

Влияние геохимической среды на развитие и химический состав растений

Основы биогеохимии

Тема 6

Д.Ю. Шишкина

Факторы, влияющие на химический состав растений

Известно более 100 факторов, влияющих на поглощение химических элементов растениями и, соответственно, на их химический состав. Они делятся на 2 группы: внутренние – физиологические и внешние – экологические.

Физиологические факторы включают в себя влияние на химический элементный состав таксонов, т.е. отделов, классов, семейств, родов, видов, особей растений, а также их морфологии и анатомии (органов, частей органов, тканей, типов и видов клеток), стадий развития растений и их отдельных частей, взаимовлияние химических элементов, находящихся в органах и тканях растений.

Экологические факторы

1. Внешние источники элементов: почвы, почвообразующие горные породы, минералы, руды, почвенные и подземные воды и газы, а также атмосферные твердые и жидкие частицы – аэрозоли, жидкие осадки и газы, т.е. все источники корневого и некорневого поступления химических элементов в растения. Большинство факторов этой группы объединяется понятием «геохимический ландшафт» или «геохимическая среда».
2. Климатические и погодные факторы: широтная и высотная зональность, атмосферные осадки, влияние температуры воздуха и почвы, ветра, атмосферного электричества, электрических, в т.ч. грозных, разрядов и т.п.
3. Антропогенные факторы. Они касаются в основном загрязнения внешней среды токсичными химическими элементами и в меньшей степени физического воздействия человека на внешнюю среду при разработке месторождений полезных ископаемых, рекультивации земель и обработке почв в сельском хозяйстве.
4. Геофизические поля внешней среды растений: электрические, магнитные, гравитационные и сейсмические. В то же время известно существенное влияние электрических полей на поглощение растениями химических элементов. Предполагается значительное влияние интенсивных, но локальных электрических полей на восходящую миграцию химических элементов в виде заряженных ионов и частиц с больших глубин к дневной поверхности, к корневым системам растений, на химический состав корней и надземных частей растений.

Влияние экологических факторов (геохимической среды) на развитие и химический состав растений (1)

Растения, животные и человек нормально развиваются при определенных концентрациях химических элементов в окружающей среде.

Резкий дефицит или избыток элементов в среде приводит к заболеваниям растений, человека, животных. Такие болезни называются **биогеохимическими эндемиями**, а районы их распространения – **биогеохимическими провинциями**.

В условиях биогеохимических провинций с резко выраженным недостатком или избытком определенных элементов, где особенно сильно проявляется изменчивость обмена веществ у растений, наблюдается обострение естественного отбора, выработка приспособительных изменений обмена веществ, ведущих к сохранению вида, усиление расхождения химических и морфологических признаков и, следовательно, возникновение новых химических разновидностей или форм растений.

