

**ТРАНСПОРТ ВЕЩЕСТВ В
ОРГАНИЗМЕ
(БИОМЕМБРАНОЛОГИЯ)
СТРУКТУРА, СВОЙСТВА И
ФУНКЦИИ
БИОЛОГИЧЕСКИХ
МЕМБРАН**



Термин « мембрана » используют в биологии более века, обозначая им клеточную границу, которой свойственна полупроницаемость (легкость проникновения сквозь нее одних веществ при невозможности преодоления другими). В 1851 г. физиолог Х. Моль описал плазмолиз растительных клеток и предположил, что клеточным стенкам присущи свойства мембран. Ботаник К. Негели (1855) выделил из этих свойств полупроницаемость в качестве главного условия поддержания нормального осмотического давления внутри клеток. В 1877 г. В. Пфедфер опубликовал фундаментальный труд « Исследования осмоса », в котором создал умозрительную модель

клеточной мембраны, подметив структурное сходство между клетками и осмометрами, имеющими искусственные полупроницаемые мембраны. Представления о мембране как непрременном и важнейшем компоненте клетки не случайно развились в прошлом веке ботаниками, а не исследователями животного мира. Под микроскопом хорошо была видна стенка растительной клетки, тогда как оболочку животной клетки увидеть не удавалось. Некоторые ученые (например, К. Бернар) предполагали, что она существует, но большинству исследователей клетки животных

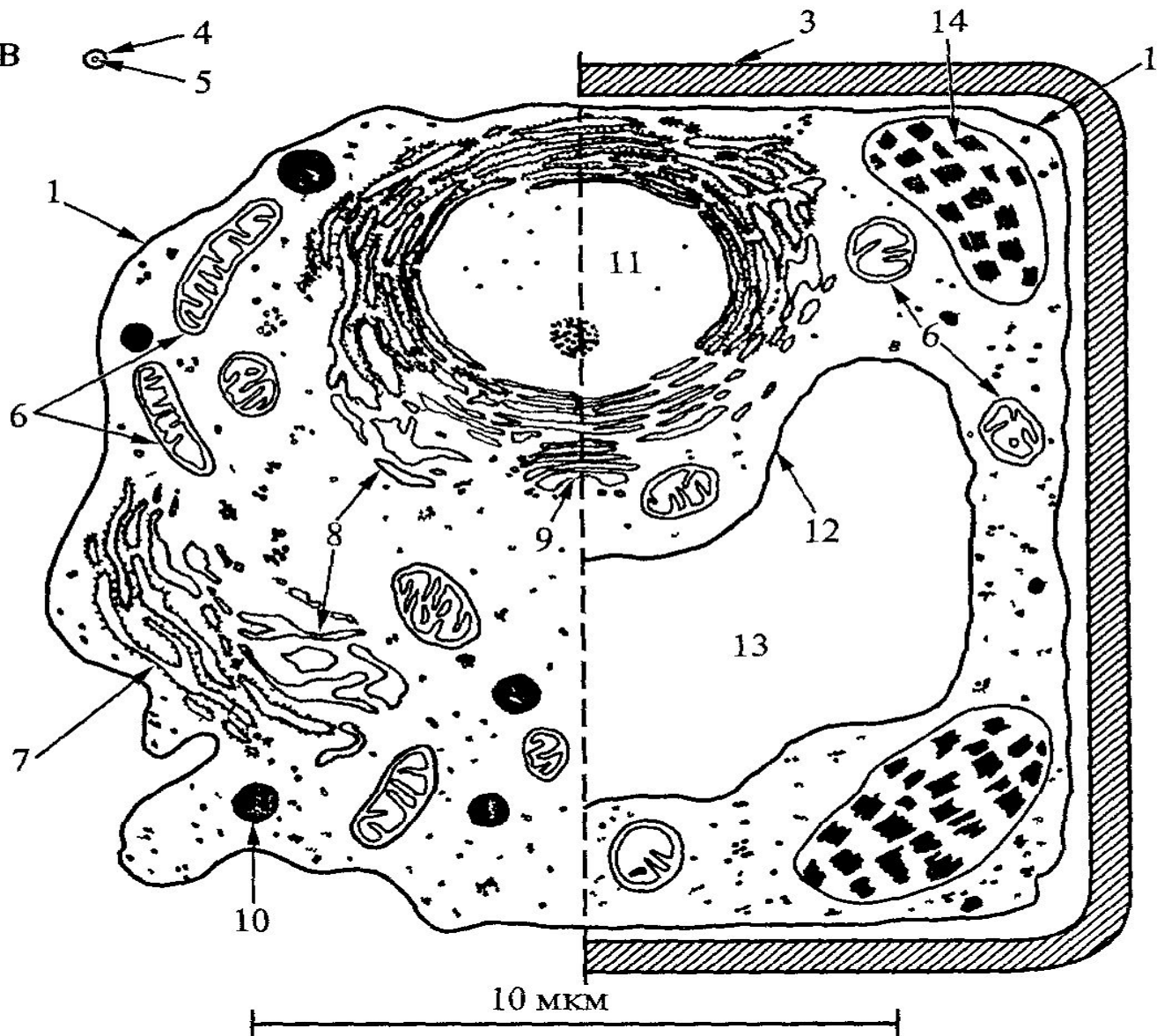
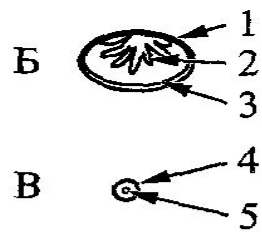
представлялись в виде «комочков живого вещества», не имеющих оболочки.

