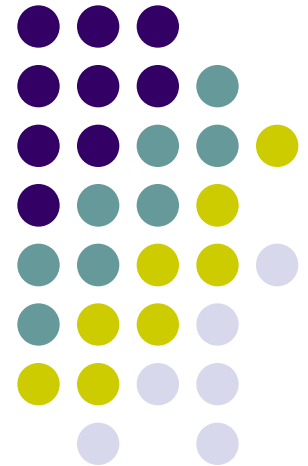
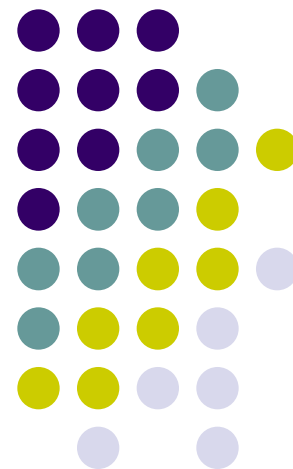


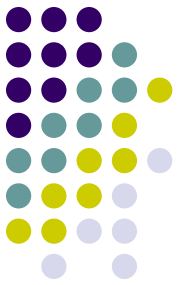
Химический состав организмов



Факторы отбора химических элементов для построения и функционирования биологических систем



Химические элементы живых организмов



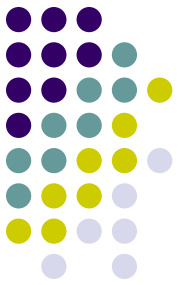
- Материя Вселенной – **>100 элементов**
- Основа живых систем – только **6 элементов** – **органогенов** (C, H, O, N, P и S) – 97,4%
- **12 элементов**, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем – Na, K, Ca, Mg, Fe, Si, Al, Cl, Cu, Zn, Co, I – ~1,6%
- **20 элементов**, участвующих в построении и функционировании отдельных узко специфических биосистем (например, водорослей, состав которых определяется в известной мере питательной средой) – ~1%
- Участие всех остальных элементов в построении биосистем практически не зафиксировано

Причины дифференцированного отбора элементов



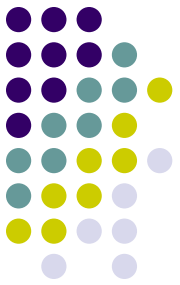
- Известно около **15 млн. химических соединений**
- **Около 96%** – **органические соединения**, основной строительный материал – те же 6–18 элементов
- Из всех остальных 95–99 химических элементов природа создала лишь **около 300 тыс. неорганических соединений**
- **В Космосе** господствуют лишь **2 элемента** – **H** и **He**
- **На Земле** наиболее распространены **Fe, O, Si, Mg, Al, Ca, Na, K, Ni**, тогда как **C** занимает лишь 16-е место
- В атмосфере **C** не более 0,01 мас. %, в океанах – около 0,002, в литосфере – 0,1
- **C** в литосфере распространен в 276 раз <, чем **Si**, в 88 раз <, чем **Al**, и даже в 6 раз <, чем **Ti**
- Из органоенов наиболее распространены лишь **O** и **H**

Причины дифференцированного отбора элементов



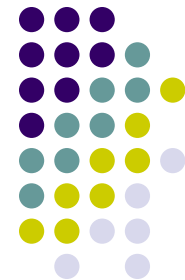
- Следовательно, **геохимические условия не играют существенной роли** в отборе химических элементов при формировании органических систем и биосистем
- **Определяющие факторы** – требования соответствия между строительным материалом и теми сооружениями, о которых говорят как о структурах высокоорганизованных

Требования соответствия между строительным материалом и высокоорганизованными структурами

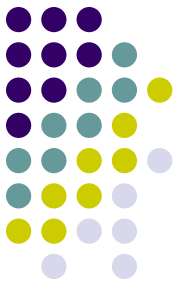


- Отбор элементов, способных к образованию:
 1. достаточно **прочных** и, следовательно, **энергоемких** химических связей
 2. **лабильных** связей, т. е. легко подвергающихся гомолизу, гетеролизу или циклическому перераспределению
- Элементы-органогены имеют:
 - небольшие радиусы атомов
 - промежуточные значения электроотрицательностей
- Это благоприятствует образованию прочных ковалентных связей

Углерод – органоген № 1



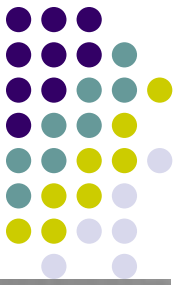
- Углерод способен вмещать и удерживать внутри себя самые резкие химические противоположности, реализовывать их единство, выступать в качестве носителя внутреннего противоречия
- Атомы С в одном и том же соединении способны играть роль и **акцептора**, и **донора** электронов
- Атомы С образуют почти все типы химических связей:
 - менее чем **одноэлектронные** и одноэлектронные (?)
 - **двухэлектронные** (?)
 - **трехэлектронные** (?)
 - **четырёхэлектронные** (?)
 - **шестиэлектронные** (?)
- Среди С–С-связей – чисто **ковалентные**, почти чисто **ионные** и **ковалентные полярные** с самыми различными энергиями связей



Кислород и водород

- Нельзя считать столь же лабильными элементами
- Носители крайних и односторонних свойств – **ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ** и **ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ**
- Соотношение О и Н в биомолекулах определяет тенденцию этих соединений к окислительно-восстановительным переходам и взаимодействию их с водой – **универсальной биосредой** (в организме взрослого человека в среднем около 65% воды)

Азот, фосфор, сера и др.



