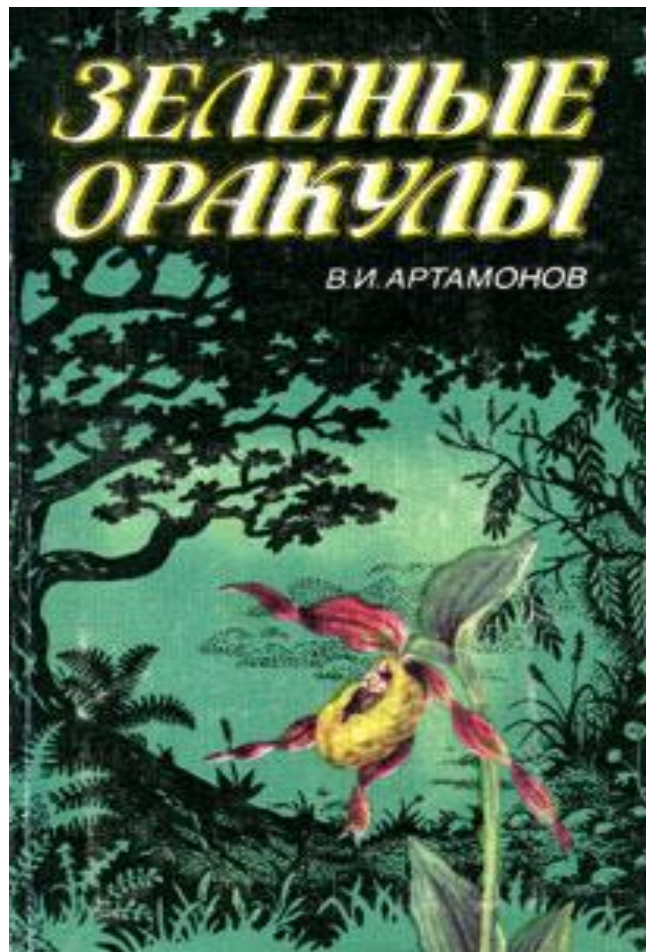


Зеленые оракулы

Артамонов Вадим Иванович.



Артамонов В.И. 'Зеленые оракулы' - Москва: Мысль, 1989 - с.190

В древнейшем святилище Греции - Додоне - некогда рос старый-престарый дуб, по шелесту листвы которого наивные люди пытались узнать свою судьбу. Поклонение оракулу, вера в него возникли из реальной помощи, которую растения оказывали человеку. По ним он узнавал сроки сева, качество Почвы, предстоящие изменения погоды, глубину залегания грунтовых вод, время суток и стороны света, когда на небе не было солнца и звезд. Прошли тысячелетия. Человек потерял ощущение своей непосредственной зависимости от внешней среды. Однако и сейчас зеленые оракулы верно служат ему, рассказывают о великих тайнах природы.

Зеленые оракулы

'Цветущий папоротник, под которым лежит клад' - красивая древняя легенда, и только? В природе нет цветущего папоротника, зато легенда о нем бытует у многих народов. А если не папоротник, а галмейная фиалка, по которой в Германии и Бельгии отыскивали цинковые руды, или калифорнийский мак, который в Аризоне (США) растет только на обогащенных медью почвах, - разве это не примеры глубокого смысла древней легенды? Индикаторные свойства растений давно привлекают наблюдательных, но предметом исследований они стали сравнительно недавно, и о том, что растения поведали ученым, можно узнать из этой книги, рассчитанной на широкий круг читателей.

- От автора
- Надежные помощники геологов
 - o Растения-рудознатцы
 - o Зеленые уродцы помогают геологам
 - o О чем поведала окраска растений
 - o В геохимической лаборатории
 - o Добытчики ценных элементов
- Где рыть колодец?
 - o Как глубоко залегают воды?
 - o Индикаторы степени минерализации грунтовых вод
 - o Куда текут подземные реки?
- Указатели плодородия почв
 - o Питательные достоинства почвы
 - o Указатели кислотности почвы
 - o Растения сигнализируют о влажности почвы
 - o Когда включать дождевальную установку?
 - o Издержки мелиорации
 - o "Горькую землю узнают по черной и выродившейся траве..."
 - o Как распознать механический состав почв и грунтов
- Зеленые синоптики
 - o Ожидается ли ненастье?
 - o Не примечать - и хлебушка не едать
 - o Климат минувших времен
 - o Ну а как насчет климата будущего?
 - o Фенологические сады
- Вместо компаса
 - o Компасные растения и растения-гномоны
 - o Вслед за солнцем
 - o Если вы сбились с дороги...
 - o Пути-дороги былых времен
- Цветочные часы и древесные календари
 - o Растения "спят" и "бодрствуют"
 - o Цветочные часы
 - o Рыбам время нереститься...
 - o "Богомольная" пальма из Фаридпура
 - o Ритмы физиологических процессов
 - o Дела давно минувших дней
- Растение в роли газоанализатора
 - o Этот вредный сернистый газ
 - o Гладиолусы не терпят фтора
 - o Нелегкий груз тяжелых металлов
 - o Традесканция распознает выхлопные газы автомобилей
 - o Бегония, чувствительная к смогу
 - o Ядовитый для биосферы озон
 - o Концентраторы радиоактивных веществ
 - o Микроорганизмы "следят" за загрязненностью
 - o Зеркало природы

От автора

Мы наблюдаем теснейшее взаимодействие и полное содружество мира органического и мира неорганического.

В. В. Докучаев

Поистине удивителен мир растений. Только благодаря им существуют на Земле все живые организмы. В процессе фотосинтеза зеленые растения образуют органические вещества, которые служат пищей человеку и животным, а также необходимый для дыхания кислород. Они очищают атмосферу и гидросферу от вредных примесей, защищают почву от эрозии и дефляции, регулируют круговорот воды на нашей планете, благотворно влияют на климат. К тому же они дают человеку необычайно сильный эмоциональный заряд. Человек никогда не устанет любоваться их широкой цветовой гаммой и необычной формой.

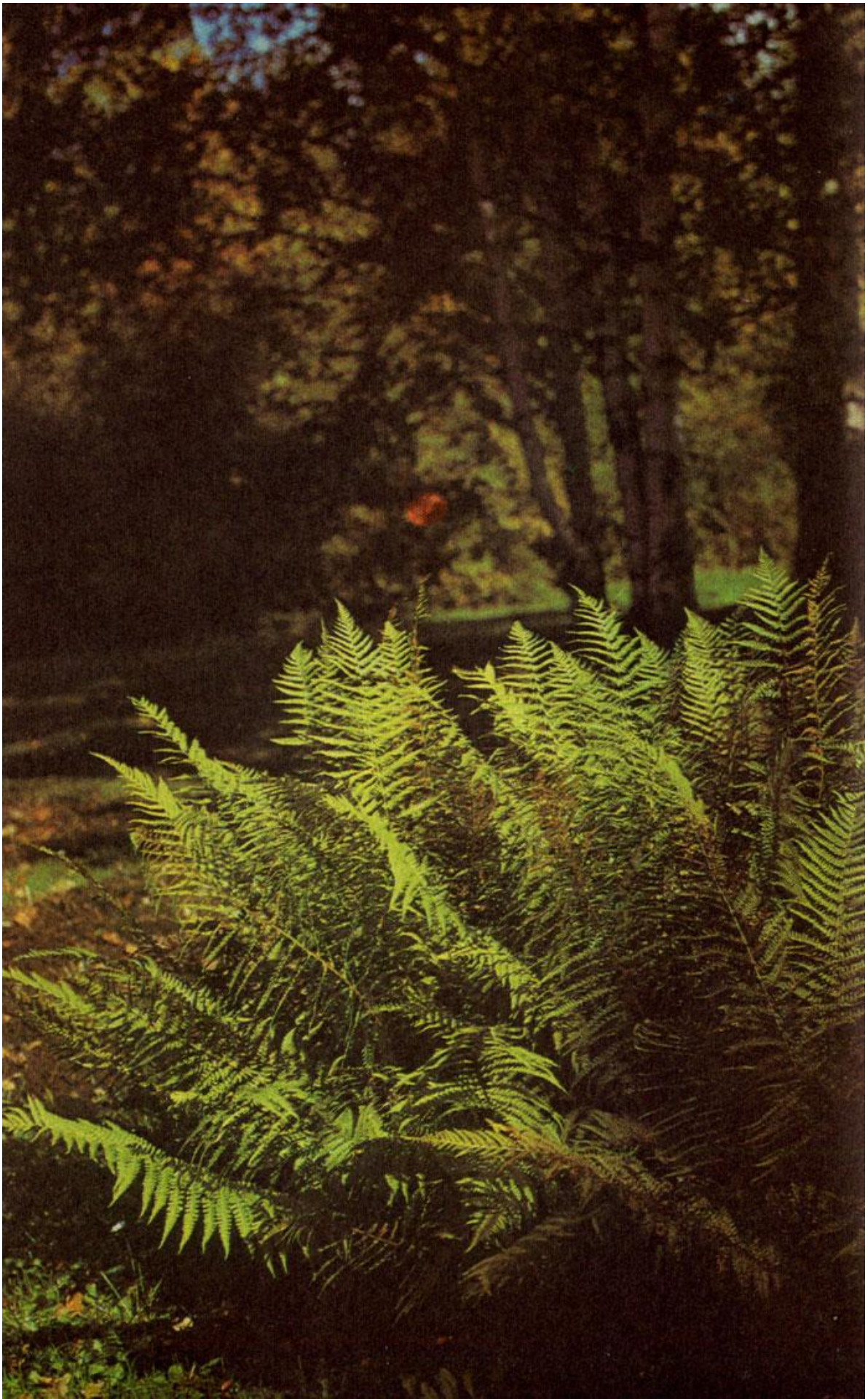
Весьма существенна еще одна функция растений - индикаторная. Она чрезвычайно ценилась в древности и ныне вновь привлекла к себе пристальное внимание исследователей.

...В мифах Древнего Египта происхождение мира связывается с растением. Солнце, осветившее окутанную мраком Землю, появилось из "лотоса, возникшего в начале времени... над великим озером". Эта легенда была очень распространенной. Археологи обратили внимание, что вплоть до прихода в Египет римлян священный лотос изображался либо с сидящим в его лепестках младенцем - вечно юным богом солнца Осирисом, либо венчающим голову этого божества. Лотос почитали жрецы и поэты, ваятели и крестьяне. Удивительное растение изображено на колоннах египетских храмов, сооруженных почти шесть тысячелетий назад. В основании колонн обычно вырезаны листья лотоса, а сверху - стебли с цветками и бутонами. Этот мотив преобладает в египетском орнаменте. Головы фараонов и жрецов часто были украшены цветами священного растения. Первых - в знак их божественного происхождения, вторых - как свидетельство верности Осирису. Ни одно храмовое торжество, жертвоприношение или народное празднество не обходилось без цветов лотоса. Они были атрибутом обрядов погребения. Каждый египтянин, умирая, жаждал стать цветком лотоса в саду Осириса. Лотос украшал герб страны, чеканился на монетах.

Почему это растение столь высоко почиталось в Древнем Египте?

Вряд ли только из-за эстетического наслаждения, которое дарят его удивительно красивые и ароматные цветки, или из-за потребительского интереса к его съедобным мучнистым семенам и волокнам, идущим на изготовление тканей. Ведь на Земле немало других красивых и съедобных растений. Главная причина обожествления лотоса древними египтянами видится в его способности предсказывать богатый урожай. Эту точку зрения подтверждают древнеегипетские мифы и народные обычаи. Согласно мифам, лотос подарила людям богиня плодородия Изида, которая якобы открыла его удивительные свойства. Плодородие египетских земель, как известно, зависело от разлива Нила. Лотос олицетворял собою невесту реки. Его растения появлялись тогда, когда уровень воды начинал повышаться. Чем шире разливался Нил, тем больше растений украшало его поверхность. Вот почему обилие лотосов всегда вызывало бурную радость феллахов. Юноши и девушки украшали себя и статуи бога Осириса цветами и с радостными криками бегали по улицам селений. В случае если разлив реки задерживался, венками из лотосов украшали статуи Изиды, чтобы богиня ниспослала разлив Нила и богатый урожай.

Еще один пример. Папоротник не может "похвастаться" ни красотой своих цветков (их у него вообще нет), ни изысканным ароматом, ни использованием в хозяйстве. Однако на Руси до христианства славяне посвящали его богу Светлояру, называли перуновым огнецветом. Причина столь уважительного отношения наших предков к папоротнику заключалась в глубокой уверенности, что это растение указывает места залегания кладов. Самое удивительное, что эти ложные представления о папоротнике были у очень многих народов. Жители Тироля полагали, что семена у папоротника образуются сразу же после его отцветания в Иванову ночь. Если их собрать, то они, как и "жар-цветок", помогут отыскать под землей золото.



Папоротник

Приведенные примеры показывают, что в древности люди чрезвычайно высоко ценили индикаторные свойства растений. И это не случайно. Ведь в те давние времена жизнь человека во многом зависела от природы. Сроки сева определялись погодными условиями, и, чтобы вовремя бросить те или иные семена в почву, нужно было выбрать подходящий для этого момент. Прекрасными указателями сроков сева служили дикорастущие растения, обитавшие вокруг, ведь их развитие определялось теми же условиями, от которых зависела всхожесть семян и рост культурных видов: температурой, влажностью. Итогом многолетних наблюдений за дикорастущими и культурными растениями стали приметы, в которых в афористичной и лаконичной форме выражалась вполне конкретная информация, полезная для каждого земледельца:

Сей овес, когда березовый лист станет распускаться.

Сей овес до распускания осин.

Когда с ивы летит пух - сей овес.

Самый поздний посев овса, когда цветут яблони.

Земляника красна - не сей овса напрасно.

Рябина зацветает - пора сеять лен.

Сей лен на легких землях, когда распустятся почки на дубах.

Когда на елке шишки красные, а на сосне зеленые - сей ячмень.

Ячмень сеют, когда цветет калина.

Гречиху сей, когда трава хороша.

Сирень зацвела - сей огурцы.

Лист на дереве полон, так и сеять полно.

В народе издавна по дикорастущим растениям предсказывали урожай и погоду в пределах года. Так, например, обилие земляники, которому благоприятствует ясная, солнечная погода, считалось признаком низкого урожая овса, который хорошо плодоносит в условиях достаточной влажности. Существуют и другие приметы, прогнозирующие урожай сельскохозяйственных культур по дикорастущим растениям:

Урожай сморчков - к урожаю льна.

Если грибовно, так и хлебовно. (Вариант: коли грибы уродятся - и на хлеб урожай).

И в самом деле: теплая, влажная погода благоприятствует появлению не только грибов, но и всякой зелени. Следует, однако, иметь в виду, что народные приметы иногда противоречат друг другу:

Урожай на черемуху - так же и на рожь.

Если уродится рябина, то рожь будет хороша; если уродится черемуха, то плоха.

Разумеется, биологические потребности дикорастущих и культурных растений полностью не совпадают, поэтому народные приметы были верны лишь отчасти. В одних местах они оправдывались,

а в других - нет. К тому же благодаря трудам селекционеров современные сорта существенно отличаются от тех, что выращивали в прошлом, следовательно, при возделывании современных сельскохозяйственных культур нельзя руководствоваться старыми народными приметами. Однако в прошлом они играли очень большую роль в жизни земледельцев.

Жизнь человека во все времена зависела от водных источников. Собираясь копать колодец, люди отыскивали растения, которые подсказывали, как глубоко залегает вода, пресная она или соленая. О приуроченности некоторых растений к неглубоко залегающим грунтовым водам писал в своих трудах древнеримский архитектор и инженер Витрувий Поллион.

Сведения о том, как с помощью растений определять плодородие почв, содержатся в трудах крупнейших римских естествоиспытателей Юния Модерата Колумеллы, специалиста по сельскому хозяйству, и Плиния Старшего.

Некоторые растения применялись вместо барометра и гигрометра. Они позволяли за несколько часов, а иногда и дней узнать о приближении ненастья.

Во время длительных переходов через леса, степи и пустыни, когда на небе не было ни солнца, ни звезд - этих самых надежных указателей сторон света, растения верно служили людям вместо компаса. Некоторые из них довольно точно показывали время суток.

Опытные рудознатцы с помощью растений находили залежи медных руд, золотоносные пески.

Итак, растения-индикаторы в жизни древних людей играли чрезвычайно большую роль. Неудивительно, что люди внимательно приглядывались к зеленым помощникам. Эти наблюдения помогли древнегреческому ученому Теофрасту, жившему в IV-III вв. до н. э., создать фундаментальный труд "Исследование о растениях". По мере развития человеческой цивилизации ослаблялась зависимость людей от природы. Это сопровождалось снижением интереса к растениям-индикаторам. Многие ценные сведения о них до нас не дошли, были забыты связанные с растениями приметы.

В начале XX в. благодаря трудам выдающихся отечественных ученых - В. И. Вернадского, В. Н. Сукачева, В. В. Докучаева, А. П. Виноградова и других - интерес к растениям-индикаторам вновь усилился.

Согласно учению В. И. Вернадского о биосфере, живое вещество, трансформируя солнечную энергию, вовлекает неорганическую материю в непрерывный круговорот. Понятие о биосфере стало краеугольным камнем экологии.

Ученик и ближайший сотрудник В. И. Вернадского - А. П. Виноградов, изучая изменение химического состава живых организмов в связи с их эволюцией, ввел в науку понятие о биогеохимической провинции, способствовал совершенствованию и использованию биогеохимического метода в поиске полезных ископаемых.

Исключительно важное значение для разработки методов фитоиндикации имело учение В. Н. Сукачева о биогеоценозе, о структуре, динамике, связях и классификации фитоценозов.

В. В. Докучаев создал учение о всеобщей взаимосвязи явлений и процессов на земной поверхности. Он впервые сформулировал понятие о почве как особом естественноисторическом теле, которое образуется при взаимодействии факторов почвообразования: материнской породы, климата, растительного и животного мира, рельефа и геологического возраста страны. Его идеи о внутренних связях между отдельными явлениями живой и неживой природы повлияли на развитие лесоведения, мелиорации, гидрогеологии, динамической геологии и других наук.

Хотя вышеназванные ученые занимались решением разных проблем, в их трудах обнаруживается принципиальное единство: все они исходили из существования сложной и динамичной взаимосвязи между объектами живой и неживой природы. В основе фитоиндикации как раз и лежат представления о зависимости растительных организмов от условий окружающей их среды. Вот почему идеи В. И. Вернадского, В. Н. Сукачева, В. В. Докучаева, А. П. Виноградова и других ученых стимулировали развитие фитоиндикационных исследований в Советском Союзе. Работы по практическому использованию растений-индикаторов в 20-х годах нашего столетия начались и в США. Одним из основоположников фитоиндикации там стал Ф. Клементе. Он подчеркивал, что каждое растение или растительное сообщество "представляет лучшую меру условий, в которых оно произрастает". Учение о растительных индикаторах развилось в самостоятельную ветвь ботаники - фитоиндикацию, которая изучает теоретические основы и практические способы использования растительного покрова как индикатора (показателя) условий среды. Один из ее разделов - индикационная геоботаника.

Фитоиндикаторами называют растения, растительные сообщества или их особенности, указывающие на какие-то конкретные свойства среды. Так, например, с помощью растений можно выявить отдельные признаки почв (механический состав, влажность, кислотность, засоленность, обеспеченность питательными веществами и т. д.). Различают прямые и косвенные индикаторы. Прямые индикаторы непосредственно связаны с объектом индикации, т. е. с каким-то конкретным условием среды, и зависят от него. Примером прямых индикаторов могут служить фреатофиты - чий, солодка, верблюжья колючка и др. Их мощная корневая система, достигающая грунтовых вод, позволяет им успешно произрастать в аридных областях. Распространение фреатофитов показывает глубину залегания грунтовых вод, степень их минерализации и направление движения. Косвенные индикаторы не имеют непосредственной связи с объектом индикации (индикатом). Они показывают предметы и явления, которые в свою очередь могут быть связаны с индикатом, интересующим человека. Так, например, на урановых месторождениях очень часто можно встретить различные виды астрагалов (*Astragalus pattersonii*, *A. bisulctus*, *A. racemosus* в штате Колорадо, США). Эти растения, накапливающие до 1,5% селена, являются прямыми его индикаторами, но поскольку селен приурочен к урановым месторождениям, то по отношению к урану астрагалы будут косвенными индикаторами.

Растения могут быть индикаторами как на всем протяжении своего ареала, так и в какой-то его части. В зависимости от этого известный советский ученый С. В. Викторов выделяет универсальные (панареальные) и локальные индикаторы. Если связь между индикатором и объектом индикации наблюдается по всему ареалу, индикатор называется универсальным или панареальным. Примером такого индикатора служит тростник (*Phragmites australis*), который повсюду, где он встречается, указывает на грунтовые воды, залегающие близко к поверхности. Универсальные индикаторы встречаются редко, поэтому их значение в практике индикационных исследований невелико. Гораздо чаще приходится иметь дело с локальными индикаторами, связанными с объектом индикации только в какой-то части своего ареала. Наглядным примером таких индикаторов служит седмичник европейский (*Trientalis europaea*) - небольшое травянистое растение с тонким стебельком, на вершине которого располагаются листья. В конце весны у седмичника появляются снежно-белые красивые звездочки цветков, хорошо заметные под пологом елового леса. Это скромное растение довольно широко распространено в лесах европейской части нашей страны, за исключением Крыма. В Западной Европе, в Руре, седмичник европейский произрастает только на отвалах старых оловянных рудников и на почвах с высоким содержанием олова.

Для практических целей следует знать, насколько надежен и эффективен тот или иной индикатор, поэтому было предложено характеризовать индикаторы по двум показателям - достоверности и значимости.

Достоверность - это степень сопряженности индикатора с объектом индикации. Абсолютно достоверным считается индикатор, которому в 100% случаев соответствует объект индикации. Для расчета показателя достоверности берут определенное число эталонных участков, или площадок, где обязательно имеется индикатор. Среди них есть такие, где индикатор встречается вместе с объектом

индикации. Процентное соотношение этих участков и участков с индикатором, но без объекта индикации служит количественным показателем достоверности индикатора. Для того чтобы читатель мог лучше уяснить способ определения достоверности индикатора, рассмотрим следующий пример. В пустынях Западного Казахстана индикатором неглубоко (1,5-5 м) залегающих грунтовых вод является крупный, хорошо заметный злак чий блестящий (*Achnatherum splendens*). Из 100 обследованных участков произрастания этого растения на 95 вода была обнаружена, а на 5 нет. Следовательно, достоверность индикатора составляет 19(95/5). Это довольно большой показатель. Если сопряженность превышает 90%, а показатель достоверности больше 9(90/10), то индикатор считается надежным. Удовлетворительным индикатор будет в том случае, если сопряженность равна 75-90%, а показатель достоверности находится в пределах 3-9(75/25-90/10). Сомнительным индикатор считается тогда, когда сопряженность составляет 60-75%, а показатель достоверности равен 1,5-3 (60/40-75/25). Наконец, когда сопряженность бывает менее 60%, а показатель достоверности менее 1,5, индикация невозможна. Поскольку абсолютно достоверные индикаторы очень редки, обычно пользуются надежными и удовлетворительными.

Показатель достоверности еще не дает полного представления о практической значимости того или иного индикатора. Так, например, если какое-то растение всегда приурочено к объекту индикации (абсолютно достоверный индикатор), но редко встречается в природе (вид занесен в Красную книгу), то его практическое значение ограничено. Вот почему для индикаторов введен еще показатель значимости, который дает представление о том, насколько часто индикатор встречается вместе с объектом индикации. При определении этого показателя за 100% принимается количество эталонных участков с объектом индикации. *Значимость* выражается отношением количества эталонных участков, где объект индикации присутствует вместе с индикатором, к общему количеству эталонных участков с объектом индикации, взятым в процентах. Например, объект индикации обнаружен на 60 эталонных участках, причем на 42 участках он присутствует вместе с индикатором. Следовательно, значимость данного индикатора составляет $(42-100\%)/60=70\%$.

Растения рассказывают об условиях окружающей их среды посредством тех или иных признаков, которые Б. В. Виноградов классифицировал на флористические, физиологические, морфологические и фитоценотические.

Флористическими признаками он считает различия состава растительности изученных участков, сформировавшиеся вследствие определенных экологических условий. Индикационное значение может иметь как присутствие, так и отсутствие вида.

К физиологическим признакам относят особенности химического состава и обмена веществ растений. Например, содержание тех или иных элементов, пигментов, белков, жиров, величина осмотического давления, водоудерживающей способности, интенсивности транспирации и т. д.

Использование анатомо-морфологических признаков связано с анализом внутреннего и внешнего строения отдельных растений. К этим признакам относится ширина годичных колец деревьев, особенности строения проводящей ткани, различия в строении клеток и тканей. Важными показателями могут служить различного рода аномалии, возникающие у растений в тех или иных условиях существования.

К фитоценотическим признакам принадлежат особенности структуры растительного покрова - обилие и рассеянность тех или иных растений, ярусность, мозаичность, степень сомкнутости. Эти признаки широко используются в практике дешифрирования аэрофотоснимков.

Индикационными свойствами обладают не только ныне живущие растения, но и ископаемые остатки.

Развитие индикационного метода прошло уже несколько этапов. Первоначально в качестве индикаторов выступали отдельные растения, затем растительные сообщества (фитоценозы), теперь для

этого широко используется совокупность особенностей ландшафта. Изменения в ландшафте, подмеченные главным образом при анализе снимков, сделанных с летательных аппаратов, позволяют выявить протекающие в природе естественные или вызванные деятельностью человека процессы.

В настоящее время советская индикационная школа добилась выдающихся успехов в разработке как теории, так и практики индикационных исследований и по праву занимает лидирующее положение в мире. Благодаря трудам советских ученых фитоиндикация нашла широкое применение в исследовании и сохранении природных ресурсов, в разработке мероприятий по преобразованию пустынь и полупустынь, Нечерноземья, обширных пространств Сибири и Дальнего Востока. Ныне растения-индикаторы используют в своих исследованиях геологи, гидрогеологи, геоморфологи, болото-, мерзлото- и почвоведы, климатологи, землеустроители, лесоводы, мелиораторы, археологи...

Фитоиндикация развивается весьма стремительно, она находит все новые и новые сферы приложения и при этом берет на вооружение самые последние достижения науки и техники, в частности современные способы съемки земной поверхности с летательных аппаратов.

К сожалению, некоторые аспекты фитоиндикации остаются неразработанными. Не исследован и не систематизирован богатейший многовековой опыт народов мира по использованию растений-индикаторов, о котором мы говорили выше. До сих пор не проанализированы и научно не проверены многие народные приметы о природных процессах и явлениях. Недостаточно изучены физиолого-биохимические основы фитоиндикации. В результате растения-индикаторы выявляются в основном эмпирически, путем наблюдений, что не исключает элемента случайности. Между тем разработка физиолого-биохимических основ фитоиндикации позволила бы целенаправленно отбирать растения-индикаторы, повысила бы эффективность их использования в практике. До сих пор остаются невыясненными многие физиологические проблемы, которые в той или иной степени связаны с фитоиндикацией: механизм биологических часов, причины избирательного поглощения определенными растениями химических элементов, роль магнитотропизма в пространственной ориентации растений и т. д.

Следует заметить, что внедрение в ландшафтную индикацию аэрометодов вовсе не означает снижения интереса к растениям как индикаторам природных процессов. Ведь на аэрофотоснимках большинства районов суши одним из наиболее хорошо различимых элементов является растительность. Однако наряду с ней важное значение приобретают и другие компоненты природы, в частности рельеф. В настоящее время ученые пришли к заключению, что необходим комплексный мониторинг природной среды, составной частью которого служит биологический, осуществляемый на комплексных фоновых станциях. Весьма важный элемент биомониторинга загрязненности окружающей среды - растительный мир, очень чутко реагирующий на присутствие в воздухе, воде или почве различных токсических веществ. Он позволяет обнаружить опасные для живых организмов комбинации токсикантов, которые в отдельности, может быть, и не представляют угрозы для биосферы. Ведь современные физико-химические методы учета загрязненности природной среды выявляют лишь концентрации отдельных ингредиентов загрязняющего комплекса и ничего не говорят о токсичности их различных сочетаний. Вот почему биологический мониторинг за состоянием окружающей среды, включающий систему растений-индикаторов, получает все большее распространение.

Настоящая книга призвана познакомить читателей с растениями-индикаторами и областями их использования. Она имеет две особенности. Первая особенность книги заключается в том, что автор рассматривает растения-индикаторы с позиций не столько геоботаники, сколько физиологии растений - науки, которая, как уже отмечалось, уделяет еще недостаточно внимания проблеме фитоиндикации, хотя имеет для нее чрезвычайно важное значение. Вторая определяется характером издания. Оно популярное, рассчитанное на широкий круг читателей. Эти обстоятельства наложили отпечаток на отбор материала. Автору хотелось, чтобы его книга была не только интересна, но и полезна читателям, помогла бы лучше узнать окружающий нас растительный мир и использовать знания о нем на практике.