Электронная микроскопия развеяла заблуждения. При достаточном увеличении стали видны не только клеточные стенки растений, но и истинные наружные мембраны растительных и животных клеток (рис. 1.1). Каждая клетка окружена наружной оболочкой, которую называют *плазматической мембраной* (*плазмолеммой, цитолеммой*). Ей придают первостепенное значение в организации жизни: «...только после образования мембраны вокруг всей клетки мы действительно имеем то, что с полным правом может быть названо организмом» [Бернал, 1968].

Вместе с тем и цитоплазма буквально «нафарширована» мембранами, так как каждый клеточный органоид окружен своей оболочкой. В середине XX в. клетку стали воспринимать как обширную сеть мембранных систем, составляющих важнейший элемент клеточной организации. Соотношение между плазмолеммой и внутриклеточными мембранами неодинаково в разных клетках. Так, в клетках хрусталика глаза нет других мембран, кроме плазматической, тогда как в печеночных клетках (гепатоцитах) ее площадь составляет всего 6,5% поверхности, образуемой всеми мембранами клетки.

Суммарная масса внутриклеточных мембран достигает $\frac{2}{3}$ общей массы обезвоженной клетки. Эти мембраны образуют огромную поверхность. Так, печень крысы, имеющая массу около 6 г, обладает столь обширной сетью внутриклеточных мембран, что их суммарная площадь достигает тысячи квадратных метров.

Немало органов, в клетках которых этот показатель еще более впечатляющий. Замечено, что по мере увеличения отношения суммарной площади мембран к объему клетки повышается интенсивность обменных процессов в ней. Наибольшей мембранной поверхностью обладают клетки с интенсивным метаболизмом

