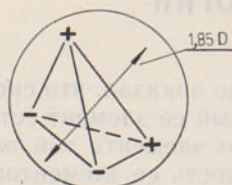
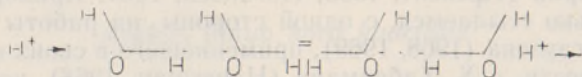


Рис. 1. Схематическое изображение молекулы воды.

квазикристаллическую рыхлую структуру (Jacobson, 1953; Сент-Дьерди, 1964; Тринчер, 1966; Slatyer, 1967; Блох, 1969; Алексеев, 1971 и др.). При интерпретации физиологических явлений обычно исходят из моделей Дж. Д. Бернала и Р. Х. Фоулера (Bernal, Fowler, 1933) или О. Самойлова (1957). Но эти модели претерпели в работах химиков некоторые изменения и усовершенствование. В дальнейшем мы исходим из модели коллективного движения молекул воды в воде В. Яшкичева (1971), из литературных данных о роли воды в живой клетке и из результатов собственных исследований (Калам, 1972а, 1972б; Калам и др., 1972).

В молекуле воды десять положительных зарядов нейтрализованы десятью электронами. Конфигурация электронов приводит к полному экранированию зарядов кислородного ядра и к неполному экранированию двух протонов (Bernal, Fowler, 1933; Herzberg, 1945). В результате получается тетраэдрическое распределение двух положительных и двух отрицательных зарядов в виде четырех полюсов на поверхности молекулы воды и результирующий, довольно значительный, дипольный момент (1,85 D). Каждый полюс может соприкасаться с полюсом противоположного заряда соседней молекулы (рис. 1). Основываясь на модели молекулы воды Дж. Д. Бернала и Р. Х. Фоулера, О. Самойлов (1957) выдвинул свою модель, согласно которой она представляет собой трехмерный каркас льда I, нарушенный тепловым движением молекул. Так как, по В. Яшкичеву (1971), энергетически наиболее выгодно смещение молекулы в составе пяти связанных в тетраэдрическую ячейку молекул (при этом «удельные» затраты энергии минимальны), то можно предположить, что в биологических системах внутриклеточная передача информации осуществляется изменением положения таких ячеек (только в таком случае, когда информация передается между макромолекулами, разделенными водой). Следовательно, предложенный К. Тринчером (1966) механизм передачи информации не может быть общим, а только частным случаем, когда имеется дело с передачей информации вдоль однослойной цепи молекул воды. Например, если требуется осуществить перенос протона, то:



т. е. протон подходит к цепи слева, цепь претерпевает симметричное превращение и с правого конца цепи протон освобождается. Но при передаче



информации через каркас квазикристаллической воды толщиной в несколько молекул необходимо учитывать результаты работы В. Яшкичева (1971), и потребность энергии для изменения положения одной ячейки в каркасе внутриклеточной воды можно вычислить следующим образом:

$$E_{\text{яч}} = \frac{5E \cdot 1000}{N} = 3,9 \cdot 10^{-20} \text{ кал},$$

где  $N$  — число Авогадро и величина  $E = 4,7$  ккал/моль, по В. Яшкичеву (1971). Вычисленная величина является минимальным количеством энергии, которая требуется для передачи сигнала в виде изменения структуры внутриклеточной воды. Используя данные, полученные В. Яшкичевым, можно также вычислить расход энергии, требуемой для составления ячейки из пяти молекул воды:

$$E^+_{\text{яч}} = \frac{5E^+ \cdot 1000}{N},$$

где величина  $E^+$  при температуре 20 °C равна 3,14 ккал/моль. Следовательно,  $E^+_{\text{яч}} = 2,6 \cdot 10^{-20}$  кал. Имея в виду, что в среднем в клетке  $10^{12}$  молекул воды, можно найти суммарное количество энергии для структуризации всей клеточной воды:

$$\frac{10^{12} \cdot 3,14 \cdot 1000}{6,023 \cdot 10^{23}} = 5,2 \cdot 10^{-9} \text{ кал}.$$

Результаты, указывающие на упорядочение внутриклеточной воды под действием биомакромолекул (Jacobson и др., 1954; Есипова и др., 1958; Odeblad, 1960; Вержбинская, Сидорова, 1964; Bernal, 1965), наводят на мысль, что основные носители внутриклеточной информации способны сами себе создавать необходимые каналы для передачи информации. Например, ДНК способна создать вокруг себя слой структурной воды толщиной в 1000 Å, т. е.  $\sim 360$  молекул воды или  $\sim 140$  кинетических ячеек воды. Но мы должны учитывать, что для ионов структурная вода является барьером, препятствующим их движению. Для того, чтобы ион прибыл к макромолекуле под влиянием электрического поля, требуется превращение части окружающей воды в «жидкую» — бесструктурную воду, образующую канал для быстрого движения ионов. Таким образом, видим, что могут существовать параллельные каналы для передачи информации в виде изменения в структуре воды и для передачи веществ в виде ионов. Также можно предположить, что эти каналы претерпевают превращения: там, где требуется ограничение для движения ионов или передача информации в виде структурных превращений, создается квазикристаллическая структура воды и, наоборот, если требуется передача ионов, то созданная структура разрушается.