- N, P и S, некоторые элементы, составляющие активные центры ферментов (Fe, Mg), подобно C отличаются особой **лабильностью**
- Рассматривая вопрос об отборе элементов, **Дж. Д. Бернал** отмечал: *«лабильные атомы S, P и Fe, которые претерпевают очень большие превращения в неорганическом мире, имеют основное значение в биохимии, в то время как стабильные атомы (Si, Al, Na), составляющие несравненно большую часть земной коры, играют лишь второстепенную роль или отсутствуют вовсе»*

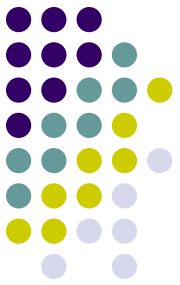


Дж. Д. Бернал
(1901–1971)

Химические связи, образующиеся биогенными элементами

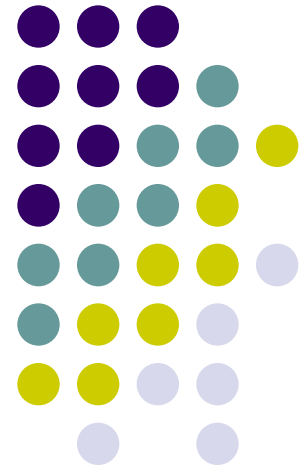


- Внутримолекулярное или внутрикомплексное взаимодействие атомов **C, N, S, P, H, O, Fe, Mg, Ti** создает исключительное богатство химических связей:
 - **сопряженные** связи, обладающие еще более высокой π -электронной проводимостью
 - относительно слабые **макроэнергические** связи в соединениях типа АТФ
 - очень слабые **водородные** связи
 - **парные межатомные** связи типа C–H, C–C
 - **Многоцентровые** (связь атома Mg с пиррольными кольцами в геминах)

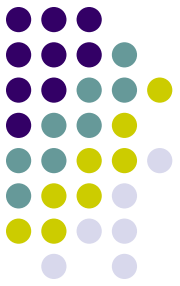


- Все перечисленное выше и определило **отбор** в ходе эволюции природы **определенных химических элементов для построения и функционирования биологических систем**

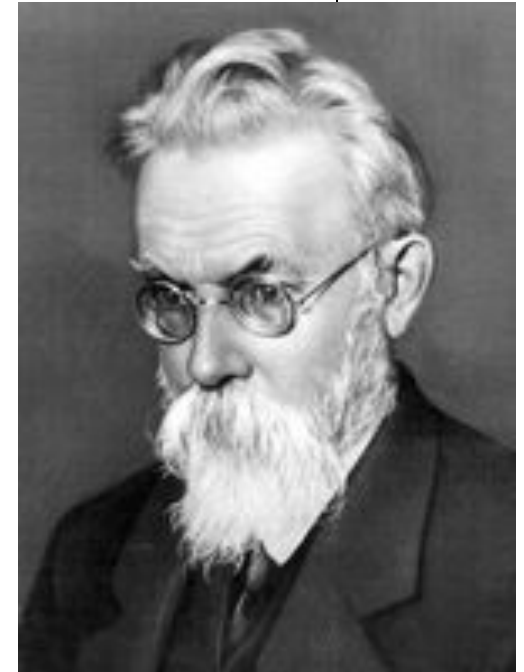
Классификация биогенных элементов



По количественному содержанию в организмах (*В. И. Вернадский*)

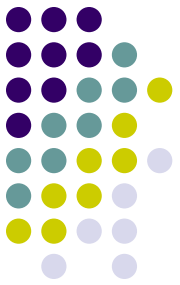


1. **Макроэлементы** –
содержание в организме
более $10^{-2}\%$ (O, S, N, H, C,
P, Ca, Mg, Na, K, Cl, Fe)
 - **Функции**
 - построение тканей
 - поддержание постоянного осмотического давления
 - поддержание ионного и кислотно-основного баланса и др.



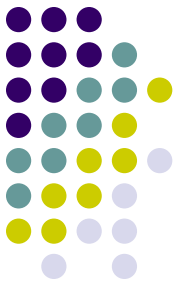
В. И. Вернадский

По количественному содержанию в организмах (*В. И. Вернадский*)



2. **Микроэлементы** – содержание в организме 10^{-2} – $10^{-5}\%$ (I, Cu, As, F, Br, B, Sr, Ba, Co, Zn, Mn, Mo, Cr, Se)
- **Функции**
 - Входят в состав активных центров ферментов, гормонов, витаминов и др. БАВ в качестве комплексообразователей или активаторов, тем самым участвуют в обмене веществ, процессах размножения, тканевом дыхании, обезвреживании токсических веществ
 - активно влияют на процессы кроветворения, ОВП, проницаемость сосудов и т. п.

По количественному содержанию в организмах (*В. И. Вернадский*)

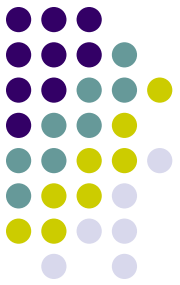


3. **Ультрамикроэлементы** –
содержание в организме **меньше**
 $10^{-5}\%$ (Pb, Au, V, Hg, Ag, U, Ra и др.)