Надежные помощники геологов

Есть еще кочедыжник или папоротник;
кому удастся сорвать цвет его,
тот всеми кладами владеет.

А. К. Толстой

Согласно народному поверью, в ночь под 24 июня по старому стилю, накануне Ивана-Купалы распускается яркий, как пламя, цветок папоротника. В эту таинственную ночь устраивались на Руси гулянья с песнями и хороводами. Прыгали через костер, гадали на венках, умывались росой, шли в лес искать огненный цветок, который, как утверждала молва, открывает человеку клады.

Хорошо известно, что папоротник, цветок которого искал в полночь казак Петро - герой повести Н. В. Гоголя "Вечер накануне Ивана-Купалы", размножается спорами и цветков никогда не образует. С помощью этого растения нельзя найти и подземные сокровища. Вымысел и то, что растущие по соседству рябина, крушина и лещина скрывают драгоценные камни, а переплетенные корни сосны, ели и пихты - золотые россыпи. У многих народов считалось, что ветка орешника обладает замечательной способностью указывать на зарытые в земле клады. Немцы, например, искали сокровища с помощью однолетнего побега, который срезали при свете луны в Иванову ночь или ранним утром в воскресенье, так как считалось очень важным, чтобы избранной ветки обязательно коснулись лучи либо заходящего, либо восходящего солнца. Прежде чем срезать побег, следовало трижды поклониться и произнести условную фразу. Чехи пытались разыскивать клады при помощи освященной вербы и трех палочек орешника: одна палочка для обнаружения золота, другая - серебра, а третья - водных ключей.

Подобных примеров из области народной фантазии, отражающих веру в растения как самые надежные указатели кладов, можно привести немало. И хотя почти все эти легенды не имеют ничего общего с действительностью, в настоящей главе мы все же поведаем о том, как с помощью растений находят... подземные клады, залежи полезных ископаемых.

Еще в 1841 г. русский геолог А. М. Карпинский поставил вопрос: "Могут ли живые растения быть указателями горных пород и формаций?" Теперь мы с полным правом отвечаем: "Да, могут", так как твердо доказана приуроченность определенных растений к соответствующим горным породам. Это обстоятельство позволило выделить специфические флоры - известняковую, серпентиновую, галофильную, галмейную и другие, с помощью которых можно находить те или иные полезные ископаемые. Этот метод поиска получил название "геоботанический". Параллельно с ним развивался и биогеохимический метод, связанный с изучением химического состава растений в зависимости от состава почв и подстилающих пород. Дело в том, что в процессе химического выветривания месторождений полезных ископаемых вокруг них возникают ореолы рассеяния определенных элементов. Эти элементы поглощаются растениями и очень часто накапливаются в них в значительных количествах.

В становлении геоботанического и биогеохимического методов поиска полезных ископаемых большую роль сыграли работы советских ученых В. И. Вернадского, А. П. Виноградова, В. В. Ковальского, С. В. Викторова, Д. П. Малюги, С. М. Ткалича и других, а также работы американского ученого Ф. Клементса. Ныне эти методы поиска полезных ископаемых особенно широко распространены. Отчасти это связано с тем, что в геологической практике все реже удается открывать месторождения полезных ископаемых с помощью старых визуальных методов.

Растения-рудознатцы

Можно привести немало примеров того, как по определенным видам растений были обнаружены залежи полезных ископаемых. С чем это связано?

Ореолы рассеяния химических элементов, образующиеся в результате выветривания горных пород, значительно влияют на видовой состав растительности. Чувствительные к тому или иному элементу виды растения, накопив его в своих тканях, погибают, уступая место видам, для которых накопленный элемент не зло, а благо. Следовательно, на присутствие какого-либо полезного ископаемого указывает как обильное распространение определенных видов растений, так и отсутствие некоторых из них.

Кальций входит в состав мела, доломита, известняка, гипса и других горных пород. В некоторых местах этих горных пород бывает недостаточно, поэтому их приходится завозить из других местностей. Так было в Карелии до тех пор, пока там не обратили внимание на венерин башмачок (*Cypripedium calceolus*) - маленькую северную орхидею, которая относится к кальцефилам. У этого растения, цветущего в конце мая - начале июня, очень крупный (до 7 см шириной) цветок оригинальной формы и окраски: крупная желтая губа, имеющая форму туфельки, а остальные лепестки пурпурно-бурые. Цветок имеет запах ванили и появляется впервые на 15-17-м году жизни растения. Венерин башмачок изредка встречается в Уральском Прикамье, в Архангельской и Вологодской областях, во многих районах европейской части нашей страны до Молдавии, южной части Тамбовской и Саратовской областей, в горах Крыма и Кавказа, на значительной части Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, включая Сахалин; вид занесен в Красную книгу СССР.



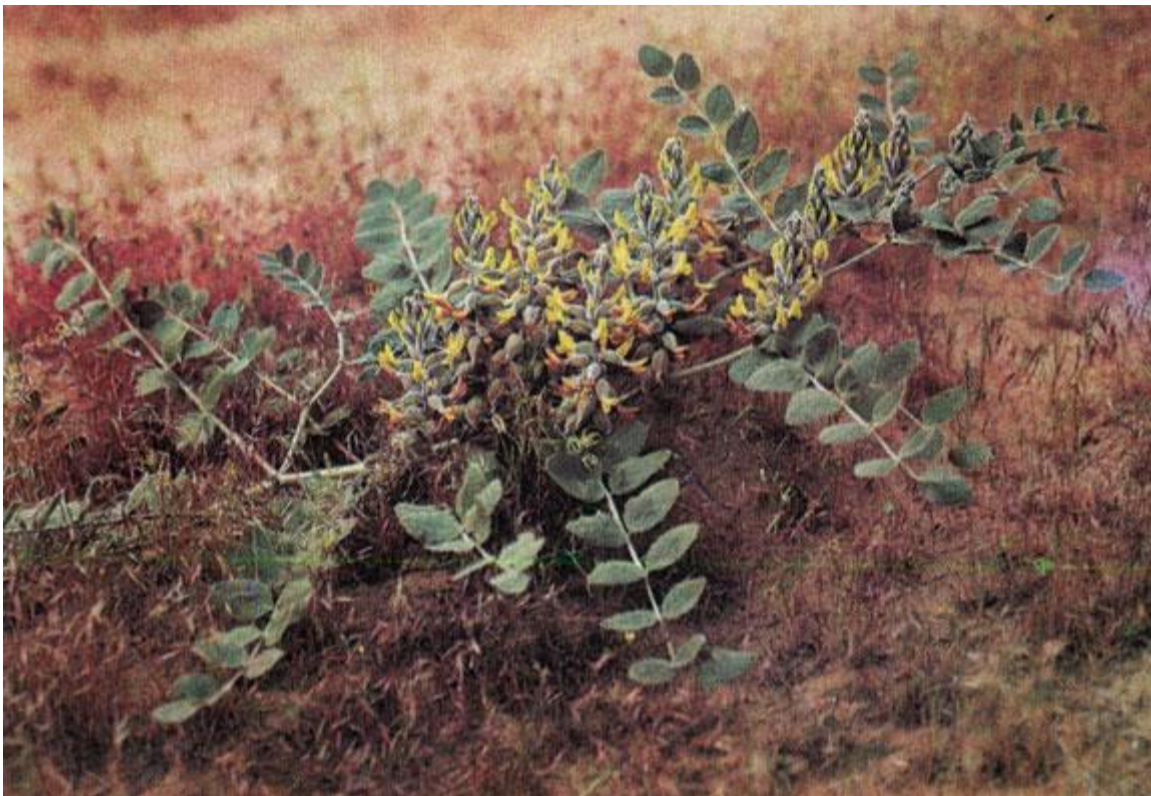
Башмачок настоящий - индикатор пород, содержащих кальций

Находка этого растения в Карелии, где преимущественно распространены твердые кристаллические породы, лишенные кальция, очень удивила ученых. Они предположили, что если в Карелии произрастает венерин башмачок, то должны быть и породы, содержащие кальций. Предположение вскоре подтвердилось. Там, где рос венерин башмачок, были обнаружены залежи доломитового известняка.

Существуют и другие кальцефилы, успешно произрастающие на известковых породах, - порезник горный (*Libanotis montana*), различные виды солнцезвезда (*Helianthemum*), степная астра (*Aster amellus*) и др. Папоротник из рода пеллея (*Pellaea atropurpurea*), как и венерин башмачок, растет только на почвах, богатых кальцием.

Там, где почвы и подпочвенные породы содержат много **бериллия**, встречаются густые заросли стеллеры карликовой - растения с прямым тонким стеблем, покрытым множеством овальных листочков. Обширные скопления этого растения, хорошо различимые на аэрофотоснимках, указывают на то, что в данной местности залегают бериллиевые руды.

Верный индикатор пород, перспективных на **бор**, - растительные сообщества с трагакантовыми астрагалами (*Astragalus microcephalus*, *A. aureus*, *A. strictifolius*). Они чаще встречаются на территориях с аномальным содержанием бора, чем за их пределами. С уменьшением количества бора в растениях и окружающей их внешней среде сокращается и численность видов-индикаторов. Иными словами, по мере исчезновения объекта индикации из фитоценозов выпадает и индикатор.



Астрагалы нередко можно встретить на урановых месторождениях. Некоторые из них часто произрастают на территориях с аномальным содержанием бора

Вместе с тем характерным признаком близкого к поверхности залегания боратов служат плешины, лишенные растительности. Этот признак с успехом используется геологами при поиске месторождений бора.

В начале 60-х годов было обнаружено, что бурачок двусемянный является индикатором **кобальтовых руд**. Он предпочитает произрастать поблизости от их выходов на поверхность. При приближении к

рудным телам бурачок двусемянный встречается чаще. Так, например, на 1 м² поверхности, покрывающей рудные тела, произрастает от 18 до 250 экземпляров этого растения, тогда как на рудных осыпях и отвалах значительно меньше. За пределами районов, где залегают кобальтовые или кобальтово-медные руды, бурачок двусемянный обычно не встречается. Интересно отметить, что хотя над рудными телами произрастает большее количество растений этого вида, но они меньше по высоте. Бурачок двусемянный позволяет быстро выявить залежи кобальтовых руд.

В области Шаба в Заире встречается другой кобальтофил - кроталария (*Crotalaria cobaltica*). Ее распространение также ограничено почвами, обогащенными кобальтом. Любопытно отметить, что в Нигерии этому растению приписывают волшебные свойства. Местные знахари делают из нее "любовное зелье", с помощью которого можно якобы вернуть сбежавшую жену. Для этого нужно, чтобы женщина неведомо для себя выпила приготовленный на кроталарии напиток.

В самом начале этой главы мы упоминали о легендах, в которых папоротник выступает в роли указателя кладов. Оказалось, что некоторые виды папоротников и в самом деле соответствуют этому назначению. В горах Восточной и Центральной Европы, а также в Скандинавии встречается папоротник костенец помесный (*Asplenium adnigrum*). Черешки его листьев в нижней части красновато-коричневые и жесткие, вверху зеленые и мягкие. Костенец помесный приурочен к магнезиальным силикатам и серпентинам. Обилие этого растения, а также сопутствующего ему костенца клинолистного (*A. cuneifolium*) указывает на наличие в почве **магния**. При избыточном содержании в почвах этого элемента на них развивается так называемая серпентиновая флора, включающая характерные фитоценозы.

В 50-х годах геологи обратили внимание на то, что на отвалах горных выработок очень часто встречается качим Патрена (*Gypsophila patrinii*) - довольно крупное, хорошо заметное многолетнее растение из семейства гвоздичных с многочисленными мелкими розоватыми, а иногда почти беловатыми цветками и мощной корневой системой. Затем было установлено, что качим Патрена обильно разрастается у выходов на поверхность рудопоявлений с повышенным содержанием элементов полиметаллического комплекса. В свое время попробовали совместить две карты: карту поверхностных рудопоявлений, составленную на основании геологических обследований территории площадью 1500 км², и карту распространения на той же территории качима Патрена, основанную на изучении растительного покрова. Результаты оказались весьма любопытными. Качим Патрена в пределах обследованного участка встречался неравномерно, но его скопления всегда были приурочены к меднорудным точкам. Не было его лишь там, где в породах отсутствовала **медь**, причем рудопоявления цинка, серебра, висмута, молибдена, бария и мышьяка не играли существенной роли в размещении этого растения.

Присутствие качима Патрена в растительных сообществах часто бывает единственной отличительной особенностью зон, в которых почва обогащена медью, и чем выше содержание этого элемента в субстрате, тем он обильнее. Однако с увеличением концентрации меди размеры качима (высота, диаметр стебля) уменьшаются. Это растение легко опознается, поскольку хорошо заметно в травостое в течение всего полевого сезона. Неудивительно, что геологов, занятых поиском залежей медных руд, очень интересует распространение качима Патрена. С его помощью были открыты месторождения меди в Казахстане и на Алтае. Для обнаружения качима используется метод аэрофотосъемки.

Весьма примечательно, что в семействе гвоздичных немало растений - индикаторов меди. В странах Западной Европы таковыми считаются виды смолевки (*Silene otites* и *S. vulgaris* var. *humilis*). Алсина весенняя (*Alsine verna*) из того же семейства, довольно широко распространенная в Европе, в ГДР, Чехословакии и ФРГ, встречается на почвах, содержащих большое количество меди. Еще один представитель этого семейства, отнюдь не безразличный к меди, - минуарция весенняя (*Minuartia verna*). На горных склонах она образует мелкие, высотой 5-15 см, дернинки с белыми цветками-звездочками.

Приуроченность некоторых представителей семейства гвоздичных к почвам, богатым медью, едва ли случайна. Если мы заинтересуемся физиологической ролью этого элемента, то окажется, что он имеет непосредственное отношение к основным жизненным функциям растительных организмов - фотосинтезу и дыханию. Значительная часть меди, присутствующая в растениях, концентрируется обычно в хлоропластах. Именно здесь находится медьсодержащий белок синего цвета - пластоцианин, играющий важную роль в переносе электронов при фотосинтезе. Кроме того, медь входит в состав оксидаз - полифенолоксидазы, аскорбиноксидазы, цитохромоксидазы, участвующих в дыхании. Советский физиолог растений Б. А. Рубин выдвинул концепцию, согласно которой широкий спектр ферментных систем, участвующих в дыхании, обеспечивает растениям более высокую устойчивость к неблагоприятным факторам среды. Экспериментально доказано, что медьсодержащий фермент дифенолоксидаза обладает значительной стабильностью по отношению к температурам и к фитопатогенным факторам.

В связи с этим приуроченность некоторых гвоздичных к месторождениям меди, возможно, определяется более интенсивным использованием этого элемента для синтеза ферментов, благодаря чему они могут успешно приспосабливаться к разнообразным условиям окружающей среды. И действительно, представителей семейства гвоздичных можно встретить в самых различных местообитаниях: в тундре, в лесах, на лугах, высоко в горах, в степях, полупустынях и пустынях. Один из видов этого семейства обнаружен в Антарктиде! Значительное число видов и даже родов гвоздичных - космополиты, их можно встретить на всех континентах. По-видимому, одна из причин столь широкого распространения на земном шаре этих растений заключается в совершенстве их дыхательного и фотосинтетического аппарата, что определяется активным использованием в метаболизме меди. Не случайно растения-купрофилы из семейства гвоздичных (минуарция весенняя и др.) произрастают в крайне неблагоприятных для жизни условиях.

Очень многие виды этого семейства содержат сапонины - вещества из группы стероидных соединений, которые при взбалтывании с водой дают обильную пену. В связи с этим ряд гвоздичных, например мыльнянка лекарственная, зорька, колючелистник качимовидный, отдельные виды качима и другие, издавна известны в народе под названием мыльного корня и применялись в качестве суррогата мыла. Сапонины синтезируются в растениях из продуктов, образующихся в процессе дыхания. Для этого необходим ацетат, возникающий в результате превращения Сахаров при дыхании. Таким образом, особенности дыхательного процесса гвоздичных обеспечивают как повышенную устойчивость их к неблагоприятным условиям, так и интенсивный синтез сапонинов.

Представители семейства гвоздичных находятся в родстве с членами семейства плюмбаговых, а некоторые из них, как стало известно, выносят почвы с солями тяжелых металлов в значительных концентрациях. В частности, армерия Галлера (*Armeria halleri*) в странах Западной Европы нередко встречается на старых отвалах медных рудников. Этот вид вместе с двумя своими собратьями по роду (*A. bottendorfensis* и *A. hornburgensis*) служит индикатором месторождений меда.

В Заире ряд видов растений также приурочен к месторождениям меда. Это так называемые растения-купрофилы. Среди них можно отметить цианотис металлический (*Cyanotis metallorum*) из семейства коммелиновых.

В Аризоне (США) на месторождениях меди Сан-Мануэль калифорнийский мак растет только на почвах, материнские породы которых имеют повышенное содержание меда. Яркая окраска цветков у этого растения служит заметным указателем зон медной минерализации.

В ряде случаев месторождения меда можно обнаружить с помощью отрицательных индикаторов, т. е. по отсутствию определенных растений. На только что упомянутом месторождении Сан-Мануэль обильные заросли цессидиума (*Cessidium muscophyllum*) приурочены преимущественно к нерудоносным породам, тогда как у выходов на поверхность рудных тел это растение встречается редко.

На некоторых месторождениях меди в Заире растительность чрезвычайно скудная или вообще отсутствует. Это обстоятельство используется как поисковый признак при дешифрировании аэрофотоснимков.

В Южной Африке по полному отсутствию растительности были открыты некоторые месторождения **платины**, а в Юго-Западной Туркмении - месторождения **серы**.

Седмичник европейский (*Trientalis europaеа*), широко распространенный в лесах европейской части СССР, в странах Западной Европы, особенно в районе Рура, произрастает на отвалах старых оловянных рудников и на почвах с высоким содержанием **олова**.



Седмичник европейский - локальный индикатор оловянных руд

В Идрии (Югославия), где расположено одно из крупнейших в мире месторождений **ртути**, некоторые растения, например алсина из семейства гвоздичных (*Alsine setacea*), считаются индикаторами этого элемента.

По распространению специфических растений, например мелколепестника овальнолистного (*Erigeron ovalifolium*), были открыты запасы **серебряной руды** в штате Монтана (США).

Обилие галмеевой фиалки (*Viola calaminaria*) - растения с длинным, сильно ветвящимся стеблем и мелкими цветками - указывает на высокое содержание в почве цинка. Другим индикатором залегания цинковых руд служит ярутка галмеевая (*Thlaspi calaminaria*) из семейства крестоцветных. В золе обоих этих растений содержится 13-21% оксида цинка.

Приведенные примеры показывают приуроченность некоторых растений к месторождениям полезных ископаемых. Физиологические причины этого явления еще не выяснены, и пока мы вынуждены довольствоваться лишь гипотезами. В одних случаях это следствие повышенной устойчивости некоторых растений к избытку того или иного химического элемента: экологическая ниша, возникающая в результате гибели неустойчивых видов, заполняется за счет усиленного размножения резистентных растений. В других случаях избыток того или иного химического элемента у отдельных видов - необходимое условие успешного осуществления их метаболизма.

Зеленые уродцы помогают геологам

Если в материнской породе есть та или иная руда, то содержание рудного элемента в почве, как правило, повышено. Растения реагируют даже на незначительные повышения его различного рода аномалиями роста и развития.

Аномалией, как известно, называют отклонение от нормы, от общей закономерности. Для того чтобы решить, к какому типу роста (нормальному или аномальному) относится то или иное его проявление, необходимо правильно выбрать критерий нормы. Очень часто аномальный рост у растений наблюдается при поражении их вирусами, бактериями, грибами, нематодами, членистоногими и другими организмами. В этом случае нормой будет совокупность таких условий, которые обеспечивают достаточно оптимальные темпы роста растений, но вместе с тем исключают возможность их инфицирования или инвазирования. Различные аномалии у растений возникают и под воздействием повышенных по сравнению с фоновыми показателями излучения, канцерогенов, экзогенных фитогормонов, галоидфеноксикислот, содержания в почве и подстилающей породе некоторых химических элементов (никеля, меди, бора и др.). В этом случае нормальными условиями следует считать те, при которых перечисленные выше показатели будут соответствовать естественным фоновым.

По мнению специалистов, изучение аномальных форм растений делает геоботанический метод поиска полезных ископаемых наиболее перспективным, особенно если учесть, что количество видов растений, приуроченных к тем или иным месторождениям, не столь уж велико. Трудность заключается в том, что эти аномалии слабо изучены физиологами и генетиками и не систематизированы. Это обстоятельство тормозит их использование в практике.

В подавляющем большинстве случаев мы не знаем, например, передаются ли аномальные признаки по наследству или нет. Ответ на этот вопрос имеет важное значение для заключения о том, насколько точно ареал аномалий роста и развития у растений совпадает с ареалом повышенной концентрации искомого элемента. Иными словами, этот вопрос имеет прямое отношение к оценке точности геоботанического метода поиска полезных ископаемых. Если предположить, что аномалии растений не передаются по наследству и имеют чисто фенотипический характер, то в этом случае следует ожидать полного совпадения ареалов аномалий и вызывающего их появления искомого элемента. Если же аномалии имеют наследственную природу, то такого совпадения может не быть. Ведь плоды и семена растений могут переноситься ветром, водой, животными, человеком на значительные расстояния и давать аномальное потомство там, где выявляется лишь фоновое содержание искомого элемента. В этом случае связь между распространением аномальных форм растений и искомого элемента не будет такой прямой, и выявить его месторождение будет значительно труднее.

В 1977 г. нами была предпринята попытка систематизировать аномалии роста у растений. Возможно, эта классификация окажется полезной для геоботаников и поможет читателям разобраться в обилии аномалий, которые возникают у растений, произрастающих на месторождениях, и широко используются специалистами в качестве индикаторных признаков.

Итак, у растений выделяются три основные группы аномалий роста, связанные с:

- торможением или стимулированием нормального роста (карликовость, гигантизм);
- возникновением деформаций обычных органов (стеблей, листьев, корней, плодов, цветков и соцветий);
- возникновением новообразований, не свойственных растениям в нормальных условиях существования (т. е. в условиях, исключающих возможность инфицирования или инвазирования растений, а также воздействие на них повышенных по сравнению с фоновыми доз излучений и концентраций химических элементов и т. д.). К этой группе аномалий роста относятся автономные и неавтономные новообразования (опухолы), которые отличаются поведением в питательной среде. Ткани автономных опухолей успешно растут на искусственной питательной среде без добавления фитогормонов, а ткани неавтономных опухолей на такой среде не растут.

Гигантизм и карликовость некоторые исследователи не без основания считают уродствами. Однако, учитывая особую значимость проблемы гигантизма и карликовости для современного растениеводства, целесообразно выделить этот вид аномалий роста в особую группу. К тому же и растения-гиганты, и растения-карлики сохраняют обычно нормальный тип строения, отличаясь лишь размером своих органов. Аномалии, связанные с деформацией органов и с изменением их числа, выделяются в другую группу.

В ряде случаев полезные ископаемые удается обнаружить благодаря ускоренному росту растений и их гигантским формам. Гигантизм у растений отмечается при некотором избытке в среде **бора**. В Казахстане, например, на почвах, содержащих около 0,01 % этого элемента, наблюдаются гигантские формы изеня (*Kochia prostrata*). Это растение из семейства маревых достигает 90 см в высоту и имеет вид многостебельных кустов. В 2-3 раза выше нормы бывают полыни, терескен, кермеки, многие солянки.

Кобальт, входящий в состав витамина В₁₂ и способствующий фиксации атмосферного азота симбиотическими микроорганизмами, относится к числу микроэлементов, необходимых для нормальной жизнедеятельности растений. Неудивительно, что на некоторых месторождениях кобальта отмечается стимуляция роста растений. Так, например, у кизильника (*Cotoneaster*), который, как и бурачок двусемянный, тяготеет к выходам на поверхность кобальтовых руд, размер листовых пластинок в 2-4 раза превосходит нормальный, а диаметр и высота стволов в 3-5 раз больше обычных.

Гигантизм возникает у некоторых растений и при наличии в среде **тория**. На почвах, содержащих повышенные количества этого элемента, у осины (*Populus tremula*) листья достигали 30 см в поперечнике, а диаметр ствола - 70 см. И это не единственный случай. Имеется сообщение о гигантизме ольхи и березы, произраставших в районе ураноториевого месторождения.

Стимуляция роста растений под влиянием радиоактивных элементов - довольно частое явление. Однако обычно оно наблюдается при низких их концентрациях. Высокие дозы угнетающе действуют на растения, замедляют их рост, что продемонстрировали опыты с горохом (*Pisum sativum*). На полной питательной среде, включавшей бор и марганец, высота растений достигала 80 см. Когда в питательную среду добавлялся подвижный торий в концентрации 10⁻⁵-10⁻⁴%, растения вырастали до 110 см. При добавлении его в дозе 10⁻²% высота растений была менее 60 см.

На полуострове Мангышлак более интенсивные темпы роста растений наблюдаются на **нефтегазоносных** месторождениях, где растения усваивают некоторые специфические физиологически активные вещества, в частности нефтяные кислоты и их производные, стимулирующие рост и приводящие к настоящему гигантизму, когда растения становятся в несколько раз больше обычных. Кроме того, в области геохимического воздействия месторождений нефти и газа встречаются различные соединения бора, которые, как уже отмечалось, сами по себе могут вызывать гигантизм, и йодиды. Поскольку дифференцировать действие каждого из этих компонентов на рост растений довольно трудно, ученые предпочитают говорить о влиянии битумно-боратно-галоидного комплекса веществ, существующего в зоне нефтегазоносных месторождений.

На мысе Ракушечном полуострова Мангышлак растительный покров образован преимущественно кейреуком (*Salsola rigida*), подушковидным тасбиюргуном (*Nanophyton erinaceum*), ежовником канделябрным (*Anabasis brachiata*) и полынью белоземельной (*Artemisia terrae - albae*). Эти растения в случае произрастания на месторождениях нефти и газа хорошо заметны как своей интенсивно-зеленой окраской, так и размерами. Они в 2-3 раза выше произрастающих за пределами области геохимического воздействия. Особенно четки эти различия у полыни белоземельной. В нормальных условиях ее высота не превышает 10-20 см, тогда как на месторождении она достигает 30-60 см. Существенно отличаются растения не только высотой, но и вегетативной массой: в обычных условиях сухой вес их в пересчете на 1 га составляет 12,2 ц, а в аномальных - 29,6 ц. Помимо полыни гигантизм зафиксирован у целого ряда других растений, произрастающих на месторождениях нефти и газа: тасбиюргуна, кейреука, солянки почечконосной (*Salsola gemmascens*), курчавки колючей (*Atraphaxis spinosa*).

Биюргун, или ежовник солончаковый (*Anabasis salsa*), относится к семейству маревых. Он образует плоские лепешко- или коврижковидные куртины, возвышающиеся над почвой на 5-50 см. Ежегодно на одревесневших веточках этого растения образуются зеленые членистые побеги, опадающие в течение осени. Листья чешуевидные. В том случае, если биюргун произрастает на выходах пластов угля, где в почве содержится до 1,5% битумов, рост растений резко усиливается. Причина столь интенсивного роста объясняется тем, что в каменном угле наряду с окаменевшими остатками древних деревьев присутствует почва, на которой некогда они росли. Она-то и стимулирует рост современных растений. При обогащении угля флотационным методом на обогатительных фабриках скапливаются миллионы тонн шламов, которые представляют собой не что иное, как остатки ископаемой почвы, довольно богатой калием, фосфором и многими микроэлементами. Сотрудники Харьковского сельскохозяйственного института им. В. В. Докучаева и Украинского научно-исследовательского углехимического института доказали, что внесение таких шламов в качестве удобрений существенно влияет на плодородие почв: урожай, собранные с них, на 20-30% выше. Эти исследования объясняют, почему на залежах **каменного угля** некоторые растения достигают гигантских размеров.

