

# Тема № 4: Биогеохимические функции и принципы живого вещества

## Вопросы:

1. Влияние геохимической среды на развитие и химический состав растений
2. Физиологические и морфологические формы растений.
3. Факторы, влияющие на химический состав растений
4. Зависимость химического состава растений от наличия химических элементов в среде обитания
5. Распределение химических элементов по органам растений
6. Видовая принадлежность растений и их химический состав

# Влияние геохимической среды на развитие и химический состав растений

- особенно сильно проявляется на породах, богатых химическими элементами (МЭ), изменение концентрации которых в среде вызывает изменение химического состава растений.

- Под влиянием природных факторов, способствующих значительному повышению содержания одного или нескольких элементов в окружающей среде, могут образовываться биогеохимические аномалии.
- Биогеохимические аномалии ТМ возникают из-за:
- выхода на поверхность горных пород с повышенной концентрацией металлов,
- в местах выклинивания подземных вод, обогащенных этими же металлами,
- на участках систематического выпадения из воздуха металлосодержащих вулканических выбросов.
- При изучении биогеохимических аномалий А.П. Виноградов обратил внимание на два обстоятельства.
- **Во-первых**, в пределах аномалии все растения (в разной степени) характеризуются повышенным содержанием рассеянных элементов. **Во-вторых**, определенные виды отличаются очень высокими концентрациями.
- Образование таких растений-концентраторов свидетельствует о том, что приспособление к аномальным условиям может развиваться не только в виде ограничения концентрации избыточных микроэлементов, но также их усиленного использования

- Различные элементы по-разному воздействуют на биохимические процессы в растениях.
- Роль конкретного химического элемента во многом зависит от других элементов, присутствующих в среде.
- Состояние геохимической среды динамично - формы и концентрации химических элементов в почве, как во времени, так и в пространстве постоянно изменяются.
- Поэтому один и тот же вид растения может оказаться в самых разнообразных геохимических условиях, и вынужден или приспособливаться к этим условиям, или погибнуть.

- В зависимости от реакции растений на геохимическую среду выделяют две большие группы растений:
- 1) растения, адаптированные к изменениям концентраций химических элементов (в процессе эволюции не только выживают, но и образуют новые виды);
- 2) растения, не адаптированные к изменениям концентрации химических элементов (вымирают) (рисунок)

Геохимическая среда

Растения, адаптированные к изменениям концентрации химических элементов

Растения, не адаптированные к изменениям концентрации химических

Изменения растений в процессе эволюции

Изменения растений в процессе эволюции

Видообразование

Вымирание

# Физиологические и морфологические формы растений

- Растения, адаптированные к изменениям концентрации химическим элементов в среде, обычно развиваются нормально.
- Но в процессе эволюционного развития среди них могут появляться новые формы - **физиологические формы**, у которых внешние морфологические признаки могут быть как измененными, так и неизмененными

- Среди новых физиологических форм растений особую группу составляют **эндемичные виды, или эндемики** - виды (или разновидности) растений, **имеющих очень узкий ареал распространения, ограниченный геохимической средой, отличающейся повышенной или пониженной концентрацией одного (или нескольких) химического элемента.** Эндемичные виды растений характеризуются устойчивыми морфологическими признаками, присущими только им.



- Организмы, адаптируясь к геохимической среде, избирательно накапливают один или несколько химических элементов – **организмы (растения) - концентраторы**. Типичные концентраторы могут образовывать эндемичные виды, которые нуждаются в большом количестве определенных химических элементов, и поэтому приурочены к участкам, сильно обогащенным этими элементами. Продукты выветривания ультраосновных пород выделяются повышенными концентрациями кобальта, никеля, меди, хрома.
- На таких породах развивается специфическая **серпентиновая флора**, в состав которой входят некоторые **виды сосны, рододендрона, травянистые растения**. Все они отличаются высоким содержанием указанных элементов. Наряду с металлофильной флорой, концентрирующей сразу несколько металлов, имеются растения с узкой геохимической специализацией.

- Среди растений, встречаются такие которые, концентрируют химические элементы «вынужденно», вследствие высокой концентрации в среде - «непривычными» концентраторами.
- Под воздействием повышенного содержания химических элементов они образуют не только новые физиологические формы, но и новые формы морфологической или морфогенетической изменчивости.

- При морфологической изменчивости меняются не только внешние признаки, но и нарушаются физиологические функции, однако способность растений к воспроизведению потомства сохраняется.
- И эндемики и растения с физиологическими формами и морфологической изменчивостью в процессе эволюционного развития дают новые виды (рисунок 2).

РАСТЕНИЯ, АДАПТИРОВАННЫЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ

РАСТЕНИЯ, КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ  
ХИМ.ЭЛЕМЕНТЫ

РАСТЕНИЯ, НЕ КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ  
ХИМ.ЭЛЕМЕНТЫ