По значимости для жизнедеятельности (В. В. Ковальский)



1. **Незаменимые элементы** — всегда содержатся в живом организме, входя в состав его неорганических и органических соединений: **H, O, Ca, N, K, P, Na, S, Mg, Cl, C, I, Mn, Cu, Co, Fe, Zn, Mo, V**. Их дефицит приводит к нарушению жизнедеятельности
2. **Примесные элементы** — также постоянно содержатся в организме животных и человека: **Ga, Sb, Sr, Br, F, B, Be, Li, Si, Sn, Cs, Al, Ba, Ge, As, Rb, Pb, Ra, Bi, Cd, Cr, Ni, Ti, Ag, Th, Hg, U, Se**. Биологическая роль не всегда детально выяснена или мало известна
3. **Микропримесные элементы** (**Sc, Ti, In, La, Pr, Sm, W, Re, Tb, и др.**). Обнаружены в организме человека и животных, но сведения о содержании и биологическая функция не выяснены



По функциональной роли

- **Органоге́ны** – элементы, из атомов которых состоят основные органические соединения организма
 - р-элементы **C, N, O, P, S**, s-элемент **H**
- Элементы, создающие в основном **электролитный фон** организма
 - s-элементы **Na, K, Mg, Ca**, р-элемент **Cl**
- **Микроэлементы**, осуществляющие регулирующую и транспортную функции
 - все жизненно важные **d-элементы, Se** и **I**

По влиянию на живые организмы



- **Канцерогены...**

- элементы, стимулирующие развитие опухолевых процессов в организме и могущие вызывать раковые заболевания

- **Мутагены...**

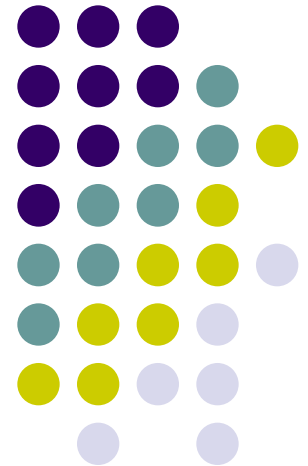
- элементы, вызывающие генетические мутации в живом организме

- **Тератогены...**

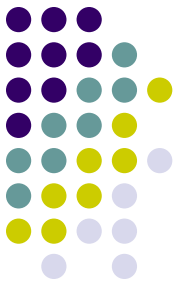
- элементы, вызывающие аномалии развития в живом организме на соматическом уровне

Химические компоненты клетки

Вода

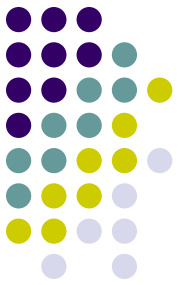


Вода...



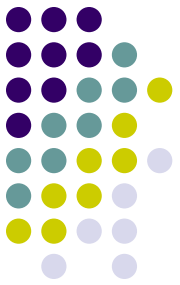
- соединение, которое живая клетка содержит в наибольшем количестве
- составляет около 70% массы клетки
- большинство внутриклеточных реакций протекает в водной среде
- Жизнь на нашей планете возникла в океане...
- «Конструкция» всех живых организмов связана с уникальными свойствами воды
 - полярный характер молекул
 - способность к образованию **полярных** связей, **водородных** связей
 - большое поверхностное натяжение

Функции воды в организме



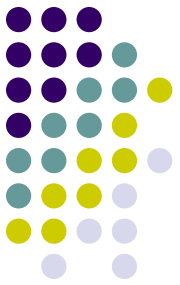
- Вода – **универсальный растворитель**
 - Это обусловлено **полярностью молекулы** и **способностью образовывать водородные связи** (ассоциироваться)
 - Соединения, участвующие в образовании структур, стабилизированных водородными связями воды, **гидрофильны** и **хорошо растворяются в воде**
 - Неполярные молекулы разрушают структуру воды, образованную водородными связями – **гидрофобны** и **не растворяются в воде**
 - **Гидрофобные взаимодействия**, или **гидрофобный эффект**, играют существенную роль в образовании биологических структур

Функции воды в организме



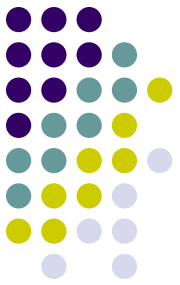
- **Транспортные функции**
 - Это обусловлено **низкой вязкостью**, **подвижностью** и **способностью растворять** большое число неорганических и органических соединений

Функции воды в организме



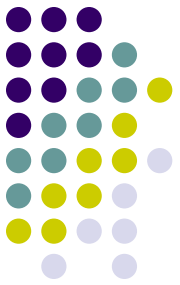
- Вода – **среда**, в которой протекают многочисленные и разнообразные химические процессы
 - **Большая диэлектрическая постоянная** воды обеспечивает электролитическую диссоциацию веществ, способных распадаться на ионы

Функции воды в организме



- Вода – непосредственный **участник биохимических реакций**
 - *Гидролиз*
 - *Гидратация и дегидратация*
 - *Окисление*
 - *Многие реакции синтеза*

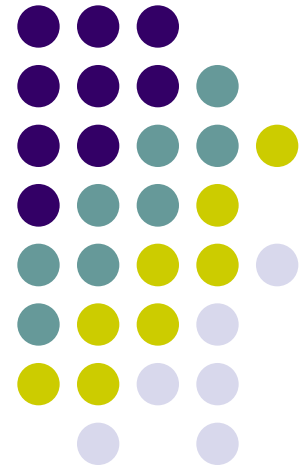
Функции воды в организме



- Вода – **терморегулятор**
 - Основа – **высокая теплопроводность** воды и значительное поглощение теплоты в процессе ее испарения
 - **высокая теплоемкость** воды

