

ЛЕКЦИЯ №4

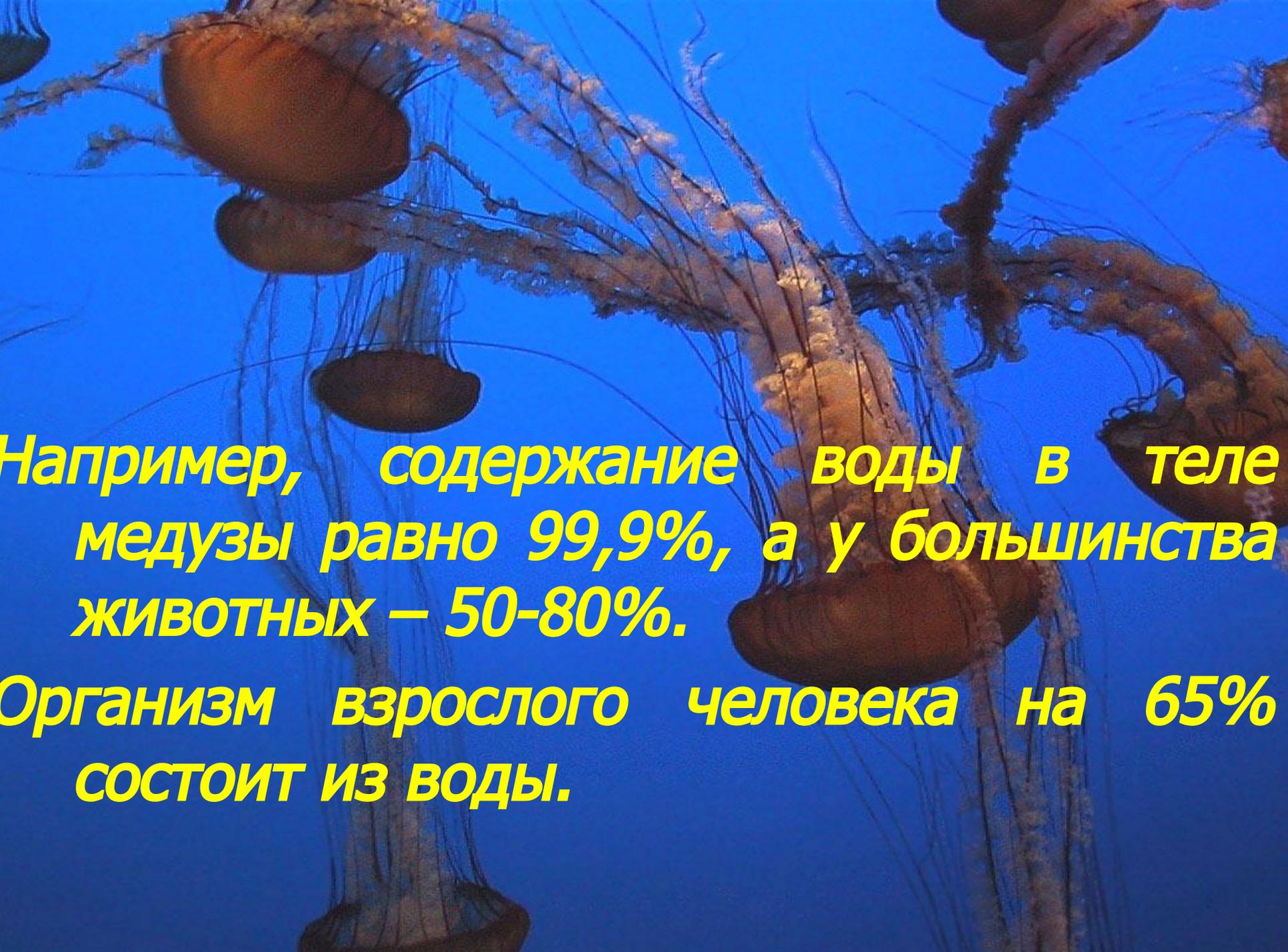
**ВОДНО-СОЛЕВОЙ
ОБМЕН.
ПРИСПОСОБЛЕНИЯ
К ВОДНОМУ
РЕЖИМУ И
СОЛЕННОСТИ СРЕДЫ**

Цель лекции:

- Показать значение воды и минеральных солей, особенности водно-солевого обмена у организмов, обитающих в воде и на суше, приспособления для поддержания водно-солевого гомеостаза.

Значение воды и минеральных солей

- Вода является **хорошим растворителем**. Многие вещества легко диссоциируют в водных растворах. **Только в присутствии воды протекают биохимические реакции в организме.**
- Вода является **важнейшей составной частью живых организмов**, она составляет **значительную часть их массы.**

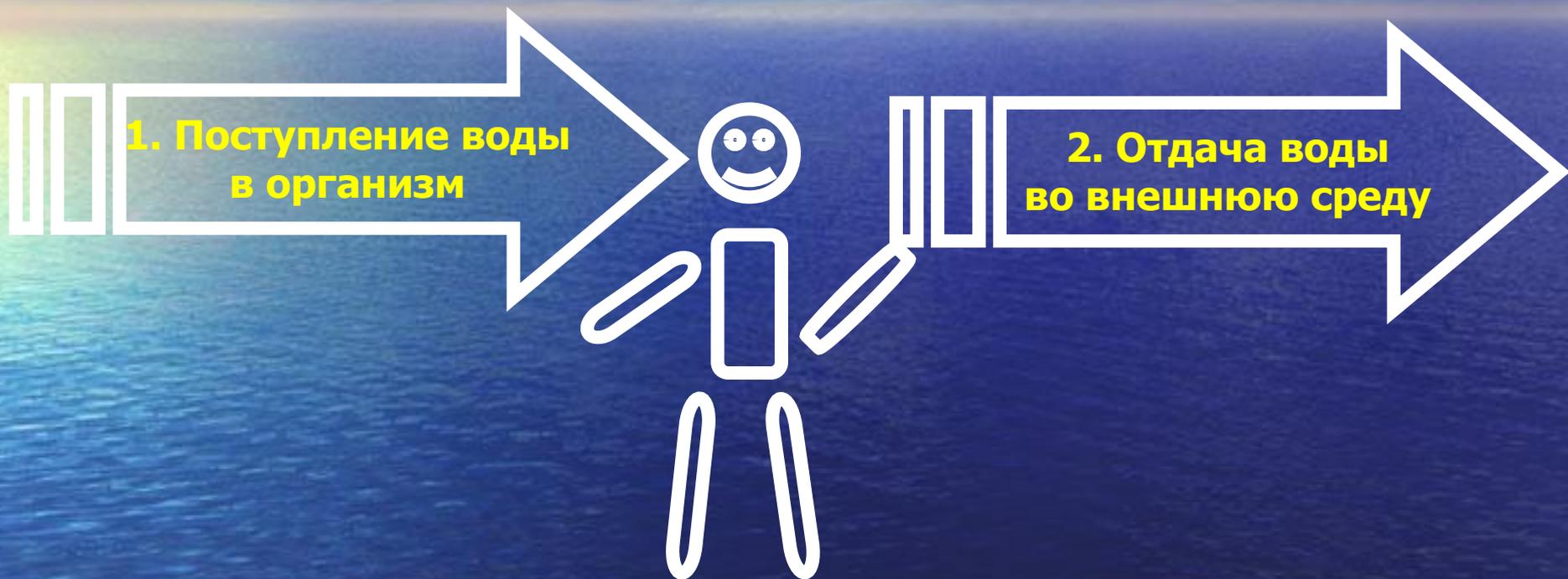


Например, содержание воды в теле медузы равно 99,9%, а у большинства животных – 50-80%.

Организм взрослого человека на 65% состоит из воды.

- Вода выполняет важную **транспортную функцию**. Она доставляет к органам и тканям питательные вещества и удаляет из них конечные продукты обмена.

Водный обмен организма со средой складывается из двух противоположных процессов:



- **У высших растений** этот процесс представлен **насосыванием воды из почвы** корневой системой, **проведением** ее вместе с растворенными веществами к отдельным органам и клеткам и **выведением в процессе транспирации**.
- **Животные** получают воду **в виде питья** и **с пищей**, некоторые из них могут получать и отдавать воду **через кожные покровы** или специализированные участки тканей. **Выведение воды** у животных происходит **с мочой и экскрементами**, а также **путем испарения**.

- Водный обмен тесным образом **связан с обменом солей**. Определенный набор солей является необходимым условием для нормальных функций организма.
- **Минеральные вещества** – катионы и анионы – **создают осмотическое давление**. Соли **входят в состав тканей**, играют важную роль в клетке.
- Водный и солевой обмен связаны общими приспособлениями, поэтому говорят об адаптации **водно-солевого обмена** к условиям среды.

Водно-солевой обмен у водных организмов

По характеру водно-солевого
обмена водные организмы
(гидробионты) делятся на
пресноводных и *морских*.



По способу регуляции осмотического давления гидробионты делятся на следующие группы:

- *Пойкилосмотические*

Это организмы, не способные к активной регуляции осмотического давления жидкостей тела.

Благодаря проницаемости кожных покровов любые изменения солёности немедленно уравниваются осмотическим током воды.

К пойкилосмотическим относятся цианобактерии, низшие растения и большинство морских беспозвоночных животных.

- *Гомойосмотические*

Это животные, способные к активной регуляции осмотического давления.