ПРЕВЫЧНЫЕ КОНЦЕНТРАТОРЫ

НЕПРЕВЫЧНЫЕ  
КОНЦЕНТРАТОРЫ

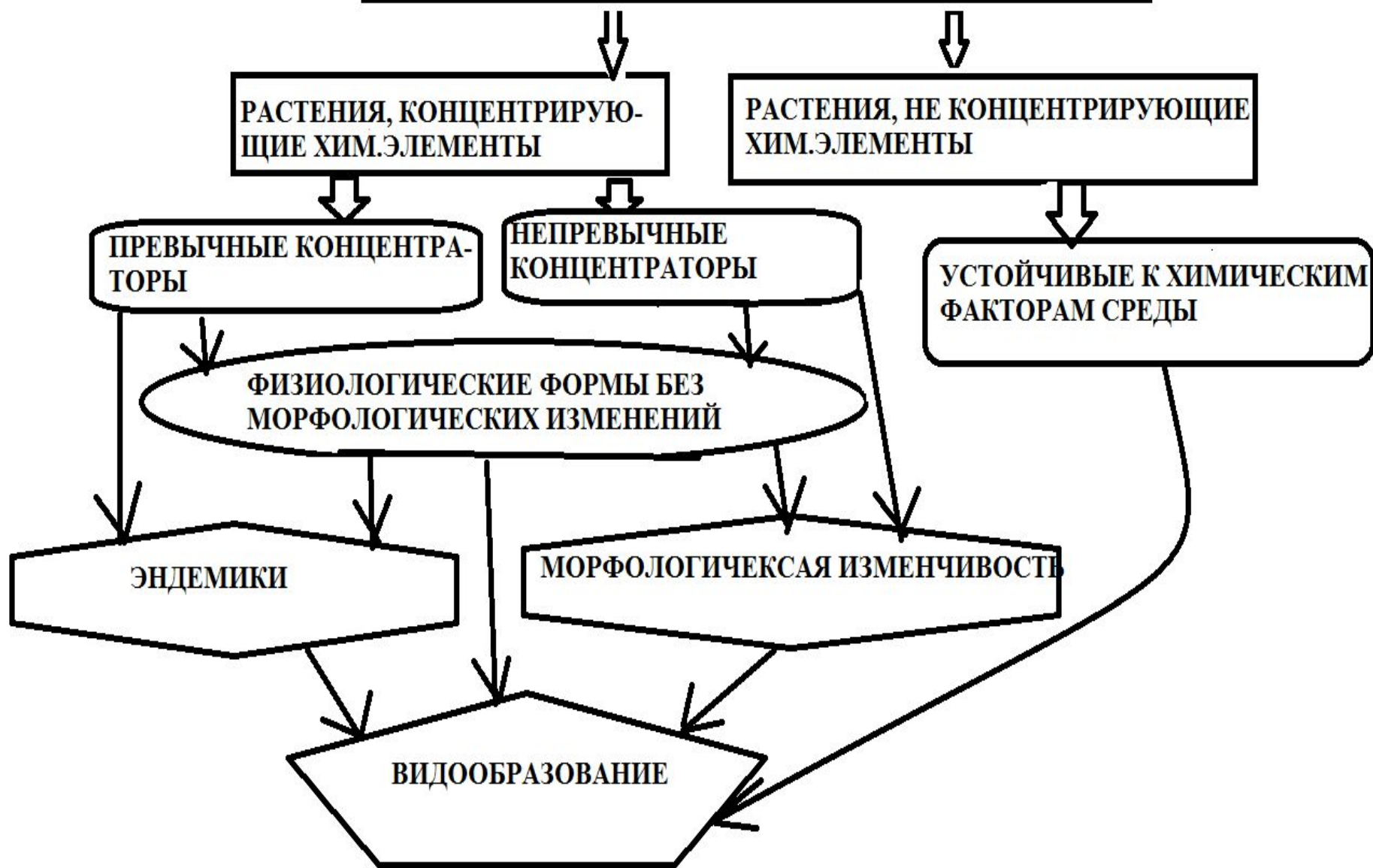
УСТОЙЧИВЫЕ К ХИМИЧЕСКИМ  
ФАКТОРАМ СРЕДЫ

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ БЕЗ  
МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

ЭНДЕМИКИ

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

ВИДООБРАЗОВАНИЕ



- Образование новых видов - процесс очень длительный и не всегда может быть зафиксирован одним поколением людей.
- Однако стадии или отдельные этапы этого процесса выражены в существующих различных формах морфологической изменчивости.
- В природе известно много видов растений, находящихся в состоянии морфологической изменчивости или уже ставших эндемиками.

## Морфологическая изменчивость проявляется по-разному:

- полиморфизм цветков (например, рассечение лепестков и махровость цветков) под влиянием свинца и цинка, или молибдена;
- нарушение и изменение пигментации листьев под влиянием молибдена, никеля, ртути, цинка, меди, марганца, йода.
- *На рудных месторождениях формируется различная эндемическая флора: "галмейная" - на почвах, богатых цинком (в Западной Европе), "оловянная" - на выходе оловянных руд; "квасцовая" - на почвах, богатых алюминием (в тропиках). Известна флора с повышенным содержанием никеля, хрома, кобальта, меди.*

- Еще в XVII - XVIII вв. горняки Саксонии, добывавшие металлы в Рудных горах, передавали из поколения в поколение как профессиональный секрет сведения о том, что некоторые растения указывают на близость руд.
- Так, известны растения, сигнализирующие о рудах цинка - это так называемая **галмейная флора**. Ее наиболее распространенные представители - **галмейная фиалка (*Viola lutea*, var. *calaminaria*)**, **галмейная ярутка (*Thlaspi calaminare*)**. В их золе содержится 13-21 % оксида цинка, в 150 раз больше его среднего содержания в растительности суши.
- Эндемичные виды, которым необходима высокая концентрация олова, образуют **оловянную флору (*Trietaris europaea*, *Gnaphallium snaveolens* и др.)**. Первое из указанных растений произрастает только на отвалах старых оловянных рудников.
- В Кататанге (Республика Заир) на выходах медно-кобальтовых руд были обнаружены эндемики-кобальтофилы. В принадлежащем этой группе **бурачке (*Alyssum bertolini*)** обнаружено 7,86 % никеля. Это в 100 раз больше среднего содержания никеля в растениях.
- Известны растения с очень высокой концентрацией меди. Таковы растущие на отвалах меднорудных разработок **в Африке *Cyanotis cuprtcola* и *Sopubitametallosum***, «медные мхи» ***Dryopteris atrata* и *Mieich noferia* в Швеции, качим (*Gypsophilla patrinii*) на Рудном Алтае**