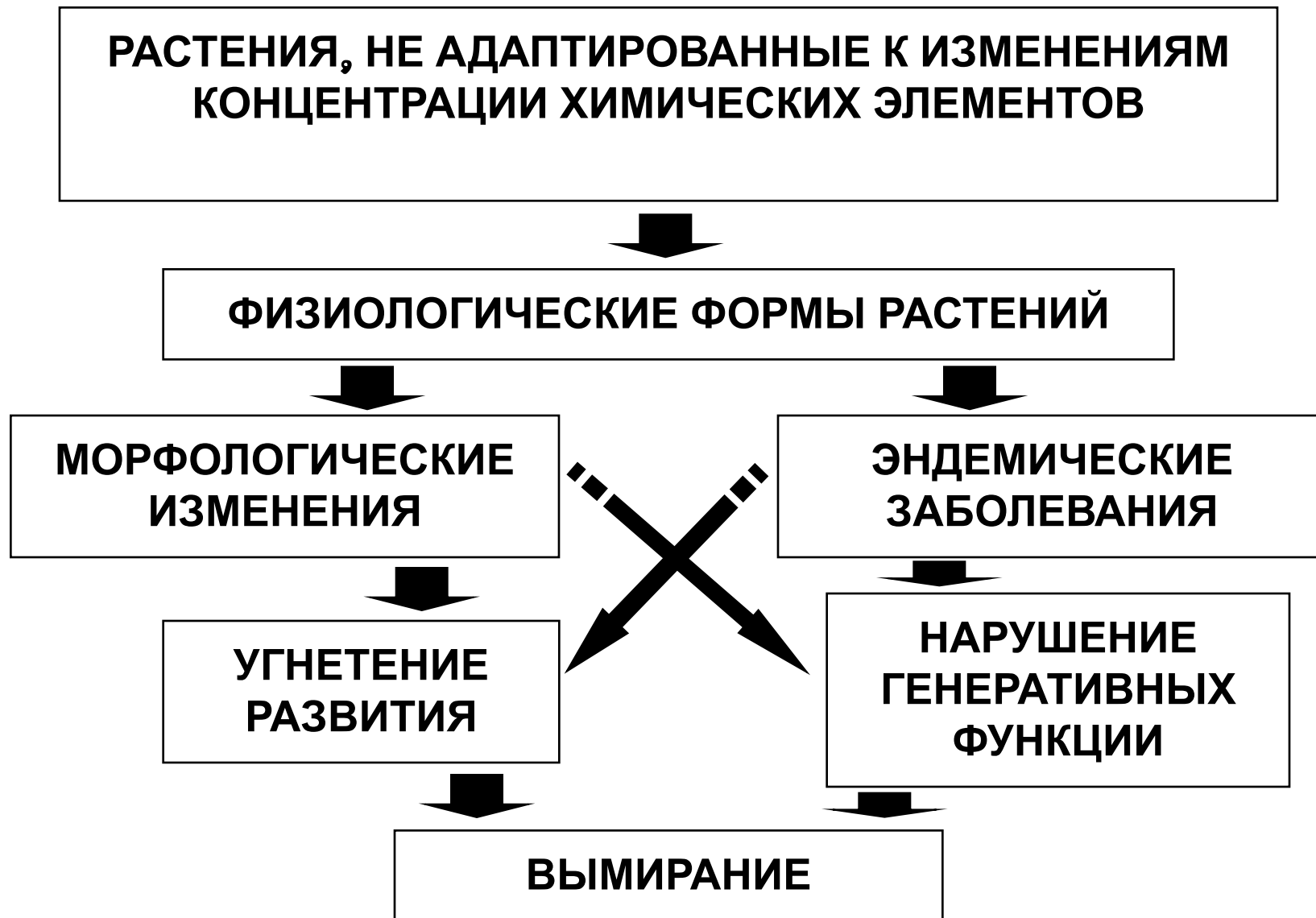
Влияние геохимической среды на развитие и химический состав растений (2)

- В природе при естественном расселении растения могут попасть в неблагоприятную обстановку с непривычным для них содержанием химических элементов. Такие растения большей частью оказываются мало приспособленными к новым условиям существования. У значительной части популяции возникают эндемические заболевания, приводящие к гибели организмов; у другой, обычно меньшей части растений, вырабатываются приспособительные изменения обмена веществ и строения, благодаря чему растения выживают.
- У животных в подобных случаях часто наблюдается обратная зависимость: число приспособленных может значительно превосходить число неприспособленных. Это объясняется тем, что растения непосредственно связаны с почвой, поэтому на них более резко сказывается влияние геохимической среды. Животные связаны с химической средой опосредовано – через растения (корма); поэтому на животных организмах резкое изменение условий обитания сказывается не так сильно, в силу чего эндемические заболевания обычно развиваются у меньшей части животных.
- Т. обр., в зависимости от реакции на геохимическую среду (на содержание химических элементов) можно выделить 2 большие группы растений:
- адаптированные к измененным концентрации химических элементов;
 - не адаптированные к измененным концентрации химических элементов.

ВЛИЯНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ЭВОЛЮЦИЮ РАСТЕНИЙ



СХЕМА ВЫМИРАНИЯ РАСТЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ



Реакции неадаптированных растений

Растения, которые не приспособились к изменениям в геохимической среде, в процессе эволюционного развития вымирают. Изменение концентраций химических элементов в среде у таких растений также вызывает различные **физиологические нарушения**, что приводит к появлению **новых физиологических форм**. Затем они переходят в формы **морфологической изменчивости**, у которых появляются **эндемические заболевания**; развитие растений угнетается, нарушаются **генеративные функции** и вид вымирает.