Химические компоненты клетки

**Органические соединения
клетки**

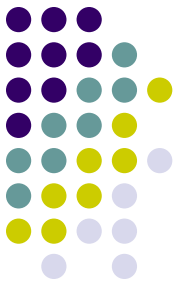


Малые органические молекулы



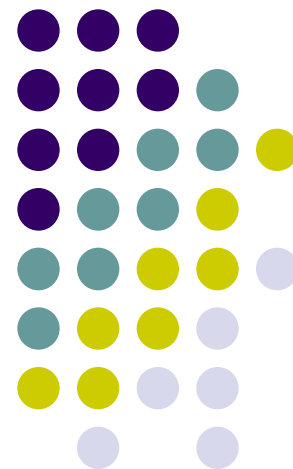
- Соединения углерода с M_r от 100 до 1000 (до 30 атомов C)
- Обычно находятся в свободном состоянии в цитоплазматическом растворе, образуя пул промежуточных продуктов, дающих начало макромолекулам
- Служат важнейшими промежуточными продуктами в химических реакциях, преобразующих извлеченную из пищи энергию в пригодную для использования форму
- Доля – около 1/10 клеточного органического вещества
- В клетке присутствует около тысячи различных видов таких молекул

Малые органические молекулы



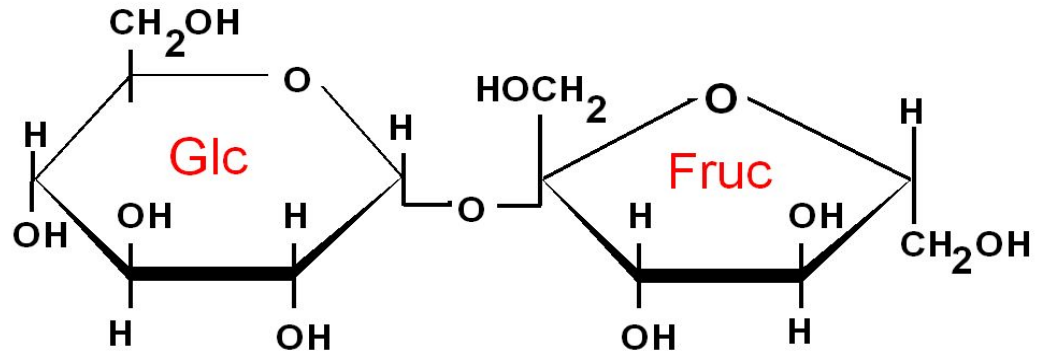
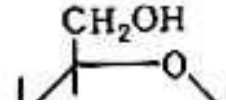
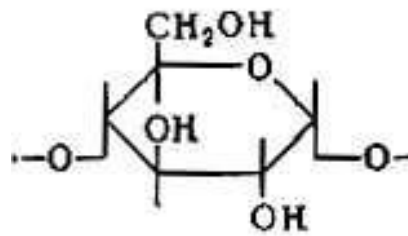
- Расщепляясь, все биомолекулы распадаются до тех простых соединений, из которых они и синтезируются, причем синтез и распад происходят в результате ограниченного числа химических превращений, которые подчиняются определенным правилам
- Следовательно, **все имеющиеся в клетке соединения можно разбить на небольшое число отдельных семейств**
- Крупные **макромолекулы** строятся из малых молекул и **относятся**, таким образом, **к тем же семействам**

Углеводы

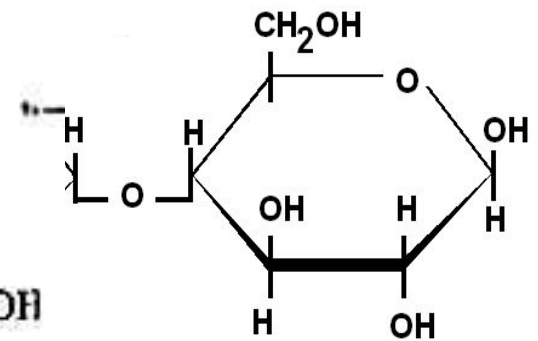
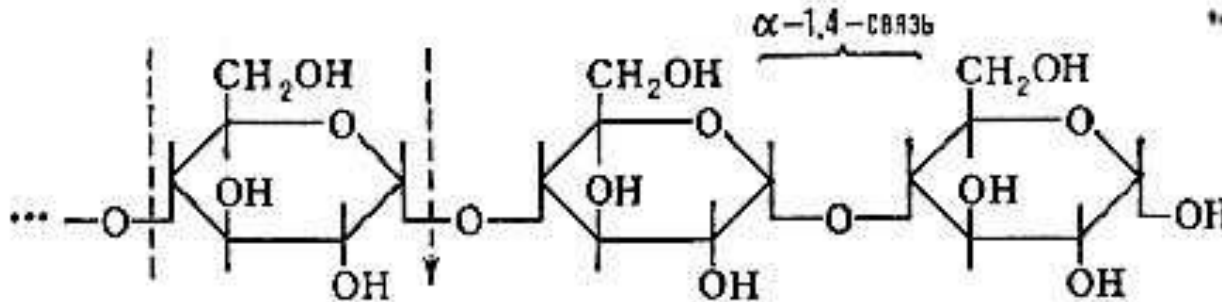




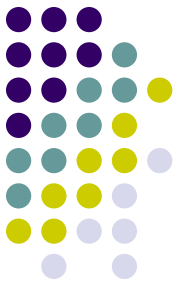
- Моносахариды
- Дисахариды
- Олигосахариды
- Полисахариды



Sucrose [α - D - Glc (1,2) β - D - Fru]