- Среди растений, которые адаптировались к изменениям концентрации химических элементов в геохимической среде, выделяется группа растений, не концентрирующих их в своем организме.
- Эти растения вырабатывают способность устойчиво переносить и повышенные, и пониженные концентрации химических элементов в среде обитания, т.е. **они индифферентны к геохимической среде.**
- В процессе эволюционного развития такие растения часто дают новые виды (рисунок 2). *Так, например, злаки не реагируют на разные уровни содержания в почве бора, никеля, кобальта, а дуб, граб, калина - индифферентны к молибдену.*



- Растения, не приспособившиеся к изменениям в геохимической среде, в процессе эволюции вымирают.
- Изменение концентраций химических элементов в среде у таких растений также вызывает различные физиологические нарушения, что приводит к появлению новых физиологических форм (рисунок 3 по Ковальскому).
- Затем они переходят в формы морфологической изменчивости, у которых **появляются эндемические заболевания;** развитие растений угнетается, нарушаются генеративные функции и вид вымирает.

РАСТЕНИЯ, НЕ АДАПТИРОВАННЫЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ



ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ РАСТЕНИЙ



МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ



ЭНДЕМИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ



УГНЕТЕНИЕ РАЗВИТИЯ



НАРУШЕНИЕ  
ГЕНЕРАТИВНЫХ  
ФУНКЦИЙ



ВЫМИРАНИЕ

- У неадаптированных растений под влиянием высоких концентраций развиваются тератологические (уродливые) и угнетенные формы.
- По наблюдениям Н.С. Петруниной, обычно поражаются около 10-20 % экземпляров, но в некоторых случаях отмечалось до 50 % и более.
- Угнетенные и уродливые формы не дают семян или образуют невсхожие семена.

Морфологические изменения обнаруживаются и у адаптированных растений. У них генеративные органы развиваются нормально, и последующие поколения могут сохранять приобретенные признаки.

- Воздействие избыточного содержания микроэлементов сопровождается также изменениями анатомического строения растений. Чаще всего поражается проводящая система. Наиболее заметные нарушения обнаруживаются у растений, лишенных механизмов, регулирующих повышенную концентрацию элементов.
- Н.С. Петрунина отмечает, что избыточное содержание хрома сказывается на уменьшении размеров клеток и общем недоразвитии проводящей системы.
- Высокое содержание никеля в угнетенных формах **грудницы татарской** отражается на строении листа, в клетках которого разрушаются хлоропласты.
- При изучении данных процессов **важным является выявить взаимоотношение растения с геохимической средой и влияние этой среды на химический состав растений.** Химический состав растений и геохимическую среду следует рассматривать как единое целое системы «среда - организм».

- Химический состав живых организмов отражает фоновое содержание химических элементов в ландшафте (почвах, водах).
- Средний химический состав живого вещества - это систематический признак ландшафта.
- *Так, растения, произрастающие на солончаках, всегда обогащены натрием, хлором, серой.*
- *Лесная растительность обогащена железом и алюминием и бедна кальцием, а степная, наоборот, богата кальцием и бедна железом и алюминием.*
- Большинство видов растений (и животных) в результате длительного воздействия геохимической среды эволюционно вырабатывали способность к устойчивости сохранения своего среднего химического состава: у одних видов химический состав организма характеризуется повышенным содержанием одних каких-то элементов, у других - иных.
- *Так, солянки, произрастающие на солонцах, содержат натрия 1,5-2%, клевер - всего 0,01%. Хвощи богаты кремнеземом, а травянистые, особенно бобовые, - кальцием.*

- Однако растения (организмы) **накапливают не бесконечно большие концентрации химических элементов**, существуют механизмы регуляции, «допускающие» накопление химических элементов до определенных пределов – **до пороговой концентрации**. Пороговые концентрации имеют верхний и нижний пределы.
- За пределами пороговой концентрации у организмов начинают проявляться как физиологические, так и морфологические изменения.

- **А.Л. Ковалевский** предположил, что в одних растениях (определенных органах и тканях) концентрация микроэлементов может возрасти очень сильно, без каких-либо определенных пределов.
- При этом накопление элемента вначале стимулирует жизнедеятельность растения и его продуктивность, затем угнетает и в итоге вызывает гибель.
- В других растениях при достижении определенного уровня концентрации элементов начинают действовать механизмы, препятствующие его дальнейшему поглощению.
- Исследователь назвал эти предельные уровни физиологическими барьерами поглощения и выделил **барьерный и безбарьерный типы поглощения**.
- Ограниченное поглощение, по-видимому, характерно преимущественно для зеленых опадающих частей и репродуктивных органов растений, а неограниченное - для корней, узлов стеблей злаков, коры и иногда древесины стволов деревьев