Эндемические заболевания

- «Розеточная болезнь» листопадных деревьев, связанная с недостатком Zn;
- полегание злаков вследствие недостатка Si на торфяных почвах. Полегание злаков обусловлено изгибом стебля. При недостатке меди концентрирование её наблюдается на освещенной стороне стебля, где повышена активность окислительных ферментов, дыхание, рост. Асимметрия обмена веществ приводит к изгибу стебля.
- Существуют такие болезни, как «деформация сердечка» цветной капусты при недостатке Mo; «гниль корня» у сахарной свеклы, капусты, помидоров в результате недостатка B.

Перечисленные эндемические заболевания специфичны для какого-либо одного элемента, но в ряде случаев одинаковую реакцию у растений могут вызывать различные элементы. Наиболее широко распространенной реакцией растений на необычную геохимическую среду являются **хлорозы** и **некрозы**. Любой химический элемент может вызвать хлороз при условии резко недостаточного или избыточного потребления его растением. Некоторые элементы (S, Mn, Cu, B, Ca, Mo, Zn) способны вызвать хлороз как при недостатке, так и в избыточном количестве.

Угнетенное состояние организма и нарушение генеративной функции

Кроме эндемических заболеваний у неадаптированных растений может возникать разнообразная изменчивость, проявляющаяся в общем угнетенном состоянии организма и в нарушении генеративной функции, что в конечном итоге приводит к гибели большей части растений. Незначительное количество особей (1-3%) может выживать и в результате постепенного длительного процесса неадаптированные физиологические формы могут перейти в адаптированные.

Чаще всего распространены явления укорачивания междоузлий и карликовости, в результате замедления, либо полной задержки роста. Эти нарушения обычно не ограничиваются вегетативными органами и затрагивают область воспроизведения, приводя к серьезным нарушениям генеративной функции. Например, при недостатке В наблюдается массовая гибель бутонов и завязавшихся плодов (у плодовых деревьев, капусты, арахиса), иногда соцветия вообще не образуется (виноград). На торфяниках наблюдается невызревание злаков в связи с недостатком меди.

Реакции адаптированных растений

Не всегда избыточные концентрации элемента негативно влияют на растения. Некоторые виды оказываются хорошо приспособленными к перенесению высоких концентраций элементов. Прежде всего, это растения, длительно произрастающие в данной местности, которые в результате естественного отбора приобретают устойчивость к неблагоприятным условиям обитания.

Способность накапливать химические элементы у адаптированных форм выражена в различной степени. Выделяются группы растений:

- концентрирующих элементы в значительном количестве,
- не концентрирующих химические элементы (подразумевается не отсутствие всякого накопления, а минимальное извлечение из почвы данного элемента). Например, злаки не реагируют на разные уровни содержания в почве В, Ni, Co, а дуб, граб и калина – индифферентны к Mo.

АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ К ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

**РАСТЕНИЯ АДАПТИРОВАННЫЕ К ИЗМЕНЕНИЯМ
КОНЦЕНТРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ**



**РАСТЕНИЯ,
КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ**



**РАСТЕНИЯ, НЕ
КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ
ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ**

Растения, концентрирующие химические элементы

- привычные (типичные) концентраторы;
- непривычные концентраторы.

Привычные концентраторы всегда извлекают значительные количества химического элемента из среды, даже при условии его нормального содержания в почве. Это связано с тем, что у растений уже выработался особый обмен веществ, который зависит от среды обитания, от содержания в ней химических элементов. Вероятно, типичные концентраторы возникли в условиях обогащения среды химическими элементами. Так, солянки, произрастающие на солонцах, содержат Na 1,5-2 %, а клевер – всего 0,01%. Хвощи богаты Si, бобовые – Ca.

Непривычные концентраторы

К непривычным концентраторам относится большинство растений местной флоры с широкой амплитудой выносливости к химическим элементам. Растения могут произрастать как при повышенных концентрациях элементов в почве, так и при нормальном их содержании. Процессы концентрирования очень неустойчивы и зависят от содержания и формы нахождения элемента в почве. Поэтому в нормальных условиях из небогатой почвы растения не извлекают больших количеств элемента. При расселении в зоны, более обогащенные химическими элементами, непривычные растения-концентраторы накапливают значительные количества химических элементов, приближаясь по степени накопления к привычным концентраторам.

У адаптированных растений, концентрирующих химические элементы, могут возникать различные реакции организма в ответ на необычное содержание химических элементов в среде обитания.