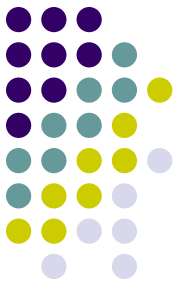


α - D - Glc (1,4) β - D - Glc]



Глюкоза

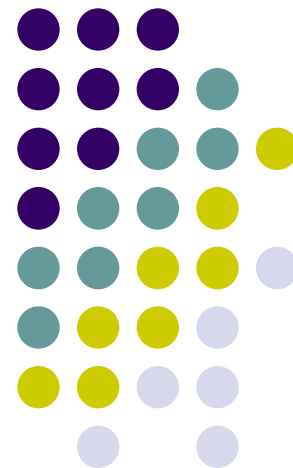
- Главный **источник энергии** во многих клетках
- В результате последовательного ряда реакций окисления превращается в различные производные с меньшей длиной цепи и в конечном счете распадается до CO_2 и H_2O :
$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{энергия}$$
- В ходе распада глюкозы **высвобождается энергия** и **генерируется восстановительная способность**, без чего невозможно протекание биосинтетических реакций
- Высвобождающаяся энергия и генерируемая восстановительная сила запасаются в форме двух важнейших соединений – **АТФ** и **НАДН**



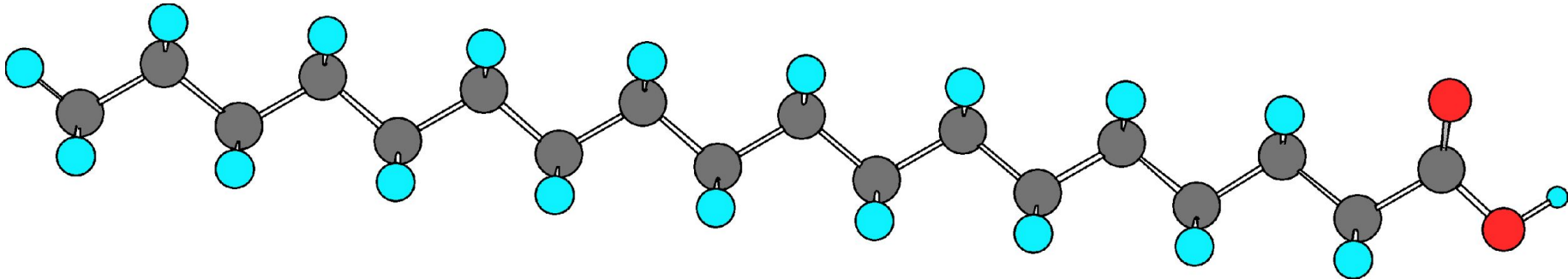
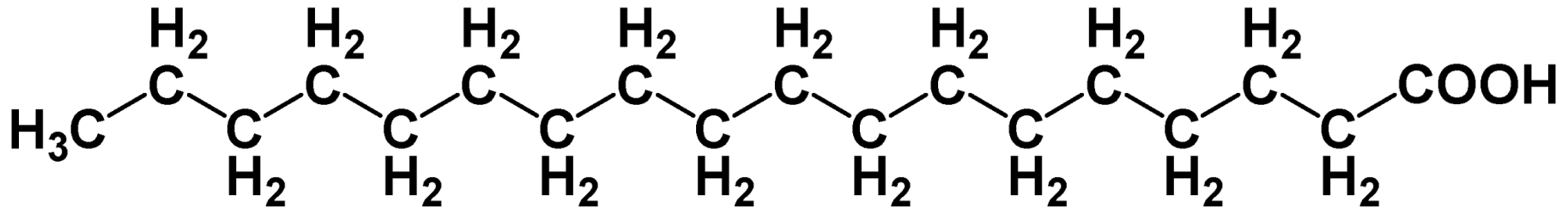
Полисахариды

- Используются **для запасания энергии** **впрок** (**гликоген** — у животных, **крахмал** — у растений)
- Из простых полисахаридов состоит важный **внеклеточный структурный материал** (**целлюлоза**)
- Цепочки неповторяющихся молекул углеводов часто бывают ковалентно связаны с белками в **гликопротеинах** и с липидами в **гликолипидах**

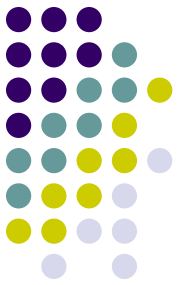
Жирные кислоты



- В молекуле жирной кислоты имеются **две части**:
 - длинная **углеводородная цепь**, которая имеет **гидрофобный характер** и химически мало активна
 - карбоксильная группа**, ионизирующаяся в растворе, **гидрофильная** и легко образующая эфиры и амиды



Функции жирных кислот



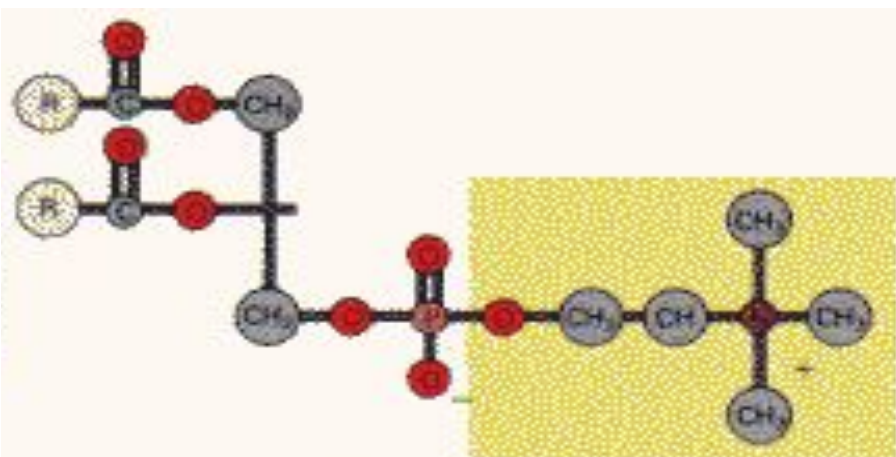
- **Ценный источник энергии** – их расщепление сопровождается образованием такого количества АТФ, которое в 2 раза превышает образование АТФ при расщеплении такой же массы глюкозы
- Жирные кислоты запасаются в цитоплазме многих клеток в виде **триглицеридов** (жиров)