- Растения, не имеющие этих механизмов, могут существовать в среде, только с определенной концентрации химических элементов.
- Поэтому одни растения концентрируют химические элементы в больших количествах, другие или не накапливают их вообще, или накапливают в очень малых количествах.
- Пороговая чувствительность организма обеспечивает нормальное его развитие. При ее нарушении возникают эндемические заболевания. Значения пороговых концентраций конкретного химического элемента для разных растений неодинаковы. Они могут изменяться в известных пределах у одного вида растений в зависимости от фазы его развития, состояния геохимической среды и даже погодных условий. Интервал этих изменений имеет свои границы и для нормального развития сельскохозяйственных культур он обычно небольшой. Однако пределы верхнего нижнего порогов концентрации химических элементов могут иметь и довольно большую амплитуду колебаний. Так, например, марганца для нормального развития большинства растений требуется от 2 до 3000 мг/кг сухого вещества; некоторые растения переносят концентрацию, равную



- Концентрация микроэлементов в растениях зависит от большого числа факторов:
- содержания элементов в почвообразующих породах,
- их минералогического состава,
- типа почв,
- рельефа
- глубины уровня грунтовых вод,
- морфологических особенностей растений,
- особенностей их вегетации и др.
- Поэтому распределение концентраций в образцах растительности определяется статистическими законами.
- По мнению как биохимиков (Боуэн Х.), так и геологов (Ковалевский А.Л.), наиболее часто **распределение приближается к логарифмически нормальному**.
- **На геохимических аномалиях усиливается контраст содержания рассеянных металлов в разных растениях и их частях, что отражается на возрастании variability концентраций.**
- Это явление было предложено использовать при биогеохимических поисках руд (Добровольский В. В., Ржаксинская М.В.)

- Поглощение химических элементов растениями из почвенных растворов и атмосферы, обуславливается также и свойствами поглощаемых химических элементов.
- **Химический состав почвенных растворов, концентрация в них элементов зависят от свойств элементов: валентности, атомной массы и ионного радиуса.**
- **Чем меньше значение этих показателей, тем выше растворимость элемента.**
- **При одинаковой валентности лучше растворяются элементы, имеющие меньшую атомную массу и меньший ионный радиус.**

- Часто в почвенном растворе каких-то химических элементов значительно больше, чем в нем нуждается растение, и наоборот. Это обычно обуславливается внешними факторами геохимической среды: ее кислотностью (щелочностью), значением окислительно-восстановительного потенциала, наличием притока в корнеобитаемый слой или оттока из него растворов.
- **Химический элемент, находящийся в недостаточном количестве для нормального развития растений, называется дефицитным.** Добавление дефицитного химического элемента в почвенный раствор (добавление удобрений) способствует повышению урожайности с/х растений.
- Избыток элементов в геохимической среде также может сдерживать развитие растений и снижать их урожайность.
- В этом случае требуется их удаление из среды обитания растений.
- Эти химические элементы называются **избыточными**. Избыточными элементами часто оказываются хлор, сера, натрий, медь, никель, фтор и др.

- Один и тот же химический элемент может быть дефицитным для одних видов растений и избыточным для других.
- Установить это можно по реакции растения на данный элемент, т.е. способно ли растение концентрировать этот элемент или неспособно.
- Абсолютные значения содержания элемента в конкретном растении не позволяют оценить его реакцию, так как эти значения не постоянны, а изменяются во времени и пространстве.
- Потому А.Л. Ковалевский предложил параметры, отражающие относительное содержание (**ОСВР**) химического элемента в данном растении по сравнению с эталонным.
- **За эталонное растение принимается такое, содержание химического элемента, в золе которого соответствует его фоновому содержанию в ландшафте.**
- Эта формула имеет вид **ОСВР =  $C_1/C_2$** , где  $C_1$  — содержание элемента в золе изучаемого растения;  $C_2$  - в золе эталонного

- На основании этой формулы А.Л. Ковалевский все растения разделил на концентраторы ( $OCBP > 2,5$ ) и деконцентраторы ( $OCBP < 0,4$ ).
- Растения с  $OCBP$  0,4-2,5 отражают фоновое (нормальное) содержание элемента.
- Растения-концентраторы и растений-деконцентраторы А.Л. Ковалевский разделил на слабые, умеренные и интенсивные (таблица).

**Таблица 10 – Градация растений по степени  
поглощения химических элементов**

<b>Концентраторы</b>	<b>ОСВР</b>	<b>Деконцентраторы</b>	<b>ОСВР</b>
<b>Слабые</b>	<b>2,4 – 4,0</b>	<b>Слабые</b>	<b>0,4-0,25</b>
<b>Умеренные</b>	<b>4,0-25,0</b>	<b>Умеренные</b>	<b>0,25-0,04</b>
<b>Интенсивные</b>	<b>25,0-400, 0</b>	<b>Интенсивные</b>	<b>0,04-0,002 5</b>

- На поглощение элементов растениями, а, следовательно, и на их химический состав оказывают влияние климатические условия, в частности температура.
- В северных районах растения содержат больше меди, марганца, цинка. Количество этих элементов в них также увеличивается с увлажнением климата.