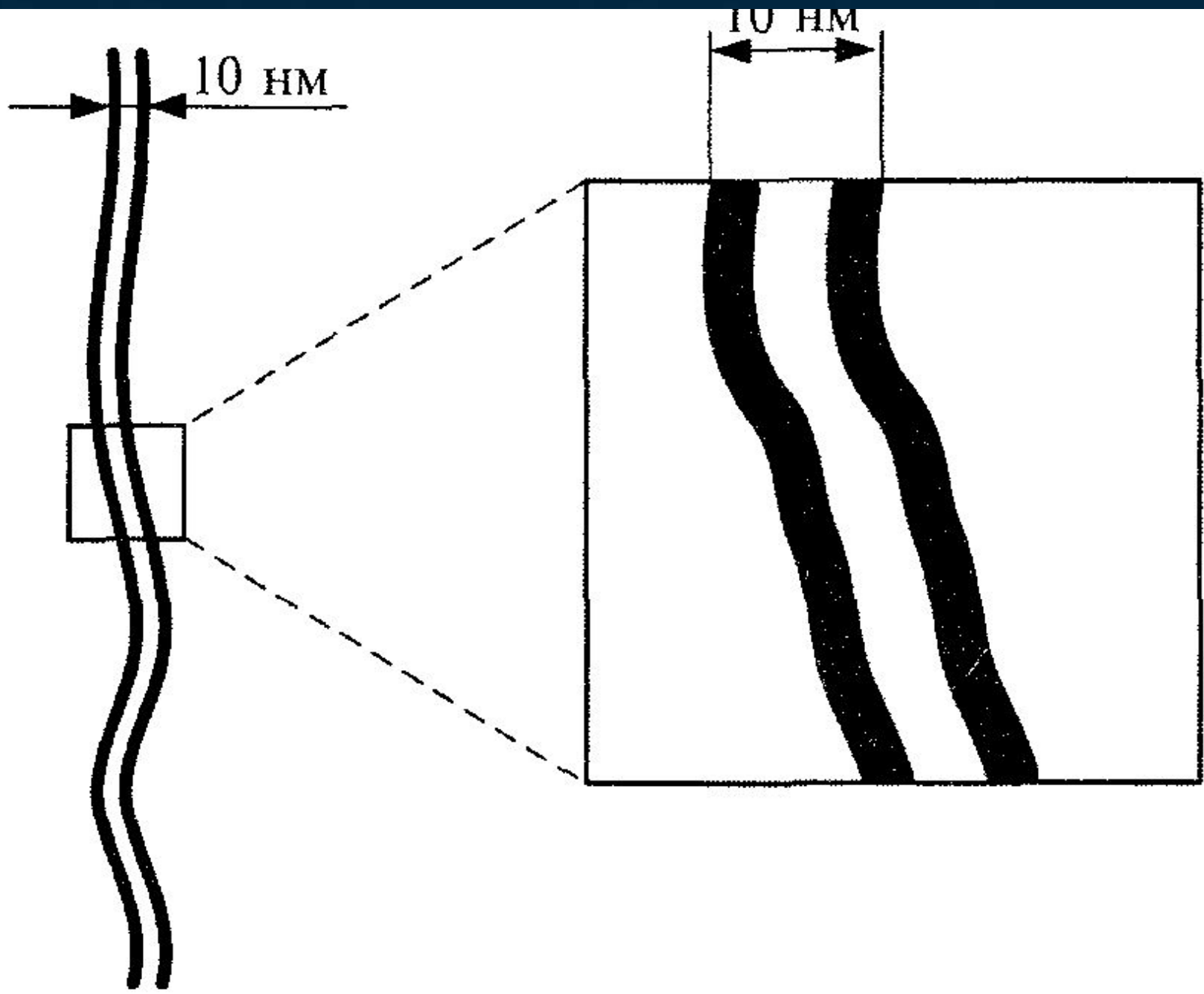


СТРУКТУРНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

БИОЛОГИЧЕСКИХ МЕМБРАН

Электронная микроскопия. Электронная микроскопия нативных клеточных мембран не позволяет их увидеть, так как они состоят из тех же химических элементов, что и цитоплазма. Для получения четкой электронограммы клетки ее мембраны контрастируют, осаждая на них вольфрам, осмий и другие химические элементы, которые хорошо поглощают и рассеивают электроны. На таких препаратах любая биомембрана (БМ) выглядит трехслойной: между парой темных полос расположено светлое полос расположено светлое пространство (рис. 1.2).

