

Марина Александровна Каменская  
доктор биологических наук,  
профессор по специальности «Физиология»,  
зав. Отделом научной информации по информатике  
Отделения научных исследований  
по проблемам информатики ВИНТИ РАН  
[kamensk@viniti.ru](mailto:kamensk@viniti.ru)

## ПОНЯТИЕ «ИНФОРМАЦИЯ» В ПРЕДСТАВЛЕНИИ БИОЛОГА

Доклад на 19-м заседании семинара  
«Методологические проблемы наук об информации»  
(Москва, ИНИОН РАН, 5 июня 2014 г.)

Гораздо легче измерять,  
Чем знать, что измеряешь.  
*Галилео Галилей.*

Чтоб ясное о нём познание получить,  
Учёный прежде душу изымает,  
Затем предмет на части расчленяет,  
И видит их...  
*Вольфганг Гёте. «Фауст».*

### **Введение**

Задаются ли биологи вопросом «Что такое информация»? Да – если это специалисты в области *теоретической* биологии (системная биология; некоторые направления эволюционной биологии, биологии индивидуального развития, биофизики, математической биологии и биоинформатики). Нет – скажут многие из тех, кто занимается *экспериментальной* биологией (к которой принадлежат все остальные разделы биологических наук).

Обдумывая тему доклада, я стремилась подчеркнуть своё намерение обсуждать понятие «информация» прежде всего в рамках своих *субъективных* представлений. Поэтому полагаю полезным кратко пояснить, как эти представления формировались.

Основная часть моей профессиональной деятельности связана с экспериментальной наукой – клеточной нейробиологией (кандидатская и докторская диссертации). После перехода из МГУ в ВИНТИ (в конце 1979 г.) я уже не участвовала в эксперименте, но получила возможность следить за литературой, публиковать обзоры. В течение 10 лет оставалась в Экспертном совете именно по биологическим наукам и только с 2001 по 2013 годы была в Экспертном совете по управлению, вычислительным и информационным наукам. Недавно вышло учебное пособие «Основы нейробиологии», стимулом к созданию которого послужило написание мной паспортов специальностей «Нейробиология» и «Математическая биология, биоинформатика» для версии «Номенклатуры специальностей научных работников», утверждённой Минобрнауки РФ приказом от 25.02.2009 г. Второе место моей работы – ВИНТИ, подготовка информационных изданий сначала по физиологии и фармакологии, затем – по информатике.

Что такое информация? Первым, от кого я услышала этот вопрос в ВИНТИ, был А.И. Чёрный, с которым я имела счастье общаться и обсуждать эту увлекательнейшую проблему в течение практически 20 лет. 25 сентября 2006 г. я записала для себя высказывание Аркадия Ивановича: «Информация – это сигналы, воспринятые и распознанные любой живой системой». В этой формулировке мне кажутся особенно важными слова «воспринятые и распознанные». Они означают, что информация – это *смысл*, который человек или другая живая система приписывают сигналам (*данным*) на основании известных ему правил их представления. Это потенциальное свойство данных, которое может быть реализовано одним воспринимающим субъектом, но не другим. На принципиальное различие между понятиями «информация» и «данные» я обратила внимание со слов (прежде всего в «печатном формате»)

Р.С. Гиляревского<sup>1</sup>. Мне невероятно повезло, что во второй половине своего сознательного существования я встретила Аркадия Ивановича и Руджерио Сергеевича – моих дорогих Учителей по информационным наукам.

Итак, тему доклада можно «расшифровать» следующим образом: как человек с «биологическим способом мышления», читающий много источников по информатике и библиотековедению, представляет себе «информационные процессы в живых организмах» («Живое в качестве информационной системы» или «биологическую информацию»).

### **1. Сущность Живого (Жизни)**

К уровням структурно-функциональной организации Живого (Жизни) последовательно относятся: молекулы – клетки – ткани – органы и системы органов – организмы – популяции – биогеоценозы – биосфера.

Таксономические категории организмов: надцарства – царства – типы – классы – отряды – семейства – роды – виды.

Жизнь – это «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул»<sup>2</sup>.

По В.И. Вернадскому<sup>3</sup>, специфика живого вещества определяется следующими особенностями:

- огромное количество свободной энергии;
- очень высокая скорость химических реакций;
- устойчивость индивидуальных химических соединений, входящих в состав организмов;
- саморегулируемость процессов жизнедеятельности;

---

<sup>1</sup> Гиляревский Р.С. Основы информатики. Курс лекций. – М.: Экзамен, 2004. – С. 45-52.

<sup>2</sup> Ляпунов А.А. Об использовании математических машин в логических целях / Очерки истории информатики в России. Ред.-сост. Поспелов Д.А., Фет Я.И. – Новосибирск: СО РАН, 1998. – С. 45-52.

<sup>3</sup> Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 363 с.

- чрезвычайно высокое морфологическое и химическое разнообразие.