# Факторы, влияющие на химический состав растений

- В состав живых организмов **входит более 80 химических элементов.**
- А.И. Перельман рассчитал средние значения содержания химических элементов в живом веществе и обнаружил, что **химический состав живого вещества коррелирует с химическим составом гидросферы и атмосферы лучше, чем с химическим составом литосферы.**
- Перельман ввел понятие **«биофильность элементов»** - **отношение среднего содержания элемента в живом веществе к среднему содержанию его в литосфере.**



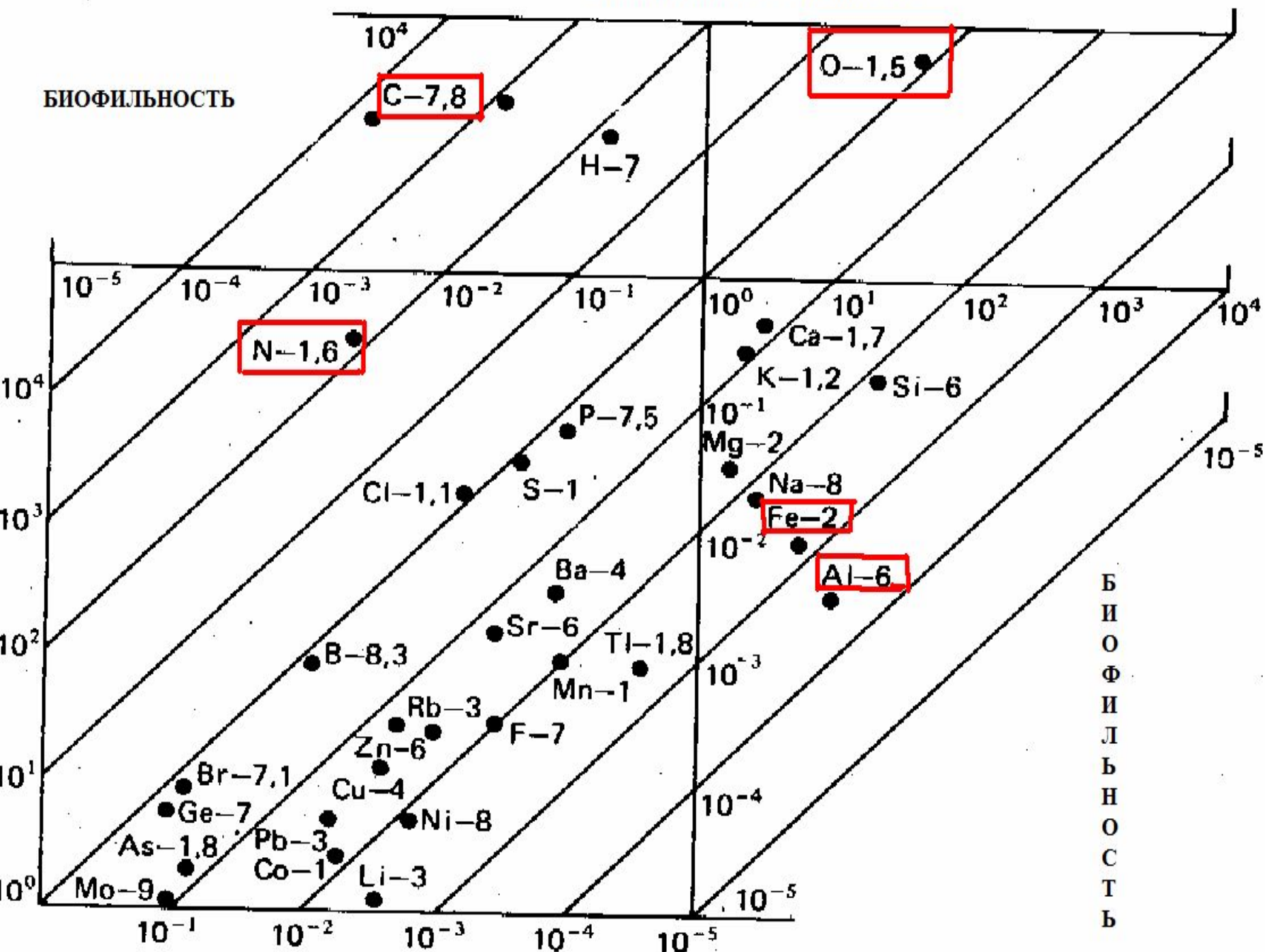
- **Биофильность** химических элементов колеблется в очень широких пределах.
- Так, для С биофильность составляет 780, для N - 160, для H - 70, O - 1,5, Cl - 1,1.
- У остальных элементов биофильность меньше 1.
- Наименьшая биофильность у Al, Fe, Ti.
- **Живое вещество избирательно поглощает и накапливает некоторые химические элементы.**
- Поэтому очень важно **в биогеохимии изучать состав минеральной части живого вещества, т.е. состав золы.**
- Эта **способность живого вещества характеризуется коэффициентом биологического поглощения.**

- Коэффициент биологического поглощения (КБП) - это эмпирический биогеохимический показатель, характеризующий интенсивность биологического поглощения элементов.
- Вычисляется он по формуле А. И. Перельмана:
$$Ax = 1x/nx,$$
- где Ax - КБП; 1 - содержание элемента x в золе растения; n - содержание элемента x в породе или в почве, кларк литосферы.
- Ax показывает, во сколько раз содержание элемента в золе выше, чем в литосфере (в породе, почве).
- КБП - не константы. Они могут меняться в зависимости от времени года, фазы вегетации, возраста растения, свойств почвы и т.д.
- Зависит поглощение элементов из почвы и от вида растений

- Оказалось, что при большом содержании кислорода в составе живого вещества (рисунок 7) биофильность его низка и составляет всего 1,5, тогда как для углерода, как сказано, было выше, она равна 7800, а для азота - 160.
- Наименьшая биофильность характерна для железа (0,002) и для алюминия (0,0006).
- Низкая биофильность кислорода объясняется тем, что основная масса его связана с водородом и образует воду, а в состав белков, жиров, углеводов, органических кислот кислорода входит значительно меньше.