Следовательно,
компоненты промежуточной (средней) части БМ
слабо связывают металлы,
входящие в состав «электронных красителей».
Суммарная толщина трехслойной
структуры варьирует от 7 до 15 нм, причем разная
величина присуща различным
клеточным мембранам. Во многих из них наблюдается
асимметрия трехслойной



организации: темные полосы различаются по ширине и плотности. Асимметричное строение большинства БМ продемонстрировано особенно наглядно посредством своеобразного приема электронной микроскопии — метода замораживания скалывания, о котором будет рассказано ниже. Более детальные сведения о молекулярной структуре клеточных мембран получены методами рентгеноструктурного и рентгеноспектрального анализов, электронного парамагнитного и ядерного магнитного резонанса, люминесцентного анализа, дифференциальной сканирующей микрокалориметрии (ДСК) и др.

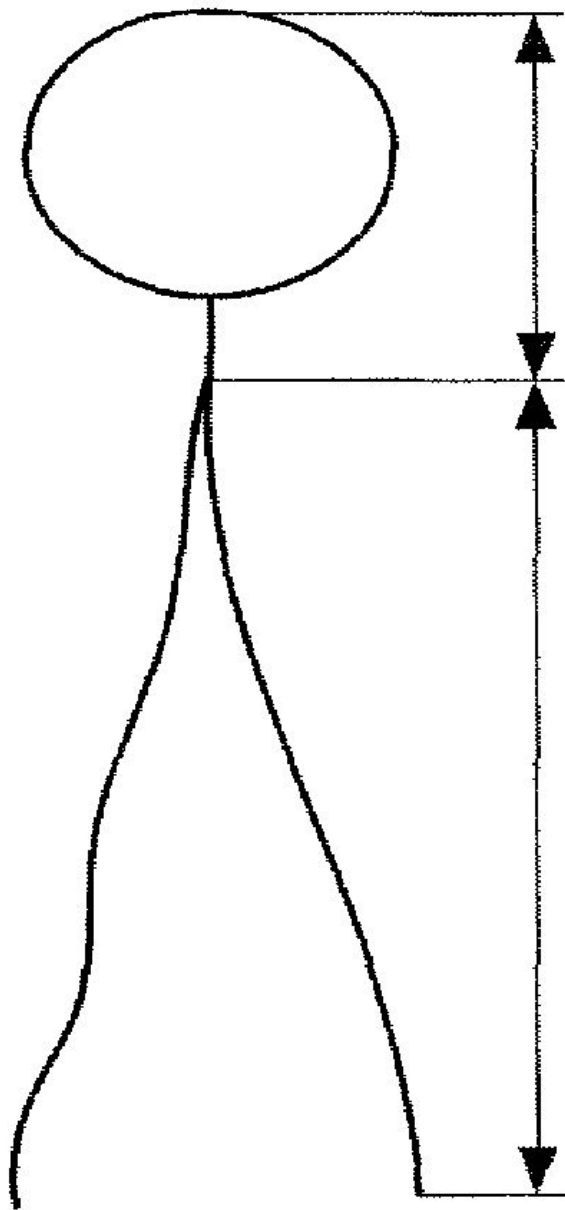
Все клеточные мембраны построены в основном из липидов, белков и углеводов, причем последние образуют соединения с белками (*гликопротеиды*) и липидами (*гликолипиды*). Органические вещества образуют соли с различными ионами, которые вместе с тем присутствуют в виде водных растворов внутри мембранных каналов.

Мембранные липиды. Структурной основой БМ служит липидный *бимолеку-*

лярный слой. Его образование обусловлено особенностями взаимодействия с водой мембранных липидов. На их долю приходится от 15 до 50% сухой массы разных клеточных мембран.