«Идея о том, что явления жизни можно объяснить существованием сложных углеродистых соединений – живых белков, бесспорно опровергнута совокупностью эмпирических фактов геохимии... Живое вещество – это совокупность всех организмов».

«Биологическая реальность, именуемая “биосфера”, в философском плане характеризуется как биологическая форма движения материи. Она имеет иерархическую структуру, в которой различаются уровни: молекулярно-генетический, клеточный, органо-тканевый, организменный, популяционно-видовой, биогеоценозный, биосферный». «Отличие живых организмов от косной материи заключается в их *динамических свойствах*, которые проявляются, во-первых, в механических и химических процессах, протекающих на клеточном, тканевом, внутриорганизменном уровнях; во-вторых, в способности размножения; в-третьих, в способности к сигнальной коммуникации»<sup>4</sup>.

Неправомерно сводить вопрос о «сущности Жизни» к проблеме исследования состава, строения и свойств некоего «первичного», «основного» вещества. Нельзя утверждать, что жизнь – это проявление свойств протеинов (полипептидов) – таких свойств, по которым полипептиды отличаются от «неживых веществ». На молекулярном уровне жизни нет<sup>5</sup>. Живое вещество должно быть «раздражимым, подвижным, осуществлять обмен веществ, размножаться, передавать свои признаки следующим поколениям», а такими свойствами не могут обладать отдельные молекулы.

«Сущность жизни» не определяется особым физическим состоянием молекул. Важны уникальные сочетания физических свойств биологически значимых молекул, структур, систем.

---

<sup>4</sup> Соколов А.В. Философия информации: проф-мировозвр. учеб. пособие /С.-Петербург. гос. ун-т культуры и искусств. – СПб.: СПбГУКИ, 2010. – 368 с.

<sup>5</sup> Бауэр Э. Теоретическая биология. – М.-Л.: Изд. ВИЭМ, 1935. – 206 с.

## 2. Биологические системы

Говоря о живой системе, следует различать две сущности, единство которых и составляет необходимое условие жизни: материальную субстанцию (фенотип) и «нематериальную» сущность (генотип) – «программу организации», «код» этой материи. Именно с помощью «программы организации» биологическая система становится живой системой.

### *2.1. Макроскопический и микроскопический уровни описания биологических систем*

Для современных естественных наук характерен аналитический (микроскопический) подход: разлагая систему на части, мы пытаемся понять свойства системы как целого. Аналитический подход опирается на понятие сводимости или, в предельном случае, на редукционизм. Однако чем больше нам приходится иметь дело со сложными системами, тем яснее мы осознаём ограничения редукционизма. Сумев разложить живую систему на элементы, подчиняющиеся законам физики и химии, мы рискуем потерять свойства этой системы в качестве живого организма. При переходе с микроскопического уровня на макроскопический (холистический подход) перед нами открываются многие новые свойства системы, отсутствовавшие на аналитическом уровне.

Учебники биологии<sup>6</sup> перечисляют основные признаки Живого, отличающие его от неживой материи, именно на макроскопическом, феноменологическом уровне, подразумевающим описание на уровне организмов, систем (а не “вещества”). Эти семь признаков, выраженные в той или иной степени у любого организма (или его частей), таковы: 1) *питание*; 2) *дыхание*; 3) *раздражимость*; 4) *подвижность*; 5) *выделение конечных продуктов обмена веществ*; 6) *размножение*; 7) *рост*. По ним можно судить о том, жив организм или мёртв. Однако все эти признаки – только лишь поддающиеся наблюдению проявления *главного свойства* живой материи

---

<sup>6</sup> Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология: в 3-х т. – М.: Мир, 1990.

(организмов), т.е. её способности извлекать, превращать, использовать энергию извне и даже увеличивать свои энергетические запасы.

## ***2.2. Живое – сложная система***

Клетка состоит из плазматической мембраны, имеющей весьма непростую структуру, ядра и цитоплазмы, которые, в свою очередь, состоят из многих компонентов. В клетке тысячи метаболических процессов могут протекать одновременно и согласованно. Органы человека и животных состоят из огромного числа согласованно взаимодействующих клеток. В свою очередь, органы выполняют специфические функции и взаимодействуют между собой в организме. Организмы объединяются в сообщества.

Биология отличается от физики и химии не только предметом исследования, но и методологическим подходом<sup>7</sup>.