# КЛАРКИ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

БИОФИЛЬНОСТЬ



К  
Л  
А  
Р  
К  
И  
Л  
И  
Т  
О  
С  
Ф  
Е  
Р  
Ы

Б  
И  
О  
Ф  
И  
Л  
Ь  
Н  
О  
С  
Т  
Ь

- Средний химический состав организмов (живого вещества) не отражает зависимость его от геохимической среды, так же как химический состав конкретного организма отличается от средних показателей химического состава «живого вещества».
- Но отклонения эти «от среднего» обычно небольшие и обусловлены особенностями геохимической среды и биологическими свойствами самих организмов.
- Биологические свойства растений обуславливают химический состав растений, отражают их приспособительные реакции как результат эволюции.

- Б. Б. Полюнов по величине КБП построил ряды биологического поглощения для главных химических элементов, А.И. Перельман уточнил эту классификацию (таблица 11). Получилось 5 групп элементов, характеризующихся различной интенсивностью использования живыми организмами: от энергичного накопления до очень слабого захвата.

Элементы	Интенсивность накопления	КБП				
		100n	10n	1n	0,1n	0,1-0,001n
Биологического накопления	Энергичного	P, S, Cl, Br, J				
	Сильного		Ca, Na, Sr, Zn	K, Mg, B, Sr		
Биологического захвата	Слабого накопления и среднего захвата			Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra, Au (!), B		
	Слабого и очень слабого захвата				Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cr, Ta, U, W, Sb, Cd	

- **Геохимическая среда - фактор** относительно более изменчивый во времени и пространстве: постоянно создаются условия избыточности или недостаточности элемента для растения.
- Система «почва – растение» оказывается устойчивой лишь для определенного этапа (стадии) развития данного вида растения, но эта система динамична в большом масштабе времени, за которое совершается эволюция вида.