Рассматривая результаты опытов К. Тринчера (1966) о том, что вода, проникая в эритроцит, переходит из менее упорядоченного состояния внеклеточной среды в более упорядоченное состояние внутриклеточной среды, а также результаты опытов других исследователей (Данилов, 1956; Rey, 1959; Родимов и др., 1965; Гуман, 1966), указывающие на наличие очагов ледяных структур в свежеталяой воде, можно допустить, что свежеталяая вода должна стабилизировать биосистемы.

Если в биосистемах структурность воды является необходимым условием, то при наличии во внешней среде структурных ячеек, обмен воды произойдет не по отдельным молекулам, так как в биосистему проникнут ячейки, состоящие из пяти молекул или больше. Это, вероятно, является и частичным ответом на загадочный вопрос о том, почему в обмене веществ одни молекулы заменяются другими, кажущимися



равноценными. Эта гипотеза легко контролируема на клеточном и субклеточном уровнях, используя эритроциты куриной крови и митохондрии. Результаты и методика опытов, которые изложены нами ранее (Калам и др., 1972), показывают, что в структурной (т. е. свежеталой дистиллированной) воде митохондрии сохраняют реакционную способность почти вдвое дольше, чем в плотноупакованной (т. е. дистиллированной). Аналогичное получено и в опытах с эритроцитами. Логичным продолжением приведенного можно считать наши попытки выяснить роль структурности среды в генетических явлениях. Установлено, что структурность воды не вызывает достоверных различий в генетических показателях, но модифицирует генетические эффекты гамма-облучения (Калам 1972а, 1972б). При низких дозах облучения ( $<LD_{50}$ ) свежеталая вода уменьшает, а при высоких дозах ( $>LD_{50}$ ) повышает частоту генетических изменений. В общих чертах отмеченную зависимость

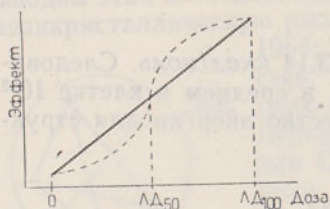


Рис. 2. Кривые доза-эффект. Сплошная линия — контроль; прерывистая — структурная вода.

можно изобразить в виде кривой, приведенной на рис. 2. Эти результаты объясняются вышеприведенной гипотезой о передаче информации через каркас квазикристаллической воды, если предполагать, что при облучении низкими дозами доминируют сигналы, кодирующие репарационные процессы, а при высоких дозах — сигналы, кодирующие нарушения, обусловленные облучением. В конце концов, в обоих случаях вода с квазикристаллической структурой облегчает и ускоряет передачу информации по сравнению с контрольным вариантом.

Резюмируя сказанное, можно сделать вывод, что в биологии не только на традиционных уровнях исследования, но и на уровне внутриклеточной воды, имеет место несовпадение целого с суммой элементов. При этом имеем дело с ярко выраженной системностью и определенными связями элементов системы. Динамичность жизненных процессов выражается в непрерывных изменениях характера этих связей и гипотетически может быть представлена пульсационными изменениями в структурности внутриклеточной воды, которые зависят от внутрисистемной необходимости в обмене веществ (обмен ионами требует бесструктурной воды) или от обмена информацией (которая требует квазикристаллической воды, являющейся преградой для ионов). В то же время могут существовать многие параллельные каналы, состоящие из структурной или бесструктурной воды и способные превращаться один в другой.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев А. М., 1971. О молекулярной структуре внутриклеточной воды и о ее возможном физиологическом значении. В кн.: Состояние воды и водный обмен у культурных растений. М. : 11—23.
- Блох А. М., 1969. Структура воды и геологические процессы. М.
- Вержбинская Н. А., Сидорова А. И., 1964. Инфракрасный спектр поглощения воды в мозговой и мышечной ткани некоторых позвоночных животных. Биофизика 9 (3) : 349—355.
- Гуман А. К., 1966. Особенности талой воды. В сб.: Структура и роль воды в живом организме. 1 : 179—189.
- Данилов В. И., 1956. Строение и кристаллизация жидкостей. Изд. АН УССР, Киев.
- Есипова Н. Г., Андреева Н. С., Гатовская Т. Б., 1958. О роли воды в структуре коллагена. Биофизика 3 (5) : 529—540.
- Иоганзен Б. Г., 1964. Несколько замечаний по поводу проблемы системной организованности в теоретической биологии. Журн. общей биол. 25 (1) : 18—21.