Биолог имеет дело с реальными живыми организмами в конкретном пространственно-временном контексте. «Наиболее поразительная разница между организмом и простой физической системой, – указывал В. Кёлер, – состоит именно в громадном числе физических и химических процессов, которые в сложном взаимодействии протекают одновременно в живом организме. Мы абсолютно неспособны создавать упрощенные органические системы для элементарного изучения. Амёба – более сложная система, чем все системы неодушевлённого мира. /.../ К сожалению, в целостном организме редко удается следить за изменением одной определённой переменной, как если бы она одна определялась изменениями внешних условий. Изменение одного параметра обычно вызывает изменение множества других, которые, в свою очередь, влияют на первый. Далее, возможность точных исследований в физике облегчается благодаря таким великим средствам, как выделение функциональных зависимостей и уменьшение числа независимых переменных». Современная экспериментальная биология (молекулярная биология, биохимия, биофизика, физиология и т.д.) пытается, подобно физике и

---

<sup>7</sup> Аптер М. Кибернетика и развитие. – М.: Мир, 1970. – 213 с.

химии, выделять факторы из сложной ситуации либо делать полезные упрощающие предположения. Однако экстраполяция на целостный организм результатов, полученных в опытах на экспериментальных, модельных системах, – не простая задача, подчас приводящая к ложным выводам. «Полное познание объекта означает его введение в необходимое и достаточное количество уровней системности»<sup>8</sup>.

### ***2.3. Обобщение отличительных особенностей живых систем (от клетки до экосистемы)***

Система не собирается из элементов, а *развивается, самоорганизуется* – собирает себя в соответствии с собственной программой, кодом. При этом в клетке присутствует как код, так и его интерпретатор.

Живая система – система *открытая*. Она далека от состояния термодинамического равновесия, её существование поддерживается благодаря постоянному притоку энергии и информации. Автор фундаментального труда «Теоретическая биология» Эрвин Бауэр сформулировал принцип устойчивого неравновесия: «Все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и исполняют за счёт своей свободной энергии постоянно работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях»<sup>9</sup>. Основные свойства живых организмов Бауэр выводит именно из этого принципа: *обмен веществ и ассимиляция, раздражимость, способность к размножению (деление клеток), рост, старение*.

Деятельность биологической системы характеризуется *целесолаганием* (целесообразованием, целенаправленностью). Термин появился во второй половине XX в. применительно к системам, в которых цели не задаются *извне*, а формируются *внутри* системы. «Можно сказать, что неживая природа

---

<sup>8</sup> Мейен С.В. Заметки о редукционизме. // Методология биологии: новые идеи. Синергетика, Семиотика. Коэволюция. Сб. статей / Ин-т философии РАН. – М., 2001. – С. 5-13.

<sup>9</sup> Бауэр Э. Теоретическая биология. – М.-Л.: Изд. ВИЭМ, 1935. – 206 с.

превратилась в живую в тот самый момент, когда в ней появилось “желание” или возникла “цель жизни”»<sup>10</sup>. «Конечная цель» биологического объекта – выжить и оставить потомство, т.е. самовоспроизведение, сохранение своей информации. Выполнение этой цели выходит за рамки уровня индивидуума, это цель на уровне сообщества организмов (популяции, вида и т.д.). Здесь Живое выступает как особая форма универсума, образующая биосферу<sup>11</sup>. «Информация появится /.../ тогда, когда мы начнем изучать системы с целеполаганием, то есть объекты, способные к целенаправленным действиям»<sup>12</sup>.

Для жизнедеятельности сформировавшегося организма необходим *аутомониторинг* – отслеживание собственного состояния, сопоставление с некоторым прообразом «правильного состояния» и внесение коррективов через посредство встроенной системы саморегуляции (сопротивление хаосогенным воздействиям). Такая возможность обеспечивается благодаря включению каждой структурной единицы в несколько подсистем, так что структурная единица может наблюдать себя «со стороны».

- Живая система *самонастраивается*, её деятельность автоматически адаптируется к ситуации. Оптимизация биологической системы происходит методом «проб и ошибок».

- Живая система способна к *распознаванию*.

- Живая система обладает *биологической памятью*, которая хранит в свёрнутом виде информацию обо всех потенциально реализуемых состояниях системы. Существуют две главные формы биологической памяти: индивидуальная (нейрологическая и иммунологическая) и видовая (генетическая). Генетическая память на уровне вида определяет врождённые признаки организма, полученные по наследству от родителей. Индивидуальная

---

<sup>10</sup> Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам. – М., Мир, 1991. – 240 с.

<sup>11</sup> Вернадский В.И. Живое вещество. – М.: Наука, 1978. – 363 с.

<sup>12</sup> Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. – М.: Молодая гвардия, 1990. – 351 с.

память обуславливает признаки, приобретаемые индивидуумом в течение его жизни. На ранних стадиях эволюции преобладает генетическая память – память вида, которая сохраняет полезные приспособительные изменения популяции, накопленные в течение огромного периода времени и свойственные всей популяции или даже виду в целом. Индивидуальная память – более новая в эволюционном отношении. Благодаря иммунологической памяти в организме часто на всю жизнь сохраняется «воспоминание» об однажды попавшем в его организм чужеродном антигене. Нейрологическая память обеспечивает разнообразные формы поведения организма. Роль приобретенной памяти в жизнедеятельности возрастает по мере эволюционного развития организмов, когда скорость размножения невысока, но расширяется диапазон условий среды, в которых возможно существование.