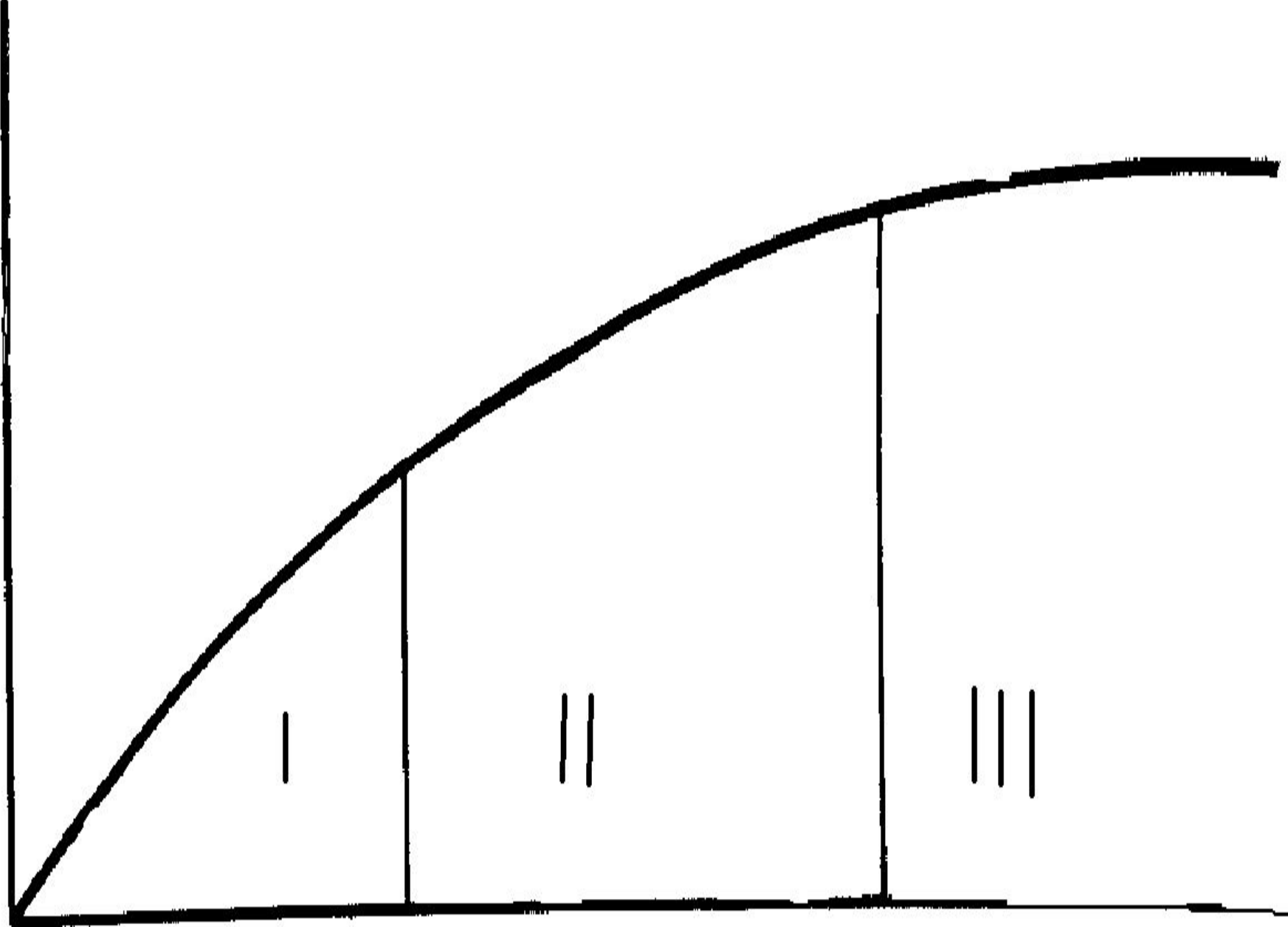


- **Вопрос о том, как формируется химический состав растений, сложен и до конца не решен.**
- **Не совсем ясна зависимость между химическим составом растения и его видовой принадлежностью.**
- **Наряду с поисками этих зависимостей делаются попытки установить связь между химическим составом растений и их продуктивностью.**
- **Здесь **выявляется три типа зависимости:****
- **1) характерен для микроэлементов, являющихся в малых концентрациях стимуляторами ростовых процессов, а в больших - ядами;**
- **2) также характерен для микроэлементов, которые в любых концентрациях не являются ядами, но в некоторых геохимических средах могут быть стимуляторами роста;**
- **3) типичен для макроэлементов, относящихся к биофильным, от наличия которых зависит продуктивность растений.**
- **При этом чаще всего наблюдается прямая зависимость между химическим составом растения и его продуктивностью. А это, в свою очередь, находится в прямой зависимости от содержания химических элементов в среде обитания.**

## Зависимость химического состава растений от наличия химических элементов в среде обитания

- А.Л. Ковалевский установил, что зависимость между содержанием химических элементов в почвах и растениях можно выразить адсорбционной кривой (рисунок 8). На ней выделяется три диапазона содержания химического элемента в питательной среде:
  - I - малого содержания;
  - II - переходный;
  - III - большого содержания.

СО  
Д  
Е  
Р  
Ж  
А  
Н  
И  
Е  
Э  
Л  
Е  
М  
Е  
Н  
Т  
А  
В  
П  
Р  
А  
С  
Т  
Е  
Н  
И  
И



СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТА В ПОЧВЕ

- **Первый диапазон** отражает зависимость между содержанием элемента в почве и растении.
- **При малом содержании элемента в почве** растение поглощает все имеющееся количество доступных для него форм этого элемента.
- **Уменьшение количества элемента в почве** приводит к уменьшению его содержания в растении.
- В этом диапазоне развитие растения и его химический состав зависят от геохимической среды (лимитирующий фактор).

- **В третьем диапазоне** химический состав растений в основном зависит от биологических особенностей растения и физиологической роли данного элемента.
- Геохимическая среда в этом случае не является лимитирующим фактором, и поэтому в растении начинают срабатывать механизмы регуляции.
- Количество поглощаемого химического элемента определяется потребностью для осуществления физиологических процессов и, в частности, для участия в фотосинтезе, обмене веществ, построении клеток, при расходовании на каталитические реакции.
- Большую роль при этом играет присутствие и среде других элементов, их взаимоотношение и особенно их количественное соотношение.

- Диапазон малых и больших содержаний химических элементов в почве и растениях следует рассматривать как две независимые друг от друга однородные статистические совокупности.
- В этих совокупностях выявленные зависимости имеют линейный характер.
- В диапазоне «перехода» эти зависимости или не проявляются или не устойчивы.

- Ковалевский считает, что при рассмотрении зависимостей в диапазоне малых и больших содержаний элемента необходимо иметь в виду два обстоятельства.
- **Первое** - содержание элемента в растении следует сравнивать с его содержанием в почве, но только в подвижной форме, хорошо усваиваемой данным растением.
- **Второе** - при сравнении необходимо учитывать содержание элемента не просто в почве, а в наиболее «представительном» горизонте питания данного растения.

- На химический состав растений в диапазоне «малых содержаний» оказывает влияние форма химических соединений.
- В зависимости от форм химических соединений, находящихся в среде обитания растений, в которые входит данный элемент, а, следовательно, и в зависимости от степени его усвояемости содержание этого элемента в растении может изменяться в 100-1000 раз.



- Основным параметром, отражающим степень воздействия данного фактора, служит коэффициент биологического поглощения (КБП).
- Значения КБП для одних элементов составляют не более единицы (обычно для Al, Fe, Si), для других - десятки единиц (P, S, K), для некоторых - сотни единиц (P и Mn) и т.д.
- В диапазоне «больших содержаний» этот фактор снивелирован, т.е **степень усвояемости химических элементов не обуславливается формой химического соединения, в которое входит данный элемент.**

# Распределение химических элементов по органам растений

- Химические элементы потребляются растениями как на создание клеток и всего организма, так и на осуществление физиологических и биохимических процессов.
- В зависимости от этого различные химические элементы поглощаются растением в неодинаковых как абсолютных, так и относительных количествах.
- Это особенно сильно проявляется в различных органах растений, где химические элементы несут свою определенную функцию.
- Они принимают участие в разнообразных процессах, в частности в фотосинтезе (Mg, Mn, C, O, H, Fe, Cu); углеводородном обмене и образовании органических кислот и ферментов (C, O, H, N, Mn, Cu, Zn); являются катализаторами различных реакций (Fe, Mn, Mo, Cu, Zn) и т.д.

- Д.А. Сабинин в зависимости от распределения по органам растений все химические элементы делит на две группы: **базипетальные и акропетальные.**
- **Базипетальное распределение** характеризуется наибольшим содержанием элементов в листьях и меньшим в стеблях и корнях.
- **Акропетальное**, наоборот, отличается наибольшим накоплением химических элементов в корнях с уменьшением в стеблях и листьях. В листьях содержится минимальное их количество.