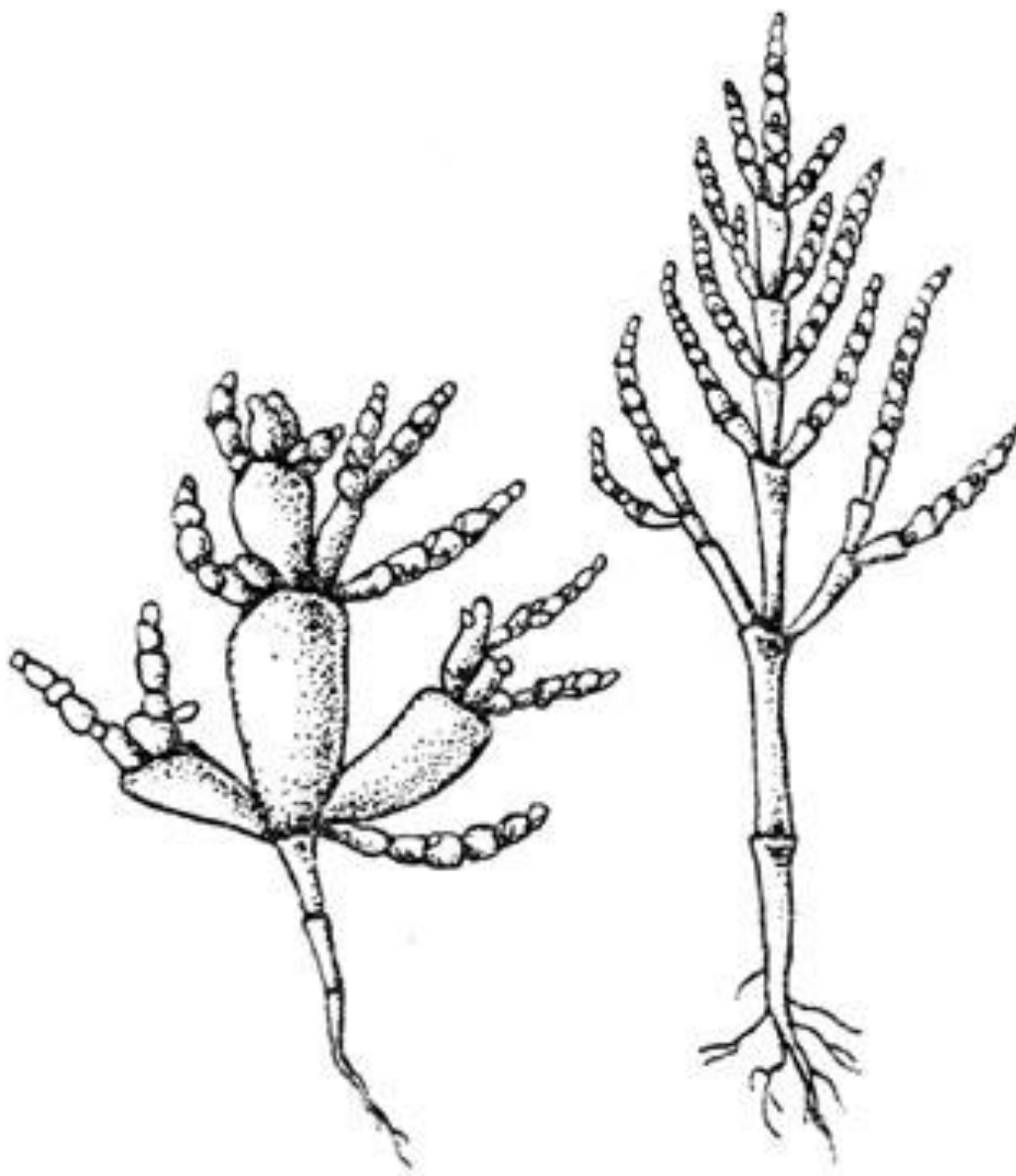
Более интенсивный рост растений позволяет обнаружить и кимберлитовые трубки, скрывающие алмазы. Порода, содержащая алмазы, более минерализована, чем окружающая ее. Обычно она включает ценные для растений элементы: фосфор (компонент апатита), калий (компонент слюды), ряд микроэлементов. Кроме того, как считают ученые, породы, содержащие алмазы, по сравнению с окружающими лучше накапливают влагу и обильнее снабжают ею растения. Неудивительно, что на кимберлитовых трубках они быстрее развиваются и выглядят лучше своих соседей, произрастающих в нормальных условиях. Например, у лиственниц на кимберлитовых трубках диаметр ствола в среднем равен 0,3 м, тогда как на вмещающей кимберлитовые тела породе - 0,15 м. Отчасти различия в диаметре стволов объясняются более продолжительной жизнью лиственниц над кимберлитовыми трубками. Их возраст достигал 550 лет, а растущие за пределами кимберлитовых тел уже в 400-летнем возрасте имели сухие вершины, поражались сердцевинной гнилью.

Более интенсивно развивается на кимберлитовых трубках и подрост ольхи. Он более высокий и плотнее сомкнут. В Центральной Якутии группировки из ольхи кустарниковой (*Alnus fruticosa*) с густым травяным покровом служат индикатором месторождений алмазов.

Для обнаружения пород, содержащих алмазы, используют аэрофотоснимки, на которых кимберлитовые трубки имеют более темный тон. Они выглядят округлыми изометрическими пятнами. Иногда от них тянутся темные шлейфы, показывающие направление сноса продуктов выветривания кимберлитовых тел.

Залежи **фосфоритов** благоприятно воздействуют на растительность. В Хибинах и пустынях Актюбинского Приаралья к залежам фосфоритов приурочена наиболее пышная растительность.

Наряду с гигантизмом всего организма у растений под влиянием некоторых элементов наблюдается гигантизм отдельных органов. Так, например, у калифорнийского мака при избытке йода развивается гигантизм цветков.



Солерос. Слева - патологическая форма на грунтах с повышенным содержанием бора, справа - нормальное растение

Приведенные примеры показывают, что довольно часто присутствие в почве некоторых полезных ископаемых приводит к хорошо заметной стимуляции роста растений. Возникающий при этом гигантизм обусловлен действием вполне определенных внешних факторов (элементов минерального питания, физиологически активных веществ и т. д.). По этой причине гигантизм растений, вызванный присутствием в почве и материнской породе некоторых химических элементов, а также залежами каменного угля, нефти, газа, алмазов и т. п., можно отнести к физиологическому типу.

Довольно часто под влиянием тех или иных химических элементов у растений наблюдается торможение роста, что внешне проявляется в карликовости всего организма или отдельных его органов. Важно отметить, что карликовость нередко вызывается теми же элементами, что и гигантизм. Различие

в действии одного и того же фактора на растения обусловлено разными концентрациями элемента и чувствительностью к нему растений.

При избытке **бора** солерос (*Salicornia*) из семейства маревых приобретает низкорослую подушкообразную форму. Карликовыми становятся и другие обитатели пустынь: полыни, кермеки, терескен, солянка натронная (*Salsola nitratia*).

Месторождения железных руд иногда угнетают древесные растения, которые становятся низкорослыми, со слаборазвитой корневой системой. Крупные месторождения железных руд в Бразилии были открыты по уменьшению высоты деревьев и ослаблению их сомкнутости.

Украшение Забайкальской степи, полынь холодная, уходит под снег еще зеленой. Едва сойдет снег, это растение быстро отрастает, и степь приобретает характерный сизо-зеленый оттенок. На избыток в почве **лития** она реагирует замедлением роста. Стебли ее искривляются, а листья мельчают и становятся сизыми.

Карликовость вызывает также избыток **радиоактивных элементов, цинка, меди и свинца**. Например, растения калифорнийского мака уменьшаются вдвое при избытке меди, а смолевка, поглотив много свинца, становится карликовой. Сравнительно высокое содержание в почве или воде урана способствует резкому замедлению роста растений, уменьшению размеров их листьев, ветвей и плодов. Аналогичную реакцию вызывает избыток тория.

Наряду с карликовостью всего организма под влиянием некоторых элементов наблюдается карликовость отдельных частей растений. На побегах нормальных деревьев возникает большое количество тонких укороченных веточек с недоразвитыми листьями - картина, напоминающая ту, которая бывает При заболевании, известном под названием ведьмины метлы.

Высокое содержание в почве **бериллия** приводит к образованию у молодых сосен вместо обычных ветвей метелковидных уродливых структур. При избытке в среде **бора** у пустынных кустарников, особенно у биюргуна (*Anabasis salsa*) и терескена (*Ceratoides*), усиленно ветвятся окончания побегов, и на них образуются мутовчатые пучки листьев. Ведьмины метлы очень часто возникают на растениях, подверженных действию **радиоактивных элементов**.

Следующая группа аномалий роста связана с возникновением деформаций обычных органов - стеблей, листьев, корней, цветков и плодов. К их числу относятся: *фасциация* - лентовидное уплощение и отчасти сращение стеблей, корней и цветоносов; *махровость* цветков, в которых тычинки превращены в лепестки; *пролификация* - прорастание цветков и соцветий, когда ось цветка сильно удлиняется и образует над ним облиственный побег; *асцидия* - воронковидные, чашевидные или трубчатые листья некоторых растений, имеющих обычные пластинчатые листья; *редукция* - обратное развитие некоторых органов; *курчавость листьев* - изменение формы листьев, связанное с искривлением, вздуванием или скручиванием листовой пластинки; *нитевидность* - приобретение листовой пластинкой нитчатой формы; *филлодий тычинок* - превращение их в плоское листовидное образование и др. Рассмотрим несколько примеров деформаций органов растений, вызванных повышенным содержанием в почве и подстилающей породе того или иного химического элемента в зоне месторождений полезных ископаемых.

Нередко в этих условиях деформируются стебли. Так, например, у бурачка (*Alyssum*) при избытке бора они утолщаются и искривляются. Недоразвитость, срастание, скручивание и искривление побегов наблюдаются в случае присутствия радиоактивных элементов.

У ежовника канделябрного, или крк-бууна (*Anabasis brachiata*), произрастающего на нефтегазоносных месторождениях, побеги становятся радиально распланными и лежат на земле. Второй - четвертый нижние членики стебля растянуты до 4 см, а нижний сильно укорочен. В сочленениях стебли имеют

растянуто-спиралевидную форму. Ветвятся они асимметрично. Канделябровидные изгибы побегов часто направлены вниз, отогнуты в сторону или даже спирально закручены. Нередко можно видеть, как один канделябровидный изгиб направлен вверх, а супротивный - вниз.

У полыни белоземельной, растущей над нефтегазоносными аномалиями, стебли начинают ветвиться сразу же от поверхности субстрата. Побеги ее искривляются у основания. Тасбиюргун в этом случае полностью утрачивает подушковидную форму. Стебли его сильно извиты и скручены. Они очень слабо олиственны и простираются не по кругу, а в секторе с углом не более 90!

Довольно часто с месторождениями полезных ископаемых бывают связаны деформации листьев. Так, при избытке алюминия и на урановых месторождениях листья у растений скручиваются.

У ежовника канделябрного, обитающего на нефтегазоносных аномалиях, корни нередко становятся плоскими.

Под влиянием химических элементов существенно изменяется и строение цветков. Сильная их редукция отмечена у прострела раскрытого (*Pulsatilla patens*), когда в почве избыток никеля. Семена при этом не образуются. У грудницы мохнатой (*Linosyris villosa*) при высокой концентрации никеля нарушается нормальная ориентация цветков: они не образуют головчатого соцветия, а располагаются вдоль стебля. Обычно цветки недоразвиты и не дают семян. У мака (*Papaver macrostomum*) при повышенных дозах цинка цветки становятся махровыми, а у ярутки альпийской (*Thlaspi alpina*) появляются очень крупные лепестки. У штокрозы (*Alcea*) из семейства мальвовых на почвах со значительно повышенным содержанием меди образуются цветки с ненормально рассеченными лепестками.

Следует упомянуть и об аномалиях плодов. У голубики обилие урана в почве приводит к формированию плодов неправильной формы. Недоразвитость плодов у некоторых горных кустарников вызывает избыток тория.

Третью группу аномалий роста составляют так называемые *новообразования*, т. е. структуры, заново возникающие у растений под действием того или иного химического элемента, не свойственные растениям в нормальных условиях существования. С физиологической точки зрения эти новообразования не изучены, и пока неясно, к какой группе (автономных или неавтономных опухолей) их следует отнести. По всей вероятности, новообразования, возникающие на растениях под влиянием избыточного содержания элементов в почве или подстилающей породе, представляют собой неавтономные опухоли. Это означает, что их ткани на искусственной питательной среде без веществ типа фитогормонов расти не будут. Впрочем, это предположение в каждом конкретном случае надо проверять экспериментом.

У кустарника караганы (*Saragana*) вблизи выходов кобальтовых руд на стеблях и ветвях возникают линзо- и бочкообразные утолщения, в которых содержание кобальта в 3-10 раз больше, чем в ветвях тех же стеблей без наростов. Патологические формы караганы занимают большие площади. Шаро- и линзообразные наросты возникают при избытке кобальта у лиственниц и берез. Эти новообразования хорошо заметны и легко обнаруживаются не только летом, но и зимой. Они помогли открыть залежи кобальтовых руд в Центральной Туве.



Патологические формы караганы, вызванные избытком кобальта

Многие растения в районах аномалий бора накапливают в своих тканях повышенные количества этого элемента. Среди них полынь душистая (*Artemisia fragrans*). Когда содержание бора достигает 0,6-1,4%, на молодых побегах этого растения возникают шарообразные утолщения. Патологические вздутия укороченных побегов отмечены также у солянок.

Опухолевидные утолщения возникают на корнях ежовника канделябрного (*Anabasis brachiata*), произрастающего на нефтегазоносных месторождениях. У полыни белоземельной в этих условиях резко усиливается процесс галлообразования. На каждом растении можно насчитать по 20-40 плотных клубочков диаметром около 1 см. За пределами месторождений случаи галлообразования у полыни очень редки.

Наряду с аномалиями роста под влиянием избытка химических элементов могут наблюдаться отклонения в характере развития растений. Многие читатели полагают, что рост и развитие растений одно или почти одно и то же. На самом деле это не так. Рост предполагает необратимое увеличение размеров растений, сопровождаемое новообразованием элементов структуры (органов, тканей, клеток и клеточных органоидов). Развитие - качественные изменения растительного организма - от возникновения из оплодотворенной яйцеклетки до естественной смерти. Один из наиболее ярких показателей развития растений - их переход к цветению. Общепринято считать, что переход к цветению определяется в основном действием двух факторов внешней среды: продолжительностью светового дня и температурой. Оказалось, что избыток некоторых химических элементов в почве и материнской породе также сказывается на характере цветения растений, т. е. влияет на процесс их развития.

Действительно, в целом ряде случаев нарушаются сроки наступления фаз развития. Так, например, конские бобы (*Vicia faba*), растущие на почве с повышенным содержанием меди или цинка, зацветают позже тех, которые возделываются в обычных условиях. Или другой пример: на почвах, обогащенных нефтяными битумами, ромашка пиретрум тысячелистная (*Pyrethrum achilleifolium*) и карагана крупноцветковая (*Caragana grandiflora*) цветут 2 раза в год.

Известны случаи, когда на листовницах при избытке кобальта шишки появлялись 2-3 раза за летний сезон.

Таковы основные аномалии роста и развития, возникающие у растений под влиянием различных химических элементов, в избытке содержащихся в почве и подстилающих породах. Зеленые уродцы успешно помогают геологам в их нелегкой поисковой работе. Так, например, с помощью патологических форм сон-травы были обнаружены залежи никелевых руд на Урале.

О чем поведала окраска растений

Под влиянием избытка некоторых элементов в природной среде изменяется окраска листьев, цветков, плодов и других органов растений.

Наиболее часто при избытке того или иного элемента возникает явление хлороза - утрата зеленой окраски, сопровождаемая пожелтением, а иногда даже побелением листьев. Пожелтение может быть сплошным или мозаичным. В основе его лежит более интенсивное разрушение хлорофилла, вызванное активизацией ферментных систем дегградации зеленого пигмента, высвобождением хлорофилла из связанного состояния. Вместе с тем в ряде случаев пожелтение вызывается торможением синтеза хлорофилла. Когда же листья белеют, то разрушается не только хлорофилл, но и желтые пигменты - каротиноиды.

К возникновению на листьях белых пятен ведет, например, избыток в почве **алюминия**. В Фергане у полыней, произрастающих на почвах, содержащих много **железа**, листья первоначально становятся интенсивно-зелеными, а затем резко изменяют свою окраску на ярко-желтую. Значительная концентрация в почве **лития** делает листья цитрусовых пятнистыми. Зеленая окраска листьев ананаса и калифорнийского мака на почвах с повышенным содержанием **марганца** блекнет. Хлороз листьев может развиваться вследствие обилия в почве **меди**.

Избыток подвижного **циркония** приводит к омертвлению тканей листьев. При этом между отмершими участками могут сохраняться зеленые зоны. Хлороз, вызванный перенасыщением **цинка**, распространяется от верхушки листа к основанию.

В некоторых случаях листья приобретают не желтую, а иную окраску. Так, например, почернение хвои сосны в ряде случаев может указывать на повышенное содержание в почвах и подстилающих породах **платины**. Характерные изменения наблюдаются у смолевки, поглотившей много **свинца**. Ее листья и стебли становятся темно-красными. При избытке **меди** стебли иногда приобретают багровый оттенок.

А теперь поинтересуемся, как изменяется окраска цветков в результате насыщения тем или иным химическим элементом. Здесь тоже немало интересного. Под влиянием железа цветки некоторых растений окрашиваются в голубые тона. Так, например, розовые цветки гортензий становятся голубыми. В окраске цветков некоторых видов под воздействием **йода** начинают преобладать желто-красные тона. В случае увеличения в почве **марганца** цветки ряда растений приобретают несвойственную им в обычных условиях розовато-красную гамму, а гвоздики и астры - темно-пурпуровую. Некоторые растения изменяют окраску цветков под воздействием **меди**. Так, лепестки роз из розовых и желтых превращаются в голубые или даже черные, а калифорнийского мака - в синевато-сизые. Присутствие в почве высоких доз **никеля** приводит к тому, что у сон-травы, растущей на Южном Урале, околоцветник вместо фиолетового становится белым.

Колючее подушковидное растение из семейства гвоздичных, произрастающее в Южном Казахстане и в республиках Средней Азии, - колючелистник качимовидный (*Acanthophyllum gypsophiloides*) на почвах, богатых **серой**, изменяет розовую окраску цветков на белую.

В ореоле рассеяния **урановых месторождений** лепестки кипрея узколистного, или иван-чая (*Chamaenerium angustifolium*), вместо розовых становятся белыми или ярко-пурпуровыми.

Иногда изменяется и окраска плодов. Так, например, у голубики обилие в почве урана приводит к формированию не темно-синих, а белых или зеленоватых плодов. Можно предположить, что это вызвано нарушением синтеза пигментов антоциановой природы в плодах.

Однажды в Восточной Сибири геологи обратили внимание на необычную окраску древесины берез и осин - она была неестественно зеленого цвета. Когда сделали химический анализ ее золы, то в ней оказалось много **бария** и **стронция**.

У лиственницы при избытке **кобальта** разные поколения шишек, а их, как отмечалось, бывает 2-3 за летний сезон, окрашены по-разному. В апреле возникают шишки белого цвета, которые после засыхания сменяются шишками розового цвета. В июне розовые шишки засыхают и опадают, а вместо них появляются желтые. Наконец, в июле вырастают зеленые шишки, но постепенно они становятся зелено-бурыми или даже бурыми. Ученые проследили за изменением содержания кобальта в шишках разного возраста и установили, что в белых, розовых и желтых шишках содержится в 2 раза больше кобальта, чем в зеленых. В буреющих шишках этот элемент снова начинает накапливаться.

Изменение окраски листьев, цветков, плодов и других органов растений - довольно существенный признак, облегчающий геологам поиск полезных ископаемых. Пользуются им издавна. В средние века советовал присматриваться к окраске листвы, ветвей и древесины немецкий специалист в области горного дела и металлургии Георг Агрикола (1494-1555). Этим признаком руководствуются геологи и в настоящее время, только теперь улавливать цветовые изменения у растений предпочитают не на глазок, а с помощью приборов. В частности, снимают спектры отражения. Особенно большие различия фиксируются в инфракрасной области спектра. В зависимости от поставленной задачи спектрометрирование может производиться как с земли, так и с воздуха.

В геохимической лаборатории

В целом ряде случаев у растений при избыточном содержании того или иного элемента не наблюдается каких-либо морфологических изменений. Казалось бы, такие растения не могут служить индикаторами полезных ископаемых. Однако ученые обратили внимание на то, что некоторые из них накапливают в своих тканях значительные количества химических элементов. Так, например, при высоких концентрациях молибдена в почвах он в еще больших (иногда в 300 раз!) количествах накапливается в надземных частях некоторых растений (астрагалы, донник лекарственный). Концентрация стронция или бария в листе ивы или березы в 30-40 раз выше, чем в почве. Большие количества марганца и ниобия могут накапливаться в хвое лиственницы и листьях багульника. Много тория откладывается в листьях осины, черемухи и пихты.

Изучение химического состава растений, особенно их золы, - один из основных приемов биогеохимического метода поиска полезных ископаемых. Теоретической основой этого метода служит учение академиков В. И. Вернадского и А. П. Виноградова об ореолах рассеяния химических элементов. Согласно этому учению, на месторождении какого-либо минерала наблюдается зона повышенной концентрации входящего в его состав элемента, или ореол рассеяния. Обитающие здесь растения по-разному реагируют на этот элемент. Одни растения накапливают (концентрируют) его в своих тканях, другие не накапливают. В качестве индикатора полезных ископаемых могут быть использованы только те растения, которые беспрепятственно накапливают химические элементы. Однако следует иметь в виду, что есть такие элементы, как, например, цинк, которые интенсивно поглощаются всеми растениями.

При выборе индикаторов необходимо также учитывать избирательную способность растений по отношению к тем или иным элементам, поскольку благодаря ей растения могут содержать чрезвычайно высокие концентрации какого-либо элемента даже в том случае, если в подстилающей породе нет никакого месторождения. К каким серьезным просчетам может привести игнорирование этого свойства, хорошо иллюстрирует изучение химического состава водоросли валонии (*Valonia*). Она содержит натрия в 5-6 раз меньше, а калия - в 44 раза больше, чем в окружающей морской воде. Если судить только по соотношению элементов в тканях водоросли, то может показаться, что в морской воде преобладают ионы калия. Однако одинаково заряженные ионы этих элементов незначительно отличаются по массе, просто растительные клетки охотно поглощают из растворов ионы калия и "равнодушны" к ионам натрия.

Способность к избирательному поглощению веществ приводит к тому, что некоторые растения становятся буквально вместилищами химических элементов, и об этом мы поговорим несколько позже. Сейчас для нас важно показать, что избыточное накопление некоторых элементов в растительных клетках еще не означает высокого содержания их в почве и подстилающей породе. Так, литий накапливается в растениях не только над рудоносными зонами, но и за их пределами. В свекле нередко можно найти таллий. Между тем в почвах, на которых растет свекла, его часто не удается обнаружить даже с помощью самых современных методов анализа. Советский исследователь В. В. Ковальский назвал такие растения типичными (привычными) концентраторами. В отличие от них непривычные концентраторы обычно накапливают искомый элемент лишь в случае его избыточного содержания в почве или материнской породе. Именно такие растения и представляют наибольшую ценность как индикаторы. С их помощью были открыты месторождения хрома, цинка, меди, вольфрама, серы и некоторых других элементов.

Есть растения, не накапливающие в своих тканях некоторые химические элементы даже в том случае, если они содержатся в почве в повышенных дозах. Физиологические причины этого явления не совсем ясны. Возможно, цитоплазматические мембраны этих растений изначально были лишены специфических белковых молекул - переносчиков ионов некоторых элементов, так как последние не участвовали в обмене веществ. Вместе с тем растения в ходе эволюции могли утратить способность к избирательному накоплению какого-то элемента из-за его токсичности. Наконец, можно предположить,

что в растениях в ходе эволюции возникли специфические механизмы - барьеры, - препятствующие поступлению в клетки некоторых элементов. В настоящее время установлено наличие барьеров по отношению к 34 химическим элементам, в том числе к урану.

Злаки содержат одинаковое количество бора как на почвах, богатых этим элементом, так и на почвах с низким его содержанием. Аналогична реакция злаков на молибден, никель и кобальт. Не концентрируют молибден почти все деревья и кустарники средней полосы. Растения, не накапливающие в своих тканях определенных химических элементов, не могут быть использованы в качестве индикаторов месторождений, содержащих эти элементы.

Биогеохимический метод поиска полезных ископаемых возник в нашей стране в 20-х годах, когда С. П. Александров установил, что содержание урана и ванадия в растениях, обитающих на некоторых рудных месторождениях, зависит от концентрации этих элементов в подстилающих породах. Позднее эта закономерность была установлена по отношению ко многим элементам. Постепенно накапливалось все больше и больше фактов, свидетельствующих о возможности широкого использования результатов химического анализа растений для поиска полезных ископаемых. Начиная с 50-х годов биогеохимический метод стал интенсивно применяться в производственных масштабах.

Почему геологи иногда предпочитают ориентироваться на растения, а не на почву? Дело в том, что в некоторых случаях повышенная концентрация искомого элемента наблюдается не в верхних слоях субстрата, а несколькими метрами глубже. Корневая система растений позволяет им поглощать и накапливать в тканях этот элемент.

Растения предпочтительнее почв и в том случае, когда поиск полезных ископаемых ведется в заболоченных местностях, где отбор почвенных образцов затруднен.

Геологов интересует химический состав не только живых растений, но и опада - опавших листьев, веток, коры. Особый интерес представляет химический анализ золы торфа. Торфометрия позволяет определить химический состав различных слоев торфа.

Сосна может оказаться полезной в поиске **бериллиевых руд**. В ее коре концентрация бериллия в 300 раз превышает местные фоновые показатели этого элемента. Береза и лиственница также накапливают бериллий, но приблизительно в 10 раз меньше, чем сосна. Среднее содержание этого элемента в биомассе составляет $3 \cdot 10^{-5}\%$. Наиболее богаты им листья и семена.

Там, где почвы и подстилающие породы обогащены бериллием, большинство растений, накапливая его, способствуют перемещению из глубин в почвенный слой. Исследуя химический состав их, нетрудно выявить ореолы рассеяния этого элемента, залежи бериллиевых руд.

Четких и контрастных аномалий **бора** в почвах не обнаружено, поэтому особенно интересно содержание его в растениях. Оказалось, что с помощью спектрального анализа нетрудно выявить и четко оконтурить площади борных аномалий. Дело в том, что растения накапливают бора в 20-30 раз больше, чем почвы. Лишь злаки обладают механизмом, ограничивающим поступление этого элемента. Бор содержится во всех органах, однако наиболее высокие его концентрации обнаружены в листьях и цветках.

В качестве индикаторов борных аномалий следует использовать непривычные концентраторы этого элемента. Видов, относящихся к привычным концентраторам бора, не так много, большинство растений относится к непривычным его концентраторам.

Поступление бора в растения зависит от фазы их развития. В отдельные фазы количество его в тканях платана возрастает семикратно. Это обстоятельство следует учитывать при биогеохимическом методе обнаружения аномалий бора.

Необходимо иметь в виду, что содержание бора в тканях растений зависит от глубины проникновения в субстрат корневой системы. Чем глубже корни вра-1Г стают в субстрат, тем больше этого элемента накапливают растения. Так, например, поверхностная корневая система солянки эрикоидной (*Salsola ericoides*) обеспечивает накопление всего 0,042% оксида бора, тогда как корневая система полыни душистой (*Artemisia fragrans*), достигающая длины 2-3 м, - 0,129%. В астрагале золотистом (*Astragalus aureus*), корневая система которого равна 3 -5 м, накапливается 0,386% оксида бора. В связи с тем что фреатофиты имеют исключительно мощную корневую систему, достигающую уровня грунтовых вод, они содержат очень много бора, особенно если приурочены к месторождению. Поэтому при поиске борных аномалий с помощью биогеохимического метода необходимо принимать во внимание глубину проникновения корневой системы растения.

Альтернантера сидячая (*Alternanthera sessilis*) - однолетнее растение, встречающееся в нашей стране по сырым местам и известное в Закавказье как сорняк рисовых полей, накапливает в своих тканях **ванадий**. Этот элемент обнаружен во многих растениях. Повышенные концентрации его наблюдаются в золе растений, обитающих на месторождениях ванадиевых руд. Он концентрируется главным образом в корнях.

Белоствольные красавицы березы оказались перспективными индикаторами месторождений **золота**. Этот элемент отличается низкой реакционной способностью. И тем не менее он все же растворяется. Ничтожные его концентрации всегда содержатся в морской воде. Когда грунтовые воды профильтровываются через золотоносные слои, золото растворяется, и концентрация его увеличивается настолько, что геологи, проведя химические анализы, могут довольно точно судить о наличии месторождений ценного металла. Трудность, однако, заключается в том, что подземные воды отнюдь не везде выходят на поверхность. Бурение скважин - дело дорогостоящее. Между тем березы в период сокодвижения поглощают корнями большое количество грунтовых вод. И если они содержат золото, этот элемент оказывается в березовом соке. Остается во время сокодвижения взять в разных местах пробы березового сока и отправить их в лабораторию.