- Живая система способна к *научению* (которое основано на памяти). Организм выбирает действия, адекватные конкретным ситуациям, в также производит обобщение, т.е. распознает такие состояния, при которых он должен действовать по аналогии.

- Живая система *поликонтекстна*. Значение знаков, которыми оперируют организмы, могут быть денотированы по-разному в различных контекстах целого организма или его отдельных частей<sup>13</sup>. Контекстом является совокупность условий среды и актуального состояния системы в трёхмерном пространстве и времени.

- «Живые системы – это *когнитивные* системы, а жизнь как процесс представляет собой процесс познания. Это утверждение действительно для всех организмов, как располагающих нервной системой, так и не располагающих ею»<sup>14</sup>. Таким образом, Жизнь представляет собой *семиотический процесс*.

---

<sup>13</sup> Титов С.А. Проблема контекста в живых системах // *Общественные науки и современность*. – М., 1996. – № 3. – С. 134-144.

<sup>14</sup> Матурана У. *Биология познания / Язык и интеллект*. – М., 1996. – С. 95.

### **3. Искусственные информационные системы**

Некоторые из перечисленных выше свойств живых систем характерны и для искусственных систем. Те и другие могут рассматриваться как информационные системы. В этом качестве они представляют собой «автономный агент», осуществляющий три основные операции: 1) восприятие данных; 2) их актуализацию относительно конкретных условий и 3) выбор способа действия. Сходство между этими двумя типами систем состоит также в том, что при их создании используются не только физические механизмы, но и такие, которые никогда не встречаются в естественных косных образованиях. Эти механизмы по своей сути являются *знаковыми (семиотическими)*.

Однако формирование живых и искусственных систем различается принципиальным образом<sup>15</sup>. Искусственные системы всегда создаются живыми организмами (если не человеком, то птицей (гнездо) или насекомым – пчелой, муравьём и т.д.) и является результатом целей, поставленных этими организмами. Причём искусственные системы строятся из деталей, изначально подобранных и не организованных в систему, но имеющих определённые фиксированные свойства. Живые организмы, будучи функционирующей системой, строят эти детали внутри себя, т.е. создают себя в процессе *развития*.

### **4. Информационный подход в биологии**

В 1940-е годы Н. Винер разработал «расширенную теорию сообщений» и назвал новую дисциплину «кибернетика» (греч. «кибернетес» – рулевой, кормчий)<sup>16</sup>. Объектом пристального внимания кибернетики стал живой организм в качестве управляющей системы высокого уровня. Труды Винера стимулировали приложение теории информации к биологическим явлениям, в

---

<sup>15</sup> Титов С.А. Проблема контекста в живых системах // *Общественные науки и современность*. – М., 1996. – № 3. – С. 134-144.

<sup>16</sup> Винер Н. *Кибернетика, или управление и связь в животном и машине*. – М.: Сов. радио, 1968 – 326 с.

частности к процессам в мозге. Сформировалось представление о том, что ЭВМ может считаться наиболее адекватной моделью явлений в нервной системе.

«Сейчас область применимости информационного подхода существенно расширилась. Понятие “информация” используется при исследовании практически всех процессов самоорганизации (в частности, биологической эволюции). При этом актуальным становится вопрос о возникновении информации и эволюции её ценности. /.../ Выбор определения зависит от аппарата исследования. /.../ Мы будем использовать аппарат теории динамических систем, поскольку именно он лежит в основе науки о самоорганизации (т.е. синергетики). Этим условиям в наибольшей степени отвечает определение информации, предложенное Генри Кастлером: “Информация есть *случайный и запомненный* выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных”»<sup>17</sup>.

«Корректный информационный подход полезно и даже необходимо использовать в биологических исследованиях. Еще в 60-е годы математическая теория информации применялась для количественного сравнения информационного содержания различных биологических видов. Оказалось, что для одноклеточных организмов оно составляет  $10^{11}$  бит, а для организма взрослого человека в молекулярном представлении оценивается в  $10^{25}$  бит. Физиологи подсчитали, что в течение 50 лет, которые человек проводит в состоянии бодрствования, он перерабатывает примерно  $10^{16}$  бит информации»<sup>18</sup>.

---

<sup>17</sup> Чернавский Д.С. Синергетика и информация (Динамическая теория информации). – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.

<sup>18</sup> Соколов А.В. Философия информации: проф.-мировозвр. учеб. пособие / С.-Петербург. гос. ун-т культуры и искусств. – СПб.: СПбГУКИ, 2010. – 368 с.

## 5. Биологическая информация

Биологическая информация – междисциплинарное понятие, принадлежащее биологическим наукам, точнее, комплексному направлению «информационная биология».