- Абсолютных значений для этих величин не установлено, а выявляются они в сравнении.
- Однако для сравнения необходимо иметь сопоставимые показатели.
- С этой целью Ковалевский предложил ввести параметр - ОСОР (относительное содержание элемента в различных органах растений).

- В пересчете на сухое вещество у древесных и кустарниковых растений химические элементы распределены по органам по базипетальному типу.
- При пересчете на золу растения эти показатели нивелируются, и базипетальный характер распределения элементов по органам затушевывается.
- Базипетальное распределение у древесных пород и кустарников хорошо выражено в основном в диапазоне «малых содержаний».
- В диапазоне «больших содержаний» он нарушается, и начинает проявляться акропетальный характер распределения химических элементов.
- Причины этих изменений пока не ясны, но есть предположение, что химические элементы, находясь в среде обитания, при разных концентрациях играют различную физиологическую роль.

- Содержание химических элементов, как в отдельных органах, так и в растении в целом не постоянно.
- Оно изменяется во времени (в течение одного вегетационного периода и с возрастом растения).
- Эти изменения происходят по двум причинам - **из-за неодинаковой степени потребления химических элементов растением в разные фазы развития** и **вымыванием химических элементов из надземных органов растения дождевыми водами.**
- Под их воздействием могут вымываться значительные количества элементов.
- Так, калия вымывается от 20 до 100%; селена – 30-99; меди – 60-90; марганца – 15-80; натрия – 26-36; азота - 6-35% от содержания их в различных органах.
- **Изменение химического состава растений во времени необходимо учитывать при выборе сроков отбора образцов и проведения химического анализа растений.**

## Видовая принадлежность растений и их химический состав

- Имеет большое практическое и теоретическое значение.
- Установление зависимости между химическим составом растений и их видовой принадлежностью дало бы возможность систематизировать их по этому признаку, а следовательно, и составлять классификации (хемосистематика).
- Это позволило бы использовать подобные зависимости в практике биогеохимического поиска редких рассеянных элементов.

- Многим видам растений свойствен свой химический состав.
- Так, А.П. Виноградов (1980) выявил, что для многих таксономических единиц у растений хорошо выражены уровни содержания микроэлементов.
- В пределах одной таксономической единицы их величины близки и отличаются от таковых для других таксономических единиц.
- Особенно это замечено для разных видов растений.
- Данные наблюдения А.П. Виноградова подтверждены исследованиями М.Я. Школьника, Х.Г. Виноградовой, Е.А. Бойченко.



- Бойченко показала, что многие виды растений отличаются не только по содержанию химических элементов, но и по соотношению между ними.
- Так, соотношения «железо:марганец» для травянистых растений равны 1,9, а для древесных - 0,2. Зеленые водоросли отличаются высоким содержанием меди.
- Однако нельзя однозначно утверждать о прямых зависимостях между химическим составом растений и их видовой принадлежностью.
- Сложность при выявлении и установлении этих зависимостей состоит в том, что до сих пор отсутствуют единые принципы и единые критерии, которые можно было бы использовать для обоснования и выделения классификационных таксонов и их уровней. Путей же решения этой задачи несколько

В качестве основы выделения классификационных таксонов можно использовать:

- 1. Показатели, характеризующие соотношение двух и более химических элементов, содержащихся в растении, например железа и меди.
- 2. Конкретные химические соединения, находящиеся в растении и являющиеся индикаторами вида или его диагностическим признаком (типа таннидов, ментола, аскорбиновой кислоты и т.п.).
- 3. Абсолютное содержание химического элемента (или нескольких элементов), которое присуще только данному виду растения, и поэтому также может служить его диагностическим признаком. Величина эта может быть как максимальной, так и минимальной.

Химический состав растений как диагностический признак вида может носить не глобальный, а региональный характер.

Формирование химического состава растений обуславливается несколькими факторами:

- 1. общим содержанием химического элемента в среде обитания растения;
- 2. относительным содержанием в среде обитания усвояемых растением форм химических соединений, в которые входит элемент;
- 3. физиологической ролью элемента и в связи с этим характером распределения его по органам растения.

Процесс формирования химического состава растений динамичен, и для него характерно следующее:

- 1. Содержание химического элемента в растении может изменяться в больших пределах как во времени (возраст), так и в пространстве (геохимическая среда). Содержание любого химического элемента в развивающемся растении может не только увеличиваться, но и уменьшаться.
- 2. Вместе с этим растение способно регулировать «нормы» поступления элемента в доступных и главным образом в необходимых для него количествах.
- 3. Значение каждого из указанных воздействующих факторов на формирование химического состава растений в различных геохимических средах неоднозначно.

- Большое количество «пересекающихся» факторов, как во времени, так и в пространстве обуславливает большое разнообразие химического состава растений и всего растительного покрова и приводит к большой мозаичности биосферы.
- Формирование же химического состава каждого индивида обуславливается указанными выше факторами, степень проявления которых, в свою очередь, зависит от фаз развития растения и соответствующих им биологических реакций, в которых участвуют поглощаемые элементы.
- В целом для определенных видов растений характерны свои, присущие только им количества содержания химических элементов.
- Нарушение этих «норм» вызывает у растений различные изменения в виде эндемий (рисунок 6).

РАСТЕНИЯ, НЕ АДАПТИРОВАННЫЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ  
КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ



ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ РАСТЕНИЙ



МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ



ЭНДЕМИЧЕСКИЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ



УГНЕТЕНИЕ РАЗВИТИЯ



НАРУШЕНИЕ  
ГЕНЕРАТИВНЫХ  
ФУНКЦИЙ



ВЫМИРАНИЕ