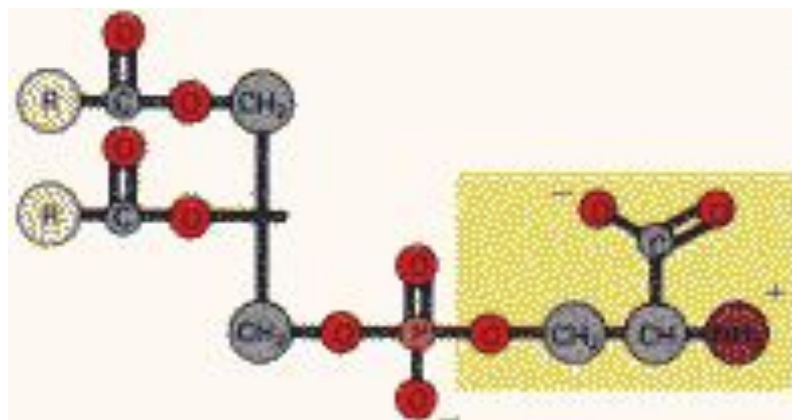
Функции жирных кислот



- Самая важная функция – участие в **построении клеточных мембран**
- Мембраны состоят главным образом из **фосфолипидов**
- В фосфолипидах глицерин связан с 2-мя остатками жирных кислот. Оставшееся свободное место в молекуле глицерина обычно занимает фосфатная группа, которая соединена с другими гидрофильными группами
 - **холином** $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}-(\text{CH}_3)_3$
 - **этаноламином** $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$
 - **серином** $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$



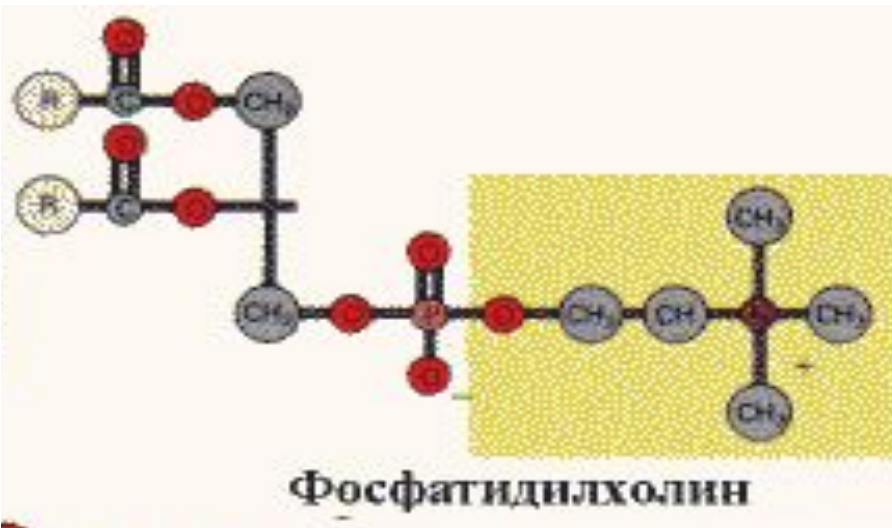
Фосфатидилхолин



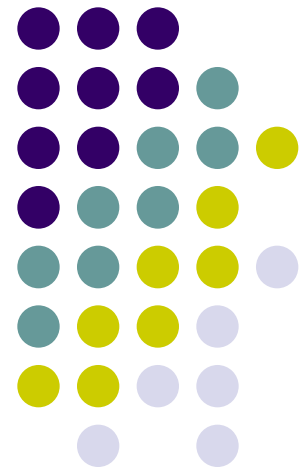
Фосфатидилсерин



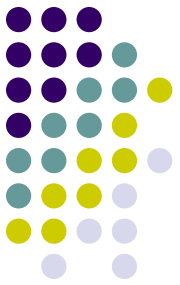
- У каждой фосфолипидной молекулы имеется **гидрофобный хвост**, состоящий из цепей двух жирных кислот, и **гидрофильная полярная голова**, в которой располагается фосфатная группа
- Эти молекулы располагаются в мембране хвост к хвосту, образуя **липидный бислой**, или «СЭНДВИЧ»



Аминокислоты



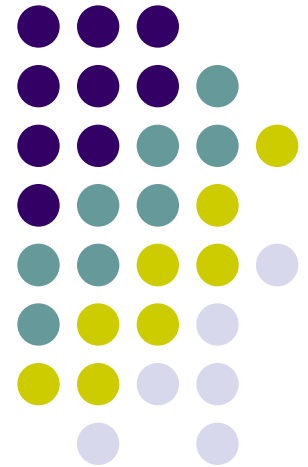
Аминокислоты



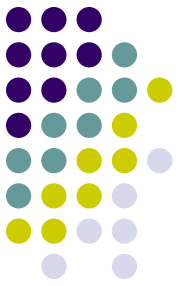
- Различаются по химическому составу
- Все они являются **α -аминокислотами**
- Служат строительными блоками при синтезе **белков** –линейных полимеров аминокислот, соединенных при помощи **пептидной связи**
- **20 аминокислот** с разными боковыми цепями
- У 5 аминокислот боковые цепи могут нести **заряд**,
- Боковые цепи других – электронейтральны, но **обладают способностью вступать в реакции посредством образования специфических связей**
- Особенности боковых цепей всех аминокислот, входящих в состав данного белка, определяют его свойства и лежат в основе всех сложных и разнообразных функций белковых молекул