Не будучи ни материей, ни энергией, информация не может существовать в некоем «свободном виде», она должна быть зафиксирована в виде записи на том или ином физическом носителе. При этом способы записи или фиксации информации на каком-либо носителе всегда условны, т.е. не имеют никакого отношения и её семантике.

«Материальна или идеальна информация? /.../ К счастью обнаружилась реалистическая философия, развиваемая школой петербургского философа В.Л. Обухова. Эта концепция “на место привычных монизма и дуализма с необходимостью ставит дуалистический монизм, признающий единую субстанцию, но с двумя противоположными ликами, не сводимыми один к другому”. Принципиальное отличие идеи “дуалистического монизма” от традиционного дуализма состоит в том, что отрицается параллельное существование двух не сводимых к единству противоположностей (дух и материя, душа и тело, мышление и протяженность, абстрактное и конкретное и т.п.), а утверждается неразрывное единство и взаимозависимость противоположных начал. Абсолютно дематериализованная идеальность в “чистом виде” существовать не может. Аналогично – нет совершенно однородной материи, лишенной каких-либо отличительных свойств»<sup>19</sup>.

Информационная биология имеет дело не с материальными носителями Жизни, а с *алгоритмами организации*, деятельности этих носителей.

---

<sup>19</sup> Соколов А.В. Три лика информации: общенаучное понятие, философская категория, метафора. Доклад на 17-м заседании семинара «Методологические проблемы наук об информации» (Москва, ИНИОН РАН, 24 апреля 2014 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.inion.ru/files/File/MPNI\\_17\\_Sokolov\\_A\\_V\\_Doklad.pdf](http://www.inion.ru/files/File/MPNI_17_Sokolov_A_V_Doklad.pdf)

На этом этапе необходимо отдать дань уважения Владимиру Ивановичу Корогодину – интересному учёному-биологу, экспериментатору и теоретику, с которым мне не довелось познакомиться лично<sup>20</sup>.

В.И. Корогодин выводит определение биологической информации через введённое им понятие «оператор»<sup>21</sup>. По сути, оператор – это тот самый материальный носитель Жизни, сущность которого мы обсуждали выше. «Оператор не может возникнуть случайно, сам по себе, а должен быть построен в соответствии с заранее имеющейся программой или планом». Следовательно, информацией называется «совокупность приемов, правил или сведений, необходимых для построения оператора». Информацию можно также определить как совокупность закодированных сведений, необходимых для принятия решений и их реализации, как «руководство к действию», «алгоритм построения системы, обеспечивающей воспроизведение этой информации, функционально связанной со средой своего местоположения». Совокупность механизмов, обеспечивающих полный информационный процесс, называется *информационной системой*. «Вирусы и одноклеточные живые существа, многоклеточные растения и грибы, многоклеточные животные, наконец, человек и человеческие сообщества – всё это информационные системы, структура которых задаётся относящейся к ним информацией, а функция обеспечивает воспроизведение этой информации».

• В.И. Корогодин различал три вида биологической информации: генетическую, поведенческую и логическую.

---

<sup>20</sup> Корогодин Владимир Иванович (1929-2005), экспериментатор в областях радиобиологии, клеточной биологии, генетики, радиоэкологии, а также специалист по проблемам теоретической биологии – эволюция, автогенез информации в живой природе. Считал своими учителями основателя кафедры биофизики МГУ Бориса Николаевича Тарусова и знаменитого генетика, эволюциониста Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского.

<sup>21</sup> Корогодин В.И., Корогодина В.Л. Информация как основа жизни. – Дубна: Феникс, 2000. – 208 с.

- *Генетическая информация* содержится в наборе генов, кодирующих синтез белков организмов, и определяется не основаниями нуклеиновых кислот (носителями информации), составляющими геном, а последовательностью их расположения, от которой и зависят фенотипические особенности всех живых организмов – животных, растений, грибов, бактерий, вирусов. «Генетическая информация и её изменчивость полностью определила эволюцию всех организмов, ведущих преимущественно прикрепленный образ жизни, т. е. растений и грибов».

- *Поведенческая информация* возникла на основе врождённых генетически запрограммированных в нервной системе реакций на жизненно важные сигналы у организмов, ведущих активный, подвижный образ жизни (т.е. животных, начиная с моллюсков и червей). В ходе эволюции с развитием подвижности животных, активации поисков пищевых ресурсов и половых партнеров всё более значительную роль в их жизнедеятельности стали играть новые, случайно возникающие ситуации, которые невозможно заранее предвидеть и «запасться» генетически детерминированными ответами на них.

- *Логическая информация* (или человеческое знание), носителем которой является речь, на более раннем историческом этапе возникла, вероятно, как адаптивное приспособление, играющее роль в ускорении и упрощении обмена поведенческой информацией между людьми. Впоследствии главная функция логической информации оказалась связанной с особенностями её носителя – речи. «Уникальная особенность языка как носителя информации состоит в том, что он позволяет информации существовать вне зависимости от индивидуумов, её создающих или использующих. Именно язык создал единый информационный пул планеты». «Для логической информации в роли операторов выступают технологии».