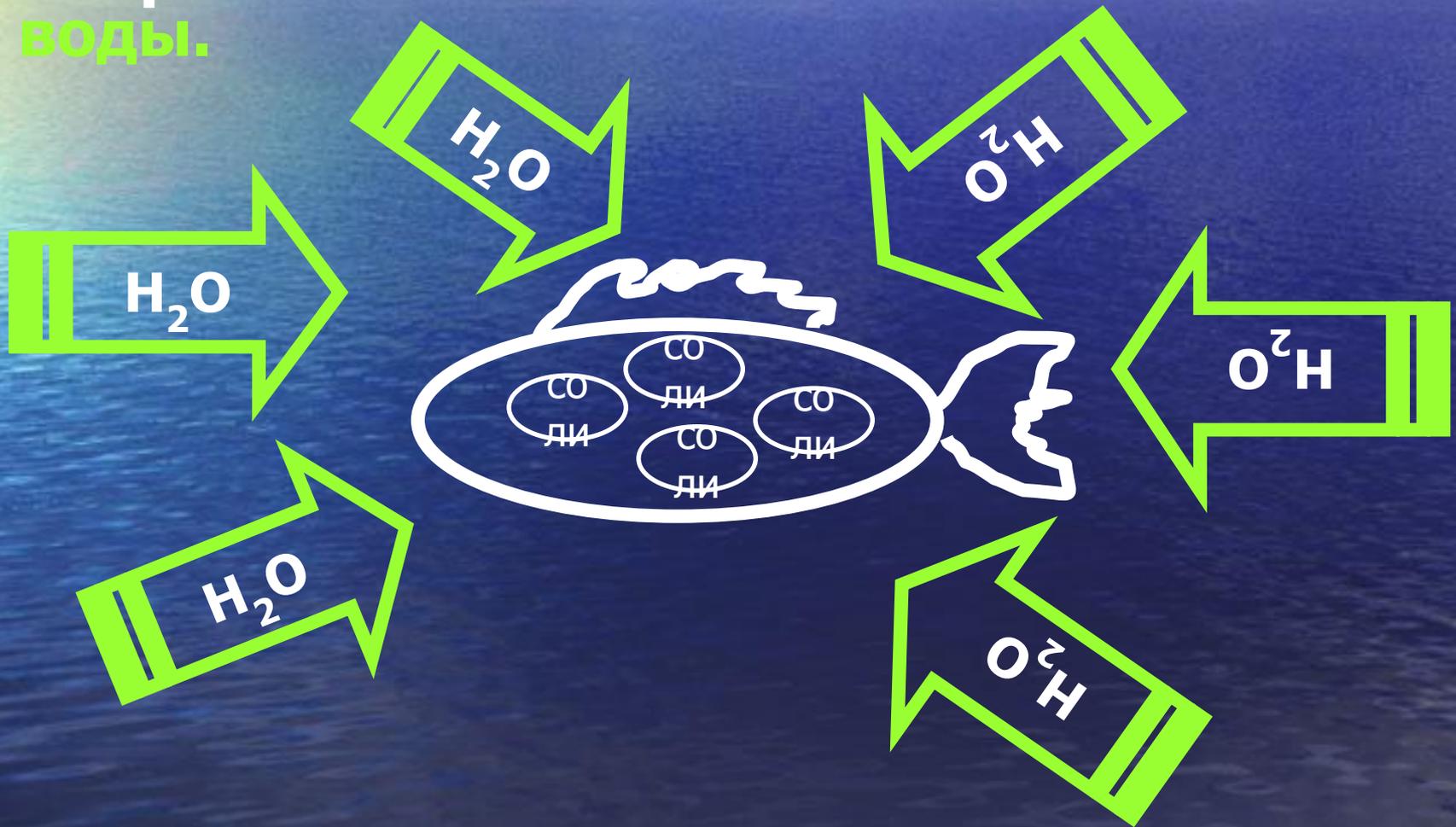
Они способны поддерживать относительное постоянство этого параметра.

**Осморегуляция у
пресноводных
организмов**



У пресноводных организмов концентрация минеральных солей **в тканях** всегда **выше, чем в окружающей среде.**

Поэтому внутрь организма всегда направлен **постоянный осмотический ток воды.**



- В таких условиях необходимо постоянно поддерживать водно-солевой гомеостаз. Это достигается **активным поддержанием осмотического давления внутри тела.** Поэтому пресноводные организмы являются гомойосмотическими.

- **В целом у позвоночных пресноводных организмов существуют следующие приспособления к обитанию в пресной воде:**

1. МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ

Строение покровов, затрудняющие проникновение воды через кожу (чешуя, панцирь, слизь).

Однако полностью предотвратить осмотическое поступление воды в организм покровные органы не могут.



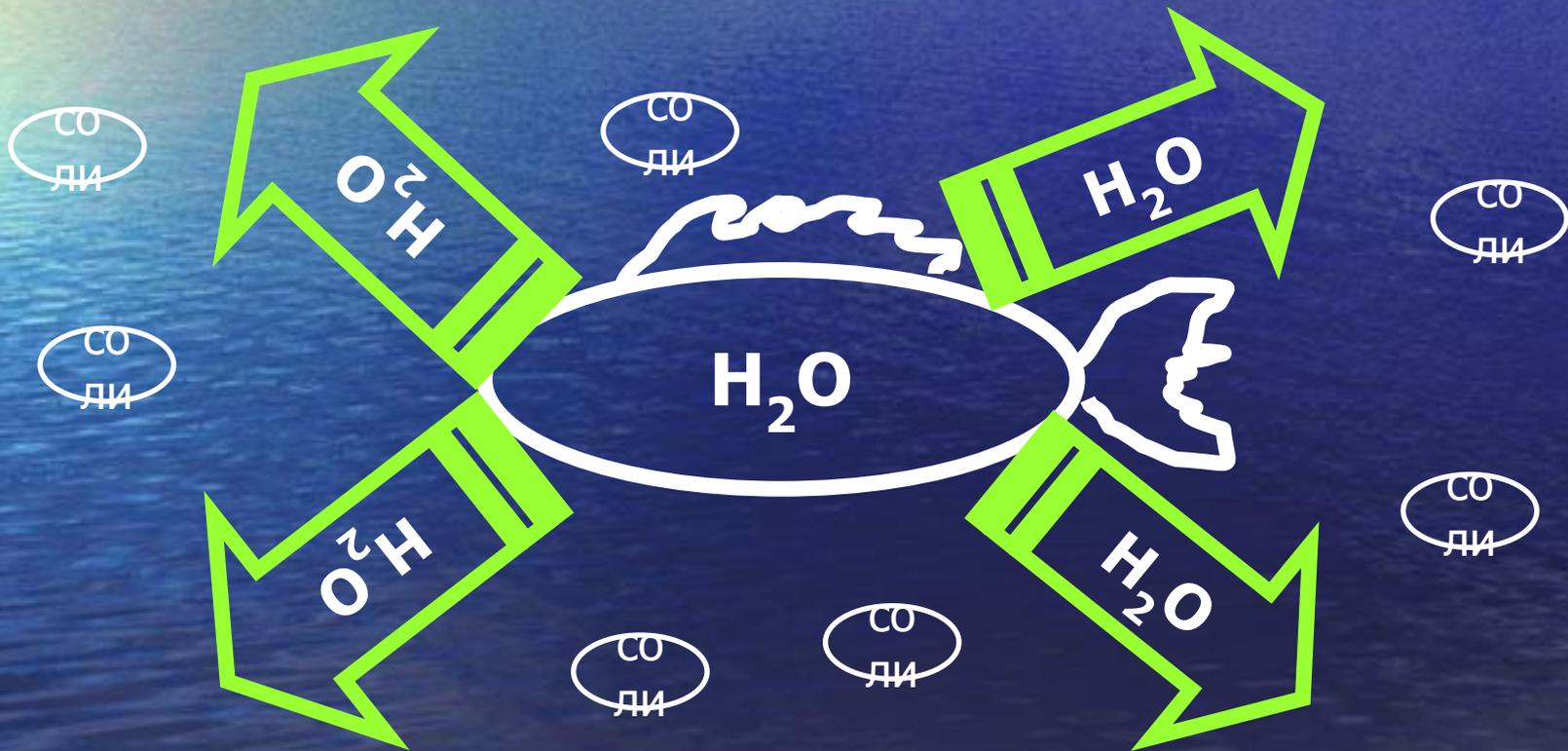
2. Физиологические.

- Связаны с активной регуляцией осмотического давления. **Поддержание водно-солевого равновесия в организме достигается двумя путями:**
- **а) Активное выведение избытка воды с мочой.** Этому способствует особое строение почки у пресноводных рыб.
- **б) Активное восстановление теряемых с мочой и экскрементами солей.** Жаберный эпителий имеет специализированные клетки, которые способны к активному захвату солей из окружающей среды. Кроме того, соли поступают в организм с пищей. У водных личинок насекомых для этих целей служат анальные жабры.
- Пресноводные рыбы не пьют воду.