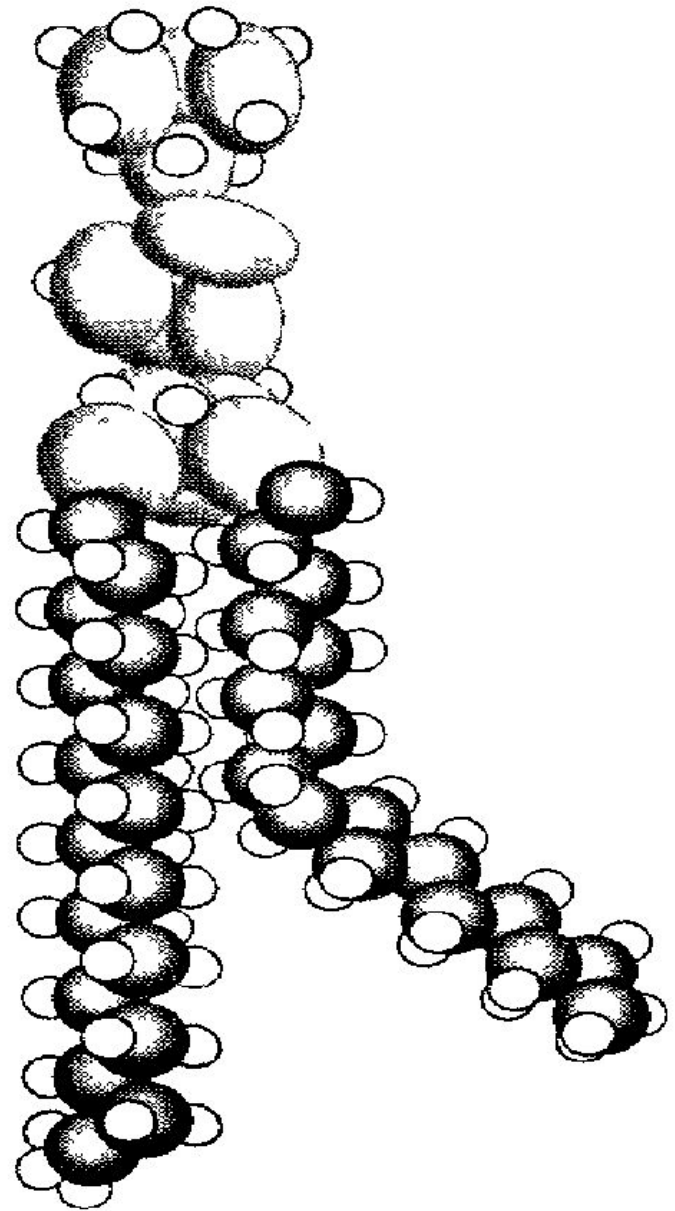
Мембранные липиды относятся к трем основным классам: 1) фосфолипидам, 2) гликолипидам и 3) стероидам. Среди них преобладают *фосфолипиды* (ФЛ), в молекуле которых условно выделяют три части (рис. 1.3): головку, тело (шейку) и хвосты (в большинстве мембранных ФЛ их два). Площадь участка, занимаемого головкой, составляет $0,6 \text{ нм}^2$, а на хвосты приходится $0,2—0,3 \text{ нм}^2$. Вертикальный размер головки не превышает $x/4$ длины всей молекулы. Головки разных ФЛ образованы азотистыми (этанолламин, холин) или безазотистыми (сериин, инозит, треонин)

Им присуща довольно высокая степень полярности. Посредством ортофосфорной кислоты головка соединяется с телом, которое представляет собой один из двух многоатомных спиртов: глицерин или сфингозин (ненасыщенный аминоспирт). В зависимости от спирта, составляющего тело, все ФЛ подразделяются на глицерофосфатиды (глицерофосфолипиды) и сфингофосфолипиды. К глицерину или сфингозину присоединяются хвосты — неполярные СН-цепи жирных кислот, содержащие от 14 до 24 атомов углерода. У двуцепочечных фосфолипидов один из хвостов представлен насыщенным, а второй — ненасыщенным



1

2



кислотой. К первым относятся стеариновая (18 : 0)*, пальмитиновая (16 : 0), миристиновая (14:0), а ко вторым — олеиновая (18 :1), линолевая (18 : 2), линоленовая (18 : 3), арахидоновая (20 : 4), докозогексаеновая (22 : 6) кислоты. За счет разной комбинации перечисленных компонентов существуют десятки различных фосфолипидов. Из них в биологических мембранах чаще встречаются фосфатидилэтаноламин, фосфатидилхолин (лецитин), сфингомиелин, фосфатидилинозитол, схему строения глицерофосфолипидов. Их тело (шейку) образует трехатомный спирт глицерин, у которого две гидроксильные группы этерифицированы жирными кислотами, причем