- Калам Ю. И., 1972а. О возможности применения структурной воды как модификатора генетических эффектов гамма-облучения у ячменя. Материалы II Всесоюзного конгресса генетиков и селекционеров. М. 1 : 123.
- Калам Ю., 1972б. Влияние структуры воды на пострadiационные эффекты в проростках ячменя. Изв. АН ЭССР. Биол. 21 (2) : 175—178.
- Калам Ю., Кэп Т., Майер М., 1972. Реакция эритроцитов и митохондрий на действие структурной воды. Изв. АН ЭССР. Биол. 21 (1) : 86—88.
- Криворучкий Д. А., 1964. Системная организованность и теория эволюции. Журн. общей биол., 25 (3) : 230—233.
- Маркс К., Энгельс Ф., 1968. Сочинения 46 (1). М.
- Презент И. И., 1963. Познавательное значение историко-биологического метода. Журн. общей биол. 24 (5) : 334—344.
- Родимов Б., Маршунина А., Яфарова И., 1965. Действие снеговой воды на живые организмы. С.-х. производство Сибири и Дальнего Востока (4) : 56—57.
- Самойлов О. Я., 1957. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. М.
- Сент-Дьердьи А., 1964. Введение в субмолекулярную биологию. М.
- Сетров М. И., 1971. Организация биосистем. Л.
- Тринчер К. С., 1965. Можно ли искусственно создать живое? Вопр. философии 19 (9) : 124—133.
- Тринчер К. С., 1966. Структурно-связанная вода и биологические макромолекулы. Успехи совр. биол. 61 (3) : 338—353.
- Шмальгаузен И. И., 1968. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск.
- Шмальгаузен И. И., 1969. Проблемы дарвинизма. Л.
- Яшкичев В. И., 1971. Модель коллективного движения молекул воды в воде. Автореф. дисс. докт. хим. н. М.
- Bernal J. D., 1965. The structure of water and its biological implications. In: State and movement water living organisms. Cambridge: 17—32.
- Bernal J. D., Fowler R. H., 1933. A theory of water and ionic solution, with particular reference to hydrogen and hydroxyl ions. J. Chem. Phys. 1 (8) : 515—548.
- Bertalanffy L. von, 1952. Problems of Life. London.
- Haberman H., 1968. Elu olemusest. Tallinn.
- Herzberg G., 1945. Infrared and Raman spectra of polyatomic molecules. N. Y.
- Jacobson B., 1953. Hydration structure of deoxyribonucleic acid and its physico-chemical properties. Nature 172 (4380) : 666—667.
- Jacobson B., Anderson W. A., Arnold J. T., 1954. A proton magnetic resonance study of the hydration of deoxyribonucleic acid. Nature 173 (4408) : 772—773.
- Odeblad E., 1960. Proton magnetic resonance of the water phase of gelatin gels. Nature 188 (4750) : 579.
- Rey L., 1959. Conservation de la vie par le froid. Paris.
- Shannon C. E., Weaver W., 1962. The mathematical theory of communication. Urbana.
- Slatyer R. O., 1967. Plant-water relations. London—New York.

Институт экспериментальной биологии  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
19/XI 1971

JUHAN KALAM

## SÜSTEEMSUSPRINTSIIP BIOLOOGIAS

### Resüme

Käsitletakse mõningaid süsteemsusprintsii biga seotud küsimusi. Peatähelepanu on pööratud rakusisesee vee seisundile ning rakusiseseele informatsiooni- ja ainevahetusele. Katse tulemuste analüüsimisel lähtuti V. Jaškitevi poolt väljatöötatud veemolekulide kollektiivse liikumise mudelist.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia  
Eksperimentaalioloogia Instituut

Toimetusse saabunud  
19. XI 1971

JUHAN KALAM

SYSTEMIC PRINCIPLE IN BIOLOGY

Summary

Some philosophical problems in connection with systemic principle in biology are discussed, in particular the issues concerning the state of intercellular water, metabolism, as well as the probable ways of exchange of information. For the analysis of the results, V. Yashkitshev's model of the collective movement of water molecules in water was used.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Experimental Biology

Received  
Nov. 19, 1971