Для определения содержания золота сок имеет ряд преимуществ по сравнению с золой. Во-первых, при анализе сока не требуется вводить поправки на время сбора образцов. Ведь сокодвижение у берез наблюдается в течение довольно ограниченного времени, обычно в конце марта - в апреле. Начинается и заканчивается оно практически в одно и то же время на значительной территории. Во-вторых, березовые леса широко распространены в нашей стране, что представляет большое удобство для получения сравнимых результатов. В-третьих, сбор проб сока и их обработка очень несложны. Исследователи обычно отбирают березы с диаметром ствола 20-30 см. Ствол сверлят на глубину 8-10 см. В отверстие вставляется полиэтиленовая трубка, по которой сок стекает в полиэтиленовый сокоприемник. Чтобы предотвратить брожение сахаристых веществ, содержащихся в соке, пробы подкисляют свежеприготовленной царской водкой из расчета 25 мл на 1 л сока. В-четвертых, сок представляет собой природный раствор, в котором содержание металлов определяется физико-химическими методами без всякой предварительной подготовки. В то же время для анализа золы необходимо сначала ее получить, а для этого надо сжечь растительный материал, затем перевести находящиеся в золе металлы в растворимую форму, удобную для анализа. Этот метод поиска золота проверялся на одном из коренных золоторудных месторождений в Западном Забайкалье. Полученные результаты подтвердили возможность его использования на практике.

Установлено, что в золе некоторых растений пустынь золота содержится в 40 - 150 раз больше, чем в почве. В полыни, произрастающей на месторождении, количество золота колеблется от 4,7 до 85 г на 1 т золы, тогда как в полыни, обитающей за пределами месторождения, оно не превышает 4-5 г на 1 т. Накапливают золото также хвощ полевой (*Equisetum arvense*), представители рода зайцегуб (*Lagochilus*) - растения из семейства губоцветных, нередко встречающиеся в горных районах Средней Азии, овсяница красная (*Festuca rubra*), кукуруза, дуб, а в Австралии - жимолость. В растениях овсяницы красной может содержаться 95,05 мг золота на 1 т растительного материала. Особенно богаты этим

элементом семени. Среднее содержание золота в растениях со свинцово-серебряных копей - 1,71 мг на 1 т, а с золотых приисков - в 2 раза больше и составляет 3,42 мг на 1 т.



Растение, концентрирующее золото (хвощ полевой)

В настоящее время все большее внимание привлекает возможность добычи ценных полезных ископаемых, в том числе и золота, с морского дна. Обнаружить имеющиеся на дне морских и материковых водоемов золотые россыпи можно с помощью бентоса - организмов, обитающих на грунте и в грунте дна. В частности, для выявления золотоносных песков могут быть использованы донные водоросли.

Исследования показали, что в бурых и красных водорослях, произрастающих на золотоносных мелкозернистых глинистых песках, искомого металла содержится в 6-7 раз больше, чем в водорослях, обитающих на незолотоносных мелкозернистых глинистых песках. Благодаря этому морские водоросли могут быть использованы для картографирования площадей, перспективных на рассыпное золото. Этот метод ценен тем, что сбор водорослей с морского дна не представляет особых трудностей.

Известно, что бурачок двусемянный является индикатором **кобальтовых руд**. Ученые исследовали накопление европейскими видами бурачка кобальта и **никеля**. Оказалось, что 14 видов из 64 - гипераккумуляторы никеля. Они способны накапливать более 1000 мкг этого элемента на 1 г сухого вещества. Обычно в растениях содержится не более 1 мкг никеля на 1 г сухого вещества. Между тем у некоторых видов бурачка (*Alyssum bertolonii*, *A. corsicum*, *A. heldreichii*, *A. markgratii*, *A. robertianum*) содержание никеля превышало 10 тыс. мкг на 1 г сухого вещества, т. е. составляло 1 %. Кобальта у гипераккумуляторов было в несколько сот раз меньше, чем никеля, в то время как отношение никель/кобальт в породах обычно составляет 10/1. Это обстоятельство, по мнению исследователей, указывает на избирательную способность бурачков накапливать никель. Физиологические механизмы избирательности пока не ясны.

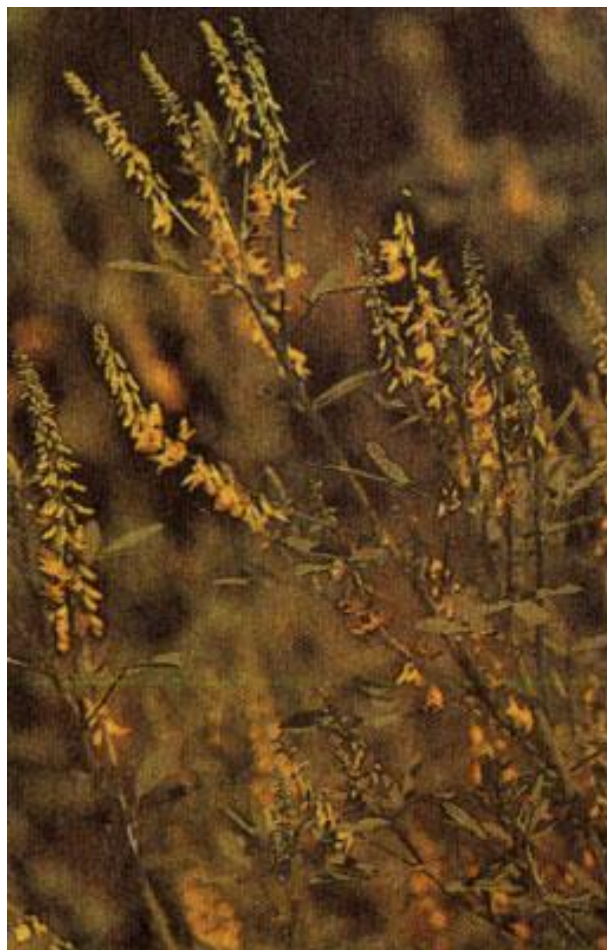
Никель обнаружен отнюдь не только в бурачках, но и во многих других растениях. Обычно он концентрируется в древесине стеблей и листьях. На месторождениях его особенно много в растениях. А

вот хибантус флорибундус, обитающий в Западной и Южной Австралии, накапливает огромное количество никеля (23% в золе листьев!) даже на почвах, бедных никелем.

Содержание **лития** в почвах невелико, всего $3 \cdot 10^{-3}\%$. Обычно в растительных тканях концентрация этого элемента на один-два порядка меньше, следовательно, в растениях есть барьеры, препятствующие поступлению лития внутрь клеток. По-видимому, это защитная реакция - в высоких концентрациях элемент токсичен для растений. Однако некоторые виды, относящиеся к так называемой литиевой флоре, накапливают его в довольно значительных количествах. Так, например, в лабазнике вязолистном (*Filipendula ulmaria*) и осине (*Populus tremula*) может содержаться лития до 0,1 %. Очень активно поглощает этот элемент табак (*Nicotiana tabacum*). Он накапливает литий независимо от его содержания в почве, поэтому относится к числу привычных концентраторов, непригодных для индикации. Литий концентрируется главным образом в листьях и хвое растений.

Медь содержится во всех растениях, поскольку это жизненно важный микроэлемент. Особенно много ее накапливается в тканях организмов на месторождениях. Повышенное содержание меди наблюдается в корнях, ветвях и листьях. В некоторых растениях она присутствует в чистом виде. Так, в каждом килограмме древесины американского дуба крупноплодного (*Quercus macrocarpa*) обнаружено 200 мг металлической меди. Масло камфорного дерева дриобаланопса (*Dryobalanops aromatica*), используемого для получения ценного лекарственного средства - камфоры, из-за большого количества меди имеет зеленоватый цвет.

Концентраторы **молибдена** - растения из семейства бобовых - астрагалы, донник лекарственный. Особенно много этого элемента содержится в семенах и листьях. В надземных частях растений молибдена может быть в 300 раз больше, чем в почве. По этой причине ореолы рассеяния его легче выявить с помощью растений, а не почвенных образцов.



Растения, концентрирующее молибден (донник лекарственный)

Изучение закономерностей поглощения **урана** и **радия** позволило установить, что растения по-разному накапливают эти элементы. Несмотря на то, что в почве может быть много урана, растения обычно не накапливают его в своих тканях - сказываются барьеры, ограничивающие его поступление в клетки. В то же время по отношению к радию таких барьеров нет. Этот элемент концентрируется в основном в молодых частях растений, в том числе в листьях и цветках, но у некоторых видов - в корнях. А вот уран, если он и накапливается, то чаще в древесине и корнях.

Оказалось, что, чем древнее по своему происхождению растения, тем большей способностью к накоплению радиоактивного вещества они обладают. Например, у папоротников радиоактивность ниже, чем у лишайников. Еще более низкую радиоактивность имеют голосеменные растения и совсем незначительную - цветковые. Можно предположить, что в ходе эволюции растения выработали приспособления для уменьшения накопления в своих тканях радиоактивных элементов, которые в целом ряде случаев, особенно при высоком содержании, могут вызывать неблагоприятные изменения в виде опухолей, нежелательных мутаций и т. д. Культурные растения - сахарная свекла, пшеница - по сравнению со своими дикими предками содержат меньше радиоактивных элементов.

С помощью биогеохимического метода можно обнаружить месторождения **свинца**. Установлено, что концентрация этого элемента в растениях на мелкоземистых склонах Алмалыкского рудного района в 3-5-10 раз выше средней для наземных растений. Особенно много свинца аккумулируют таволга зверобоелистная, вишня тянь-шаньская, боярышник туркестанский и жимолость монетолистная. Среднее содержание этого элемента в полыни тянь-шаньской (*Artemisia tianschanica*) на месторождении в 1,6 раза выше, чем в той же полыни, выросшей на аналогичной почве за пределами месторождения. Если исключить районы антропогенного загрязнения окружающей среды свинцом, то будет видно, что содержание его в растениях и почвах увеличивается только в тех районах, где встречаются руды этого металла.

У одних растений накопление этого элемента зависит от фазы их развития. Так, в золе василька раскидистого (*Centaurea diffusa*), растущего над рудным телом, от стадии бутонизации до стадии образования семян количество свинца возрастает в 2 раза. У других, например у зопника Регеля (*Phlomis regelii*), накопление свинца не связано с фазами развития.

Как уже отмечалось, прямыми индикаторами **селеносодержащих** пород являются астрагалы, которые накапливают в своих тканях до 1,5% селена. Вообще этот элемент находят во многих растениях семейства бобовых (нептуния, акация), крестоцветных, мареновых, сложноцветных. В растениях-концентраторах обнаружены различные селеноорганические соединения - главным образом селеновые аналоги серосодержащих аминокислот. Особенно много селена бывает в тканях растений на месторождениях этого элемента, где формируются характерные фитоценозы, включающие астру (*Aster venustus*) (Колорадо, США).

Что касается **цинка**, то его содержание в растениях Алмалыкского рудного района в 3-5-10 раз выше среднего для наземной растительности. Количество цинка в полыни тянь-шаньской (*Artemisia tianschanica*) на рудных месторождениях было в 2-3 раза выше, чем в растениях того же вида на аналогичных по составу породах, но вне месторождений.

Если сравнить концентрации цинка в почве и в растениях, в последних она на порядок выше. Поглощение этого элемента растениями зависит от формы, в которой он находится в почве. В карбонатных почвах он присутствует в малоподвижной форме. При наличии значительного количества ионов железа цинк поглощается растениями более интенсивно.

Малоподвижный в биосфере **цирконий** присутствует в растениях обычно в незначительных количествах. Накопителями его являются в основном древесные виды - лиственница Сукачева, береза бородавчатая. Из травянистых растений в повышенных количествах этот элемент обнаруживается в вейнике тростниковидном и еже сборной.

Добытчики ценных элементов

О присутствии металлов в растениях известно с XVI в., на что указывают работы шведского химика У. Иерне, который писал об этом в начале XVIII в., ссылаясь на труды своих предшественников. В настоящее время стало известно о способности растений накапливать многие химические элементы. Это обстоятельство позволяет использовать растения для получения нужных человеку металлов и их соединений. Так, например, зола плауна булавовидного (*Lycopodium clavatum*) содержит 52% окиси алюминия, что дает основание для применения ее в качестве протравы при крашении. Поразительно высокое содержание глинозема (до 79,6%) было обнаружено в золе древесины шелковистого дуба, произрастающего в Австралии.

Давно известна способность морских водорослей накапливать йод. В тонне некоторых бурых водорослей содержится несколько килограммов чистого йода. До 30-х годов в Японии из них ежегодно добывалось около 100 т йода. В отдельные годы добыча доходила до 250 т. В настоящее время производство йода из морских водорослей сократилось, так как появились другие, более рентабельные способы его получения. В нашей стране сырьем для промышленного производства йода служат нефтяные буровые воды, в которых содержится 20-40 мг/л йодитов. Однако есть еще страны, где йод по-прежнему получают из морских водорослей.

Сравнительно недавно стало известно, что некоторые морские водоросли служат местами концентрации ценных химических элементов. В водоросли фукус титана в 10 тыс. раз больше, чем в морской воде.

Большой интерес представляет добыча из растений ценных редких металлов. В настоящее время такой способ их получения технически реален и в ряде случаев экономически оправдан. В связи с дефицитом энергоресурсов ученые разных стран активно ищут новые источники энергии. Большое значение в удовлетворении энергетического голода придается атомной энергетике. Однако запасы урана в земле не превышают 1,0-2,9 млн т. В то же время в морях и океанах этого элемента значительно больше. Как извлечь его из морской воды?

Ученые считают, что в этом деле большую помощь могут оказать микроорганизмы, населяющие моря и океаны (бактерии, одноклеточные водоросли и т. п.). Путем отбора нужных форм предполагается создать такие штаммы этих организмов, которые способны накапливать уран в количествах, в несколько тысяч раз превышающих концентрации его в морской воде. Собирают уран намереваются с помощью погруженных в морские течения специальных мелкоячеистых сеток, наполненных микроорганизмами. Аналогичным способом намечается получать из морской воды золото, платину и другие ценные металлы.

Если добыча редких элементов из воды находится в стадии гипотетических построений, то некоторые наземные растения уже сейчас служат этой цели.

Германий - один из наиболее ценных материалов в современной радиоэлектронной промышленности. Он используется для изготовления диодов, триодов, кристаллических детекторов и силовых выпрямителей, применяется в дозиметрических приборах и в приборах, измеряющих напряженность магнитного поля. Минералы германия встречаются чрезвычайно редко. По этой причине его получают преимущественно из побочных продуктов переработки руд цветных металлов.

Существуют растения, которые при сжигании дают золу, богатую этим элементом. Она-то и используется для его извлечения.

Другой ценный и дефицитный элемент - **селен**. Он используется в производстве рубиновых стекол, нержавеющей стали, для вулканизации резины, применяется в фотоэлементах, телевидении, различных сигнальных приборах и т. д. В США, в местности, называемой "Долиной духов", этот элемент получают

из растений. С этой целью там выращивают травы, которые на почве, богатой селеном, накапливают его в своих тканях. Затем траву скашивают, высушивают и сжигают, а из золы извлекают ценный элемент.

Золото, как известно, чрезвычайно плохо растворяется в воде, поэтому большой интерес представляют бактерии, которые осуществляют выщелачивание его из руд, т. е. переводят в растворимое состояние. В Институте микробиологии АН СССР разработан метод добычи ценного металла, основанный на использовании культур бактерий-золотодобытчиков. Для этого при помощи подземных взрывов разрыхляют породу, содержащую золото, и нагнетают в нее воду с бактериями. Через некоторое время воду откачивают, а вместе с ней и золото, добытое микроорганизмами. В 1 л такой воды может быть до 10 мг ценного металла. Ученые предполагают путем селекции создать такие штаммы микроорганизмов, использование которых повысит содержание золота в воде до 35 мг/л. Итак, растения не только подсказывают человеку, где залегают те или иные полезные ископаемые, они могут еще быть и добытчиками ценных химических элементов.

Где рыть колодец?

Вода! У тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя не опишешь, тобой наслаждаешься, не понимая, что ты такое. Ты не просто необходима для жизни, ты и есть жизнь... Ты - величайшее в мире богатство... Ты - божество, которое так легко спугнуть...

Антуан де Сент-Экзюпери

С глубокой древности почитались на Руси колодезные дела мастера, которые чинили старые и рыли новые колодцы. Пользуясь приметам, передававшимися из поколения в поколение, они могли отыскать такое место, где вырытый колодец быстро заполнялся чистой, вкусной водой.

К рытью колодцев на Руси приступали в определенный день, а именно в день Федора Стратилата, или Федора Колодезника. На этот счет существовала даже особая поговорка:

"На Федора Стратилата колодцы рой".

Этот день - профессиональный праздник колодезников - приходился на 21 июня по старому стилю. Срок выбран не случайно. Люди знали, что в это время бывали особенно обильные росы, их-то и использовали в качестве индикатора глубины залегания грунтовых вод. В народе говорили:

"На водяных жилах - обильные росы".

И это действительно так. Ведь неглубоко расположенные грунтовые воды вызывают охлаждение находящихся над ними предметов: почвы, камней, растений. Неудивительно, что на них особенно много конденсируется из воздуха влаги.

Искатели грунтовых вод поступали следующим образом. В ночь на Федора Стратилата в нескольких местах предполагаемого расположения колодца ставили до утра плошки или сковороды. Перед восходом солнца их внимательно осматривали: чем сильнее запотела сковорода, тем ближе к поверхности многоводная жила. Мало на сковороде влаги - грунтовая вода глубоко или ее мало. Сухая сковорода - воды поблизости нет.

А вот способ нахождения грунтовых вод, описанный в византийской сельскохозяйственной энциклопедии "Геопоники":

"В любом месте вырой яму глубиной в три локтя, приготовь полукруглый свинцовый кувшин или горшок. С закатом солнца смажь такой сосуд оливковым маслом; затем, взяв горсть вымытой, сухой и чистой шерсти, завяжи в середине шерсти маленький камешек и приклей шерсть воском к доньшку сосуда, чтобы она не выпала. Затем переверни кувшин над ямой, следя, чтобы при наклоне шерсть свисала до середины сосуда. Затем прикрой сосуд кругом на высоту в локоть и оставь его на ночь. Наутро, еще до восхода солнца, убери все, что наложено, и переверни кувшин. Если в этом месте имеется вода, то в горшке ты найдешь капли воды, и шерсть будет ею целиком пропитана. Если влажность велика настолько, что кувшин окажется покрытым капельками, то это значит, что вода близко. Если же кувшин будет просто сыроват, то это значит, что вода есть, но глубоко. Если же не окажется ни одного из этих признаков, то нужно сделать то же самое в ряде мест в расчете попасть на места, сулящие воду".

Как видим, несмотря на некоторые отличия, касающиеся деталей методики, принцип определения глубины залегания грунтовых вод, использовавшийся древнегреческими селянами и русскими крестьянами, был одинаковым.

Во все времена народы разных стран при поиске подземных вод придавали большое значение растениям. На Руси, например, говаривали:

"Зелена трава - недалече вода".

То же самое отмечалось в "Геопониках": "Чем обильнее, гуще, зеленее и цветистее растительность, тем больше там воды".

Русские крестьяне присматривались к дикорастущей смородине: если она сильно разрослась на, казалось бы, сухом месте, можно быть уверенным, что здесь близко к поверхности располагаются грунтовые воды. Присматриваться к диким садовым растениям советует и древнегреческая сельскохозяйственная энциклопедия: "Если вообще здесь произрастают в диком виде садовые растения, причем они свежи, крупны и густорослы, это служит признаком, что их питает вода, находящаяся в почве. Следует поэтому, положившись на эти признаки, и приступить к рытью колодца, отступя, если местность поката вниз, от того места, где обнаружены перечисленные признаки. Там ты перехватишь источник, стремящийся сверху".

Издавна в качестве указателя водных источников использовалась на Руси верба. Про нее говорили:

"Где вода, там и верба; где верба, там и вода".

Верба, или краснотал (*Salix acutifolia*), - небольшое дерево, достигающее 10 -12-метровой высоты, или кустарник с тонкими и гибкими, словно лакированными веточками, покрытыми красно-бурой корой. Она произрастает во многих местах европейской части СССР и Западного Казахстана, преимущественно на приречных песках. Приуроченность вербы, а также многих других ив к водным источникам общеизвестна. Об этом можно прочесть почти в любом стихотворении, где упоминаются эти представители растительного мира (Н. Н. Рыленков: "Всегда задумчива, стройна, как верба у ручья..."; Ф. И. Тютчев: "Что ты клонишь над водами, ива, макушку свою?"; А. К. Толстой: "Где гнутся над озером лозы..."; И. С. Никитин: "Окаймленное кустами молодых раки, разноцветными огнями озеро блестит").

Неплохим индикатором неглубоко залегающих вод в умеренной зоне служит таволга вязолистная (*Filipendula ulmaria*), или лабазник, - растение из семейства розоцветных с хорошо заметными крупными и пышными соцветиями, образованными белыми, издающими сильный медовый запах цветками. Таволгу можно встретить по сырым лугам, оврагам, болотам, берегам рек и прудов.

Нередко вместе с таволгой обитает камыш лесной (*Scirpus silvaticus*) - растение с округло трехгранным стеблем и широколинейными листьями. Преобладание в фитоценозах этих растений, а также присутствие в них ольхи серой и черной (*Alnus incana*, *A. glutinosa*) указывают на то, что вода залегает на глубине до 3 м.

Чуваши предлагали использовать в качестве указателя близко залегающих грунтовых вод щавель:

"Рой колодец по щавельным местам - вода появится".

Античный исследователь Витрувий Поллион, живший в I в. до н. э., придавал растительности исключительное значение при поиске подземных вод. В своих трудах он писал: "Признаки воды в описанных выше земных породах следующие: там произрастают тонкий камыш, тростник, тальник, ольха, витекс, прутняк, плющ и другие, обладающие тем свойством, что не могут зародиться без влаги".

Народ хорошо знал эту особенность растений. Не случайно во многих народных сказках те или иные деревья служат указателями залегания вод. Так, например, в грузинской народной сказке "Юноша-змея" у одного царя половина царства страдала от безводья. Юноша-змея говорит ему: "Где люди от безводья страдают, там в определенном месте стоит дуб. Пусть вырубят его, и тогда вода откроется".

В другой грузинской народной сказке, "Три брата", младший из трех братьев случайно узнает о том, что в Трапезунде все страдают без воды, но там у стены стоит чинара. Если бы кто ее вырыл, тотчас появилась бы вода. Юноша отправился в Трапезунд. Там он отыскал старшин города и с их согласия открыл воду, за что горожане наградили его щедрыми подарками.

Особенно высоко почиталось искусство нахождения пресных подземных источников в пустынях и полупустынях, где вода ценилась и ценится на вес золота. Здесь растения также служили наиболее надежными указателями глубины залегания грунтовых вод.

Пустыни земного шара занимают почти 25% территории суши. Пустыня - это отнюдь не пустое место. В настоящее время здесь проживает около 630 млн. человек! Люди открывают в пустынях богатейшие залежи нефти, газа, ценных руд. Осваивать эти богатства в пустыни приезжает все больше людей: геологов, нефтяников, строителей, специалистов многих других профессий. Создаются поселки и города.

Для жизни людей, работающих машин требуется вода. Она необходима и обитающим здесь животным, и культивируемым растениям. Вода в аридных зонах поистине творит чудеса: превращает бесплодные пески в цветущие сады и высокопродуктивные поля. Вот почему вода во все времена ценилась здесь чрезвычайно высоко.

В нашей стране на долю пустынь приходится около 10% территории. Большая часть их используется как естественные пастбища. На пустынных пастбищах Средней Азии и Казахстана содержится до 50 млн. овец и все поголовье верблюдов. Ныне в пустыне добывается 30% от общесоюзной добычи природного газа, 12% угля, а также много других полезных ископаемых. Неудивительно, что в нашей стране придается исключительно важное значение водоснабжению населения, промышленных предприятий, пастбищ, расположенных в зоне пустынь и полупустынь. С этой целью там сооружаются крупнейшие в мире каналы. Однако прокладка каналов - не единственный путь обеспечения потребностей людей в воде. Часть воды можно получить из недр пустынь.

Обилие солнечного тепла, высокие температуры и низкая влажность воздуха, небольшое количество осадков исключают образование в пустынях поверхностного стока в виде рек. Но под толстым слоем песков там существуют подземные реки, а также скопления воды, называемые линзами. Они образуются в результате просачивания атмосферных осадков через толщу песков. Линзы появляются там, где на пути просачивающейся через пески влаги возникают препятствия в виде

водонепроницаемых глинистых слоев. У их поверхности и собираются довольно значительные количества воды. Такие пресноводные линзы ищут для того, чтобы расширить сеть колодцев в слабо обеспеченных водой районах отгонного животноводства.

Разумеется, узнать, что под тем или иным барханом имеется подземная река, не так-то просто. Однако советские ученые разработали методы обнаружения подземных вод в пустынях и полупустынях. Важное место в их поиске занимают растения.

Как глубоко залегает вода?

Метод определения глубины залегания и степени минерализации подземных вод с помощью растений называется гидроиндикационным. Поскольку его применение не требует больших трудовых и временных затрат, им широко пользуются в областях с аридным климатом. С помощью растений удастся установить не только наличие грунтовых вод, глубину их залегания и степень минерализации (пресная, солоноватая, соленая), но и направление движения под землей. Среди растений засушливых местообитаний ученые по характеру усвоения ими влаги выделили несколько групп.

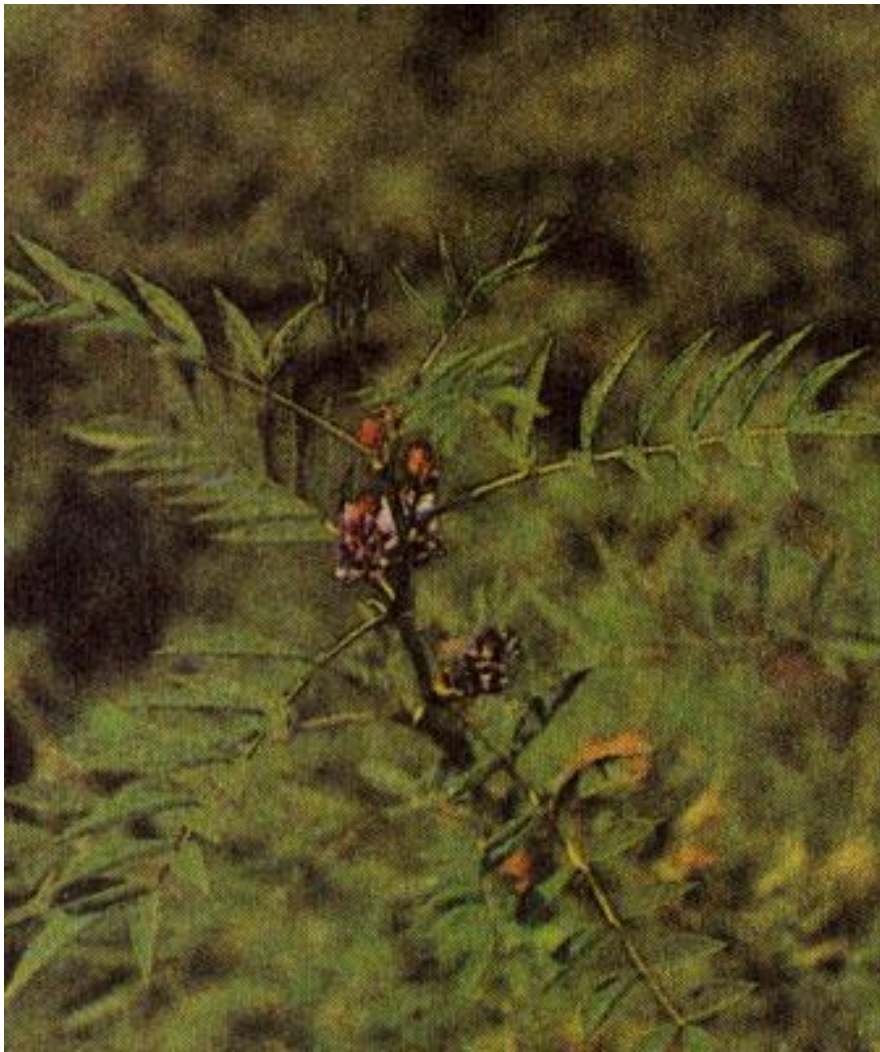
Омброфиты используют для своей жизнедеятельности влагу атмосферных осадков. Они существуют за счет легкодоступной гравитационной и капиллярно-подвешенной воды. Примером омброфитов могут служить эфемеры и эфемероиды, пышным ковром расцветивающие пустыни весной, когда в почве содержится запас влаги, и быстро исчезающие по мере усиления сухости.

Фреатофиты (от греческих слов "phreag" - колодец, бассейн и "phyton" - растение) имеют постоянную связь с грунтовыми водами посредством сильно развитой корневой системы. О них мы подробнее поговорим ниже.

Факультативные фреатофиты способны в зависимости от условий увлажнения существовать то как омброфиты, то как фреатофиты.