Осморегуляция в море у костистых рыб



- Задачи осморегуляции в морской воде прямо противоположны пресноводному типу. **В море осмотическое давление внутренней среды организма ниже, чем морской воды. Поэтому организм постоянно обезвоживается.**



В связи с этим адаптация к солености у костистых рыб направлена на компенсацию потери воды и выведение избытка солей, а именно:

- **1. Снижение уровня почечной фильтрации.** Этому способствует **особое строение почки** (уменьшение числа функционирующих нефронов). Поэтому усиленного выведения воды из организма не происходит.

- **2. Интенсивное обратное всасывание воды из состава первичной мочи.**

Морские рыбы выделяют небольшое количество мочи, выделяя при этом большое количество солей в **концентрированной моче** (в основном двухвалентные).

- **3. Питье воды.** Морские рыбы регулярно пьют воду, компенсируя этим потери воды, но получают при этом избыточное количество солей.

- **4. Выведение избытка солей через кишечник.** В кишечнике происходит интенсивное обратное всасывание воды. В результате **соли (в основном двухвалентные) концентрируются и выводятся с фекалиями.**

- **5. Выведение избытка солей через жабры.** В жаберном эпителии морских рыб имеются особые крупные бокаловидные клетки (**«солевые»**, **«хлоридные»**), которые связаны с сосудами венозной системы. Через них путем активного транспорта выводятся **ионы Na^+ и Cl^- .**

Гипертоничность внешней среды

Постоянные осмотические потери воды

Восполнение воды путем питья

Получение избытка солей с заглатываемой водой

Усиленное выведение солей через:

почки

кишечник

жаберный эпителий

**Выведение в основном
двухвалентных ионов**

**выведение в основном
одновалентных ионов Na^+
и Cl^-**

ОСМОРЕГУЛЯЦИЯ В МОРЕ У ХРЯЩЕВЫХ РЫБ



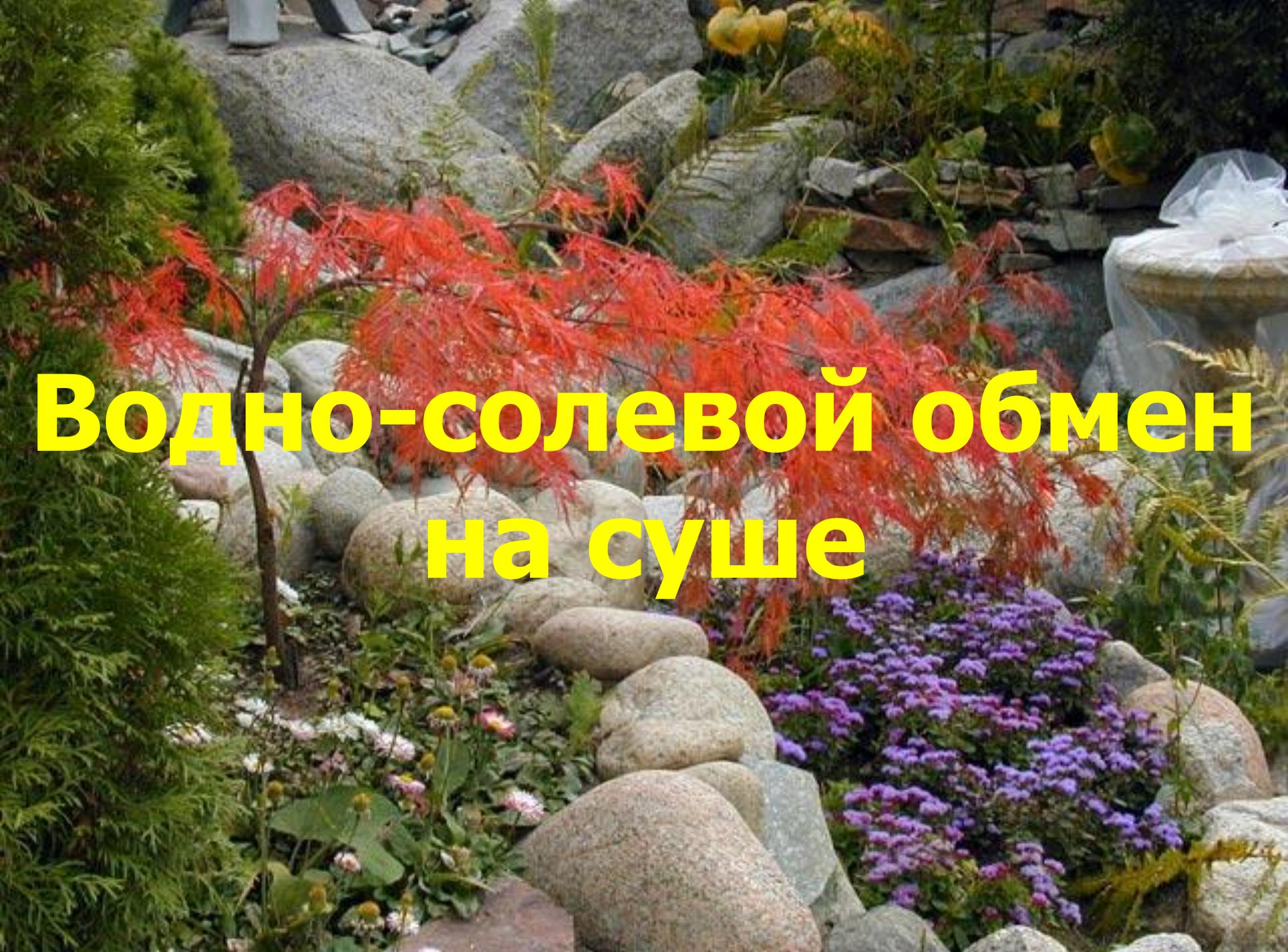
- Приспособления к обитанию в морской среде у **хрящевых рыб** основаны **на других принципах.**
- Концентрация солей в их крови сходна с таковой у костистых рыб и ниже, чем в морской воде. Однако **осмотическое давление жидкостей тела у этих рыб практически равно осмотическому давлению морской воды**, а может и превышать его.
- Достигается это тем, что **в почках идет активная реабсорбция мочевины: 70-99 % мочевины возвращается из первичной мочи в кровь, повышая ее суммарное осмотическое давление**

**Концентрация натрия, калия и мочевины в плазме крови водных
позвоночных животных**

Виды	Среда обитания	Na⁺	Cl⁻	Мочевина	Осмотическая концентрация
Морская вода		450	10	0	1000
<u>Костистые рыбы</u> Золотая рыбка (Carassius)	Пресные воды	115	4	0	259
Рыба-жаба (Ospranus)	Море	160	5	0	392
<u>Хрящевые рыбы</u> Скат (Raja)	Море	289	4	444	1050
Акула (Scualus)	Море	287	5	354	1000

- Кроме мочевины, в крови хрящевых рыб накапливается **триметиламинооксид (ТМАО)**, который также обладает высокой осмотической активностью. ТМАО содержится в жидкостях тела многих морских организмов, но у хрящевых рыб его концентрация особенно велика. Таким образом, хрящевые рыбы, сохраняя концентрацию биологически важных солей неизменной, по суммарному осмотическому давлению внутренней среды почти не отличаются от морской воды.
- Хрящевых рыб называют **мезитоническими** организмами, то есть промежуточными между гомойо- и пойкилосмотическими формами.

- На снижение солености среды хрящевые рыбы реагируют усилением выведения мочевины и ТМАО с мочой. Так многие из них выдерживают большие колебания солености, появляясь даже в пресных водах.
- Поскольку внутренняя среда хрящевых рыб слегка гипертонична по отношению к морской воде, происходит умеренный осмотический приток воды в организм, который обеспечивает потребности мочеобразования. *Поэтому хрящевые рыбы не пьют морскую воду и не получают с ней дополнительной солевой нагрузки.*

A photograph of a garden scene. In the center, a small tree with vibrant red, feathery leaves stands among grey, rounded rocks. To the right, a dense patch of small purple flowers is visible. The background shows more rocks and green foliage. The text "Водно-солевой обмен на суше" is overlaid in the center in a bold, yellow font.

**Водно-солевой обмен
на суше**

Приспособления к водообеспечению у растений влажных местообитаний

- **Растения, обитающие во влажных биотопах, подразделяются на несколько экологических групп:**

1. Гидрофиты – наземные растения, укореняющиеся в дне водоема или в переувлажненной почве.



К ним относятся: тростник, кубышка, калужница, вахта и др.



2. Гидафиты – растения, тело которых **полностью погружено в воду**. К ним относятся: элодея, ряска, рдесты и др. **Приспособлением к данным условиям среды является редукция корневой системы**. Поглощение воды и минеральных солей происходит **через всю поверхность тела**.



3. Гигрофиты – наземные растения, обитающие в местах с высокой влажностью воздуха и хорошим почвенным водоснабжением.



- К ним относятся **растения влажных тропических лесов** и **тенистых лесов умеренной зоны**.
- Гигрофиты делятся на **теновые** (произрастают во влажном ярусе тенистых лесов) и **световые** (произрастают на открытых местах в условиях высокой влажности).

- Приспособлением к условиям среды у **теневых гигрофитов** является наличие особых **ВОДЯНЫХ УСТЬИЦ**, выделяющих капельно-жидкую воду.
- Приспособлением у **световых гигрофитов** является **более эффективна эффективная транспирация.**



3. Мезофиты – широкий круг растений, занимающих различные местообитания, в том числе не сильно увлажненные.

