

Егоров В.В.

# БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ



**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Московская государственная академия ветеринарной медицины и  
биотехнологии имени К.И. Скрябина»**

---

**Ветеринарно-биологический факультет**

**Кафедра химии имени профессоров С. И. Афонского и А. Г. Малахова**

Егоров В.В.

**БИОНЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

Москва 2015

УДК 546+577.1

Егоров В.В. **Бионеорганическая химия**. Монография. – М: Издательство «ЗооВетКнига», 2015. – с.216

**ISBN 978 - 5 - 905106 - 59 - 0**

Монография относится к разделу биохимии, посвященному химии и биологии элементов и их неорганических соединений. Особое место занимают медицинские аспекты. Предназначена для студентов биологических и медицинских, в т.ч. ветеринарных вузов.

Рецензенты: д.б.н. Азарнова Т.О., профессор Топорова Л.В., профессор Виноградов П.Н., профессор Архипов А.Н., профессор Преображенский С.Н. (Московская ветеринарная академия им. К.И. Скрябина) и профессор Еремеев Н.Л. (Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова)

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии ВБФ ФГБОУ ВПО МГАВМиБ (протокол № 5 от 13.01.2015 г.)

**ISBN 978 - 5 - 905106 - 59 - 0**

© Егоров В.В.

## ВВЕДЕНИЕ

Бионеорганическая химия, как раздел биохимии, - наука о месте и роли химических элементов и их неорганических соединений в организме. Часто ее понимают достаточно узко как биохимию координационных соединений металлов. Но такое восприятие дисциплины, по нашему мнению, снижает ее ценность для ученых и педагогов. Например, в этом случае не рассматриваются такие важные для организма соединения, как вода, пероксид водорода, соляная кислота, фосфаты и пр. В этой связи в данной работе мы будем обсуждать все известные сегодня биогенные (эссенциальные), а также примесные элементы в организме и их биоактивные производные.

Основные задачи бионеорганической химии следующие:

1. анализ места и функций элементов и неорганических соединений на их основе в организме;
2. исследование влияния элементов, их неорганических соединений на организм;
3. изучение взаимодействия металлов с биолигандами, атомами и ионами неметаллов, моделирование биохимических процессов;
4. использование полученных результатов в медицине;
5. применение этих результатов в охране окружающей среды и агротехнике.

### 1. МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ОРГАНИЗМЕ

#### 1.1. Содержание элементов в организме, их роль

Напомним, что любой живой организм состоит из воды, органических и неорганических соединений, в том числе газов. Так, в организме взрослого человека около 60 - 70% масс. воды, около 30% приходится на органические и порядка 5% - на неорганические вещества. Из 110 химических элементов, известных науке сегодня, 81 обнаружен в организме человека. Для них известен следующий закон.

**Биогеохимический закон В.И. Вернадского.** Содержание элемента в природе, в том числе биологической уменьшается по мере увеличения его атомной массы.

Исключение составляют, например, железо у высших животных (т.н. «железный пик»), обеспечивающее, в первую очередь, связывание и транспорт кислорода, и магний у растений (т.н. «магниевый пик»), ответственный за фотосинтез.

Таким образом, если говорить о конкретных элементах, то их распространённость в живой и неживой природе существенно различается. Основной элемент в космосе – водород. На Земле больше половины массы земной коры приходится на кислород, 20% - на кремний. Восемнадцать элементов (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg, H, Ti, C, Cl, P, S, N, Mn, F, Ba) - составляют 99,8% массы земной коры, причем на восемь из них (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg) приходится ее основная масса (98%). В живом организме преобладают шесть элементов-неметаллов: C, H, O, N, P, S, - на долю которых приходится 97,4% массы всего организма. Эти элементы называются органогенами. Они образуют биомолекулы, т.е. являются строительными. Из металлов к биогенным относятся десять элементов. Это непереходные: Na, K, Mg, Ca и переходные металлы: Mn, Fe, Co, Cu, Zn и Mo.