Привычные концентраторы могут образовывать эндемичные виды и физиологические формы, без видимых морфологических изменений.

Непривычные концентраторы также могут дать физиологические формы, аналогичные привычным концентраторам, также в этой группе наблюдается разнообразная морфологическая изменчивость.

АДАПТАЦИЯ РАСТЕНИЙ К ГЕОХИМИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

РАСТЕНИЯ, КОНЦЕНТРИРУЮЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

ПРИВЫЧНЫЕ
КОНЦЕНТРАТОРЫ

НЕПРИВЫЧНЫЕ
КОНЦЕНТРАТОРЫ

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ФОРМЫ
БЕЗ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ
ИЗМЕНЧИВОСТИ

ЭНДЕМИКИ

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ
ИЗМЕНЧИВОСТЬ

ВИДООБРАЗОВАНИЕ

Реакции адаптированных растений, концентрирующих химические элементы

Морфологическая изменчивость обычно наблюдается среди непривычных концентраторов и внешне напоминает изменчивость неадаптированных форм растений. Отличие: у непривычных концентраторов функция воспроизведения не нарушается и остается вполне жизнеспособное потомство.

- Полиморфизм цветков мака (рассечение лепестков и махровость цветков) под влиянием Zn и Pb;
- карликовость ряда растений на почвах, обогащенных Cr;
- разнообразная пигментация листьев (синеватость, усиление зеленой окраски) под влиянием избытка Ni.

Физиологические формы. Растения, концентрирующие химические элементы, могут внешне оставаться неизменными, сохраняя типичные черты данного вида. Такие растения со специфическим обменом веществ составляют особые физиологические формы данного вида.

Эндемизм (1)

Эндемичные виды (эндемики) – виды растений, имеющие очень узкий ареал распространения, ограниченный геохимической средой, отличающейся повышенной или пониженной концентрацией одного или нескольких химических элементов. Эндемичные виды растений характеризуются устойчивыми морфологическими признаками, присущими только им.

Растения, сигнализирующие о рудах Zn – **галмейная** флора. Характерна для почв над цинковыми месторождениями Средней и Южной Европы. Наиболее распространенные представители – галмейная фиалка и галмейная ярутка. Их золе содержит 13-21% оксида Zn – в 150 раз больше его среднего содержания в растительности суши. Галмейные группировки характерны не только по своему видовому составу, но и по специфическому облику: низкорослость, более сильное развитие подземных частей сравнительно с надземными, длительный период цветения.

Эндемизм (2)

Эндемичные виды, которым необходима высокая концентрация Sn, образуют **оловянную** флору, представители которой произрастают только на отвалах старых оловянных рудников в ФРГ, Бразилии.

Известны растения с очень высокой концентрацией Cu: «медные мхи» в Швеции, качим на Рудном Алтае.

Известна **квасцовая** флора, приуроченная к латеритным почвам, обогащенным Al. Эта флора распространена в тропиках и субтропиках, где в почве много свободного Al.

Типичные концентраторы могут образовывать эндемичные виды, которые нуждаются в большом количестве определенных элементов, и поэтому приурочены к участкам, сильно обогащенным этими элементами. Продукты выветривания ультраосновных пород бедны Ca и сильно обогащены Co, Ni, Cr, Cu. На таких породах развивается специфическая **серпентинитовая** флора, в состав которой входят некоторые виды сосны, рододендрона, травянистых растений. Все они отличаются высоким содержанием указанных элементов.

Пороговые концентрации химических элементов

Нормальное протекание жизненных процессов в организмах происходит только в определенных пределах концентраций и соотношений в организме и в среде химических элементов.

Пороговые (критические) концентрации элементов – те, от которых начинается их недостаток (нижние пороговые концентрации) или избыток (верхние пороговые концентрации). Системы организма, регулирующие обмен веществ, не могут быть одинаково эффективными и работать нормально при любых концентрациях элементов, поступающих в организм. В пределах между верхними и нижними пороговыми концентрациями химических элементов организм способен регулировать обменные процессы; ниже или выше пороговых концентраций регулирующие системы организма не могут полностью нормализовать обменные процессы .

Пороговые концентрации могут значительно изменяться для каждого элемента. Пороговые концентрации непостоянны и для одного вида, они могут изменяться под влиянием климатических, почвенно-геохимических и др. условий.