Мезофиты подразделяют на группы:

- 1) **вечнозеленые** – деревья и кустарники влажных тропиков;
- 2) **зимне-зеленые древеснистые** – растения тропиков и субтропиков, сбрасывающие листву и впадающие в неактивное состояние в сухие периоды;
- 3) **летне-зеленые древеснистые** – деревья и кустарники умеренной зоны, сбрасывающие листву и впадающие в неактивное состояние в зимнее время;
- 4) **летне-зеленые травянистые** – растения, у которых наземные части, кроме почек возобновления, отмирают к зиме;
- 5) **эфемеры и эфемероиды** – растения, обитающие в аридных (засушливых) зонах, которые вегетируют в течение короткого влажного периода.

Приспособления у мезофитов к ограниченному водоснабжению и изменчивой влажности воздуха:

- **Высокое осмотическое давление клеточного сока**, обеспечивающее сосущую силу корневой системы.
- **Впадение в неактивное состояние** в неблагоприятные периоды.
- **Структура корневой системы двух типов:** экстенсивная и интенсивная. **Экстенсивная** охватывает большой объем почвы, но слабо ветвится в нем. **Интенсивная** охватывает небольшой объем почвы, но сильно ветвится и имеет множество корневых волосков.

Водный обмен и осморегуляция у земноводных



- **Большинство земноводных (амфибий) пресноводны. Поэтому водно-солевой обмен у них регулируется способом, сходным с таковым у пресноводных рыб. Структура и функции почек у амфибий такая же, как у пресноводных рыб: она обеспечивает большие потери воды с мочой.**

- Примитивные легкие земноводных не обеспечивают достаточный уровень газообмена, поэтому в дыхании участвует кожа. Это определяет структуру кожи – она голая и слизистая. ***Кожа амфибий легко проницаема и для воды. Через такую кожу происходят большие потери воды, поэтому большинство земноводных ведет околоводный образ жизни.***

- При нахождении амфибий в воде и при достаточном увлажнении **вода легко проникает через кожу** – так **компенсируются потери воды**, а избыток воды выводится в составе мочи.
- Ионы Na^+ и Cl^- – реабсорбируются в почках, а кроме того, путем активного переноса проникают через кожу.

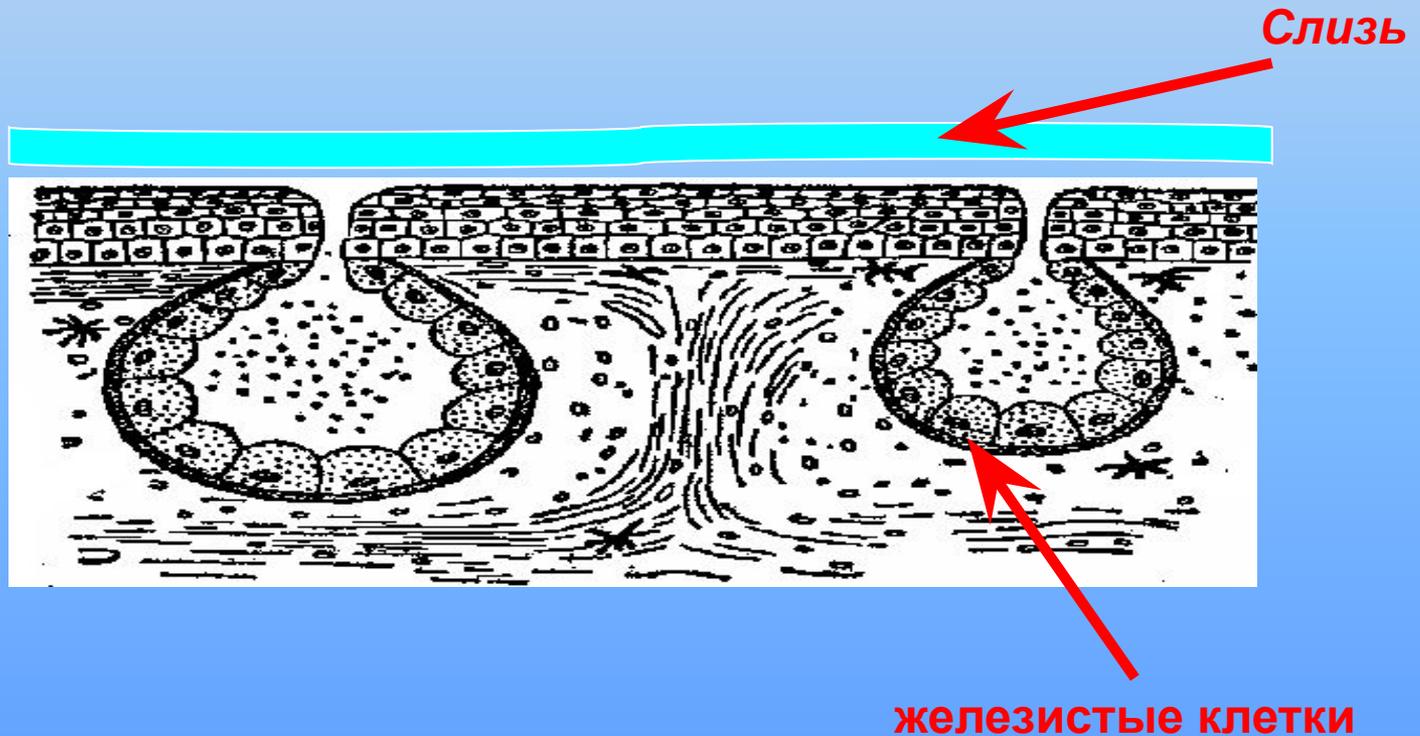
Приспособления к дефициту влаги у амфибий:

- ***1. Запасание воды в составе мочи в мочевом пузыре.***

При необходимости эта вода может возвращаться в кровеносное русло.

2. Морфологические приспособления, ограничивающие потери воды через кожу.

К ним относится **слизь**, покрывающая кожу, которую продуцируют железистые клетки. Слизь замедляет испарение воды.

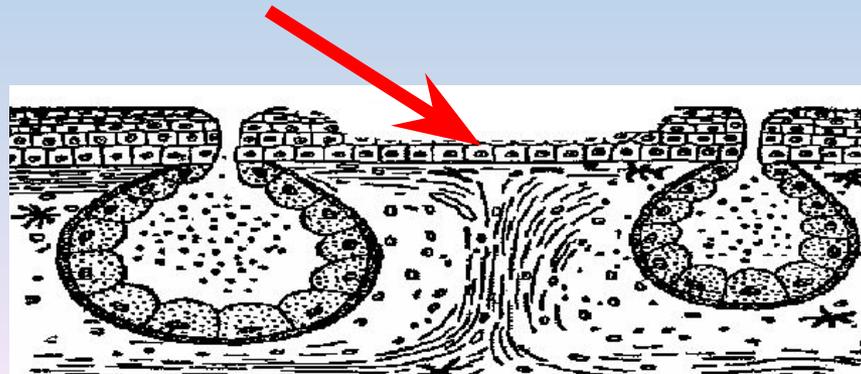


К морфологическим приспособлениям, ограничивающим потери воды, относятся также утолщения кожного покрова – «бородавки»



3. Морфологические приспособления, участвующие в восполнении водного дефицита :

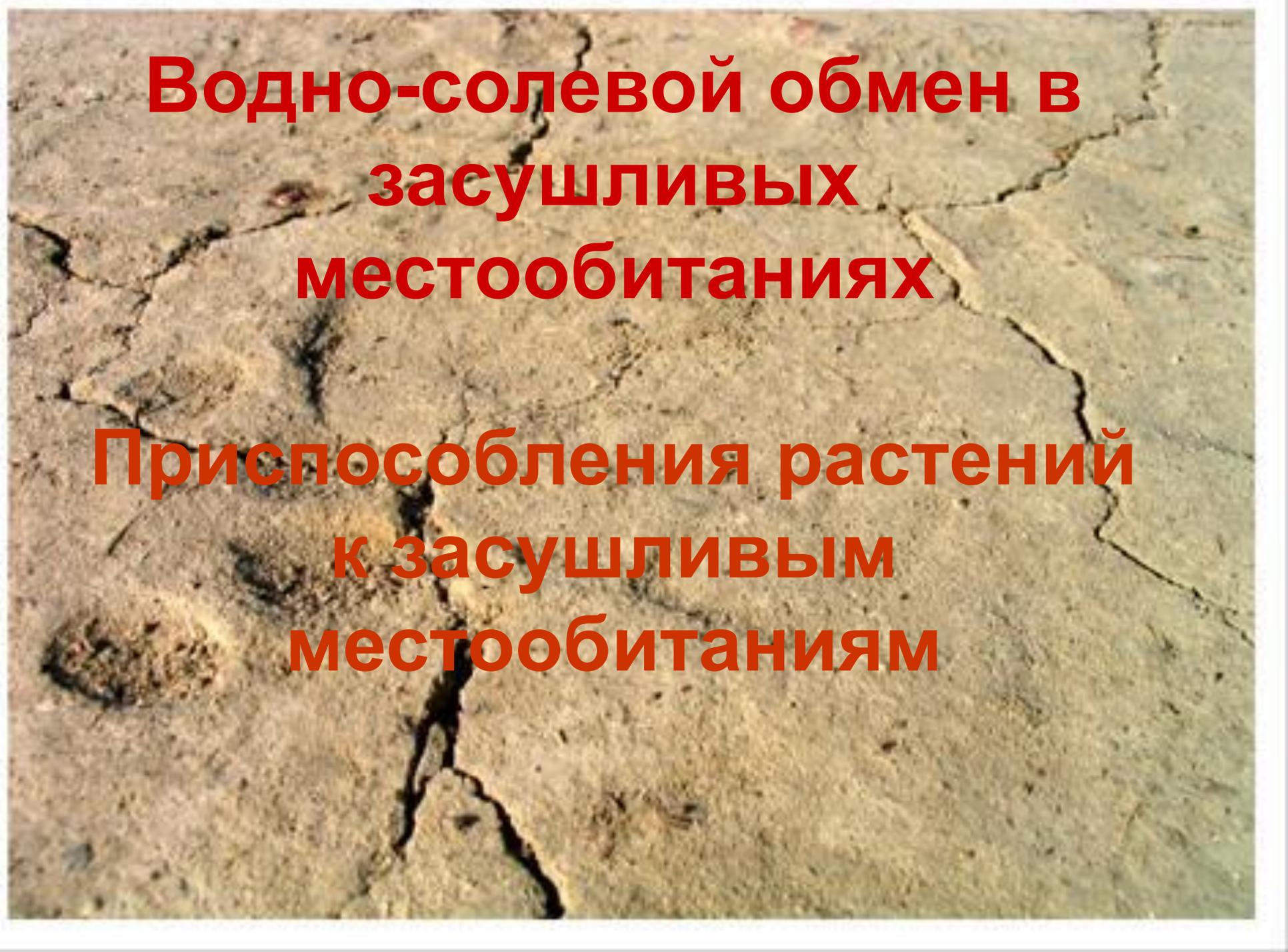
- специализированные участки кожи, обеспечивающие проникновение влаги с поверхности почвы и росы с растений.***
- Например, участки кожи с более тонким однослойным эпителием.***