Гигрофиты используют поверхностные или близко лежащие к поверхности грунтовые воды в избыточно увлажненных местах.

Наибольшее значение в гидроиндикационных исследованиях имеют фреатофиты. Их характерный признак - мощно развитая корневая система, которая измеряется иногда десятками метров и, как правило, в несколько раз превышает размеры надземных органов. Так, например, корневая система верблюжьей колючки может проникать в грунт на глубину 15-20 м, а надземная часть возвышается над поверхностью почвы лишь на 0,5 м. Другое растение из того же семейства бобовых - солодка голая (лакрица) имеет корни длиной 20-25 м, похожие на веревки. Между тем высота надземной части этого растения составляет 1,0-1,5 м. Мощные корни тамарисков достигают глубины 30 м. Очень глубокая корневая система у черного саксаула (*Haloxylon ammodendron*) - древесного растения из семейства маревых. Описан случай, когда живые корни черного саксаула присутствовали в керне, извлеченном из буровой скважины с глубины 37 м.



Растение-индикатор неглубоко залегающих грунтовых вод: солодка голая

По своему внешнему виду фреатофиты довольно разнообразны. Одни из них сходны с обычными мезофитами. Так, например, типичный фреатофит - финиковая пальма, обладающая способностью бесперебойно снабжать себя водой, в ходе эволюции не выработала черт ксероморфизма, если не считать устьица, глубоко погруженные в толстую кутикулу листа. Во всем остальном это растение не отличается от влаголюбивых пальм тропиков.

Другие фреатофиты имеют ксероморфный облик. У них листовые пластинки сильно редуцированы, нередко опущены и т. д. К числу таких фреатофитов можно отнести саксаул, тамариксы.

Есть среди фреатофитов и суккулентные формы, накапливающие воду в надземных частях своего тела - листьях, стеблях, из-за чего они выглядят сочными и мясистыми. К их числу относится, например, сарсазан. Фреатофиты этого типа произрастают на территориях, где вода повышенной минерализации.

Имея постоянный доступ к воде, фреатофиты в течение всего вегетационного периода остаются активными, сохраняют сочную ярко-зеленую окраску даже в жесточайшие засухи, тогда как другие растения пустынь и степей, засыхая, становятся желтыми или бурыми. Фреатофиты хорошо заметны издали, поэтому они имеют наибольшее значение при аэроландшафтных гидроиндикационных исследованиях. Особенно четко они видны на аэрофотоснимках, сделанных летом или в начале осени.

В песчаной пустыне Сахаре встречаются впадины, на дне которых выклиниваются грунтовые воды. Эти впадины хорошо видны с самолета из-за расположенных в них пальмовых рощ. Финиковая пальма, произрастающая в оазисах Сахары и Аравийского полуострова, - классический пример фреатофитов. Несмотря на исключительную устойчивость к высоким температурам, она постоянно нуждается в воде,

которую получает с помощью мощной корневой системы. Не случайно арабы говорят: "Царица оазиса купает ноги в воде, а прекрасную голову - в огне солнечных лучей". Финиковая пальма считается индикатором неглубоко залегающих грунтовых вод. Жители знойной Африки хорошо знают: пальмы приурочены к тем местам, где близко к поверхности подходят грунтовые воды, где есть водные источники. В широко известном стихотворении М. Ю. Лермонтова "Три пальмы" очень точно подмечена эта особенность растения:

Родник между ними из почвы бесплодной,
Журча пробивался волною холодной...

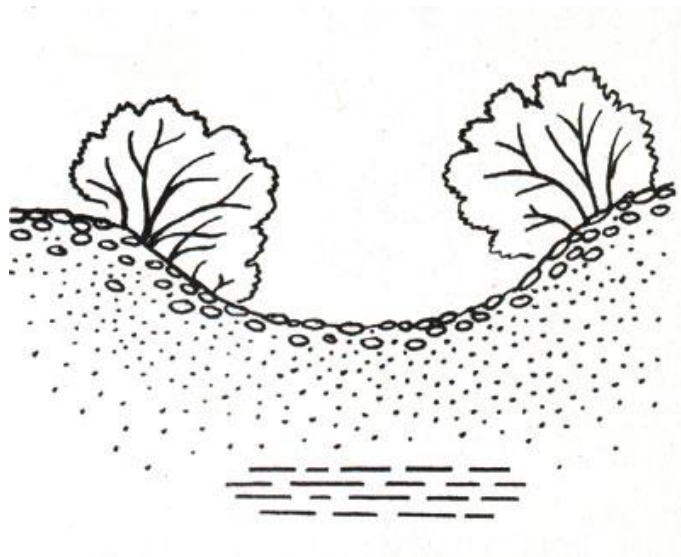
Вообще деревья и кустарники в пустынях и полупустынях приурочены к особо благоприятным условиям увлажнения (знакомые всем оазисы).

В северных районах Сахары индикаторами неглубоко залегающих (до 5-8 м) пресных вод служат фисташка атлантическая и ююба. Тамарикс безлистный - показатель солоноватых вод, залегающих на глубине до 15 м. Присутствие тамарикса Бовеана свидетельствует о грунтовых водах, залегающих на глубине до 5 м.



Цепочки кустов тамарикса, окаймляющие сухие русла временных водотоков, указывают на наличие пресных или солоноватых подрусловых линз

В Центральной Сахаре наряду с перечисленными выше видами важное индикационное значение имеют акации, Сальвадора и другие растения, указывающие на воды, залегающие на глубине до 25 м. Пальма дум - показатель солоноватых вод, глубина залегания которых 6-8 м.



Цепочки кустов тамарикса, окаймляющие сухие русла временных водотоков, указывают на наличие пресных или соленых подрусловых линз

В южных районах Африки наиболее точными индикаторами пресных грунтовых вод, находящихся на различной глубине, являются акации.

К растениям - индикаторам пресных вод в США относится прозопис сережкоцветный, произрастающий там, где вода залегает на глубине 9 м. В калифорнийской пустыне многие колодцы выкопаны в зарослях этого растения. Указателями неглубоко залегающих грунтовых вод служит пальма калифорнийская с веерообразными листьями, американские виды платана и другие растения.

Платаны обитают на богатых почвах по берегам рек и озер, по днищам ущелий. Если они встречаются вдали от открытого водного источника, это означает, что под ними недалеко от поверхности течет подземная река. Расположение деревьев указывает направление движения подземного потока.

В пустынях нашей страны для выявления глубины залегания грунтовых вод также широко используются растения.

Солодка голая (*Glycyrrhiza glabra*), произрастающая в Казахстане, Узбекистане и Туркмении, представляет собой многолетнюю траву с высоким стеблем, на котором располагаются кисти фиолетовых цветков. Корень солодки содержит сапонины, поэтому порошок солодкового корня используется в пищевой промышленности (для приготовления шипучих напитков, пива, кваса, для лучшего взбивания яичного белка), в качестве пенообразователя в огнетушителях, для пенной флотации в металлургии и т. д.

В естественных условиях солодка голая пышно разрастается там, где пресные грунтовые воды подходят близко к поверхности (на глубине 2 м). Ее мощная корневая система позволяет бесперебойно снабжать водой надземную часть, благодаря чему листья интенсивно транспирируют (испаряют воду) без угрозы обезвоживания растения в засушливых условиях существования. Солодка широко использовалась в качестве индикатора пресных подземных вод при освоении целинных и залежных земель Северного Казахстана.

Помимо солодки глубину залегания грунтовых вод можно определить и по другим растениям. Надежным указателем пресных грунтовых вод служит черный саксаул (*Haloxydon ammodendron* var. *arhyllum*). Это довольно мощное дерево с толстым и кривым стволом высотой 9-10 м. Его мясистые, ярко-зеленого цвета побеги взяли на себя функцию листьев. Благодаря редукции листьев резко сокращена испаряющая поверхность.

Черный саксаул редко можно видеть на песчаных барханах. Он растет обычно на плотных грунтах, чаще в долинах рек или в низинах, где грунтовые воды залегают на глубине 5-10 м и даже больше. Указанной величины и максимальной сомкнутости саксаул достигает в том случае, если грунтовые воды располагаются на глубине 4-17 м. Если же его корни не дотягиваются до грунтовых вод, растение приобретает форму низкорослого кустарника высотой не более 1,0-1,5 м.

Приуроченность черного саксаула к грунтовым водам была известна кочевникам Средней Азии очень давно. Многие колодцы с пресной водой располагаются поблизости от массивов черного саксаула. Так, например, на территории черносаксаульника Тугай-Джурабек в Кызылкуме 9 колодцев из 11 поставляли пресную воду. А вот из колодцев, находящихся среди песков, где черного саксаула не было, только в 2 содержалась пресная вода.

В отличие от черного белый саксаул не является индикатором грунтовых вод. Он растет во многих местах: и в глинистой, и в песчаной пустыне, иногда прямо на сыпучих барханах.

Неплохими индикаторами подземных вод служат также различные виды тамарикса (*Tamarix*), которые нередко сопутствуют саксаулу, но не менее часто образуют и самостоятельные фитоценозы. Это крупные густые кустарники высотой 1-2 м. Как и другие фреатофиты, тамариксы характеризуются темно-зеленой окраской. Они хорошо приспособлены к жаркому и сухому климату, к засоленным гипсоносным, песчаным или глинистым почвам. Мощная корневая система хорошо обеспечивает их водой. Вместе с тем растения выработали приспособления для экономного расходования влаги. У них небольшие листья, толстая, покрывающая их кутикула, глубоко погруженные в лист устьица, которые контактируют с внешней средой через узкий канал. Тамариксы очень декоративны. Красивы их изящные мелкие листья и кисти розовых и сиреневых цветков. Растения указывают на присутствие на глубине около 10 м грунтовых вод.

Типичным и широко распространенным фреатофитом является верблюжья колючка (*Alhagi pseudalhagi*). Ее корни достают воду с глубины 5-15 м, поэтому она растет в глинистых, каменистых и даже солонцовых пустынях от низовий Волги до южных границ нашей страны. Растение хорошо опознается по сочной зелени листочков и многочисленным крупным колючкам.

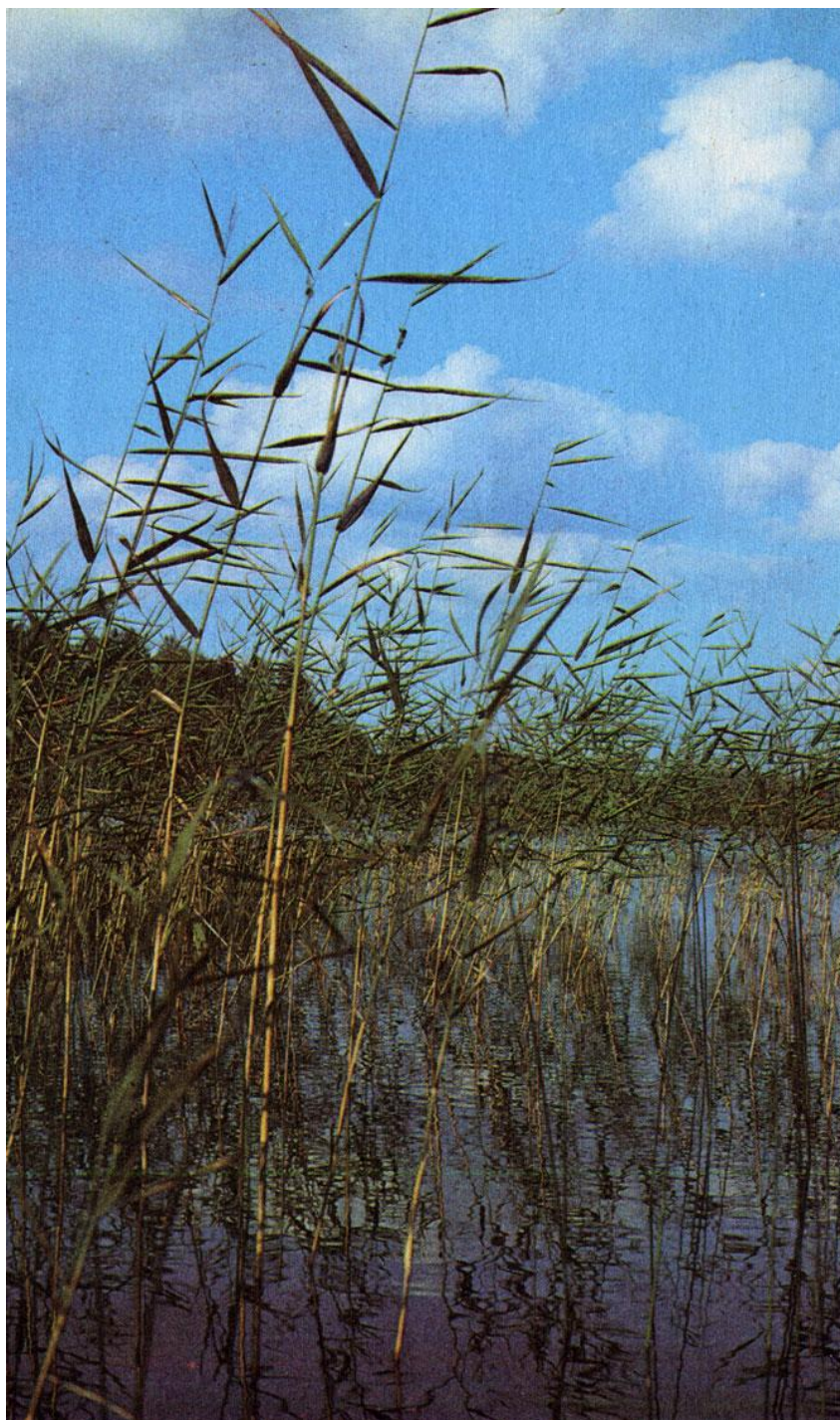
Не так давно ученые исследовали возможность получения влаги из верблюжьей колючки. Ведь человеку, оказавшемуся наедине с пустыней, дорог каждый глоток воды. Предложенный метод очень прост: на растение верблюжьей колючки надевается обычный полиэтиленовый пакет. В зависимости от размеров растения за час в пакете скапливается 30-50 г влаги. Пять-шесть полиэтиленовых пакетов размером 1 м² могут собрать в течение светового дня 2,0-2,5 л жидкости. Такой результат не неожиданность. Мы уже знаем, что верблюжья колючка при помощи глубокой корневой системы бесперебойно снабжает себя водой, которая интенсивно испаряется с поверхности ее небольших тонких листочков. Предложенный метод получения влаги из живых растений рекомендуется метеорологам, геологам, ботаникам, чабанам, газодобытчикам и другим специалистам, работающим в пустыне. Каждый из них должен уметь противостоять ее крутому нраву.

К числу фреатофитов относится также мотыльник, или гармала обыкновенная (*Peganum harmala*), - многолетний сорняк, широко распространенный в степях Южной Европы, Сибири, Средней и Центральной Азии, Северной Африки. Это довольно крупное травянистое растение, достигающее 70 см высоты. В странах Востока этому, казалось бы, обычному растению приписываются поистине чудесные свойства: индийское название его "газариспанд", что означает "от тысячи болезней". Вместе с тем с глубокой древности за мотыльником закрепилась и слава указателя пресных грунтовых вод. Его заросли обычно приурочены к оазисам, к устьям оврагов, где есть родники и ключи. Сравнительно недавно с помощью этого растения удалось отыскать в Азербайджане места старых, заброшенных колодцев, которые теперь используются для орошения.

Гармала обыкновенная опознается по листьям, разделенным на 3 - 5 линейных растопыренных долей, по белым крупным цветкам, а также по своеобразным плодам - многогнездным округло-угловатым коробочкам.

Глубина проникновения в субстрат корневой системы гармалы точно не установлена. Ученые полагают, что с помощью мотыльника выявляются воды, расположенные на значительной глубине (от 10 до 25 м и больше).

В индикации мест залегания грунтовых вод, особенно близких к поверхности, имеют значение и обычные влаголюбивые растения (см. таблицу), например тростник. Даже в пустынях он приурочен к неглубоко залегающим грунтовым водам. Если уровень их начинает понижаться, рост тростника затормаживается, а плодоношение ослабляется.



Растение-индикатор неглубоко залегающих грунтовых вод: тростник обыкновенный

Индикаторы грунтовых вод в засушливых районах

Растения	Глубина залегания грунтовых вод (в м)
Рогозы	0-1
Камыш песчаный	1-3
Тополь черный	0,5-3
Тростник	0-1,5 (до 3-5)
Лох	1-3 (до 5)
Сарсазан	0,5-3 (до 5)
Полынь метельчатая	3-5 (до 7)
Чий блестящий	1,5-5 (до 8)
Солодка голая	1,5-5 (до 10)
Полынь песчаная (чагыр)	3-5 (до 10)
Люцерна желтая	1,4-2 (до 10-15)
Анабазис	3-7 (до 10-15)
Верблюжья колючка	1,5-10 (до 20)
Тамарикс (джингила)	3-10 (до 15-20)
Саксаул черный	5-10 (до 40)

Итак, растения могут служить показателями грунтовых вод, глубина залегания которых не превышает 40 м. При более глубоком положении грунтовые воды не влияют на влажность почвогрунтов и, следовательно, на растения.

Характерная особенность фреатофитов - высокоинтенсивная транспирация в течение всего периода вегетации. Они испаряют влаги в 3 - 5 раз больше, чем виды, не связанные своими корневыми системами с грунтовыми водами. Поэтому в аридных областях растения, быстро расходующие воду, могут быть использованы в качестве индикаторов грунтовых вод. У типичного фреатофита замедленная транспирация свидетельствует о неблагоприятных для него условиях водоснабжения, тогда как интенсивная - о благоприятных.

Помимо интенсивности транспирации на глубину залегания грунтовых вод указывает и окраска фреатофитов. При бесперебойном водоснабжении, как мы неоднократно уже подчеркивали, эти растения имеют ярко-зеленую окраску в течение всего вегетационного периода. Если условия

водоснабжения ухудшаются, фреатофиты изменяют свою окраску на бледно-зеленую, желтую или бурую.

В аридных районах нашей страны вода часто присутствует в песчаных массивах в виде локальных скоплений - линз инфильтрационного или конденсационного происхождения. Обычно линзы возникают в результате инфильтрации осадков в толщу рыхлых незакрепленных песков. Реже линзы образуются при конденсации водяного пара. В последнем случае решающее значение имеют резкие суточные колебания температуры, характерные для пустынных областей.

Обнаружить такие скопления воды помогают растения-индикаторы, заросли которых резко выделяются на фоне песков в виде темных пятен, хорошо заметных на аэрофотоснимках. Заросли, как правило, повторяют контуры линзы. Чаще всего они состоят из полыни песчаной (*Artemisia sabulosa*), донника польского (*Melilotus polonicus*), вайды песчаной (*Isatis sabulosa*), из видов тамарикса, верблюжьей колючки. Очень своеобразна вайда песчаная, которая опознается по многочисленным побегам, собранным в виде метлы на конце прямого, почти не ветвящегося стебля.

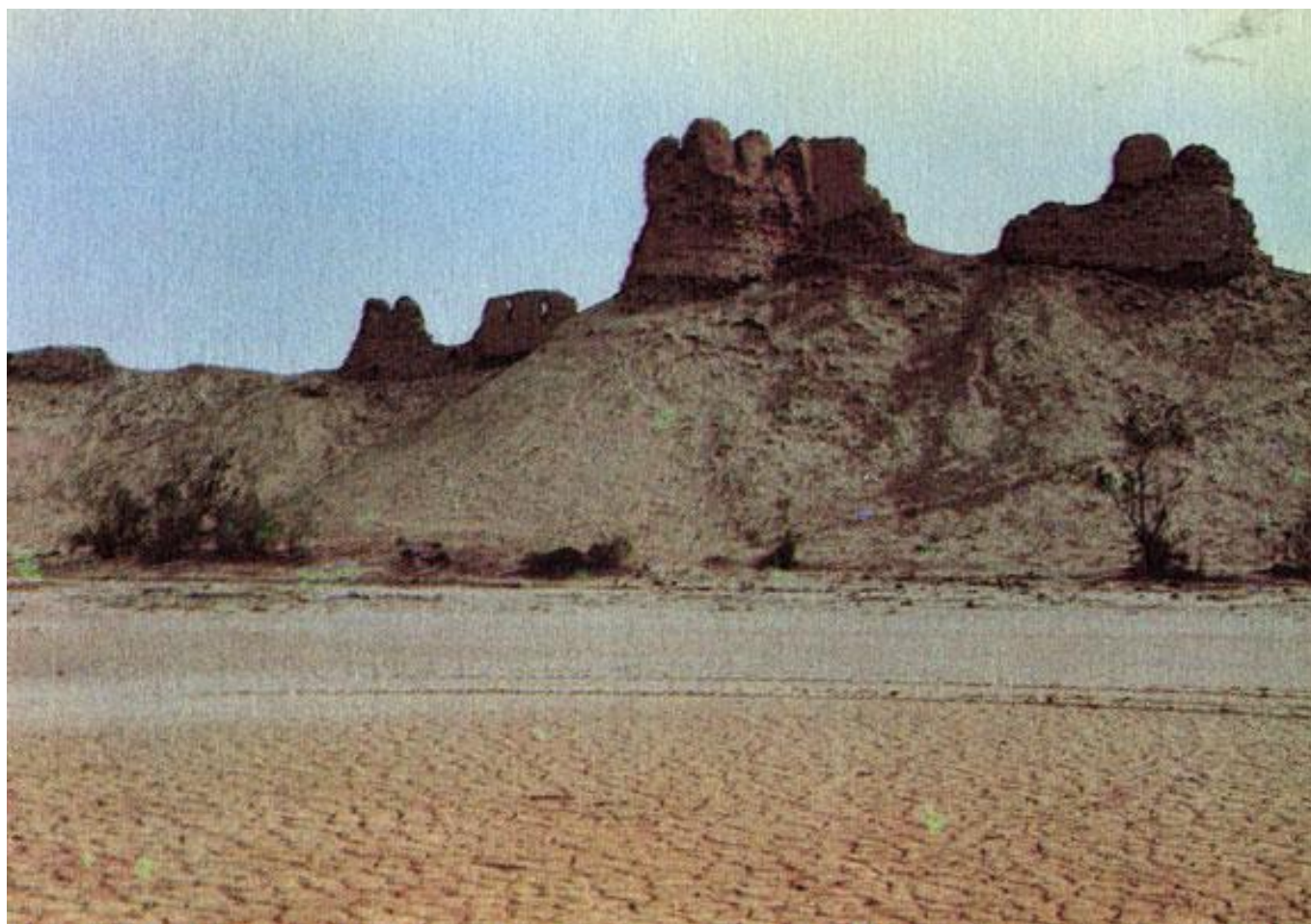
Местонахождение линз, пресных и слабоминерализованных вод в песках можно обнаружить по наличию тамарикса многоветвистого. Это растение в хороших условиях водоснабжения достигает высоты 2-3 м. В пустынях Южной Туркмении контуры линз четко обозначают заросли гармалы обыкновенной.



Растение-индикатор неглубоко залегающих грунтовых вод: гармала обыкновенная

Нередко пресноводные линзы бывают окружены густыми зарослями гигантского сизо-зеленого песколюбивого злака кияка (*Elymus giganteus*).

Пресноводные линзы могут формироваться не только под толщей песков, но и под такырами - плоскими тяжелосуглинистыми или глинистыми поверхностями, обычно иссеченными характерной полигональной трещиноватостью. Нередко такыры полностью лишены растительности или имеют очень изреженный растительный покров. Такыры образуют сложные, сильно разветвленные системы и часто занимают огромные площади. Располагающиеся под ними подтакырные линзы могут быть использованы для водоснабжения пастбищ. Однако отнюдь не под каждым такыром образуются скопления грунтовых вод. Обнаружить подтакырные линзы можно опять-таки с помощью растений. Там, где водяной пар мигрирует наиболее активно в глубь субстрата, на поверхности такыра формируется густой налет почвенных водорослей. Следует обратить внимание и на кустарники, произрастающие на границе такыра с окружающими песками. Если они крупных размеров, прекрасно растут и обильно плодоносят, значит, под такыром скопились грунтовые воды.



Такыр около развалин городища Шах-Сенем

Пресноводные линзы ищут для того, чтобы расширить колодезную сеть в районах отгонного животноводства, слабо обеспеченных водой, поэтому использование в их поиске гидроиндикационных наблюдений имеет важное практическое значение.

Индикаторы степени минерализации грунтовых вод

Подземные воды различаются по степени минерализации. Пресными считаются воды, содержащие до 1 г солей в литре. В том случае, когда концентрация солей находится в пределах 1-3 г/л, воды относятся к слабосоленоватым. При концентрации 3-5 г/л воды будут соленоватыми. И наконец, если содержание солей превышает 5 г/л - солеными.

Линзы инфильтрационного или конденсационного происхождения с постоянно пополняемыми запасами влаги имеют весьма малую минерализацию. Если линза смещается в область, где ее водные запасы интенсивно расходуются, минерализация воды сильно возрастает, в результате линза может стать непригодной для водоснабжения. Поэтому в пустыне важно не только обнаружить подземные источники, но и определить степень их минерализации. И здесь на помощь человеку снова приходят растения.



Растение-индикатор достаточно пресных грунтовых вод: лох

О химическом составе грунтовых вод прежде всего свидетельствует видовой состав растительности. Лох, ива и тополь встречаются обычно там, где воды достаточно пресные, а тростник - при разной их минерализации: от 100 до 18 тыс. мг/л, поэтому он не может служить индикатором степени солености воды. Если тростниковые заросли встречаются в комплексе с растениями засоленных местообитаний (галофитами), то грунтовые воды совершенно не пригодны для питья. Когда тростник произрастает вместе с различными злаковыми и бобовыми, а также с рогозом, то воды должны быть достаточно пресными.



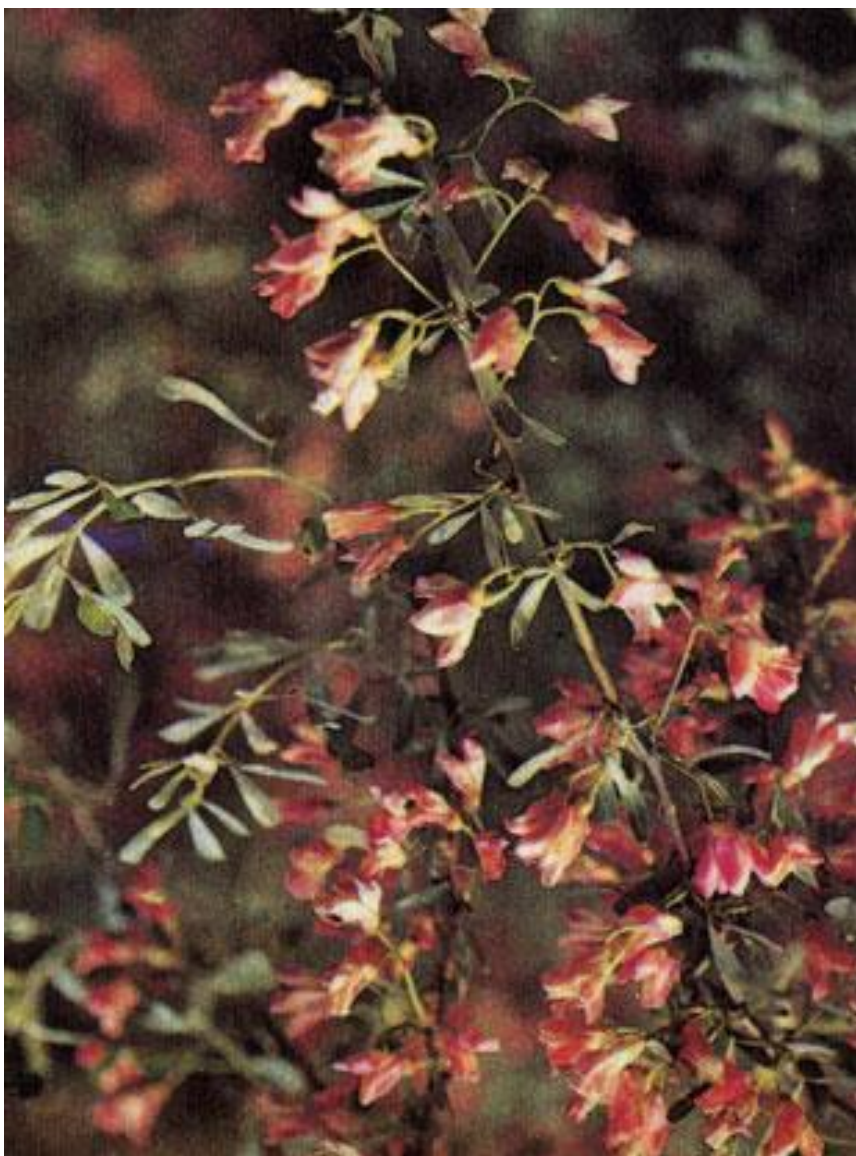
Растение-индикатор достаточно пресных грунтовых вод: тополь

Крупнодерновинный злак чий блестящий (*Achnatherum splendens*), образующий в аридных областях Азии чиевники, также обитает как на пресных, так и на засоленных грунтовых водах. При наличии пресных вод ему сопутствуют такие злаки, как тростник, вейник, вострец, элимус гигантский, а соленых - растения, которые успешно противостоят засолению: кермек, верблюжья колючка, пырей солончаковый, различные солянки. Чий достигает двухметровой высоты и поэтому хорошо заметен издали.