Пороговые концентрации Cu и Mn у с/х культур, мг/кг

С/х культуры	Нижние пороговые концентрации	Норма (оптимальные концентрации)	Верхние пороговые концентрации
Медь			
Злаки (хлеба)	0,8-8,5	2-12	10
Бобовые (фасоль, клевер, люцерна)	< 3	3-32	32
Марганец			
Злаки (хлеба)	4-25	16-190	1000-2500
Бобовые (фасоль, клевер, люцерна)	32-68	207-1340	1000-3000

Дефицитные и избыточные элементы (1)

Часто в почвенном растворе значительно больше какого-либо химического элемента (или нескольких), чем требуется растению, и наоборот. Это обусловлено внешними факторами геохимической среды: её кислотностью (щелочностью), величиной окислительно-восстановительного потенциала, присутствием других элементов.

Химический элемент, находящийся в недостаточном количестве для нормального развития растений, называется **дефицитным**. В разных условиях к дефицитным принадлежат O, N, P, K, F, B, I, Cu.

В большинстве случаев недостает подвижных форм элементов, хотя валовое (общее) содержание элемента в почве может быть достаточно высоким. В агроценозах добавление подвижных форм дефицитных элементов способствует повышению урожая с/х культур.

Дефицитные и избыточные элементы (2)

В почвах Ростовской области валовые содержания Cu и Zn высоки, однако концентрации подвижных форм, доступных растениям, очень низки. Причина - образование нерастворимых карбонатов и гидроксидов из-за высокой карбонатности почв и их слабощелочной реакции. В результате многие с/х культуры содержат элементы в концентрациях на уровне нижних пороговых и страдают заболеваниями, связанными с недостатком Cu и Zn: хлороз кукурузы, розеточность листьев яблони. Для устранения этих заболеваний применяются цинковые микроудобрения (серноокислый цинк).

Среди злаков минимальными содержаниями цинка отличается рис. В рисосеющих хозяйствах Ростовской области давно наблюдаются проявления цинкового голодания риса (хлороз, некроз), а также низкие урожаи. Причиной является внесение больших доз фосфорных удобрений. Образуются труднорастворимые октоцинкофосфаты $Zn_4H(PO_4)_3$, недоступные растениям.

Избыток элементов в геохимической среде также может сдерживать развитие растений и снижать их урожайность. Элементы, удаление которых из среды увеличивает продукцию живого вещества, называются **избыточными**. Чаще всего это Cl, S, Na, Cu, Ni, Fe, F, Al. Один и тот же элемент может быть дефицитным в одних условиях и избыточным в других.

Влияние физиологических факторов на химический состав растений

У растений есть специфические биологические механизмы, ограничивающие поступление в них избыточных количеств химических элементов. Типы накопления элементов:

- барьерный (неконцентрирующий);
- безбарьерный (концентрирующий).

При безбарьерном типе по физиологической реакции растений выделяют следующие диапазоны концентрации элемента в питающей среде и растении:

- I – недостатка (увеличение содержания элемента оказывает стимулирующее действие);
- II – оптимального содержания;
- III – избытка (токсическое действие);
- IV – летальных концентраций.

Барьерный тип: I и II те же; III – барьерные концентрации; IV – нет.

Распределение химических элементов по органам растений (1)

Отдельные органы растений (стебли, листья, корни) неодинаково накапливают химические элементы. Обусловлено это тем, что химические элементы являются носителями различных физиологических функций. Так, Mg, Mn, C, O, H, Fe, Cu участвуют в фотосинтезе; C, O, H, N, Mn, Cu, Zn – в углеводородном обмене и образовании органических кислот и ферментов; Fe, Mn, Mo, Cu, Zn – катализаторы различных биохимических реакций.

В зависимости от распределения по органам растений химические элементы делятся на 2 группы:

- **базипетальное** распределение характеризуется наибольшим содержанием химических элементов в листьях и меньшим в стеблях и корнях;
- **акропетальное** отличается наибольшим накоплением химических элементов в корнях с уменьшением в стеблях и листьях. В листьях содержится минимальное их количество.

Распределение химических элементов по органам растений (2)

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 2-м причинам – из-за неодинаковой степени потребления химических элементов растением в разные фазы развития и вымывания 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 зеленых органах.