4. Адаптивное поведение

- Многие амфибии приурочивают время активной деятельности к периодам наибольшей влажности (например, наибольшая активность ночью или после выпадения дождей).



A close-up photograph of a dry, cracked soil surface. The soil is light brown and yellowish, with several deep, irregular cracks running across it. The cracks are dark and shadowed, emphasizing the dryness of the soil. The overall texture is rough and uneven.

**Водно-солевой обмен в
засушливых
местообитаниях**

**Приспособления растений
к засушливым
местообитаниям**

- **Растения, приспособившиеся к обитанию в местах с недостаточным увлажнением, относятся к группе *ксерофитов*.**
- По принципу адаптаций к данным условиям среды они делятся на две группы:
- ***суккуленты и склерофиты***

1. Суккуленты

Главные принципы адаптаций у суккулентов – **запасание воды и экономное использование воды.** К суккулентам относятся кактусы, агавы, алоэ и др.



Приспособления к запасанию и экономному использованию воды у суккулентов:

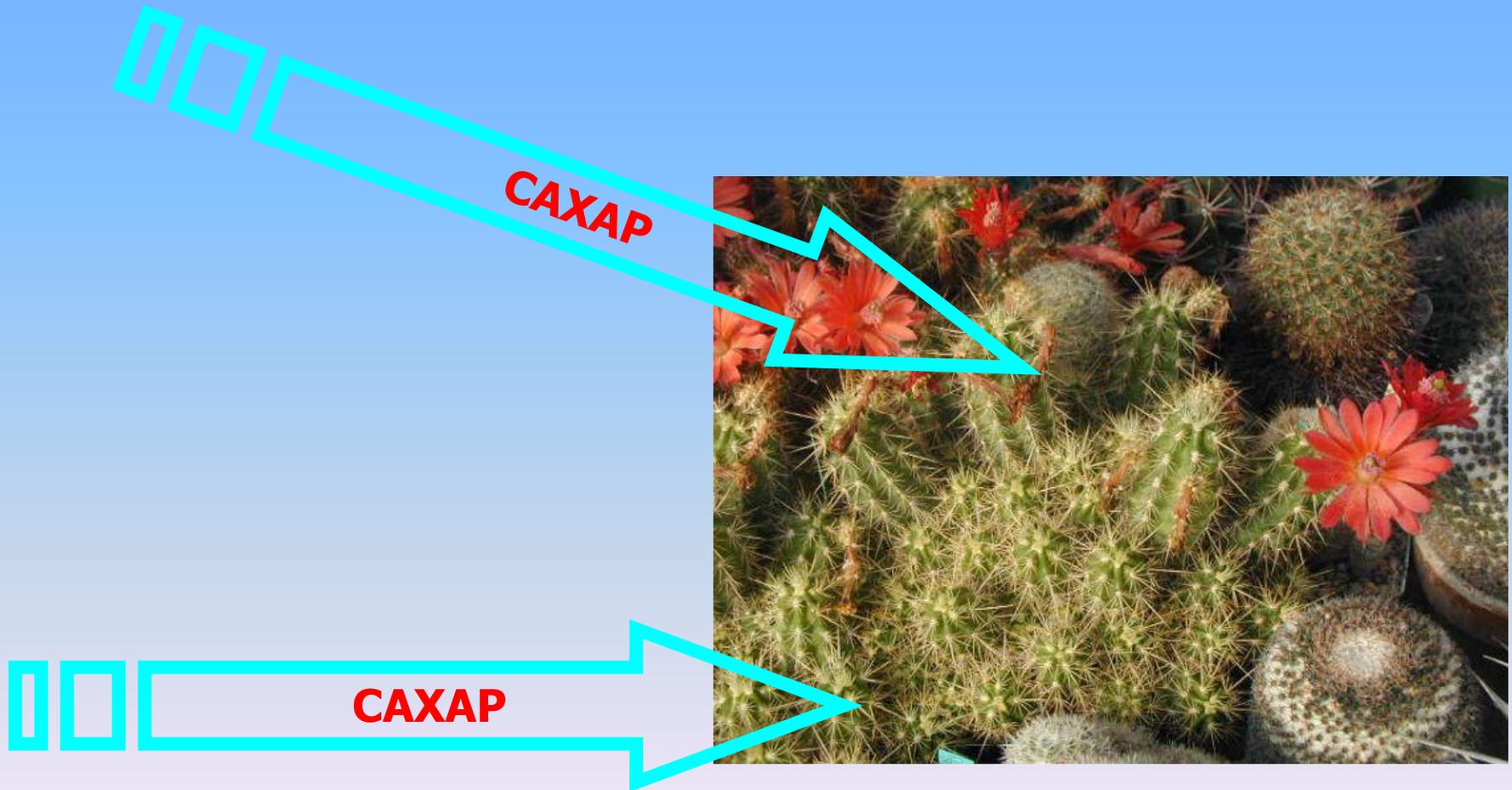
1. Хорошо развитая водозапасающая паренхима в листьях и стеблях. Суккуленты имеют **сочные и мясистые органы.**



2. Интенсивное насасывание влаги осадков из самых верхних горизонтов почвы (из-за низкого осмотического давления клеточного сока использование глубокой почвенной влаги для них недоступно)



3. Высокое содержание сахаров в клеточном соке, повышающих его водоудерживающую силу



3. Экономное испарение

Экономному выведению воды испарением способствует :

Редукция
листьев,
превращение их
в колючки



густое опушение

Кутикула
на поверхности
листьев,
восковой налет



- Кроме того, суккуленты имеют **погруженные устьица**, которые днем закрыты, что снижает потери воды.
- **Устьица открываются ночью, в это время поглощается CO_2 , который используется в фотосинтезе на следующий день.**

3. Склерофиты – растения, которые не способны запасать воду в органах и тканях

Они выглядят как **сухие и жесткие растения**. Принципом адаптации к засушливым условиям у склерофитов является способность к активной перестройке водного обмена в зависимости от обеспеченности влагой.



Приспособления к аридности климата у склерофитов

- **Высокая тканевая устойчивость к дегидратации.** Эти растения могут терять до 25 % влаги без патологических последствий, так как их цитоплазма сохраняет свои свойства даже при такой степени обезвоживания, которая смертельна для других организмов.
- **Большая сосущая сила корней.** Это определяется высоким осмотическим давлением клеточного сока и позволяет извлекать влагу даже при малом содержании ее в почве.

A close-up photograph of a dry, cracked soil surface. The soil is light brown and yellowish, with numerous deep, irregular cracks running across it. The cracks vary in width and depth, some forming a network of interconnected lines. The overall appearance is that of parched earth.

**Приспособления
растений к засолению
ПОЧВЫ**

- Почвы аридных зон часто содержат повышенное количество солей.