Чистые заросли верблюжьей колючки, а также сообщества ее с солодкой, тростником или черным саксаулом указывают на присутствие вод, пригодных для питья. При возрастании минерализации до 6-10 г/л в сообществах верблюжьей колючки можно встретить акбаш (*Kerelinia caspica*) - растение из семейства сложноцветных, хорошо отличимое по многочисленным фиолетовым и розовым соцветиям, а также тамарикс опушенный (*Tamarix hispida*) с характерной серо-сизой окраской.

Разные виды тамариксов приурочены к водам различной степени минерализации. Обилие видов, внешне мало отличающихся друг от друга, затрудняет использование их для индикации степени минерализации грунтовых вод. Отметим лишь, что при повышении степени минерализации воды до сильносоленой и соленой тамарикс многоветвистый сменяется щетинистоволосистым, а в травостое появляются галофиты.

Зарослям тамариксов нередко сопутствует чингиль (*Halimodendron halodendron*) - растение из семейства бобовых. Присутствие этого вида по соседству с тамариксами служит указателем близкого залегания преимущественно пресных грунтовых вод. Об этой особенности чингиля хорошо были осведомлены казахи. П. С. Массажетов в книге "Заветные травы" описывает встречу с казахом Агамбетом, который, прощаясь, предупредил его:



Чингиль произрастает вместе с тамариксом там, где грунтовые воды пресные

"- Из ручья воду не пей! У чингиля с белыми цветами есть родник, там вода хорошая..."

...Примета действительно примечательная: вдоль дороги высоким бордюром рос обычный чингиль - кустарник галимодендрон с розовыми цветами, а вот здесь - всего несколько кустов с цветами совершенно белыми. Родника с дороги не видно: не зная приметы, проехал бы мимо. Вода холодная, прозрачная. Напился, напоил коня".

Под черным саксаулом воды могут быть как пресные или слабосоленые, так и соленые. Присутствие соленых вод проявляется в том, что вместе с саксаулом произрастают различные галофиты.

Под зарослями гармалы обыкновенной обычно находятся пресные или слабосоленые воды и лишь изредка соленые. Для уточнения качества воды следует обратить внимание на два обстоятельства: на видовой состав сопутствующих растений и на механический состав почв. Если заросли могилика приурочены к супесям, то это обычно означает, что грунтовые воды пригодны для питья, если к глинистым или суглинистым почвам, то вода бывает, как правило, высокоминерализованной.

Приведенные выше примеры показывают, что фитоценоз является более точным индикатором засоленности грунтовых вод, чем отдельно взятый вид.

Однако среди фреатофитов есть такие виды, которые указывают исключительно на соленые воды. К их числу принадлежит сарсазан шишковидный (*Halocnemum strobilaceum*), который представляет собой сочный полукустарник высотой до 50 см, а иногда и более, с членистыми стеблями, лишенными листьев. Он хорошо развивается на сильнозасоленных почвах, на пухлых и мокрых солончаках, но ему нужны неглубоко (0,5-3 м) залегающие грунтовые воды, чтобы его не столь уж длинная корневая система могла достичь их уровня или зоны капиллярного поднятия. Грунтовая вода под этим растением всегда соленая и даже горько-соленая, непригодная для питья. Характерная особенность сарсазана - это пурпурная или желто-пурпурная окраска стеблей осенью.

Любопытно отметить, что мука из семян сарсазана шишковидного, или, по-казахски, сорана, издавна используется казахами для приготовления различных блюд. Не так давно ученые заинтересовались химическим составом этой муки и пришли в изумление. Оказалось, что по пищевым достоинствам она не имеет себе равных среди других мучных продуктов, а по калорийности превосходит даже пшеничную муку. В муке из сарсазана содержится 25% белков, 5% жиров и 61% углеводов, тогда как в пшеничной - соответственно 11; 0,9-1,5; 70%. Как видим, при почти одинаковом содержании углеводов количество белков в сарсазановой муке в 2 с лишним раза, а жиров в 4 раза больше, чем в пшеничной. А ведь сарсазан произрастает в таких условиях, при которых выжить могут лишь очень и очень немногие виды дикорастущих растений. Почвы, на которых он встречается, совершенно не пригодны для возделывания культурных растений.

О степени минерализации грунтовых вод можно судить и по внешнему виду растений. Чистые пышные заросли упоминавшейся выше солодки голой возникают там, где минерализация воды не более 3 г/л. При этом растение интенсивно цветет и плодоносит. Если же грунтовые воды засоляются, солодка имеет угнетенный вид, ее листья приобретают буроватый оттенок, на них появляется белесоватый налет.

Верблюжья колючка в случае возрастания минерализации до 6-10 г/л также имеет угнетенный вид, рост ее затормаживается, она плохо цветет и плодоносит.

Степень минерализации грунтовых вод можно определить и по химическому составу растений, потому что содержание солей в них прямо пропорционально величине этого показателя. Так, например, у того же сарсазана количество солей в тканях возрастает с увеличением степени минерализации подземных вод.

Куда текут подземные реки?

Для практики важно знать не только глубину залегания и степень минерализации грунтовых вод, но и направление их движений. И здесь большое значение имеет ландшафтно-индикационный метод.

Область питания линзы приурочена обычно к сильно расчлененным незакрепленным барханным пескам, где встречается изреженная песколюбивая растительность (псаммофиты). Фреатофиты, произрастающие в котловинах среди полузакрепленных песков, обозначают зону транзита линзовых вод. А густые сомкнутые заросли их, среди которых нередко можно видеть древесные и кустарниковые растения, образующие в понижениях рельефа компактные рощи, служат индикаторами места разгрузки линзы. Эти места называют еще чуротами. Они представляют собой специфические ландшафты аридных областей, формирующиеся в понижениях песчаных массивов и указывающие на неглубоко залегающие подземные воды. Пышная растительность чуротов резко контрастирует с растительным покровом соседних территорий. Зона разгрузки линз чаще всего приурочена к окраине песчаного массива, к его границе с суглинистыми грунтами.

В связи с тем что в этой зоне вследствие интенсивного испарения повышается минерализация воды, скопления фреатофитов нередко окаймлены полосой солончаков. Из-за большого своеобразия чуроты прекрасно различимы как при осмотре местности, так и на аэрофотоснимках, что чрезвычайно важно при поиске воды в песках. Следует иметь в виду, что наиболее крупные чуроты могут быть использованы для мелкоозисного земледелия.

Итак, путем выявления элементов ландшафта, одним из которых является растительность, можно проследить направление движения воды под барханами от места зарождения линзы до области ее разгрузки в чуротах. На аэрофотоснимках извилистые полосы влаголюбивой растительности обозначают пути движения подземных потоков.

Для определения направления стока воды внутри такырных систем известный советский исследователь С. В. Викторов рекомендует обращать внимание на так называемые растительные дуги. Они представляют собой ряд невысоких (около 0,5 м) валиков, покрытых растительностью, которые дугообразно пересекают поверхность такыра от одного ее края до другого. При этом выпуклая часть дуги валика и служит указателем направления стока воды в такыре.

Как же образуются растительные дуги? Весной глинистая такырная корка от осадков набухает и приобретает консистенцию жидкой текучей массы, медленно движущейся в направлении стока. Перемещается она неравномерно. Малейшее препятствие на ее пути приводит к формированию волнообразных складок, в которых скапливаются движущиеся вместе с потоком семена различных дикорастущих растений. Из-за того что в центре потока движение более быстрое, а у краев такыра медленное, эти складки приобретают дугообразную форму. После прекращения осадков глинистая масса подсыхает, а скопившиеся в складках семена всходят. Так дугообразные валики покрываются растительностью. Особенно часто в образовании растительных дуг участвуют солянка жесткая (*Salsola rigida*), боялыч, или солянка деревцевидная (*Salsola arbuscula*) из семейства маревых, а также различные виды полыней. В этом нет ничего удивительного, если вспомнить, что представители семейств маревых и сложноцветных чрезвычайно плодovиты.

В средних широтах хорошими указателями направления движения неглубоко залегающих вод являются таволга и недотрога желтая. Их густые заросли обычно приурочены к движущемуся под землей водному потоку.

С помощью растений можно определить слабый ток воды в болотах. В таких местах улучшается кислородный режим, и это позволяет расти там сабельнику болотному (*Comarum palustre*) - растению из семейства розоцветных с темно-красными цветками и красивыми листьями, состоящими из пяти листочков.

В настоящее время для индикации грунтовых вод советские исследователи предлагают применять дистанционные методы, при которых используются снимки земной поверхности, выполненные с самолета или космического летательного аппарата. На крупномасштабных аэрофотоснимках, полученных для небольших участков, могут быть выявлены все частные индикаторы грунтовых вод.

Важное значение в индикационных исследованиях имеют не только крупномасштабные, но и средне- и мелкомасштабные снимки. На них нельзя уже различить отдельные растения. Однако отчетливо заметны растительные сообщества - фитоценозы и особенности рельефа, позволяющие охарактеризовать грунтовые воды, уровень их залегания, направление движения и степень минерализации. С помощью среднемасштабных снимков удается даже установить увеличение засоления грунтовых вод по мере их перемещения.

Применение дистанционных методов позволяет значительно сократить сроки гидрогеологических исследований. Вместе с тем достоверность дешифровки материалов аэро- и космических съемок повышается, если располагать результатами наземных исследований внутриландшафтных взаимосвязей.

В последние годы для гидроиндикационных исследований все шире применяется космосъемка. Только на полуострове Мангышлак с ее помощью выявлены участки общей площадью 2 тыс. км², перспективные для получения пресных вод с неглубоких горизонтов. Эксплуатационные запасы пресной воды ориентировочно оценены в 3,5 - 4 млрд. м³.

Указатели плодородия почв

Прежде чем приступить к плантажу, посмотрим, годится ли эта земля под посадки или нет: это очень легко узнать по тем диким растениям, которые на ней растут. Нет земли, настолько лишенной деревьев, чтобы на ней не росло хоть чего-нибудь вроде диких груш, слив или, по крайней мере, ежевики, которая представляет собой колючий кустарник, но растет пышно, сильно и бывает усыпана ягодами. Если мы видим, что растения эти не в наростах и не усыхают, если кора у них блестящая и гладкая, сами они высоко поднимаются вверх и покрыты плодами, то это значит, что земля для посадок годна.

Колумелла

В греческой мифологии видное место отводится "матери богов" Деметре, богине плодородия, земледелия и созревающих злаков. Первоначально ее культ имел небольшое значение, однако с возрастанием роли земледелия в жизни населения Древней Греции культ Деметры получает широкое распространение. В VI-V вв. до н. э. она почиталась как одна из главнейших богинь олимпийского пантеона. Ей приписывалось введение в культуру хлебных злаков.

Древнегреческие мифы утверждают, что первым человеком, которого богиня Деметра обучила искусству выращивания хлебов, был юный сын элевсинского царя Келея - Триптолем (по другим мифам - брат Эвбула), поведавший Деметре тайну исчезновения ее дочери Персефоны. Она дала ему семена пшеницы, и он первым трижды вспахал плугом поле у Элевсина и посеял их в жирную плодородную почву. Это поле принесло богатый урожай. На чудесной колеснице, запряженной крылатыми змеями, Триптолем по повелению Деметры облетел все страны и научил людей земледелию.

Урожай культурных растений зависит от многих факторов, и в первую очередь от плодородия почвы.

Уже первые земледельцы имели возможность убедиться в том, что брошенные в землю семена в одном месте дают богатый урожай, а в другом - низкий, хотя света, тепла и влаги было почти одинаково. Еще не понимая физико-химических и физиологических причин этого явления, первые земледельцы пытались по внешним признакам определить плодородие почвы и довольно быстро пришли к заключению, что наиболее надежными указателями плодородия почв являются произрастающие на них растения. И свидетельство тому - труды древних естествоиспытателей.

Юний Модерат Колумелла, слова которого мы взяли эпиграфом к этой главе, был глубоким знатоком агрономической науки древнеримского государства. Он высоко ценил растения в роли индикаторов плодородия почв. "Рачительному хозяину, - писал он, - подобает... по листве деревьев, по травам или по уже поспевшим плодам иметь возможность здраво судить о свойствах почвы и знать, что может хорошо на ней расти".

Аналогичной точки зрения придерживался его соотечественник и современник Плиний Старший. Ссылаясь на древнеримского специалиста в области сельского хозяйства, Катона, он писал: "Бузник, терн, ежевика, полевой лук, клевер, луговая трава, дуб, дикая груша и яблоня являются признаками хлебной почвы". Вместе с тем в своей "Естественной истории" Плиний предостерегал: "Не всегда почва, на которой красуются высокие деревья, бывает хороша и для других растений... Не всегда и пышные луга служат признаком жирной почвы". И это действительно так, ибо нет правил без исключения.

Растения чутко реагируют на изменение внешних условий. В зависимости от характера почв преимущественное распространение получают те или иные виды, поэтому растительность может служить индикатором плодородия почв. В последние годы биоиндикация свойств почвенного покрова привлекает все большее внимание исследователей. Это обусловлено актуальностью проблем повышения плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных растений, охраны окружающей человека среды от разрушения и загрязнения.

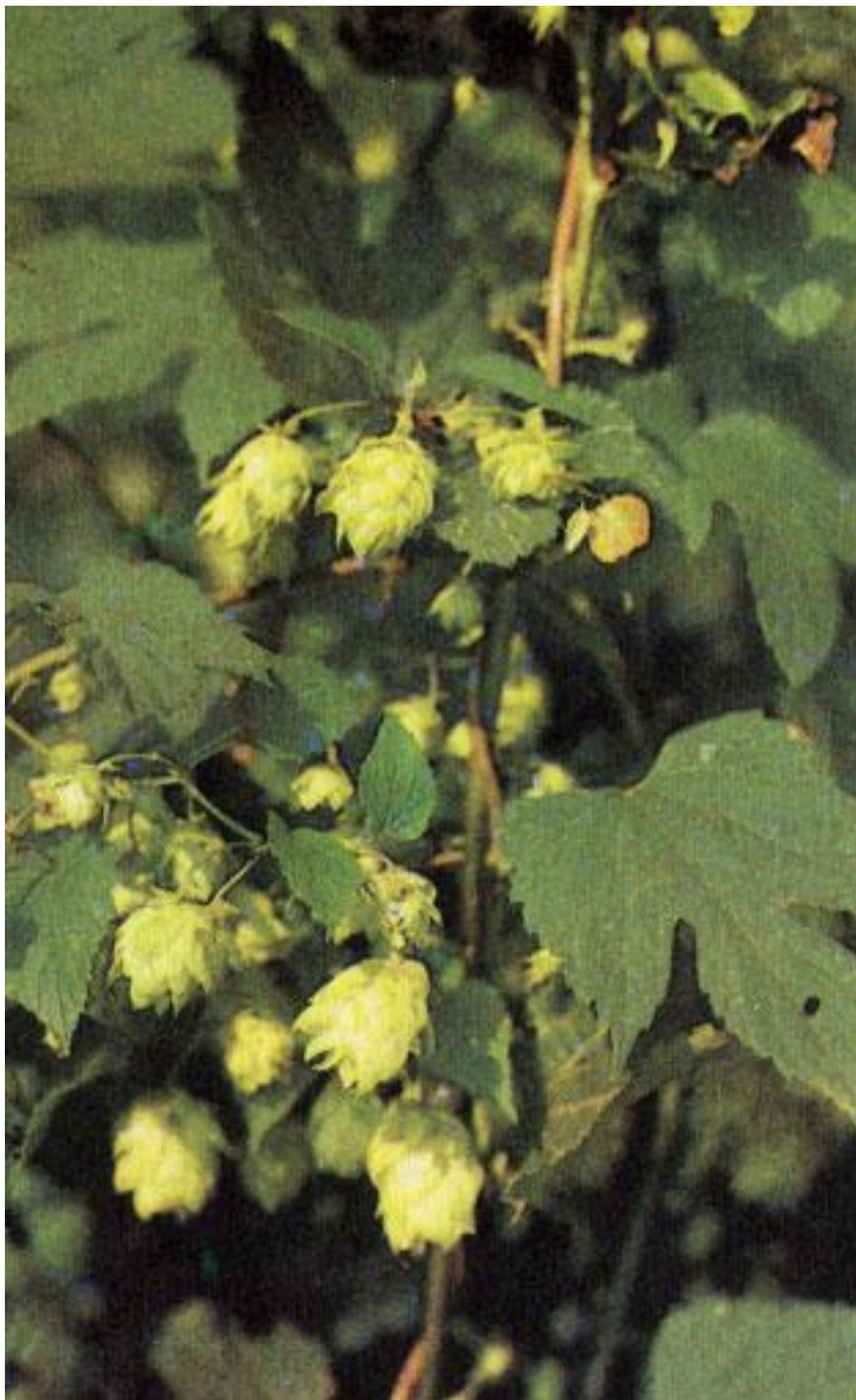
Растительность может быть использована для выделения типов и подтипов почв, уточнения их генезиса, выявления процессов заболачивания, засоления, оглеения, оподзоливания и т. д. Биоиндикация позволяет оценить направление этих процессов на самой ранней их стадии, что чрезвычайно важно при сельскохозяйственном освоении территорий. Она дает возможность определить скорость почвенных процессов, в том числе и восстановления почвенного покрова после его нарушения. Особенно важна биоиндикация в оценке санитарного состояния почв, степени их загрязнения химическими веществами.

Следует заметить, что наиболее достоверные показания растительные индикаторы дают на площадях, занятых ненарушенной естественной растительностью, где связь растений с другими элементами местообитания длится на протяжении неопределенно большого промежутка времени.

Питательные достоинства почвы

Плодородие почвы прежде всего определяется присутствием в ней элементов минерального питания, необходимых для жизнедеятельности растений. Среди них принято выделять макро- и микроэлементы. Макроэлементы присутствуют в растениях в количестве не ниже $10^{-2}\%$. Элементы, концентрация которых в растениях составляет 10^{-5} - $10^{-20}\%$, В. И. Вернадский назвал микроэлементами. Жизненно необходимые и незаменимые макроэлементы - это азот, фосфор, калий, кальций, магний, сера и железо. На почвах, содержащих значительные количества этих элементов, часто встречаются хмель, крапива, малина, таволга, мускусница (*Adoxa moschatellina*) - очень маленькое растение с желтовато-зелеными или зеленовато-белыми цветками, собранными на верхушке стебля в головчатое соцветие. Мускусница предпочитает тенистые места и произрастает в лесах и кустарниках. Во время цветения она обладает характерным мускусным запахом, защищающим ее от животных. Растения - индикаторы большого количества питательных веществ в почве, причем в доступной для них форме, относятся к группе *эвтрофов* (*мегатрофов*). Помимо перечисленных выше видов группа эвтрофов включает папоротник

страусник, лунник оживающий, кипрей узколистный (иван-чай), белену черную, паслен сладко-горький, медуницу неясную.



Индикатор присутствия в почве большого количества питательных веществ в доступной для растений форме:
хмель

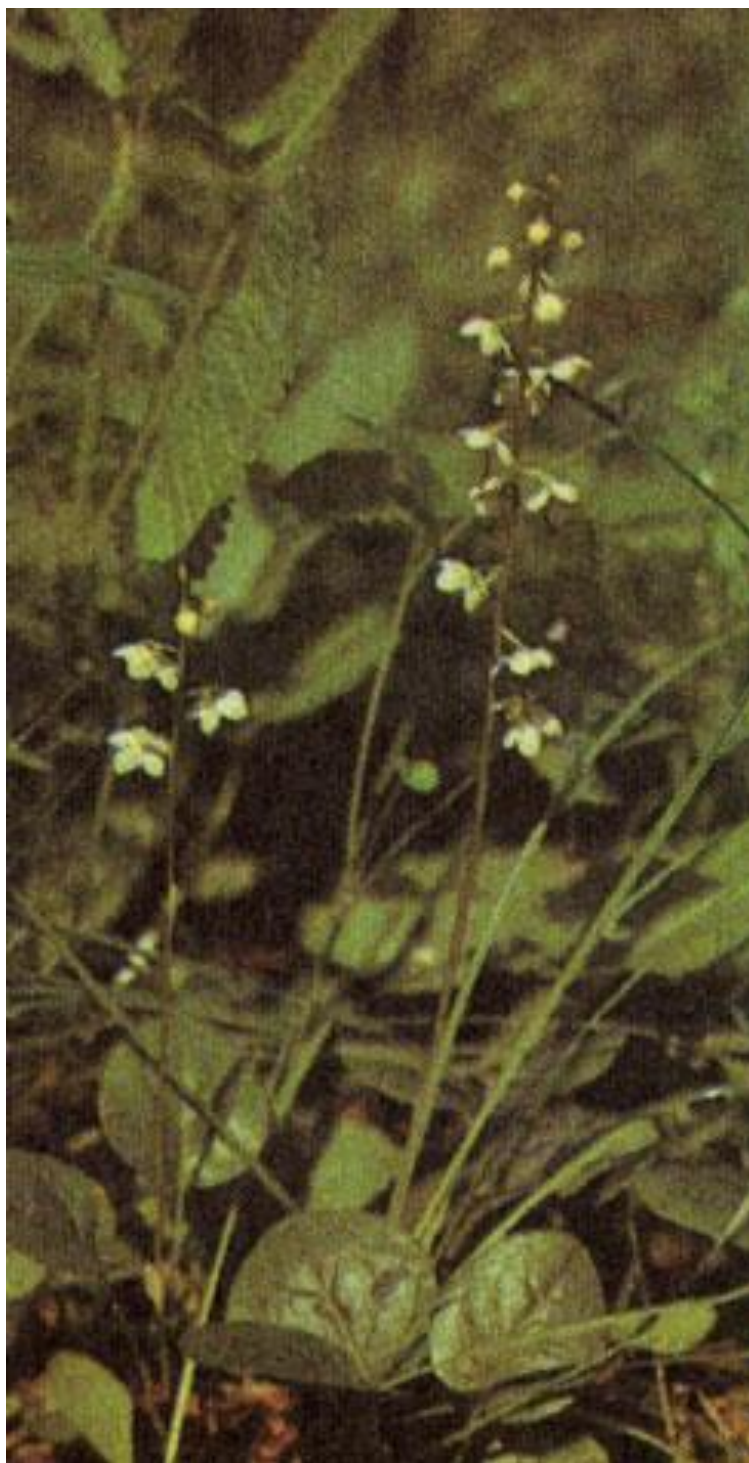


Растение, произрастающее на почвах среднего достатка: купальница европейская

На почвах среднего достатка произрастают лапчатка белая, подмаренник настоящий, сфагнум береговой, папоротник щитовник мужской, калужница болотная, купальница европейская, ветреница лютичная, земляника, клевер средний, смолевка поникшая, грушанка круглолистная, бересклет бородавчатый. Эти растения называются *мезотрофами*.



Индикатор присутствия в почве большого количества питательных веществ в доступной для растений форме:
белена черная



Растение, произрастающее на почвах среднего достатка: грушанка круглолистная

Есть растения, указывающие на низкий уровень питательных веществ в почве. Их называют олиготрофами. Это некоторые лишайники (кладонии альпийская и лесная, олений мох, цетрария исландская), клевер пашенный, щавель малый, черника, брусника, вереск, клюква, сивец луговой, ястребинка волосистая. Существуют еще растения, которые способны развиваться на почвах различного достатка. Это так называемые *эвритрофы*. Они не могут быть использованы для индикации питательных достоинств (трофности) почв. К их числу относятся лютики едкий и ползучий, лапчатка серебристая, пастушья сумка, вьюнок полевой, тысячелистник обыкновенный, колосок душистый. С помощью растений нетрудно определить не только общий уровень содержания питательных веществ в почве, но и обогащенность ее теми или иными элементами минерального питания. При этом нередко используется так называемая визуальная диагностика, в основе которой лежит внешнее проявление на растениях недостатка или избытка питательных элементов.



1



2

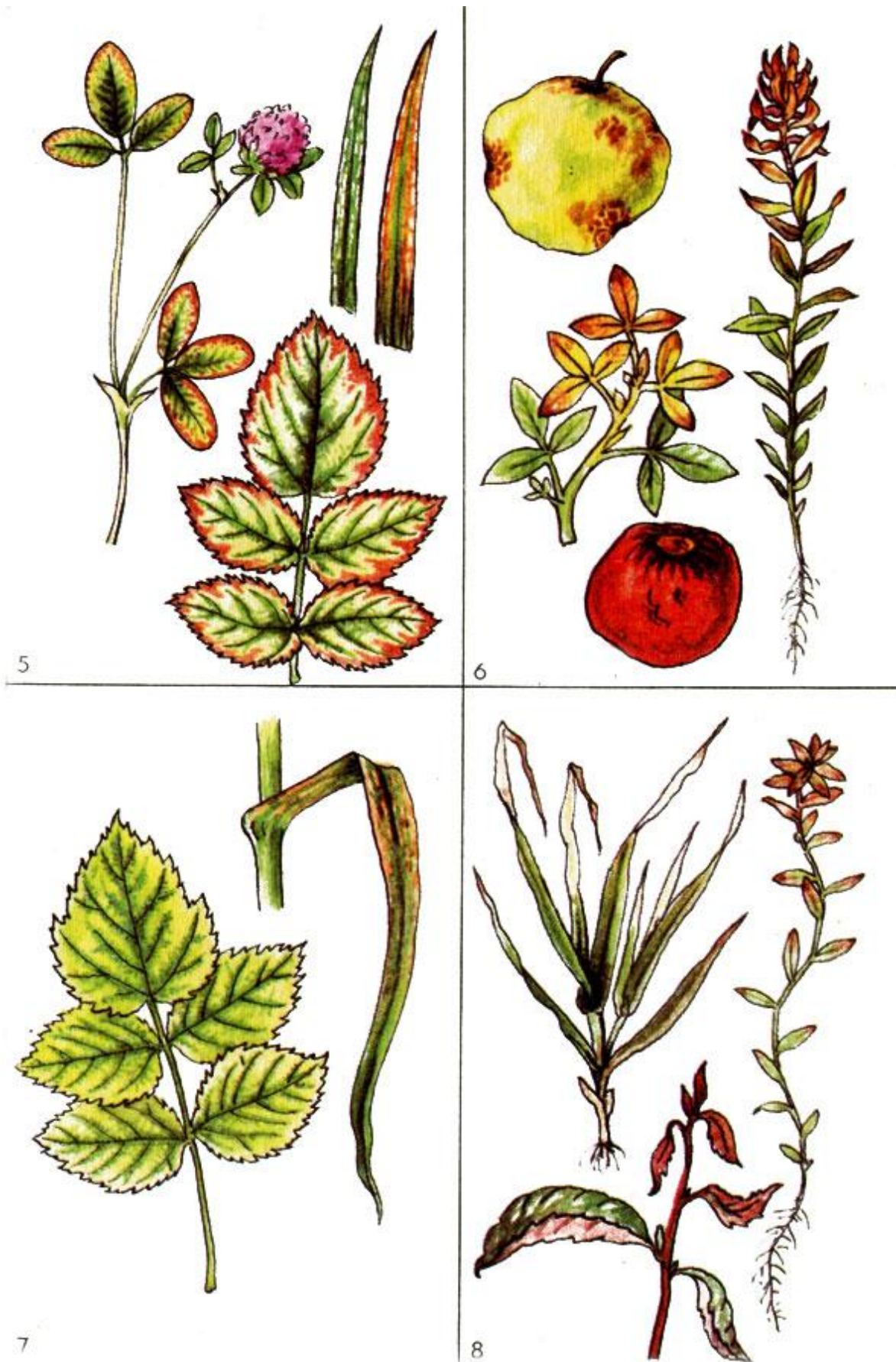


3



4

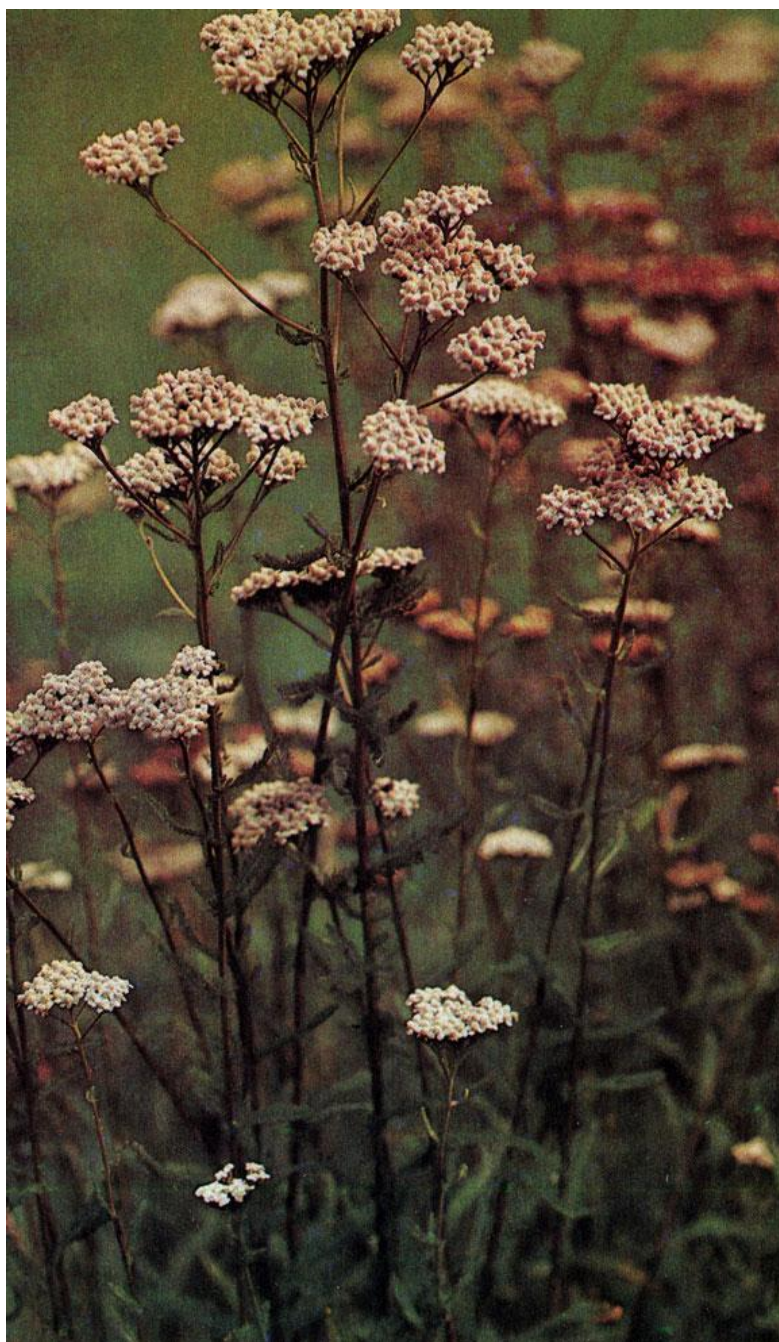
Признаки голодания растений в отсутствии: 1 - азота, 2 - фосфора, 3 - калия, 4 - кальция