- Из рассуждений Корогодина об автогенезе информации в живой природе мы можем вывести два заключения.

Первое. Три типа биологической информации – от генетической до логической, составляют «*континуум*» в соответствии с ходом эволюции Живой природы.

Второе. Логическая информация, «отчуждаемая» от создающего её человеческого организма и существующая вне его, может рассматриваться как направление развития биологической информации и эволюции *Homo sapiens*.

## **6. Нейрологическая информация**

Если продолжить и развить рассуждения В.И. Корогодина о поведенческой информации, мы естественным образом перейдем к нейрологической информации, которая «ближе и роднее» других видов информации для автора этого сообщения.

«Нейрофизиологи занимаются по сути тем, что прежде обсуждалось в терминах стимулов и реакций, а теперь – в терминах сигналов и информации; здесь аналогию можно провести с краткими конкретными сообщениями, которые в нескольких словах описывают происходящее. /.../ В контексте *нервной* системы метафора “информация” ссылается на “разговорные сообщения”. /.../ ... я не нашёл особого сопротивления (если оно вообще есть) метафорическому использованию слова информация в нейрофизиологии...»<sup>22</sup>.

Совершенствование нервной системы в качестве информационного и управляющего устройства можно проследить при рассмотрении таксонов царства Животных – от нейронной сети с появлением многоклеточной организации (у кишечнополостных) до максимально развитого головного мозга у высших млекопитающих, вплоть до *Homo sapiens*.

---

<sup>22</sup> Machlup F. Semantic quirks in studies of information // Machlup F., Mansfield U., eds. The study of information. Interdisciplinary messages. – N.Y.: John Wiley a. Sons, Inc., 1983. – P. 641-671.

### **6.1. Нейронные механизмы научения и памяти**

Современные подходы к их пониманию (и «воспроизведению» в компьютерных программах) были заложены в 1940-е годы. Канадский нейропсихолог Дональд Хебб и польский биолог Ежи Конорски. В книге «Организация поведения» Д. Хебб высказал мысль, что при возбуждении нейрона повышается эффективность его связей. Это может проявляться в виде кратковременного повышения возбудимости (кратковременная память) или стойких изменений структуры синапсов (долговременная память). Е. Конорски писал следующее. «Воздействие стимула... приводит к двоякого рода изменениям в нервной системе. /.../ Первое свойство, благодаря которому нервные клетки реагируют на приходящие импульсы определенным циклом изменений, мы называем *возбудимостью*, а изменения, возникающие при этом в центрах благодаря этому свойству, мы будем называть *изменениями, обусловленными возбудимостью*. Второе свойство, в силу которого под действием надлежащих стимулов или их комбинаций в определенных системах нейронов возникают какие-то перманентные функциональные преобразования, мы будем называть *пластическими изменениями*».

### **6.2. Сенсорные системы**

Аристотель писал: «...В уме не может быть ничего, что сначала не прошло бы через органы чувств».

В докладе рассматриваются *основные виды чувствительности* (одна из возможных классификаций сенсорных модальностей). Подчеркивается, что с точки зрения переработки нейробиологической информации понятия «стимул» и «сигнал» имеют разный смысл. *Стимулы* – это раздражители разнообразной природы, которые поступают от источников в окружающей среде или в самом организме, будучи внешними по отношению к сенсорным рецепторам. *Сигналы* имеют биологическую (биофизическую, биохимическую) природу, индуцируются внешними стимулами и составляют основу информационных процессов в организме.

### **6.3. Обобщение сведений об информационной роли сенсорных систем и кодировании данных в нервной системе**

Междисциплинарный термин «кодирование» означает преобразование данных в форму, удобную для передачи, хранения или переработки в конкретной системе. В отличие от технических систем, в живом организме невозможно декодирование, т.е. никогда не восстанавливается исходная форма стимула. Биологический код может иметь цифровую либо аналоговую форму. Импульсные разряды можно рассматривать как цифровые сигналы, местные градуальные потенциалы (сигналы электрической природы) и нейромедиаторы (сигналы химической природы) – как аналоговые сигналы.

В естественных условиях организма по нервным волокнам следуют не одиночные импульсы, а их последовательности (ритмические серии, разряды). Это «сигналы»; в расширенном понимании – «данные», сведения, передаваемые специфичными для организма способами. «Мозг имеет дело с символами внешних явлений, похожими на реальные объекты не более чем совокупность букв *собака* напоминает пятнистого далматинского дога»<sup>23</sup>. Интенсивность стимула (света, звука, давления и т.д.) кодируется частотой импульсов, а не их амплитудой или формой.

Однако частота или характер построения разряда (паттерн) импульсов ещё не обеспечивают кодирование сообщения, получаемого организмом.