Солеустойчивость разных видов растений различна. Для многих растений избыточное количество солей вредно, так как нарушает клеточно-тканевые процессы. Однако существуют растения, которые переносят высокие концентрации солей и могут произрастать на засоленных почвах. Это **галофиты**. **Галофиты не просто устойчивы к засоленности почвы, но и испытывают необходимость в высокой солевой нагрузке.**

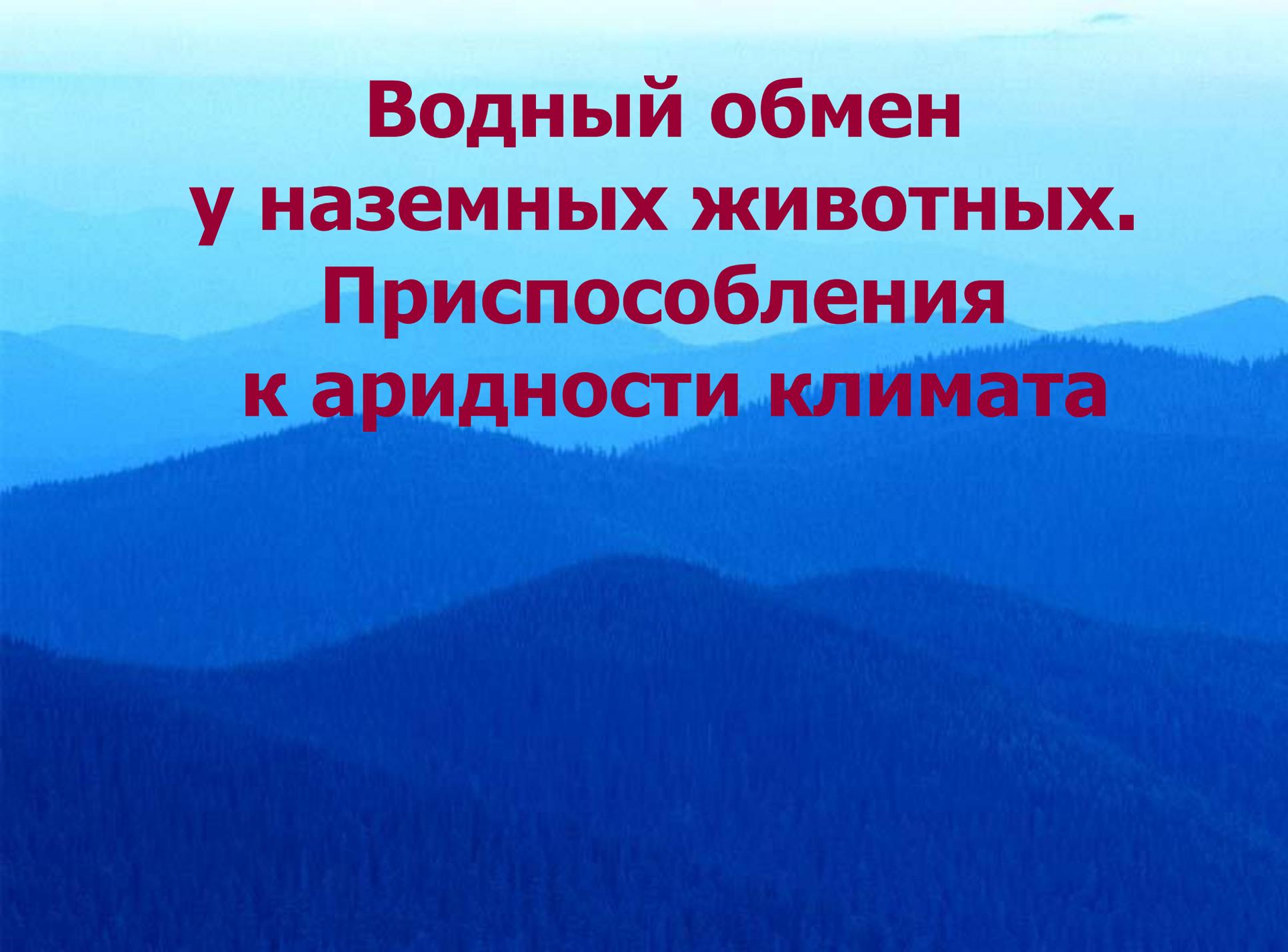
Приспособления к условиям засоленных почв у галофитов следующие:

- **1. Высокое осмотическое давление клеточного сока** (благодаря **высокой концентрации солей**, а также некоторых других веществ, например, **углеводов**). Это ведет к увеличению сосущей силы корней, более эффективному насасыванию воды из почвы.
- **2. Слабая проницаемость клетки для электролитов.** В результате избыток солей не наносит вреда цитоплазме клеток.

- Однако на засоленных почвах произрастают не только галофиты, но и ***растения, для которых избыток солей веден.***
- Принципом адаптации таких растений к засоленности является ***выведение избытка солей.***

Некоторыми примерами приспособлений таких растений являются следующие:

- *выведение избытка солей через специальные железы на поверхности листа;*
- *связывание избытка солей с органическими веществами протопласта;*
- *концентрация солей в отдельных участках органов (например, в особых волосках на листьях) и выведение их таким образом из метаболизма.*

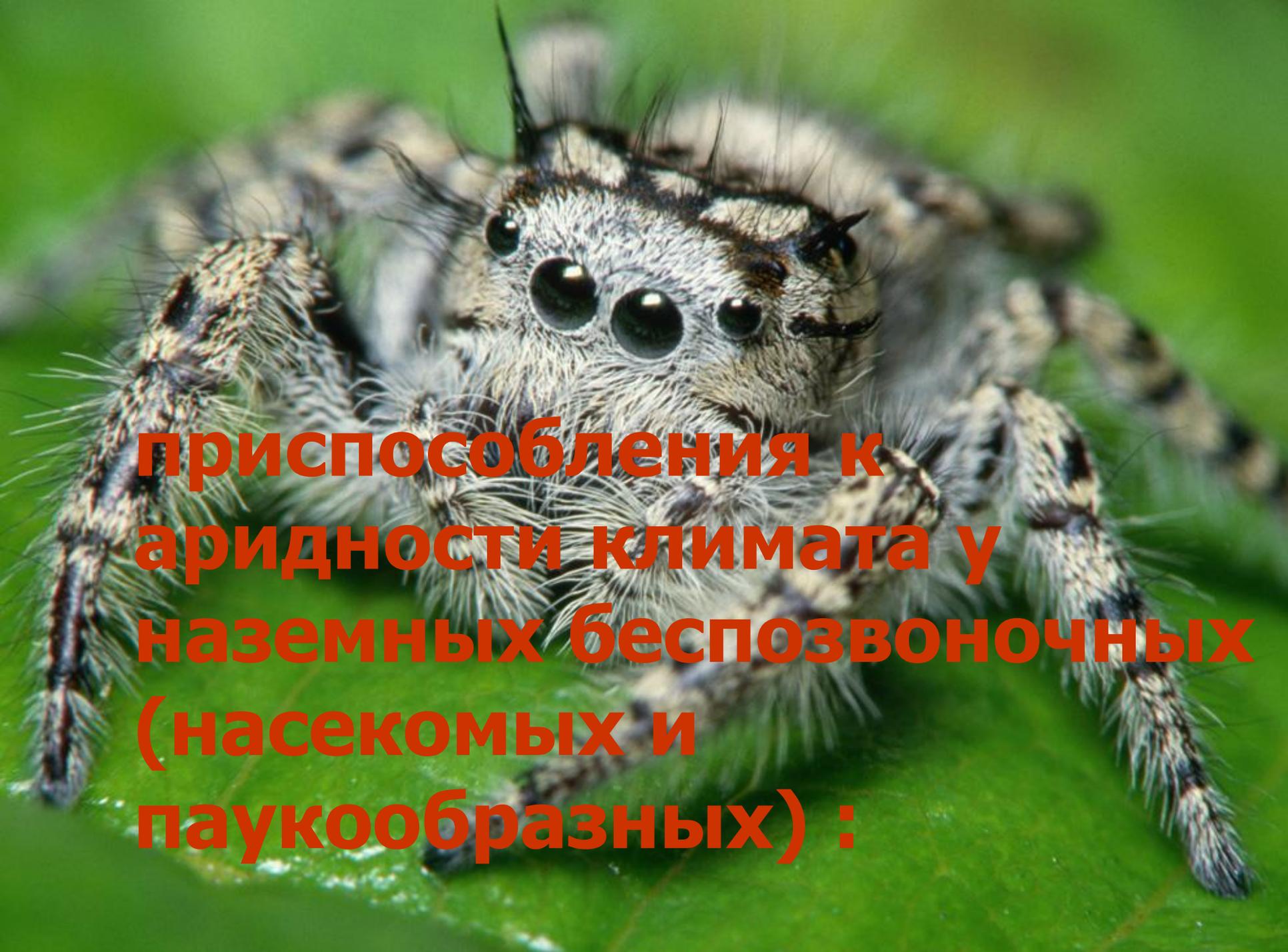


**Водный обмен
у наземных животных.
Приспособления
к аридности климата**

- Наземная (воздушная) среда обитания в аридных зонах отличается **низкой** или **колеблющейся влажностью воздуха**. Это создает постоянную угрозу обезвоживания для наземных животных. Основными принципами адаптации к данным условиям для животных являются:
- экономия водных ресурсов;
- эффективное использование метаболической воды;
- повышение надежности способов добычи воды из внешней среды.

- **В наземной среде у животных происходит разделение водного и солевого обмена (связь остается только на уровне метаболических процессов).**
- *Имеются определенные особенности поступления и выведения воды и минеральных веществ:*

- **1. Минеральные вещества не поступают через кожные покровы, как в водной среде. Они попадают в организм только с пищей и выводятся в составе мочи и фекалий.**
- **2. Вода не поступает в организм и не удаляется путем осмотических механизмов, а попадает только вместе с пищей или путем питья.**
- **Эти особенности определяют сходство водного и солевого обмена у разных групп наземных животных.**



**приспособления к
аридности климата у
наземных беспозвоночных
(насекомых и
паукообразных) :**

1. Слабая проницаемость покровов для ВОДЫ, что снижает потери воды путем испарения.