Нуклеотиды

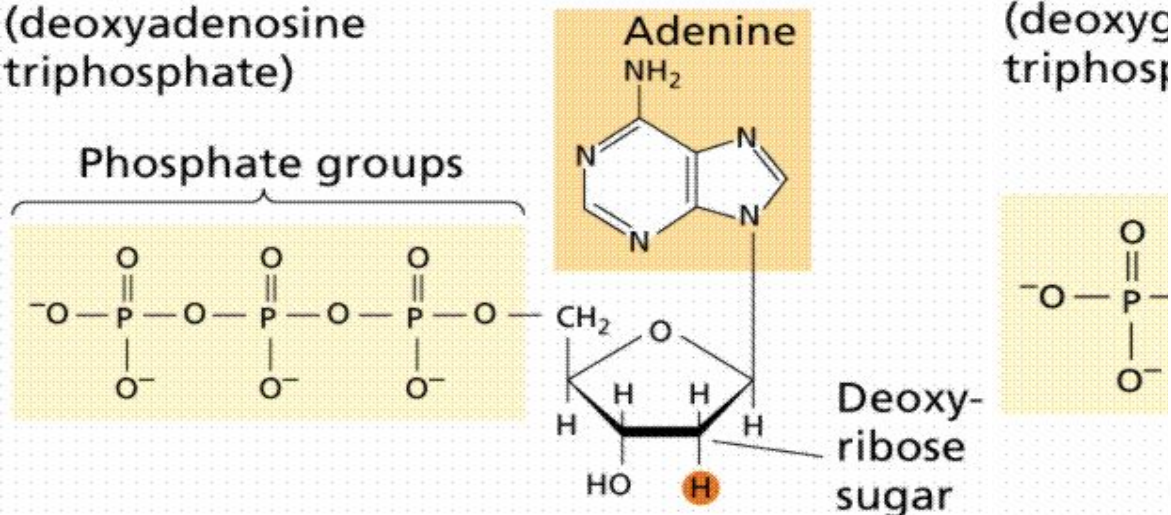


Нуклеотиды

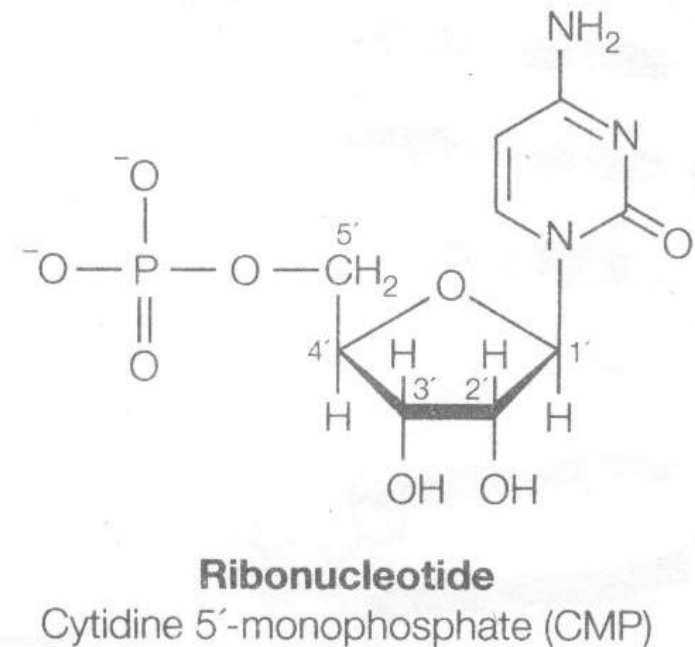


- В нуклеотидах одно из нескольких азотсодержащих циклических соединений (оснований) связано с пятиуглеродным моносахаридом (**рибозой** или **дезоксирибозой**), который несет еще и фосфатную группу
- Из азотистых оснований встречаются **пиримидиновые** (цитозин, тимин и урацил) и **пуриновые** (гуанин и аденин)

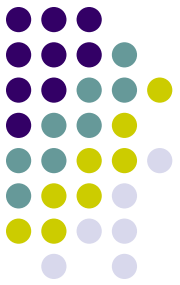
Deoxy-ATP
(deoxyadenosine triphosphate)



Deoxy-C
(deoxycytosine triphosphate)