Первичное кодирование параметров стимула осуществляет периферический рецепторный аппарат, преобразующий энергию внешних физических и химических стимулов в универсальные цифровые сигналы нервной системы – импульсные разряды. В вычислительной технике используется двоичный код: комбинации образуются путем разнообразных сочетаний двух символов, 0 и 1. В нервной системе цифровые коды не являются двоичными. При одной и той же амплитуде импульсов (потенциалов

---

<sup>23</sup> Нобелевский лауреат 1932 г. Эдгар Эдриан. Цит. по: Куффлер С., Николс Дж. От нейрона к мозгу. – М.: Мир, 1979. – 436 с.

действия) и продолжительности импульсного разряда возможно большое число частотных комбинаций – паттернов разряда.

В проводниковом и центральном отделах дальнейшая переработка информации происходит в участках синаптического переключения сигналов от одного нейрона к другому, тогда как нервным волокнам принадлежит функция проводов, надежно передающих сигналы. В межнейронной синаптической передаче участвуют химические нейромедиаторные коды. Кодирование информации для ее хранения в ЦНС (механизмы памяти) обеспечивается биохимическими и структурными изменениями в нейронах. По мере последовательных переходов от одного уровня иерархической системы к другому, а также по горизонтальным сетевым связям в пределах одного уровня сигналы многократно перекодируются из цифровой формы в аналоговую и снова в цифровую.

Обратим внимание: в первичном кодировании основная роль принадлежит *свойствам нервных элементов* периферического сенсорного аппарата, тогда как последующее кодирование сенсорных сигналов в ЦНС определяется прежде всего *организацией связей* между нервными элементами.

В конечном итоге смысл (содержание) передаваемого сообщения формируется на более «высоких» уровнях, чем клеточный. Это определяется специфическими взаимосвязями нейронов – тем, откуда нервные волокна берут начало и где оканчиваются (чрезвычайно важный принцип организации нервной системы – принцип коннекционизма).

Мозг получает кодированные сведения о таких важных для организма характеристиках воздействий, как природа энергии стимула (*качественный параметр*, определяющий вид чувствительности), интенсивность стимула (*количественный параметр*), продолжительность (*временной параметр*), местоположение и особенности перемещений стимула (*пространственный параметр*).

Основные принципы сенсорного кодирования – варьирование *паттернов* импульсного разряда нейронов и упрямая *пространственная*

(топическая) организация анализаторов в виде меченых линий передачи и топических карт. Для одних сенсорных систем предпочтителен принцип кодирования информации паттернами разрядов, другие системы функционируют по принципу топической организации. Например, вкусовые ощущения кодируются паттернами, тогда как многие качества зрительных и слуховых образов распознаются за счет меченых линий и топических карт. (В нейробиологическом контексте понятие «паттерн» соответствует распределению электрических импульсов, частотной структуре их разрядов. Следует напомнить, что собственно *сигналом* является не индивидуальный потенциал действия, а их *последовательность*. Паттерны импульсных разрядов формируются в ходе преобразования местных потенциалов, связанного с интеграцией синаптических процессов).

Частотное кодирование интенсивности стимула ассоциируется с изменениями общего количества импульсов, генерируемых рецепторами в единицу времени. Частота генерируемых импульсов и соответственно – интенсивность ощущения возрастает пропорционально логарифму силы раздражителя (закон Вебера-Фехнера). Считается, что мозг оценивает интенсивность сенсорного стимула по числу активных нервных элементов, умноженному на среднюю частоту импульсов.

Параметры стимулов могут кодироваться длительностью разрядов, межимпульсными промежутками, разнообразным группированием импульсов в пачки в пределах разряда, промежутками между пачками и т.д. Вариации паттернов бесконечны, так что возможности этого способа кодирования сенсорных параметров чрезвычайно широки. На паттерны разрядов влияет адаптация на разных уровнях сенсорных анализаторов.

От паттернов активности, поступающей к переключательным нейронам от рецепторов, зависит образование динамических нейронных ансамблей, деятельность которых определяет оттенки качеств ощущений.

## **7. Информационная функция нейроиммуноэндокринной системы в организме позвоночных животных**

В ходе эволюции у позвоночных появляется иммунная система.

«Основу биологической регуляции гомеостаза составляет строго скоординированное функциональное взаимодействие между эндокринной, нервной и иммунной системами, базирующееся на общности молекулярного языка клеточной сигнализации – едином механизме получения и переноса информации на субклеточном, клеточном, тканевом и органном уровнях». «Компенсирование функций в случае выпадения одного из звеньев регуляторной системы возможно благодаря наличию общих механизмов функционирования и переноса информации». «Наличие общего универсального химического языка объединяет системы, управляющие жизнедеятельностью организма, в единый структурно-функциональный механизм регуляции его функций»<sup>24</sup>. (Кстати, эта выдержка из учебного пособия для медицинских учебных заведений дает представление о понятии «информация» в медицинской среде.).