Заметим, что элементный состав живого вещества сильно отличается от земной коры и ближе к составу морской воды (за исключением углерода и кальция). Дело в том, что хотя приведенный закон Вернадского включает и биосферу, однако поступление и накопление отдельных элементов в конкретном живом организме имеет свои особенности, связанные и с организмом, и со средой. В основе своей живые организмы «предпочитают» соединения тех элементов, которые способны образовывать достаточно прочные, но лабильные связи, в том числе различной кратности. Именно поэтому все органические вещества это соединения углерода. Водород и кислород – гораздо менее лабильные атомы, образующие уникальную среду существования – воду. И вода, и сами указанные элементы, их ионы – участники кислотно-основных и окислительно-восстановительных реакций.

Неметаллы: азот, фосфор, сера и металлы: железо, медь, молибден, марганец отличаются особой лабильностью при образовании соединений. Если перечисленные неметаллы относятся к строительным элементам и входят в состав биомолекул (встречаются и в составе неорганических ионов), то металлы являются функциональными в организме и подчиняются следующему правилу.

**Правило Дж. Бернала. Функциональными в организме являются элементы, встречающиеся в природе в различной степени окисления.**

Действительно, они в большинстве способны проявлять разнообразные степени окисления ( $\text{Cu}^{+1,+2}$ ,  $\text{Fe}^{+2,+3}$  и т.д.) и разные координационные числа и в природе, и в организме в составе его биомолекул, в первую очередь ферментов, но их количество здесь относительно невелико. В тоже время элементы, имеющие в окружающей среде постоянную степень окисления (натрий, калий, кальций, магний), формируют стабильные системы в организме, такие как биологические жидкости и каркасные структуры (кости, панцирь и др.). Их содержание велико. Например, у человека весом 70 кг содержится кальция – 1700 г, калия – 250 г, натрия – 70 г, магния – 42 г. Далее следуют железо – 5 г и цинк – 3 г.

Все элементы по их содержанию в организме условно делятся на макро-, микро- и ультрамикроэлементы. Макроэлементы — элементы, содержание каждого из которых превышает 0,005 – 0,001% массы тела. Это углерод, водород, кислород, азот. К ним относят часто фосфор, серу, кальций, хлор, фтор, калий, магний и натрий. В сумме макроэлементы составляют около 99% массы тела человека. Микроэлементы — те, содержание которых не превышает 0,005% для каждого отдельно взятого элемента. Это I, Cl, Fe, Na, Mg, Cu, Co, Zn. Часто к ним добавляют Mn, Mo, Se, Cr, Ni, Sn, Si, F, V, содержание которых еще меньше, но биологическая роль очевидна. Ультрамикроэлементы содержатся в организме в следовых количествах (содержание менее 0,00001%). К ним относят золото, уран, ртуть, свинец и др., выяснение биологической роли которых – дело ближайшего будущего.

Макроэлементы встречаются в различных местах организма. Они, как отмечалось, образуют несущие ткани и обеспечивают свойства его среды, поддерживая определенные значения pH, осмотического давления, сохраняя солевой баланс и кислотно-основное равновесие, и т.п. Микроэлементы, в отличие от макроэлементов, как правило, концентрируются в определенных тканях (см. таблицу 1), принимая участие в обеспечении их функций в составе катализаторов, кофакторов, гормонов, витаминов и пр.

Таблица 1. Содержание некоторых микроэлементов в организме человека (в усл.ед.)