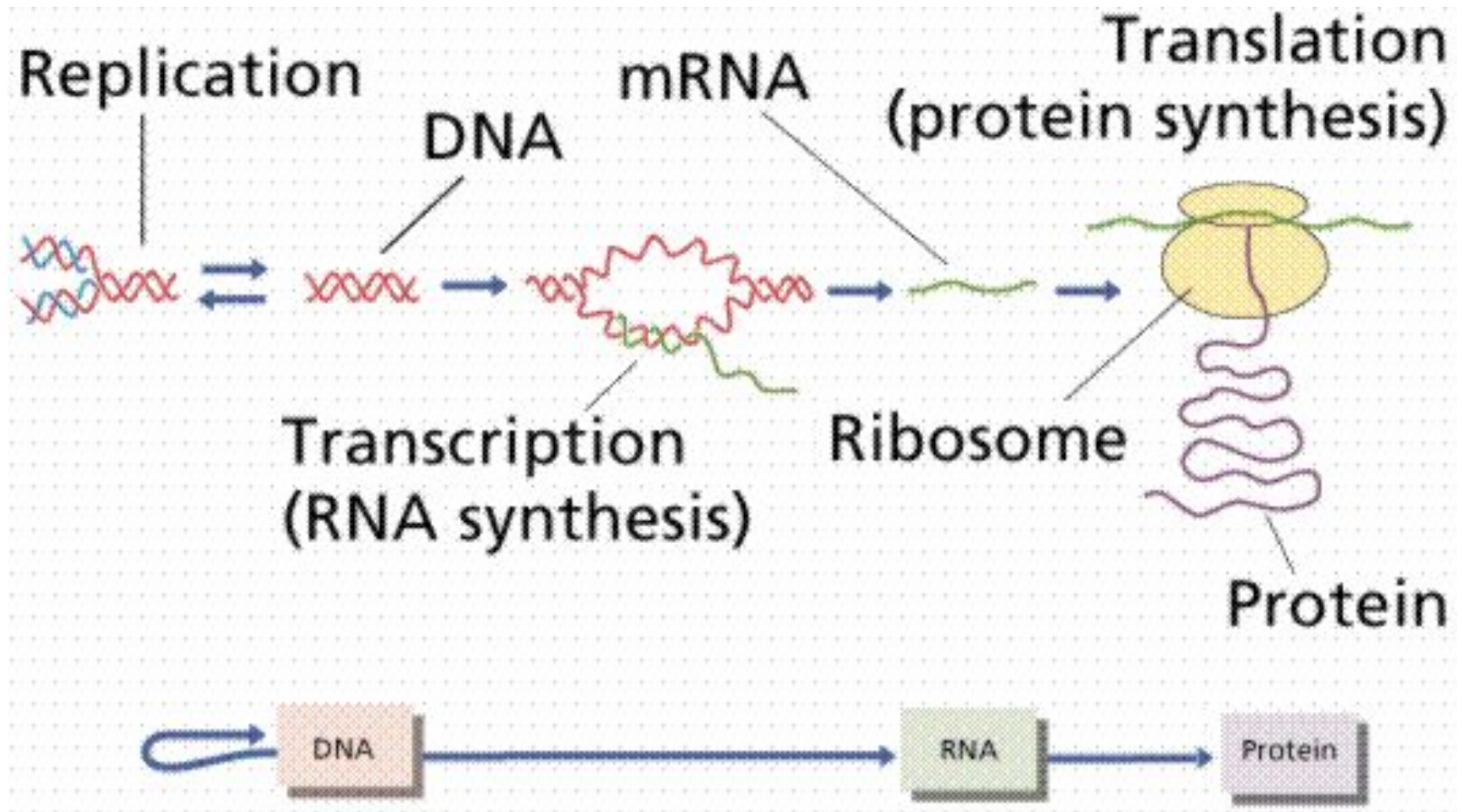
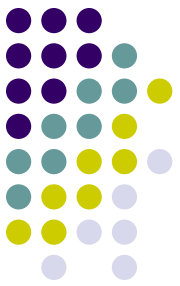


Функции нуклеотидов

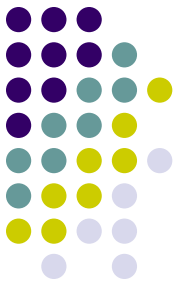


- Нуклеотиды – **переносчики энергии** (например, АТФ), **отдельных химических групп** (атомы Н, остатки моносахаридов) и т. д.
- **Хранение и передача биологической информации**
 - Нуклеотиды – строительные блоки для синтеза **нуклеиновых кислот** – РНК и ДНК
 - Центральная догма молекулярной биологии

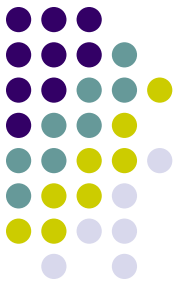
Центральная догма



Вывод



- Живые организмы – автономные самовоспроизводящиеся химические системы
- Они построены из специфического и вместе с тем ограниченного набора углеродсодержащих малых молекул, как правило, одних и тех же для всех видов живых существ
- Основные группы этих молекул –
 - **Углеводы** – важнейший источник энергии для клеток, запасают ее, образуя резервные полисахариды
 - **Жирные кислоты** имеют важное значение для запасания энергии, но самая главная их функция – образование клеточных мембран
 - Полимеры, построенные из **аминокислот**, - удивительно разнообразные и многофункциональные молекулы белков
 - **Нуклеотиды** участвуют во внутриклеточной передаче сигналов и играют центральную роль в переносе энергии, однако их уникальное значение состоит в том, что они – субъединицы информационных молекул – РНК и ДНК



Литература

- Альбертс Б., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки. Т. 1. – М.: Мир, 1994.
- Кузнецов В. И., Идлис Г. М., Гутина В. Н. Естествознание. – М.: Агар, 1996.
- Ленский А. С. Введение в бионеорганическую и биофизическую химию. – М.: Высшая школа, 1989.
- Синюков В. В. Вода известная и неизвестная. – М.: Знание, 1987.
- Филиппович Ю. Б. Основы биохимии. – М.: Высшая школа, 1999.
- Чухрай Е. С. Молекула, жизнь, организм. – М.: Просвещение, 1981.