## **8. Биологическая информация как аналогия или метафора**

Человеку свойственно прибегать к аналогии и метафоре при рассмотрении природных и искусственных явлений. В середине XIX в. известный немецкий психолог и биолог Герман Гельмгольц представлял мозг как «телеграф»: нервы – «провода», по которым сообщения передаются с помощью электрических сигналов. В конце XX в. план организации нервной системы позвоночных (в том числе человека) стали сопоставлять со схемой компьютера. Интересно, что в китайском языке понятие «компьютер» обозначается сочетанием двух иероглифов: «электричество» и «мозг».

«...Метафора не ограничивается одной лишь сферой языка, то есть сферой слов: сами процессы мышления человека в значительной степени

---

<sup>24</sup> Пальцев М.А., Кветной И.М. Руководство по нейроиммуноэндокринологии. – М.: Медицина, 2008. – 512 с.

метафоричны. Метафоры как языковые выражения становятся возможны именно потому, что существуют метафоры в понятийной системе человека»<sup>25</sup>. Рассматривая метафору как изначально понятийную конструкцию и определяя ей центральное место в процессе развития мысли, Лакофф полагает, что неметафорическая мысль возможна, только когда речь идет о физической реальности. Чем больше абстрагироваться от этой реальности, тем больше метафорических слоев требуется для выражения мысли. «Наша обыденная понятийная система, с точки зрения того, как мы мыслим и действуем, суть метафорическая по своей природе».

Таким образом, если полагать, что биологическая информация нематериальна (материален только ее носитель), то в рассуждениях о биологической информации человек должен быть склонен прибегать к образам, к метафоре.

«Не все авторы текстов о нервной системе считают необходимым термин *информация* при описании того, что происходит, когда сенсорные импульсы, или сигналы передаются в центральную нервную систему или когда она управляет движениями мышц или деятельностью других органов. Просматривая статьи и руководства, я обнаружил, что некоторые авторы легко обходятся без термина информация; возможно они решили, что лучше избежать этой (часто вводящей в заблуждение) метафоры. /.../ От аналогии до метафоры – один короткий шаг, и использующий метафору может так увлечься, что примет этот термин как истинное обозначение явлений и процессов, которые он желает описать или объяснить. Не всегда ясно, хотят ли те, кто пишет о сенсорной физиологии, психофизике или на другие близкие темы, чтобы слово *информация* относилось к ее содержанию или же только к процессу передачи. Когда при описании межнейронных коммуникаций нейрофизиологи говорят об «импульсных разрядах от одного нейрона к другому», им незачем упоминать «передачу информации». Однако ситуация

---

<sup>25</sup> Лакофф Дж., Джонсон М. Метафоры, которыми мы живем – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 256 с.

значительно усложняется, когда речь заходит о тактильных ощущениях в результате механического раздражения, воспринимаемого кожными рецепторами, и сигналах, направляемых этими рецепторами к центральным нейронам. Что такое булавочный укол или щекотание – стимул, импульс или, может быть, информация, закодированная кожными рецепторами и декодированная центральными нейронами? Судя по литературе, здесь трудно обойтись без понятия *информация*»<sup>26</sup>.

### **Заключение**

Итак, что такое «информация» в представлении биолога? Для специалиста по направлениям экспериментальной биологии это, чаще всего, некоторое обобщающее понятие, когда речь идет о взаимодействиях между компонентами живой системы на самых разных ее уровнях. Для тех, кто занимается теоретической биологией, информация – реально обсуждаемое свойство Живого.

Здесь возможны два варианта ответа на вопрос о том, каким образом живая система получает эту информацию. Ответ А: благодаря наличию информационного континуума в природе (если исходить из понимания информации как «всеобщего фундаментального свойства реальности»<sup>27</sup>). Ответ Б: в результате развития этой функции в процессе эволюции природы.

Для биолога, естественно, «роднее» вариант Б. Биолог рассуждает следующим образом. В процессе индивидуального развития жизнь организма начинается, когда его субклеточные структуры, клетки, ткани, органы, системы органов обретают способность генерировать, получать, хранить, передавать сведения, информацию; смерть организма непосредственно связана с потерей

---

<sup>26</sup> Machlup F. Semantic quirks in studies of information // Machlup F., Mansfield U., eds. The study of information. Interdisciplinary messages. – N.Y.: John Wiley a. Sons, Inc., 1983. – P. 641-671.

<sup>27</sup> Колин К.К. Философия информации: структура реальности и феномен информации // Метафизика. – М., 2013. – № 4. – С. 61-84.

этой способности. Конкретные проявления свойств информации зависят от уровня живой системы. Главное, что должно отличать все виды биологической информации от человеческой, логической информации – это неотчуждаемость биологической информации от её носителя, живой системы.