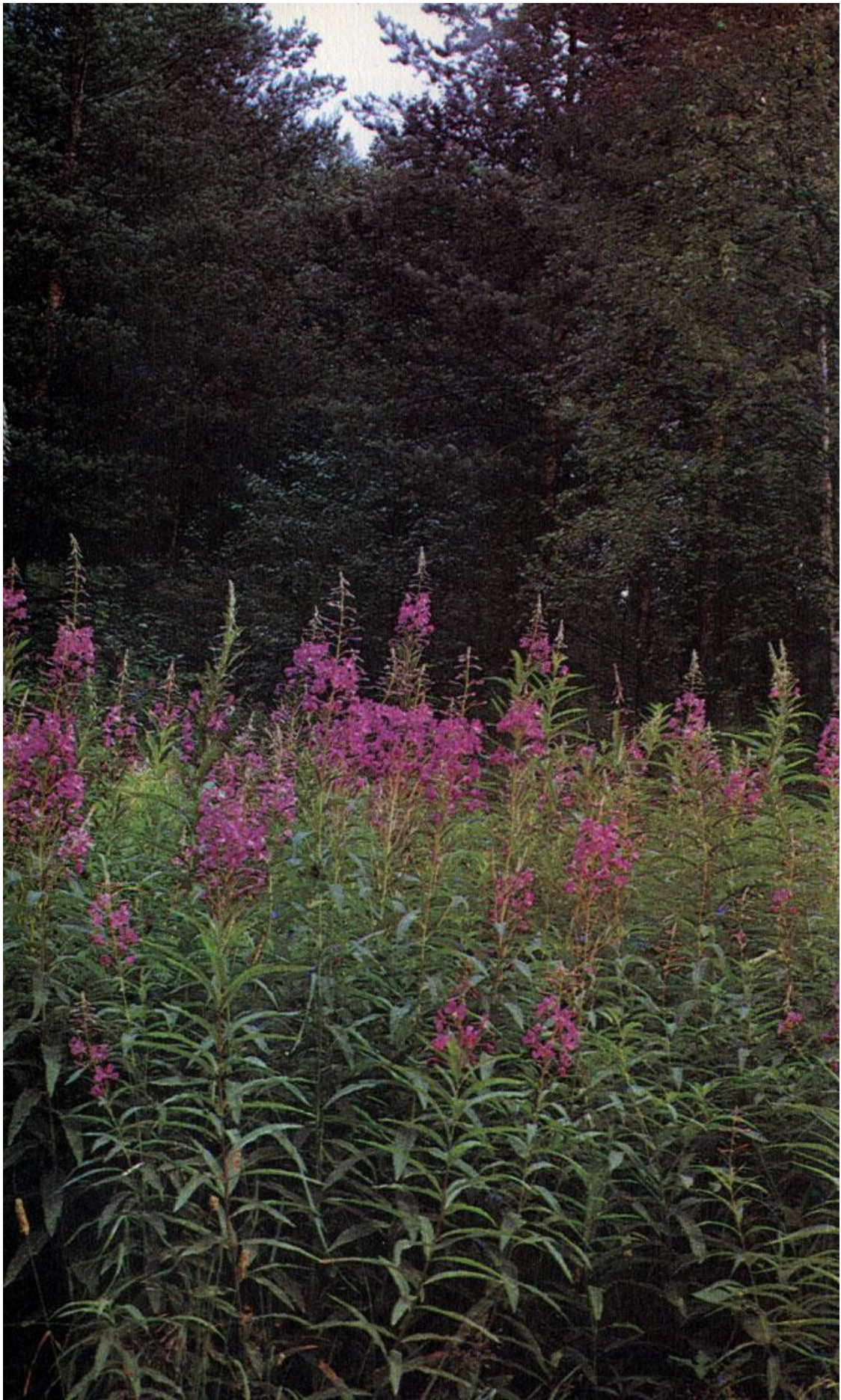
Признаки голодания растений в отсутствии: 5 - магния, 6 - бора, 7 - марганца, 8 - меди

Характерными признаками недостаточного питания могут быть изменения окраски листьев, появление на них некротических пятен, торможение роста растений, возникновение аномалий во внешнем

строении их органов и т. п. Некоторые из этих признаков возникают в результате не только нарушения питания, но и повреждения растений вредителями, применения химических средств защиты, воздействия засухи и других неблагоприятных условий внешней среды. В связи с этим для правильного заключения о характере минерального питания прежде всего необходимо исключить влияние других факторов на состояние растений. Следует иметь в виду, что нередко дефицит различных элементов внешне проявляется на растениях одинаково. Так, например, хлороз листьев бывает при недостатке азота, железа, магния и некоторых других элементов. В этом случае важно учитывать способность химических элементов к реутилизации, т. е. к повторному использованию. Такие из них, как азот, фосфор, калий, сера, магний, реутилизуются растениями. Это означает, что по мере роста растительного организма они перетекают из старых листьев в молодые, только что формирующиеся, поэтому признаки дефицита указанных элементов проявляются преимущественно на старых листьях. В то же время ряд элементов (кальций, железо, многие микроэлементы) не подвергаются вторичному использованию. В случае возникновения их недостатка в субстрате старые листья не утрачивают своих запасов, и признаки голодания сказываются в первую очередь на молодых листьях.



Тысячелистник обыкновенный - представитель эвритрофов



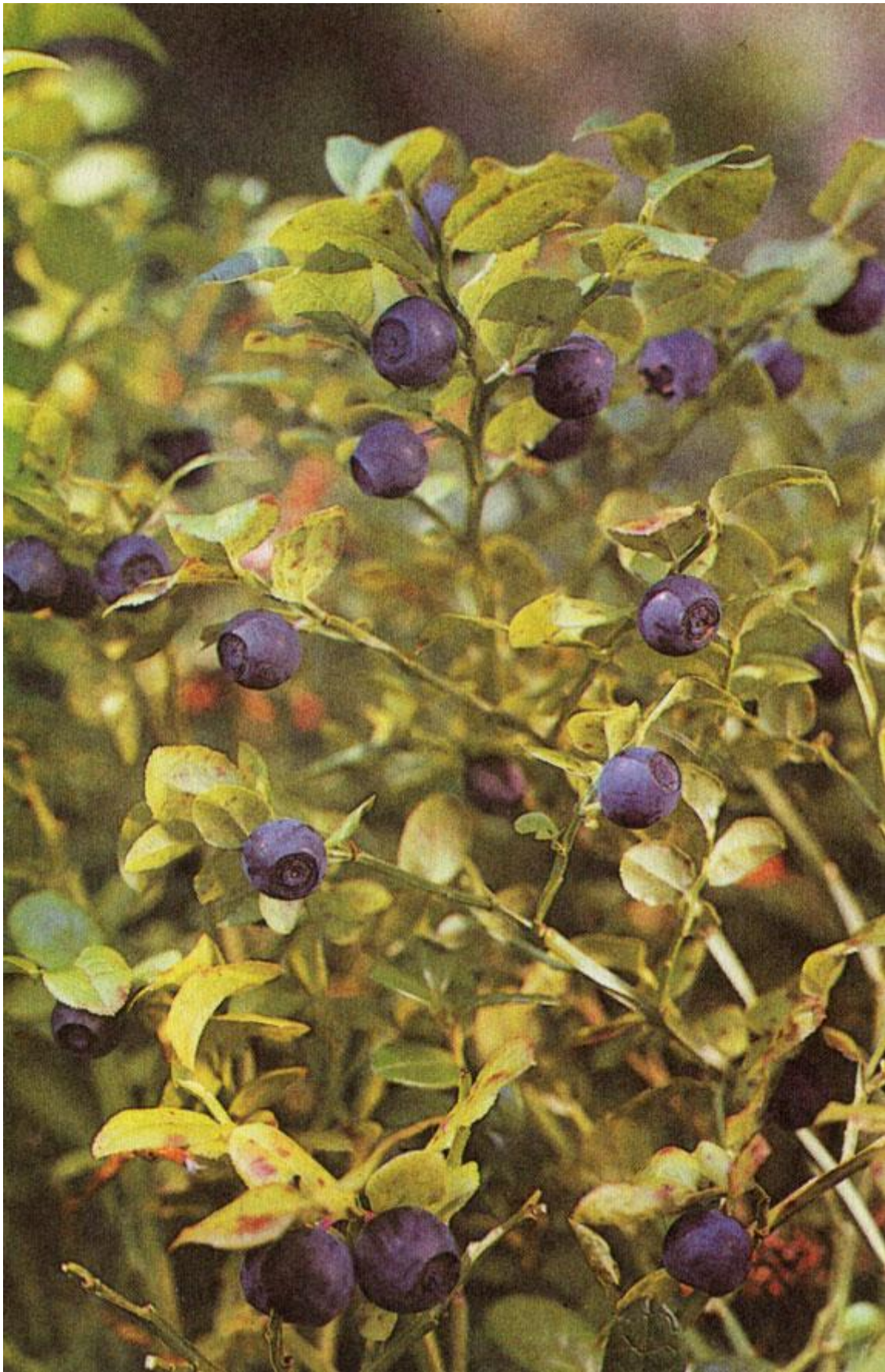
Индикатор присутствия в почве большого количества питательных веществ в доступной для растений форме:
кипрей узколистный (иван-чай)

Отсутствие азота резко проявляется прежде всего в изменении окраски листьев, которая становится светло-зеленой. Причина в том, что азот входит в состав хлорофилла: когда нет этого элемента, не образуется и хлорофилл. Согласно проведенным экспериментам, листья тополя, содержащие 1,8% азота, обладают лишь 55% хлорофилла (100% имеют листья, содержащие 3,4% азота). Длительное азотное голодание сопровождается переходом бледно-зеленой окраски в желтую, оранжевую, красную в зависимости от вида растения. Например, у капусты и брюквы листья становятся красноватыми. Пожелтевшие листья часто отмирают. Поскольку у многих растений наиболее старая часть листа представлена верхушкой, то здесь и происходят первичные изменения в окраске. У кукурузы желтая окраска распространяется затем по центральной жилке. У картофеля края желто-зеленых листьев закручиваются внутрь.



Индикатор почв с низким уровнем питательных веществ: брусника

Недостаток азота ведет к уменьшению интенсивности фотосинтеза и резкому торможению роста растений. Процессы роста подавляются главным образом по той причине, что без азота не могут синтезироваться белки, составляющие основу сухой массы цитоплазмы. При недостатке азота деревья ветвятся слабо, у растений формируются мелкие плоды с низким содержанием белка. Азотное голодание у полевых культур проявляется обычно в фазе четвертого листа. У озимой пшеницы при продолжительном дефиците азота формируется тонкий стебель с мелкими листьями и колосьями.



Индикатор почв с низким уровнем питательных веществ: черника

Наличие в фитоценозах таких растений, как клевер темноцветный, дрок красильный, росянка круглолистная, говорит о недостатке в почве азотсодержащих веществ в усвояемой форме. Обильное разрастание малины, гравилата речного, лебеды татарской, хмеля, крапивы двудомной и жгучей, кипрея

узколистного, паслена сладко-горького, ширицы запрокинутой, бузины черной, мускусницы, смородины черной, напротив, свидетельствует о повышенном содержании азота в почвах. Эти растения редко встречаются на почвах с умеренным содержанием азота и отсутствуют при его недостатке.

В случае дефицита **фосфора** рост побегов и корней резко замедлен, листья образуются мелкие, относительно узкие. Наступление фаз развития растений, особенно цветения и созревания плодов, задерживается.

Очень сильно меняется окраска листьев и хвои. Они становятся синевато-зелеными, лиловыми или даже красноватыми. Это объясняется тем, что в тканях растений при отсутствии фосфора накапливаются сахара. Увеличение их содержания связано не с усилением биосинтеза, а с торможением распада. Обычно сахара очень интенсивно потребляются в процессе дыхания, при котором их молекулы должны вступать в реакцию с остатком фосфорной кислоты. В противном случае они остаются химически инертными и не могут быть использованы в дыхательном процессе, что и наблюдается при недостатке фосфора. Накапливающиеся в растительных тканях сахара начинают превращаться в антоцианы, придающие листьям красную, лиловую и синюю окраску. Она особенно интенсивна там, где обычно меньше хлорофилла: на стеблях, черешках, жилках листьев.

Недостаток фосфора приводит к резкому ослаблению плодоношения. У кукурузы наблюдается недоразвитие початков, они мелкие и искривленные, не полностью озерненные, с засохшими верхними цветками.

Первый признак **калийного** голодания - это изменение окраски листьев на темно-зеленую с голубоватым оттенком. Затем края листьев опускаются вниз. Сначала с краев, а позднее по всей листовой пластинке появляются желтоватые, переходящие в бронзовые и коричневые пятна. У сосен становятся золотисто-желтыми верхушки, а у березы - словно обожженные по краям листья. Краевой ожог листьев - самый характерный признак калийного голодания. Кроме того, приостанавливается рост в высоту, сокращаются размеры междоузлий. Растения становятся низкорослыми. Признаки их повреждения обычно проявляются в середине вегетации, когда рост особенно интенсивен.

При недостатке в почве **кальция** задерживается рост корней и образование новых почек. Если дефицит этого элемента усиливается, то края листьев начинают скручиваться и на них появляются хлоротичные пятна.

Среди дикорастущих растений есть как кальцефилы, так и кальцефобы. О кальцефилах упоминалось в разделе "Растения-рудознатцы" (венерин башмачок, порезник горный, различные виды солнцезвезда, степная астра, папоротники из рода пеллея). К числу кальцефобов относятся бухарник мягкий, белоус торчащий.

Недостаток **магния** порождает пятнистый хлороз листьев, сходный с мозаичной болезнью растений, вызванной вирусом. При этом между жилками появляются желтоватые или бурые пятна. Там, где они располагаются, ткань нередко отмирает. Особенно часто это наблюдается у старых листьев. Поскольку магний передвигается в растении по жилкам, в них этого элемента больше, чем в соседних тканях, а потому жилки сохраняют зеленую окраску, хлороз же охватывает ткани, расположенные между ними. Междужилковый хлороз является наиболее типичным признаком недостатка магния.

На листьях злаков в случае дефицита магния сначала возникают светло-зеленые пятна, а затем полосы. У сосен желтеют кончики хвоинок. У хлопчатника листья приобретают багряную окраску.

Растения при недостатке **серы** внешне выглядят так же, как если бы им не хватало азота.

Показателем недостатка **железа** служит "железный" хлороз, при котором листья и хвоя становятся желтоватыми и даже белыми. Наиболее отчетливо он проявляется у молодых листьев.

Очень чувствительны к недостатку железа плодовые деревья - яблоня, груша, слива, персик, цитрусовые, а также ягодные кустарники - виноград, малина. Резко сказывается недостаток железа и на полевых культурах. При длительном дефиците этого элемента отмирают верхушки побегов.

Обычно железное голодание испытывают растения на почвах, богатых кальцием. Такие почвы имеют, как правило, щелочную реакцию, при которой железо переходит в нерастворимую форму и становится недоступным для растений.

При недостатке **бора** подавляется рост всего растения, плохо ветвятся корни, старые листья желтеют, свертываются по краям и отмирают. У фруктовых деревьев из-за отсутствия этого элемента замедляется образование плодов и засыхают вершины. Сахарная, кормовая и столовая свекла поражаются болезнью "сухая гниль сердечка". Она часто встречается у растений на почвах с щелочной реакцией при их известковании, в результате чего бор утрачивает подвижность и становится менее доступным для растений. Заболевание сопровождается отмиранием зачатков листьев и точек роста. Затем оно распространяется на внутренние части корня. Аналогичные явления наблюдаются у турнепса и брюквы. Верхушечная болезнь резко выражена при борной недостаточности у табака и люцерны. У цветной капусты соцветия темнеют, а в стебле возникает дуплистость. В клубнях картофеля образуются трещины. Отмирание верхушечной почки приводит нередко к обильному ветвлению растений. Это наблюдается, например, у хлопчатника, овощных и бобовых культур. Бор, как и кальций, плохо передвигается по растению. По этой причине признаки борного голодания обнаруживаются в первую очередь в молодых частях растений, в том числе в точках роста. Чрезвычайно важна роль этого элемента в формировании плодов. При его дефиците возникают дефектные цветки, а в плодах образуется пробковая ткань.

Недостаток **молибдена** вызывает пятнистость и отмирание отдельных участков листьев, свертывание листовых пластинок по краям, подавление роста растений. Индикаторами молибденового голодания в полевых условиях являются главным образом бобовые растения, например клевер, люцерна, а также цветная капуста, томаты, цитрусовые.

На осушенных болотах уже давно известно заболевание растений, которое носит разные названия: болезнь обработки, белая чума, белая немочь, болезнь верещатников, эндемическое полегание хлебов. Причины его - недостаток **меди**. В основном этой болезнью поражаются злаки. Ее симптомы - белеют и закручиваются кончики листьев, усиливается кущение, однако колосья не выходят из листовых влагалищ, стебель слабеет из-за недоразвития механической ткани, задерживается налив зерна, в колосе возникает черездерница. Наиболее чувствительны к недостатку меди ячмень, яровая и озимая пшеница, овес. Наиболее устойчива рожь. Сходные признаки медного голодания наблюдаются также у растений из семейства крестоцветных и бобовых.

У плодовых деревьев в случае недостатка меди развивается болезнь, называемая экзантемой. Она проявляется в суховершинности вследствие завядания концевых почек, отмирания ветвей. Особенно сильно страдают при дефиците меди цитрусовые.

Недостаток **марганца** выражается в появлении на листьях между жилками желтоватых или палевых хлоротичных пятен. У злаков сначала возникает серая пятнистость, переходящая затем в полосатость. Белой пятнистостью поражаются семена гороха. У столовой свеклы листья окрашиваются в темно-красный цвет. Хлоротичные участки у растений часто отмирают, рост подавляется. В результате этого у овса, пшеницы и ячменя сильно снижается урожайность.

Поскольку марганец, так же как и бор, железо и кальций, не подвергается реутилизации, дефицит сказывается на верхних частях растений, что приводит к торможению роста растительных организмов. Однако в отличие от борного голодания верхушечные почки обычно не отмирают.

Доступность марганца для растений зависит от кислотности почвы. На кислом субстрате растворимость его солей возрастает, что нередко приводит к избытку этого элемента в растениях. Снизить токсичность марганца можно известкованием, но если переусердствовать, то в почве начнет ощущаться его недостаток, что отразится на растениях. В полевых условиях растениями - индикаторами марганцевого голодания служат картофель, горох, фасоль, капуста.

Недостаток **цинка**, как правило, ведет к распространению у плодовых деревьев, а также у некоторых злаков, например у кукурузы, розеточной болезни. При этом развиваются ветви с укороченными междоузлиями, а листовые пластинки приобретают форму розеток. Отсутствие цинка вызывает некротические явления в листьях, которые часто приобретают бронзовый цвет и отмирают. Вновь появляющиеся листья мелкие. Образование репродуктивных органов подавлено. Формируются уродливые, мелкие, нередко с толстой кожурой плоды.

У кукурузы недостаток цинка вызывает заболевание, известное как "белые ростки". При этом молодые распускающиеся листья имеют очень бледную окраску. Хорошими индикаторами цинкового голодания в полевых условиях являются фасоль, соя, кукуруза, лен, клещевина, хмель, а среди плодовых растений - яблони, груши, персики, абрикосы, вишни, сливы, виноград, цитрусовые.

Наряду с визуальной диагностикой обеспеченности растений элементами минерального питания с 20-х годов нашего столетия стала широко применяться химическая с весьма разнообразными методами. В настоящее время в агрохимических лабораториях определяют валовое содержание элементов минерального питания не только в высушенных листьях, но и в свежем растительном материале (тканевый анализ). Разработаны экспресс-методы определения элементов минерального питания в выжатом соке (метод К. П. Магницкого) или срезах черешков листьев и стеблей (метод В. В. Церлинг).

Несмотря на то что анализы с помощью экспресс-методов сравнительно краткосрочны, обследование обширных посевных площадей требует значительных затрат и труда, и времени. В связи с этим все больше внимания уделяется разработке дистанционных методов контроля за питанием сельскохозяйственных культур. Наиболее часто используется отражательная способность растений, которая фиксируется соответствующими приборами, размещенными на летательных аппаратах, и передается на Землю в виде фотоизображения, электро- и радиосигналов. Съемка растений ведется с помощью различных приборов: многозональной фотоаппаратуры, телекамер, многоспектральных датчиков, термодатчиков и радаров.

Всесоюзный научно-исследовательский институт применения авиации в народном хозяйстве и Киевский сельскохозяйственный институт изучали возможность использования аэрофотосъемки посевов пшеницы для диагностики азотного питания растений. Результаты аэрофотосъемки уточнялись с помощью детальных наземных исследований. Опыты показали, что озимая пшеница на разных фонах азотного питания обладает неодинаковой отражательной способностью, которая четко фиксируется на аэрофотоснимках. Установленная зависимость между содержанием в растениях азота и спектральной яркостью посевов позволяет контролировать потребность озимой пшеницы в азоте, быстро определять необходимость азотных подкормок растений.

В настоящее время для индикации физиологического состояния растений используется и лазерная техника. Луч лазера, испускаемый лазерной установкой, размещенной на самолете или вертолете, возбуждает люминесценцию растений, интенсивность которой зависит от обеспеченности посевов элементами минерального питания. На основании полученных данных ученые разрабатывают рекомендации по срокам и дозам подкормки тех или иных культур.

Указатели кислотности почвы

Обычно едва речь заходит о кислотности, в памяти оживает школьная лакмусовая бумажка - узкая полоска непроклеенной фильтровальной бумаги, пропитанная лакмусом. Лакмус - продукт

жизнедеятельности лишайников из рода рочелла (*Roccella*). Еще отец ботаники Феофраст, живший в 371 - 286 гг. до н.э., упоминал об этих растениях как источнике красящих веществ. В средние века из них получали ценные красители - орсей, индиго красный, лакмус, французский пурпур и другие, использовавшиеся для окраски шкур, шерсти и шелка. Рочеллы - древние представители растительного мира, о чем свидетельствуют как особенности их географического распространения, так и своеобразие морфологического строения. Их беловато-серые, сизые, а иногда и грязно-оливковые слоевища обычно прикрепляются к скалам. По форме и окраске они напоминают причудливые известковые окаменелости. В Европе рочеллы распространены главным образом в Средиземноморье. Один из наиболее характерных видов - рочелла фукоидная (*Roccella fucoides*) - представляет собой прямостоячие светлосерые или сизые кустики, возвышающиеся над поверхностью субстрата на 2-10 см. Для производства лакмуса, резко меняющего в кислой среде свою синюю окраску на красную, используется рочелла красильная (*Roccella tinctoria*).

Кислотность раствора может указывать не только лакмус, но и другие вещества, придающие растениям характерную окраску. Так, например, в качестве индикатора кислотности раствора может быть использована спиртовая или водная вытяжка антоцианов из листьев краснокочанной капусты. Ее слабо-фиолетовый раствор под действием кислоты окрашивается в ярко-алый цвет, а щелочи - в желто-зеленый.

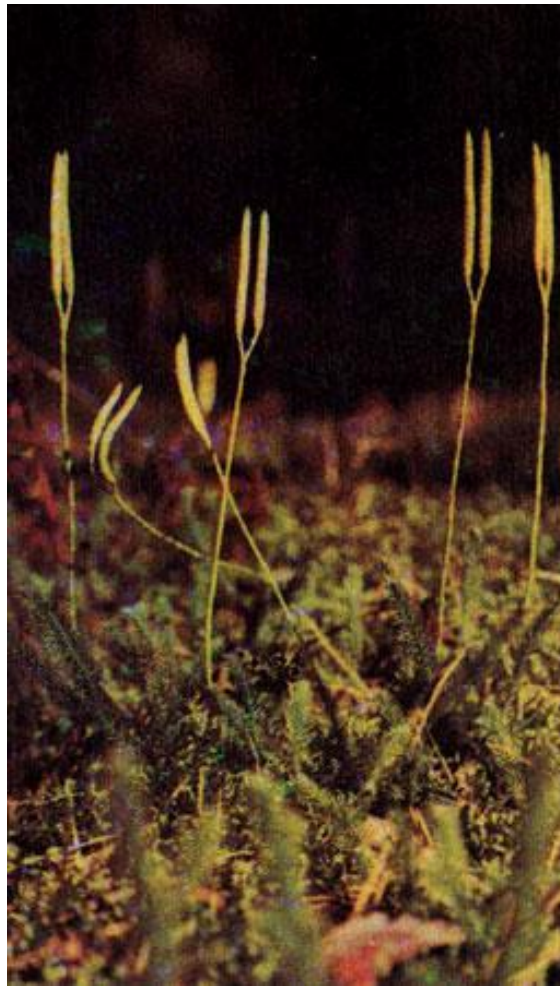
Вообще антоцианы многих растений могут заменить лакмус. Хорошими индикаторными свойствами обладают, например, антоцианы сеткреазеи пурпурной (*Setcreasea purpurea*) - комнатного растения из семейства коммелиновых, близкого родственника нашей обычной традесканции. У этого растения источником получения антоцианов являются широколанцетные, заостренные, матово-пурпурные, а снизу темно-фиолетовые листья. Сок спелой ежевики после кипячения и нанесения на фильтровальную бумагу также может быть использован вместо лакмуса. В кислой среде он приобретает красную окраску, а в щелочной - зеленую. Аналогичным образом изменяется окраска отваров плодов черемухи и лепестков мака восточного, фиалки. Синий фиалковый сироп, а также ряд других растительных индикаторов был введен в аналитическую практику Робертом Бойлем во второй половине XVII в.

Итак, растения издавна использовались в качестве индикаторов кислотности растворов. Однако сейчас нас интересует не кислотность вообще, а кислотность почвы, почвенного раствора. И здесь нам на помощь вновь приходят растения.

Интенсивность роста растений на той или иной почве зависит не только от содержания питательных веществ, но и от кислотности, которая определяет растворимость солей и, следовательно, усвояемость различных элементов минерального питания. Фосфор, калий, железо, цинк, марганец, бор лучше усваиваются растениями на кислых почвах. Однако значительное увеличение кислотности приводит к повреждению растений. Каждый вид растений может существовать лишь в свойственных ему пределах кислотности (рН) почвенных растворов. Поэтому некоторые растения и выступают в роли индикаторов кислотности почв.