ОРГАН, ТКАНЬ	Cu	Zn	Mn	Cr	Mo	Co
Аорта	97	1900	11	4,5	0 – 4	2 – 4
Мозг	370	820	20	0,8	0 – 4	0 – 2
Сердце	350	2800	23	3,4	0 – 4	2 – 3
Почки	270	4900	91	2,2	33	4 – 5
Печень	680	3800	130	1,5	81	4 – 5
Мышцы	85	4800	6	2,3	0 – 4	3 – 5
Яичник	130	1800	18	49	0 – 4	0 – 2
Поджелудочная железа	150	2400	110	3,7	0 – 4	1 – 3
Предстательная железа	110	9200	19	2,2	0 – 4	1 – 3
Кожа	120	1000	22	41	1 – 5	3 – 5

Содержание макроэлементов в организме достаточно постоянно, но даже сравнительно большие (временные) отклонения от нормы совместимы с жизнью. Так, содержание воды и, соответственно, водорода и кислорода может изменяться в пределах десятка процентов. Для микроэлементов, наоборот, незначительное отклонение от нормы вызывает тяжелые заболевания. Например, дефицит фтора вызывает кариес зубов, дефицит йода – эндемический зоб, избыток молибдена – эндемическую подагру. В результате можно сформулировать следующее правило.

**Правило.** Содержание макроэлемента в организме может варьироваться в определенных пределах, не приводя к нарушениям, а содержание микроэлемента должно быть практически постоянным.

Анализ на содержание отдельных элементов, в том числе микроэлементов в органах и тканях – чувствительный диагностический тест, позволяющий прогнозировать и лечить различные заболевания (см. таблицу 2). Так, снижение содержания цинка в плазме крови является следствием инфаркта миокарда, уменьшение лития в крови – показатель гипертонии; увеличение концентрации меди в спинномозговой жидкости свидетельствует о заболевании центральной нервной системы.

Таблица 2. Характерные симптомы дефицита химических элементов в организме человека

Элемент	Типичный симптом
Ca	Замедление роста скелета
Mg	Мышечные судороги
Fe	Анемия, нарушение иммунной системы
Zn	Повреждение кожи, замедление роста, замедление полового созревания
Cu	Слабость артерий, нарушение деятельности печени, вторичная анемия
Mn	Бесплодие, ухудшение роста скелета
Mo	Замедление клеточного роста, склонность к кариесу
Co	Злокачественная анемия
Ni	Учащение депрессий, дерматиты
Cr	Симптомы диабета
Si	Нарушение роста скелета
F	Кариес зубов
I	Нарушение работы щитовидной железы, замедление метаболизма
Se	Мышечная (в частности, сердечная) слабость

Содержание микроэлементов меняется с возрастом. Известно, что концентрация кадмия в почках и молибдена в печени повышается к старости. Максимальное количество цинка содержится в организме в период полового созревания, а минимальное – в старости. Содержание ванадия и хрома также значительно снижается с возрастом. Отсюда следует, что многие микроэлементы особенно важны детям в период интенсивного роста костей, мышц и внутренних органов организма (см. таблицу 3, где данные требуется сравнивать с учетом массы тела взрослого и ребенка).

Таблица 3. Суточное поступление химических элементов в организм человека

Химический элемент	Суточное поступление, мг	
	взрослые	дети
K	2000-5500	530
Na	110-3300	260
Ca	800-1200	420
Mg	300-400	60
Zn	15	5
Fe	10-15	7,0
Mn	2,0-5,0	1,3
Cu	1,5-3,0	1,0
Mo	0,075-0,250	0,06
Cr	0,05-0,2	0,04
Co	Около 0,2 (витамин B <sub>12</sub> )	0,001
Cl	3200	470
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	800-1200	210
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10	-
I	0,15	0,07
Se	0,05-0,07	-
F	1,5-4,0	0,6

Роль макроэлементов, их неорганических соединений в организме хорошо известна. Например, основное количество кальция и фосфора находится у нас в костях в виде гидроксиофосфата кальция Ca<sub>10</sub>(OH)<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>, а максимальное количество хлора - в желудочном соке в виде соляной кислоты. Функции многих микроэлементов также описаны. Следует заметить, что большинство из них - металлы, а из металлов больше половины являются переходными или *d*-элементами. Последние в организме образуют