Наземные беспозвоночные имеют плотные хитиновые покровы, покрытые тончайшим восковым слоем, который препятствует испарению:



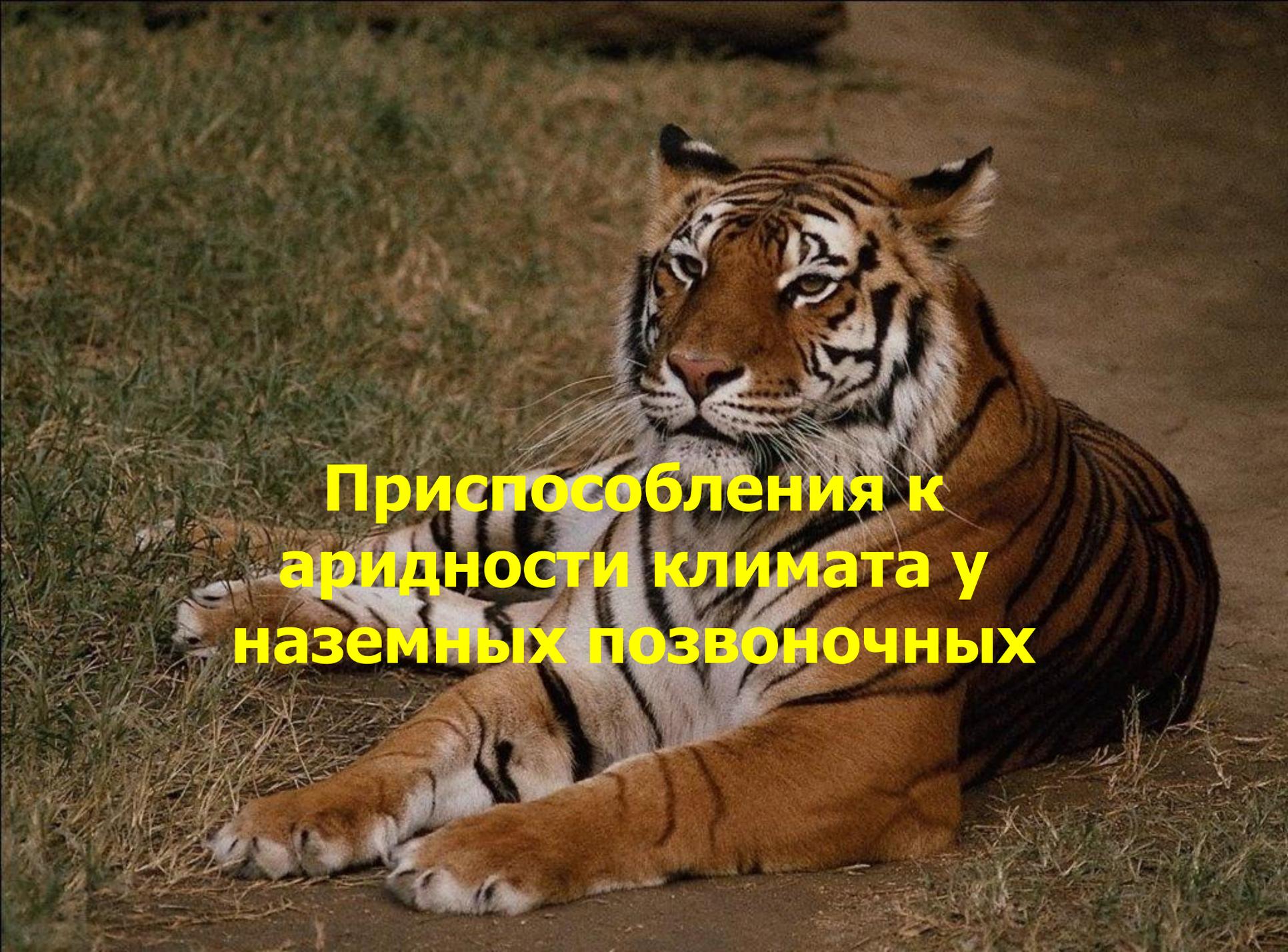
Вид	Потери воды, мкг*см⁻²*ч⁻¹
Дождевой червь	400
Лягушка	300
Саламандра	600
Садовая улитка (активная)	870
Садовая улитка (неактивная)	39
Таракан	49
Пустынная саранча	22
Муха це-це	13
Мучной хрущак	6
Амбарный клещ	2
Иксодовый клещ	0,8

2. Преобразованная выделительная функция.

Моча формируется в мальпигиевых трубочках секреторным путем. Моча и фекалии попадают из мальпигиевых трубочек в заднюю кишку, где вода интенсивно абсорбируется и *продукты выделения выводятся практически в обезвоженном состоянии.*

3. Повышенная способность к утилизации метаболитической воды.

Это свойство у некоторых групп выражено настолько отчетливо, что многие из них могут существовать в условиях полного отсутствия воды, восполняя потребности в ней только метаболитическим путем.

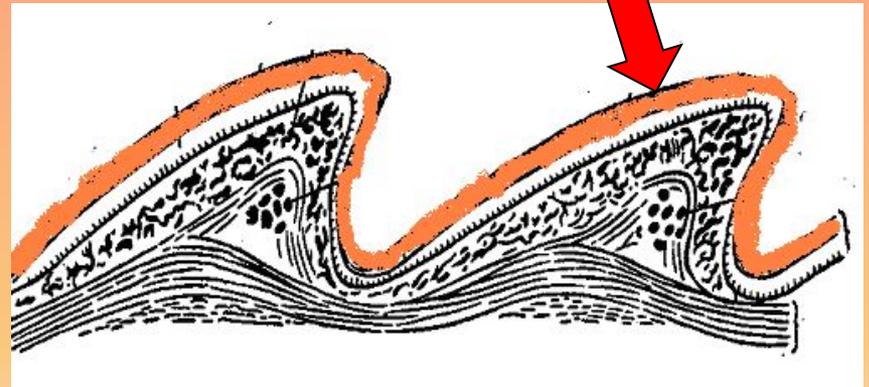
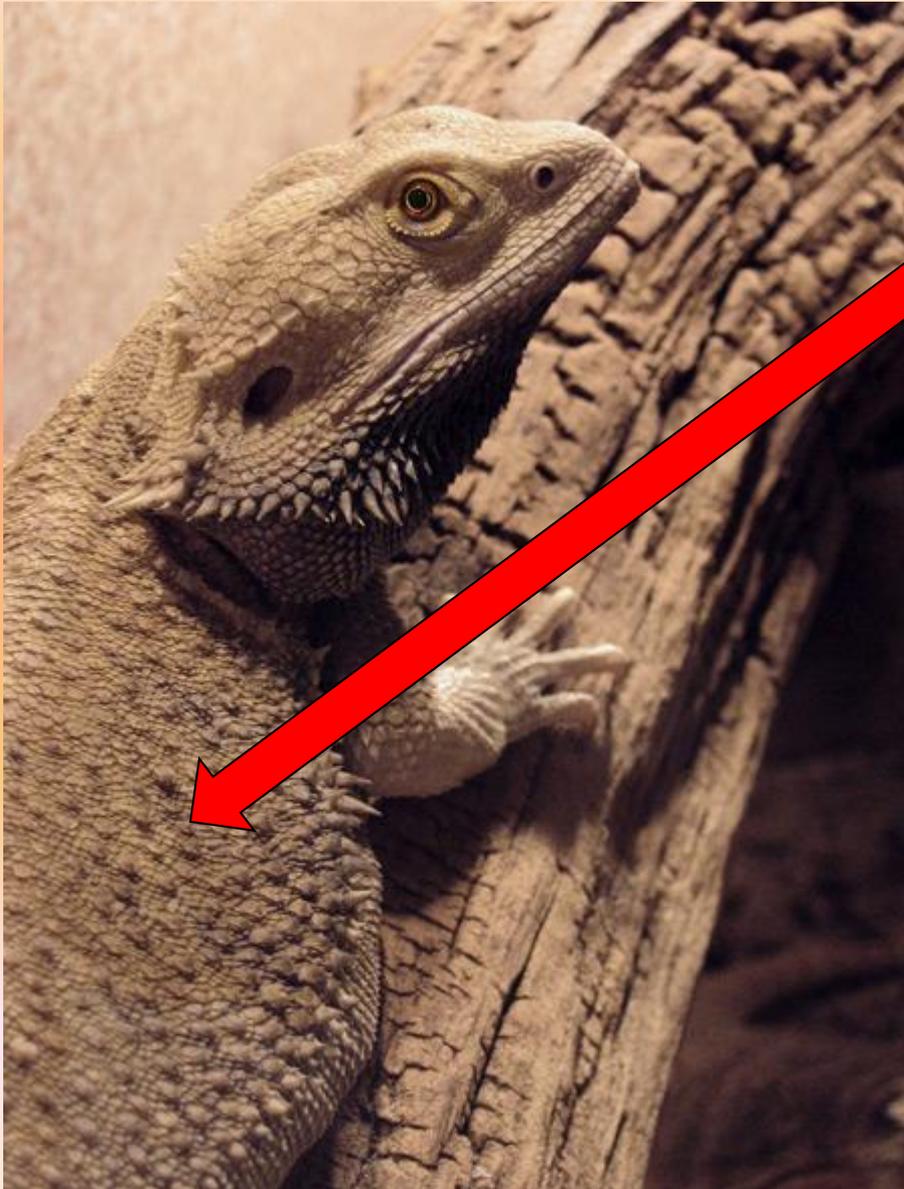
A tiger is lying on the ground in a natural habitat, looking towards the left. The tiger has orange fur with black stripes and white underparts. The background is a mix of green grass and brown earth.

**Приспособления к
аридности климата у
наземных позвоночных**

Приспособления к аридности климата сходны с таковыми у наземных беспозвоночных, хотя и имеют свои особенности:

1. Слабая проницаемость покровов для воды. Это достигается тем, что наружные слои клеток эпидермиса заполнены **роговым веществом**, которое препятствует испарению воды с поверхности тела

Роговой слой



Продольный разрез
через кожу
ящерицы

Вид	Потери воды, мкг*см⁻²*ч⁻¹ на 1 мм дефицита насыщения
Крокодил	65
Водяной уж	41
Прудовая черепаха	24
Лесная черепаха	11
Тропическая игуана	10
Гоферова змея	9
Пустынная ящерица	3
Пустынная черепаха	3

2. Отсутствие кожных желез у пресмыкающихся и птиц, что также уменьшает кожное испарение.

3. Повышенная способность к образованию и использованию метаболической воды. Наибольшее количество метаболической воды выделяется при окислении жиров (1,05-1,07 г на 1 г окисленного жира).

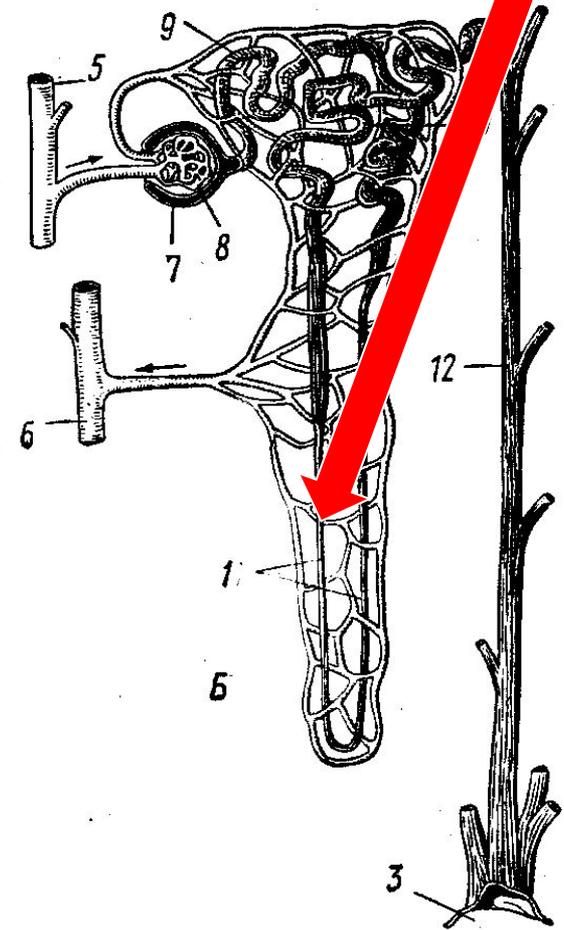
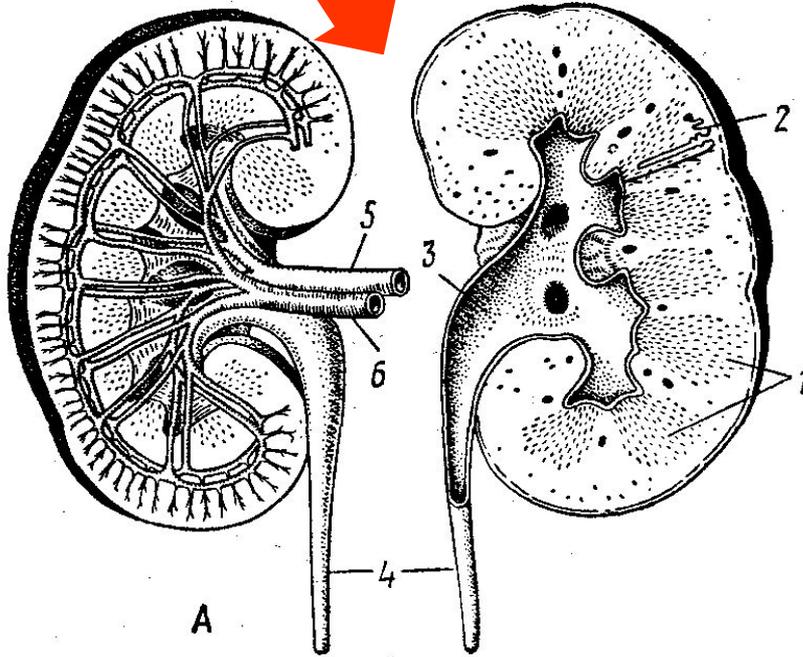
A photograph of a camel and a person in a desert setting. The camel is in the foreground, looking towards the camera. A person is riding a camel in the background, carrying a large pack on their back. The background is a vast, flat, sandy desert landscape under a clear sky.

Многие животные пустынь перед наступлением засушливого сезона накапливают большие запасы жира и расходуют их во время летней спячки или оцепенения для обеспечения потребности в воде. Так как в таком состоянии общий уровень метаболизма резко снижен, этих запасов хватает на длительное время.

4. Преобразованная выделительная функция. У наземных позвоночных имеются **тазовые почки**, в которых в отличие от почек рыб отсутствуют воронки, открывающиеся в полость тела. Такая структура почек обеспечивает **резкое снижение водных потерь** путем отключения пассивного выведения воды из полости тела. У млекопитающих, кроме того, в почках имеется **петля Генле** – мощный концентрационный аппарат, позволяющий извлекать из первичной мочи большую часть воды. **Поэтому в условиях дефицита влаги выводится моча высокой концентрации.**

Почки млекопитающих

петля Генле

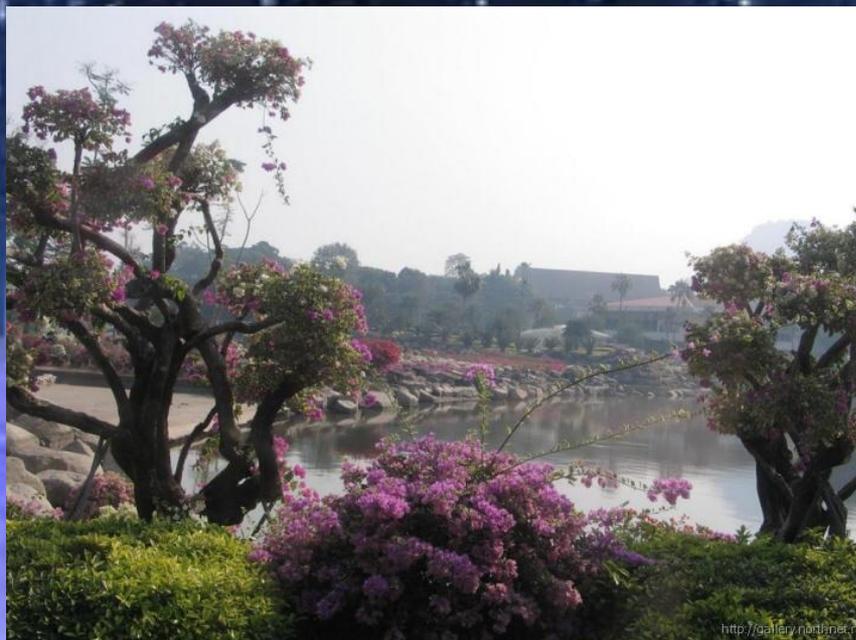


5. Кишечная реабсорбция.

В толстой кишке происходит *обратное всасывание воды* благодаря осмотическому току воды через слизистую оболочку. При дегидратации организма этот процесс ускоряется за счет увеличения осмотического градиента.

6. Адаптивное поведение –

активный выбор местообитаний вблизи водоемов или с благоприятным микроклиматом (например, с высокой влажностью и относительно низкой температурой).



Солевой обмен у наземных позвоночных

- Для обитателей аридных областей важна не только экономия воды, но и **выведение избытка солей**, который возникает при водном дефиците. Однако в природных условиях могут возникать и ситуации, характеризующиеся солевой недостаточностью.

Поэтому у наземных позвоночных имеется два вида адаптаций:

- **направленные на выведение избытка солей;**
- **направленные на восполнение минералов.**

Приспособления, направленные на избавление от избытка солей, включают в себя выведение солей через:

- ***Почки.*** Степень развития этой функции зависит от экологической специализации вида.
- ***Кишечник.*** Обезвоживание организма усиливает выведение зольных веществ с пометом.
- ***Солевые железы.*** В условиях солевой нагрузки в них образуется концентрированный солевой раствор, который выводится наружу.

- Адаптации, направленные на восполнение недостатка солей, включают в себя адаптивное поведение, которое заключается в *поедании пищи, содержащей минеральные элементы, а именно: скорлупы яиц, костей павших животных, гальки, почвы, слизывание кристаллов соли с засоленной почвы.*



Благодарю за внимание