Растения по их способности нормально развиваться в той или иной среде принято дифференцировать на несколько групп. Предпочитающие кислые субстраты относятся к ацидофилам, а щелочные - к базофилам.

Крайние ацидофилы успешно произрастают при рН = 3,0-4,5. К ним относятся сфагнумы компактный и магелланский, плаун булавовидный, водяника черноплодная, марьянник луговой, пушица влагилищная.



Крайний ацидофил - плаун булавовидный

Умеренные ацидофилы предпочитают почвы с $\text{pH} = 4,5-6,0$. Это калужница болотная, лютики ядовитый и ползучий, сердечник луговой, седмичник европейский.



Умеренный ацидофил - калужница болотная

Слабые ацидофилы растут при $pH = 5,0-6,7$. К их числу относятся ветреница лютичная, медуница неясная, купена многоцветковая.



Слабый ацидофил: ветреница лютичная



Слабый ацидофил: медуница неясная

Ацидофил-нейтральные виды (смородина черная, малина, лещина обыкновенная, крапива жгучая) произрастают при $\text{pH} = 4,5-7,0$.



Ацидофил-нейтральное растение: лещина обыкновенная



Ацидофил-нейтральное растение: крапива

При $pH = 6,0-7,3$ хорошо развиваются растения околонеитральных почв: клевер горный, смолевка поникшая, таволга шестилепестная, мыльнянка лекарственная.

К числу *нейтрально-базофильных* растений, предпочитающих почвы с $pH = 6,7-7,8$, относятся люцерна серповидная, мать-и-мачеха, полыни сероземная, цитварная и Лерха.



Мать-и-мачеха - нейтрально-базофильное растение

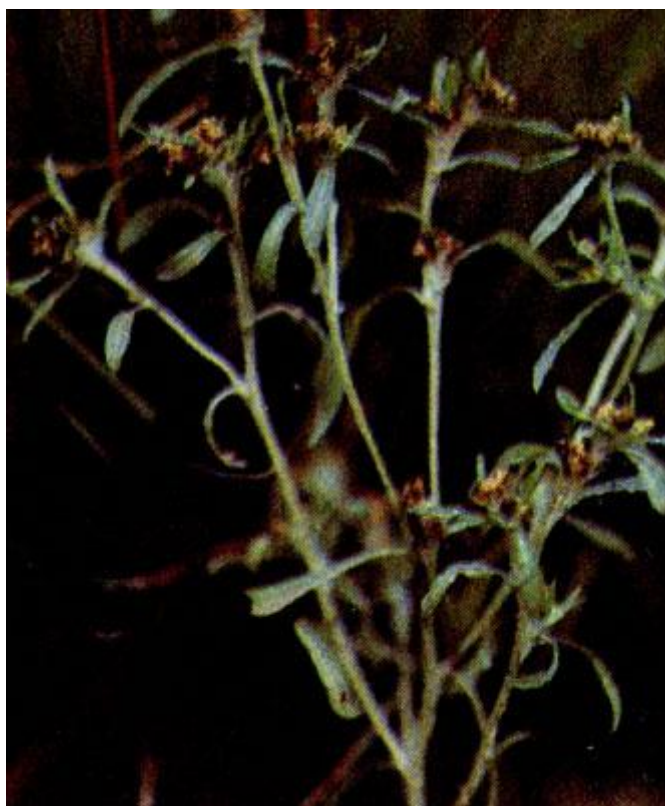
Базофильные растения произрастают при $pH = 6,7-8,5$. Это лебеда бородавчатая, поташник олиственный, астра солончаковая, кермек Гмелина и др.

Некоторые растения нормально развиваются в широких пределах кислотности (от 3,0 до 7,5 и от 5,0 до 9,5). Это так называемые *эвритопные* растения. К ним относятся лютик ползучий, земляника лесная, марь белая, птичья гречиха, вьюнок полевой и др.

Бобовые растения не выносят кислой реакции среды, поэтому их никогда не встретишь на сильнокислых почвах. Однако после известкования такие субстраты становятся пригодными для бобовых трав.



Облепиха - индикатор почв, богатых карбонатами



Сушеница топяная - индикатор почв, содержащих достаточное количество извести

На почвах, богатых карбонатами, произрастают бук, облепиха, бересклет европейский, ясень. В этом случае ствол у бука более ровный, а кора его чище и светлее, нежели у дерева, выросшего при умеренном содержании карбонатов. Живокость полевая (*Delphinium consolida*) - один из самых обыкновенных спутников хлебных злаков Черноземья. По этому растению и без сложных химических анализов можно определить, что почвы богаты известью. На достаточное количество ее указывает обилие горчицы полевой, сушеницы болотной, подорожника ланцетолистного. Засорение посевов гречихой голым, васильком голубым, дикой редькой свидетельствует о намечающемся недостатке извести. В лесу отсутствие в почве кальция выявляют майник двулистный, папоротник орляк, фиалка собачья. К кальцефобам относятся вересковые (эрика крестолистная, вереск обыкновенный, брусника), многие виды осок и все сфагновые мхи. Если в растительном покрове встречаются некоторые виды сфагновых мхов, то можно говорить о недостаточном содержании в почве кальция.

Растения сигнализируют о влажности почвы

Рост растений определяется не только уровнем содержания в субстрате элементов минерального питания и кислотностью почвенного раствора, но и влажностью. Однако не вся вода, находящаяся в почве, может поглощаться растениями. Доступность ее определяется способностью почвенных частиц удерживать влагу.

Физиологи растений различают гравитационную, капиллярную, пленочную и гигроскопическую воду. Гравитационная вода заполняет крупные промежутки между частицами почвы и перемещается под действием силы тяжести в нижележащие горизонты. В почвенном слое гравитационная вода присутствует обычно после дождя. Она хорошо доступна для растений.

Капиллярная вода заполняет капиллярные промежутки между почвенными частицами и перемещается под действием менисковых сил. Она также хорошо усваивается растениями.

Пленочная вода расположена на поверхности почвенных частиц и удерживается ими по-разному: чем ближе к поверхности почвенной частицы расположены молекулы воды, тем сильнее они удерживаются ими. Корневые волоски могут поглощать воду, находящуюся на периферии водных оболочек почвенных частиц.

Что касается гигроскопической воды, то она крепко удерживается почвенными частицами и поэтому совершенно недоступна для растений.

Количество доступной для растений воды представляет собой разницу между полной влагоемкостью почвы и так называемым мертвым запасом влаги в ней. Полная влагоемкость - это максимальное количество воды, удерживаемой почвой без стекания, а мертвый запас представляет собой воду, полностью недоступную для растений.

Доступность для растений воды определяется механическим составом почв, уровнем содержания в них коллоидных частиц, концентрацией почвенного раствора.

Индикаторами влажности служат в основном две группы растений - ксерофиты и гигрофиты. Ксерофиты произрастают в засушливых, а гигрофиты - во влажных и сырых местообитаниях.

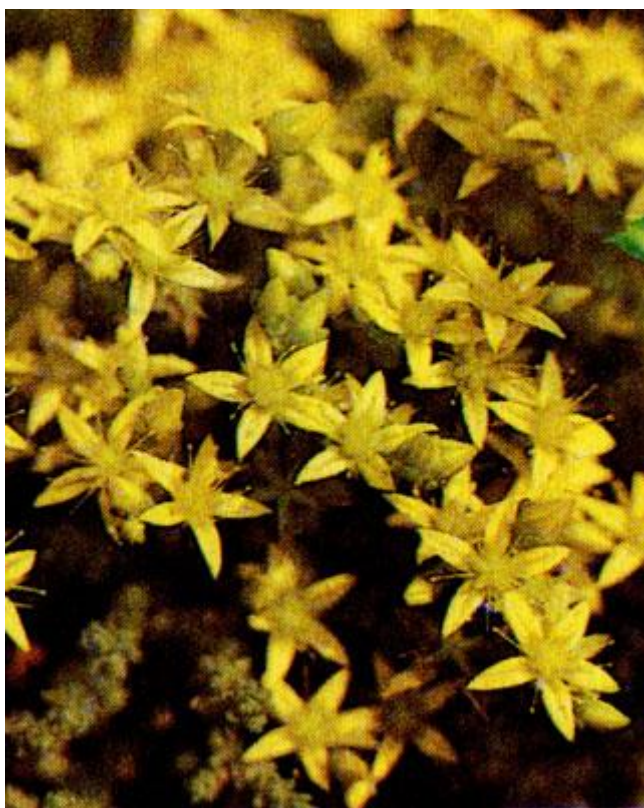
Приспособления *ксерофитов* к засушливым условиям существования разнообразны. Одни из них как бы "убегают" от засухи, завершая свой цикл развития в то время года, когда в почве имеется достаточное количество влаги, накопленной за зиму или за счет весенних осадков. Это эфемеры и эфемероиды, ярким ковром расцветивающие степи и пустыни весной и бесследно исчезающие" с установлением знойного времени года.

Другие ксерофиты приспособились переносить засуху, резко ограничив транспирацию. Их листья покрыты толстой кутикулой, мощным восковым налетом, обильно опушены, а устьица погружены в толщу листа.

Особую группу ксерофитов представляют суккуленты - растения с сочными стеблями или листьями, которые служат аккумуляторами влаги. Если вода запасается в стеблях, то листья суккулентов обычно недоразвиты и имеют вид колючек. Примером таких растений являются американские кактусы и африканские виды молочаев. Кактус высотой 10 - 20 м содержит около 3 т воды. Такого запаса влаги растению хватает без пополнения на 2 года. Агавы и алоэ, а также произрастающие в средних широтах нашей страны очиток и молодило воду запасают в листьях.

У представителей еще одной группы ксерофитов - фреатофитов, которые с помощью глубокой корневой системы успешно снабжают себя водой, признаки приспособления к засухе (ксерофитизм) выражены слабо. Они используются в основном для индикации глубины залегания грунтовых вод.

Не следует думать, что ксерофиты распространены только в пустынях и полупустынях. Их можно обнаружить и в лесной зоне. Индикаторами сухих лесных почв служат очиток едкий и келерия сизая.



Очиток едкий - индикатор сухих местообитаний

На избыточное увлажнение почв указывают гигрофиты: калужница болотная, рогоз узколистый, чистец болотный, пушица влагалищная, водяной перец, сабельник болотный, белокрыльник, тростник обыкновенный. Многие из них имеют такое строение, которое позволяет им испарять большое количество воды, - крупные листья, слабо развитая кутикула, иногда приподнятые над поверхностью листа устьица. Благодаря особым водяным устьицам - гидатодам они выделяют капельножидкую воду. Это явление называется гуттацией. Оно хорошо выражено у дербенника иволистного (*Lythrum salicaria*), нередко называемого еще плакун-травой. Это растение высотой 50-80 см встречается в нашей стране по сырым местам, болотам, берегам рек, прудов и вдоль канав. С июня до сентября оно украшено пурпурными цветками, собранными в густое колосовидное соцветие. Много удивительных свойств приписывалось в старину этому растению. В романе А. К. Толстого "Князь Серебряный" мельник

говорит о нем князю Афанасию Вяземскому: "Есть еще плакун-трава, вырежешь из корня крест, да повесишь на шею, все тебя будут как огня бояться".



Дербенник иволистный - указатель избыточно увлажненных грунтов

Белоус (*Nordus stricta*) - небольшое злаковое растение, у которого после отцветания стебли становятся белыми, что и нашло отражение в его названии. Встречается там, где влажный луг превращается в болото. Вытесняя с лугов более ценные в хозяйственном отношении травы, он снижает качество собранных здесь кормов.

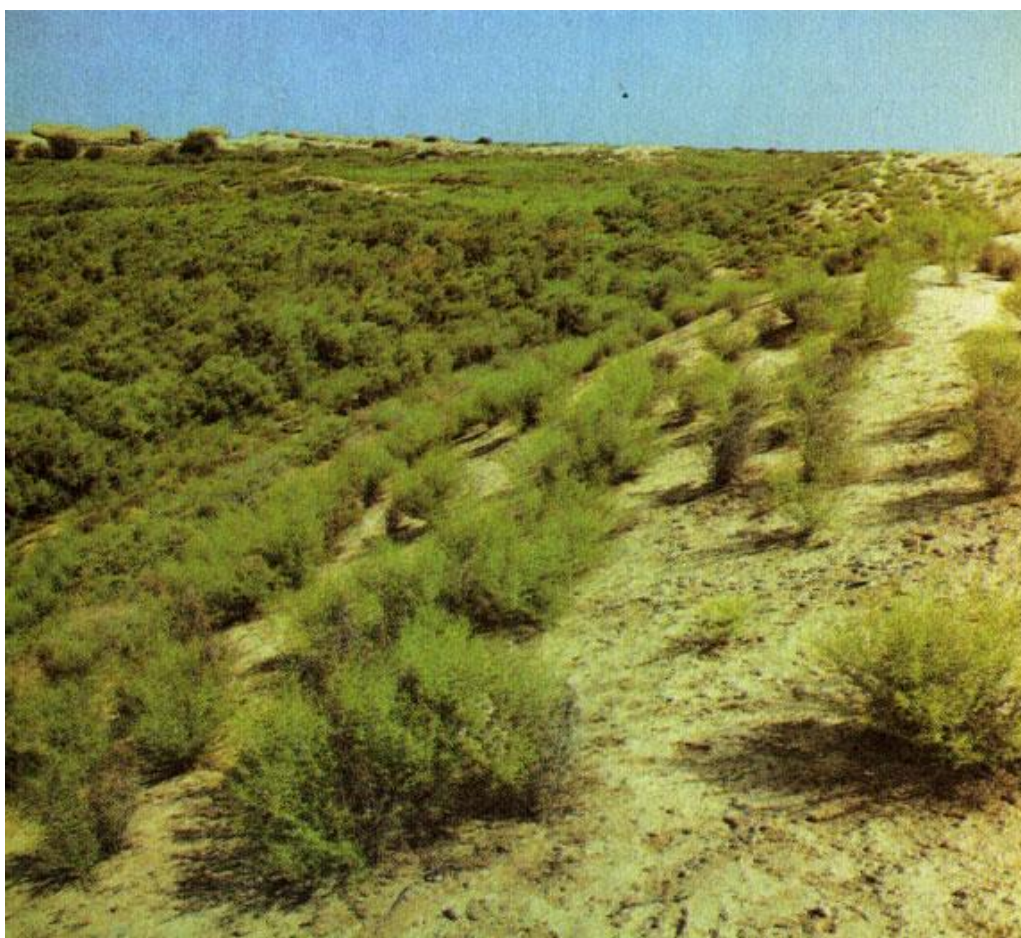
С помощью растений нетрудно обнаружить сходные процессы в лесах. Если в них встречаются кислица и майник, можно быть уверенным в том, что почвы здесь суглинистые или супесчаные, хорошо пропускающие воду. На таких почвах ель растет успешно. Ухудшение дренированности почв приводит к их заболачиванию и торможению елового прироста. В этих условиях кислица и майник быстро

исчезают, уступая место чернике. В том случае, когда процесс заболачивания продолжается (вода застаивается, почва переувлажняется), черника замещается мхом кукушкин лен, вместо которого позже появляется мох сфагнум.

Когда включать дождевальную установку?

Одна из основных задач растениеводов - это вовремя и в достаточном количестве удовлетворить потребности растений в воде. Между тем в некоторых районах нашей страны воды не хватает. Нигде так не ценят и не берегут ее, как в местах с жарким и сухим климатом. Там строят оросительные каналы. Устремляющаяся по ним вода поистине творит чудеса, превращая бесплодные пустыни в цветущие сады. Важно, чтобы ни одна капля ее не пропала даром. Экономя воду, мы можем оросить дополнительно тысячи гектаров пустыни.

Перед работниками сельского хозяйства засушливых районов постоянно стоит вопрос: когда поливать растения? Будешь поливать часто, много воды израсходуешь даром. Редкие поливы могут привести к снижению урожая, так как при недостатке влаги растения плохо растут и плодоносят. Значит, чтобы вовремя полить растения, необходимо знать их физиологическое состояние в тот или иной момент.



Русло древнего канала нетрудно распознать по приуроченной к нему растительности

Для того чтобы выяснить потребности растений в воде, разработаны различные методы. Можно, например, определить влажность почвы в корнеобитаемом ее слое. Благодаря применению особых приборов, принцип действия которых связан с использованием гамма-излучения, удалось резко сократить время проведения анализов. Уже через 2-3 минуты с помощью этих приборов можно получить представление о влажности почвы.

В связи с тем что современные оросительные системы занимают площади в несколько тысяч гектаров, возникла потребность в таких методах анализа, результаты которых позволяли бы судить об обводненности почвы не в одной какой-то точке, а на всей орошаемой территории. В Институте радиотехники и электроники АН СССР еще в начале 60-х годов были разработаны радиофизические методы изучения Земли, в том числе и влажности почв. Аппаратура, предназначенная для этих целей, размещается в самолете. Регистрируя собственное сверхвысотночастотное излучение почв в сантиметровом и дециметровом диапазонах, самолетный СВЧ-влажномер очень быстро контролирует влажность почвы на обширных территориях. Всего за час работы он позволяет получить характеристику влажности почв на площади в несколько тысяч гектаров, причем картограммы влажности могут выдаваться уже через 5 - 7 часов. На основании полученных данных составляется подробная карта массива и график работы каждой дождевальной установки на ближайшие 5 дней. Сверхвысотночастотный влагомер фиксирует неравномерность поливов, поднятие уровня грунтовых вод, утечку влаги из оросительных каналов. Использование его в сочетании с наземными методами позволяет оптимизировать сроки и нормы поливов. В настоящее время в ряде республик нашей страны уже созданы авиационные службы контроля за влажностью почв.

Довольно часто для определения сроков полива используют растения. Можно, например, по концентрации клеточного сока, по силе, с которой клетки насасывают воду (так называемая сосущая сила клеток), и другим показателям установить сроки полива. Один из весьма перспективных методов измерения влажности заключается в определении величины электрического сопротивления почвы и растений. Обычно чем меньше воды в почве и в растениях, тем сильнее возрастает эта величина.

Не так давно ученые сконструировали устройство автоматического управления поливом растений. Корни, снабженные особым влаговсасывающим элементом, сами подают сигналы, когда начинают испытывать жажду. Электронная система преобразует сигнал и подает его в блок регулирования поливом, автоматически включается дождевальная установка, и живительная влага устремляется к растениям в нужном количестве и в нужное для них время.

Поливают растения по-разному. Но независимо от того, каким образом осуществляется полив, главная задача заключается в том, чтобы добиться наибольшего урожая при наименьших затратах воды. Не следует думать, что в засушливых зонах чем больше нормы полива, тем лучше для растений. При избытке воды их корни нередко начинают страдать от недостатка кислорода. Кроме того, может нарушиться структура почвы. Вот почему людям необходимо очень точно знать физиологические потребности растений.

Издержки мелиорации

В пустыне, где без полива невозможно возделывать сельскохозяйственные культуры, орошение по праву относится к числу важнейших форм человеческой деятельности. Однако она приводит к существенным изменениям в ландшафтах пустыни, которое можно подметить с помощью растений, чрезвычайно чутко реагирующих на улучшение водоснабжения.

Какие же изменения в ландшафтах песчаных пустынь вызывает введение больших масс воды? В происходящих при этом перестройках советский ученый С. В. Викторов выделил три фазы. Первая фаза начинается с момента пуска воды по каналу и завершается насыщением влагой всей толщи песков, лежащих выше уровня грунтовых вод.

Вторая фаза (фаза неустановившейся фильтрации) приводит к постепенному повышению уровня грунтовых вод.

Третья фаза (фаза установившейся фильтрации) проявляется в частичном выклинивании грунтовых вод в понижениях рельефа.

Все три фазы четко прослеживаются по изменению состава растительности пустынь. Это обстоятельство позволяет использовать растения в качестве индикаторов происходящих процессов.

В *начальной фазе* значительно активизируются фреатофиты, преимущественно тамариксы и черный саксаул, отдельными группами произрастающие в понижениях рельефа еще до строительства канала. Они все пышно цветут и интенсивно плодоносят. Выявление площади массового цветения и плодоношения фреатофитов позволяет ориентировочно оценить размер территории, на которую простирается влияние канала в начале его существования.

Во *второй фазе* в зону влияния канала интенсивно проникают фреатофиты, ранее здесь не произраставшие, например верблюжья колючка. Это растение обладает способностью в благоприятных условиях увлажнения образовывать мощную систему корневищ, которые дают множество побегов, расположенных на незначительном расстоянии друг от друга. Благодаря этому фитоценозы с участием верблюжьей колючки очень четко видны на аэрофотоснимках. Обычно заросли верблюжьей колючки становятся хорошо заметными на аэрофотоснимках не сразу, а спустя один-два года после строительства канала, когда она разрастается. Поскольку фреатофиты обладают интенсивной транспирацией, их массовое развитие способствует понижению уровня грунтовых вод.



Верблюжья колючка добывает воду с глубины 5-15 м

Фаза установившейся фильтрации характеризуется тем, что в понижениях рельефа зоны канала начинает скапливаться вода. Здесь формируются озерные, болотные и солончаково-луговые ландшафты. Обычно в центре депрессии образуется мелководное озеро фильтрационного происхождения, окруженное полосой болотной растительности, например зарослями тростника, камыша и других крупных травянистых растений. По периферии заболоченной полосы вследствие

интенсивного испарения повышается концентрация солей, поэтому здесь нередко можно встретить солеустойчивые растения - галофиты. Лужайки, окружающие заболоченные пространства депрессий, образованы стелющимися по поверхности земли галофильными злаками из рода прибрежница (*Aeluropus*), свинороем пальчатым (*Cynodon dactylon*), названным так из-за колосовидных веточек, подобно пальцам располагающихся на оси общего соцветия, а также растением из семейства сложноцветных - акбашем (*Karelinia caspica*) и сочными галофитами. Появление этих растений свидетельствует об угрозе локального засоления почв и грунтов в зоне влияния канала.

Как же все эти изменения выглядят на аэрофотоснимках? Центральную часть снимка занимает темное пятно, соответствующее водной поверхности фильтрационного озера. Тростниково-камышовые заросли видны в виде сероватых пятен. Рассеянные на темном фоне округлые пятна, каймой располагающиеся вокруг озера, соответствуют тростниково-камышовому болоту. По периферии сероватой каймы находится довольно пестрая полоса, где чередуются более темные участки, обозначающие злаковые лужайки, и светлые пятна, по которым можно опознать территории, покрытые солевым налетом. Мелкие очень темные вкрапления соответствуют кустам тамариксов, произрастающих по склонам депрессии.

Индикация процессов, происходящих при орошении, имеет важное практическое значение. Она позволяет предвидеть развитие нежелательных последствий, разработать мероприятия, направленные на их предотвращение. Так, например, для предотвращения засоления территорий в зоне влияния канала С. В. Викторов предлагает проводить рациональную агролесомелиорацию, в результате которой комплексы, развивающиеся вокруг фильтрационных озер, могут быть превращены в участки лесной растительности. Здесь могут успешно произрастать ива остролистная, тополь туранга, виды лоха. Эти быстрорастущие и влаголюбивые породы деревьев способны надежно противостоять засолению территорий, примыкающих к каналу.

"Горькую землю узнают по черной и выродившейся траве..."

Так писал Плиний в семнадцатой книге "Естественной истории". Действительно, для засоленных субстратов характерен особый тип растительности. Здесь произрастают те или иные галофиты. К ним относятся солянки, солерос, сарсазан, поташники каспийский и олиственный, кермек полукустарниковый, соляноколосник и др. Многие галофиты - солерос, сарсазан - имеют сочные безлистные членистые побеги, а олиственные - сочные утолщенные листья.



Различные виды солянок успешно противостоят засолению

Известно несколько типов почв, которые различаются по концентрации, химическому составу и глубине залегания солей. Если в почве содержится более 2% солей, такие почвы считаются исключительно сильнозасоленными. Сильнозасоленные почвы имеют 1-2% солей. При умеренном засолении концентрация их составляет 0,5-1,0%. Слабозасоленными почвами считаются те, которые содержат от 0,25 до 0,5% солей. Наконец, если концентрация солей менее 0,25%, такие почвы считаются незасоленными. Химический состав солей определяет типы засолений почв - хлоридное, сульфатное, содовое и смешанное. Концентрацию, химический состав и глубину залегания солей можно выяснить по видовому составу галофитов и их внешнему виду.



На солончаках растут галофиты

В нашей стране для определения степени засоленности почв начали использовать растения с 30-х годов, когда комплексно обследовали почвы Голодной степи. Проведенные исследования показали, что определения степени засоленности, сделанные в полевых условиях и аналитически, совпадают, за исключением очень редких случаев, когда допускалась ошибка на один балл в ту или иную сторону. Геоботанический метод был использован и при скоростном проектировании Большого Ферганского канала.

Одним из индикаторов сильнозасоленных почв у нас в стране является биюргун (*Anabasis salsa*), под которым грунты всегда сильно засолены (на глубине 50-100 см содержится не менее 1% солей). Однако достоверность индикации подобных условий с помощью биюргуна достаточно высока лишь в том случае, если есть крупные массивы кочкарников. Мелкие их пятна указывают на слабое или среднее засоление субстрата.

Биюргуновые кочкарники у нас в стране занимают значительные территории в дельте Волги, в северо-восточном Прикаспии и в других местах.

Читатель уже знаком с фреатофитом - сарсазаном, по которому определяют высокоминерализованные грунтовые воды, непригодные для питья. Это растение также используется для индикации глинистых сильнозасоленных грунтов. Вокруг сарсазана, как и биюргуна, формируются характерные бугорки. Микробугристые сарсазанники позволяют выделить участки с максимальным засолением почв, содержащих большое количество ионов натрия и хлора. Такие солончаки - источники пыли, которая поднимается в воздух даже при легком ветре. Находясь поблизости от орошаемых земель, они могут

стать причиной их засоления. Чтобы избежать этого, микробугристые солончаки закрепляют посевами солеустойчивых злаков.

Галофиты используются в качестве индикаторов засоленных субстратов и в США. Так, например, в северной части штата Канзас наиболее солеустойчивыми растениями считаются представитель семейства злаков дистихлис торчащий (*Distichlis stricta*), обитающий в североамериканских прериях, и сведа прижатая (*Suaeda depressa*). Дистихлис произрастает на почвах, содержащих 3,15% солей, а сведа - до 4,19%. При меньшем засолении (до 2,5%, но часто и на незаселенных почвах) встречается тамарикс пятитычинковый (*Tamarix pentandra*) и представитель семейства злаков споробол техасский (*Sporobolus texanus*). На умеренно засоленных почвах обитают камыши болотный (*Scirpus paludosus*) и американский (*S. americanus*), ячмень гривастый (*Hordeum jubatum*).

В штате Небраска на наиболее засоленных почвах (содержание солей 2,6-4,7%) также произрастает сведа прижатая. Камыш болотный, встречающийся вместе с ячменем гривастым и лебедой раскидистой (*Atriplex patula*), указывает на засоленность почвогрунтов в пределах 0,3-2,2%. Рогоз широколистный (*Typha latifolia*) служит индикатором заболоченных почв, в которых концентрация солей не превышает 0,3%.

Начальные стадии вторичного засоления почв можно заметить по появлению на полях таких сорных растений, как, например, мелколепестник канадский из семейства сложноцветных.

О степени засоления почв можно судить не только по видам растений, но и по их специфическим признакам. При умеренном засолении галофиты имеют интенсивно-зеленую окраску. Если же солей в почве много, то они, выделяясь на поверхности галофитов, придают им серо-синеватую или сизую окраску. Растения солончаков при недостатке влаги приобретают оранжево-красный цвет, что является важным диагностическим признаком для опознания засоленных участков с самолета при аэровизуальных наблюдениях.

Культурные растения также изменяют свой внешний вид даже на слаоозасоленных почвах, поэтому их можно использовать в качестве индикаторов. Так, например, сахарная свекла, люцерна, бобы, клевер имеют при избыточном засолении синеовато-зеленоватую окраску, обусловленную наличием на листьях воскового налета.

Анализируя аэрофотоснимки, исследователи обратили внимание на то, что изображения лесных полос на разных мелиорированных землях существенно отличаются. Это обстоятельство побудило их провести непосредственные полевые обследования. Оказалось, что одни лесополосы были совершенно здоровые, другие - явно угнетенные, с множеством низкорослых деревьев, с усыхающими ветвями и желтеющей листвой, а также с отдельными погибшими деревьями и целыми группами их. Причина неудовлетворительного состояния лесополос заключалась в засолении почв: гибель деревьев коррелировала с содержанием солей хлора и соотношением натрия и кальция.

Видовой состав галофитов может подсказать не только интенсивность засоления, но и его характер: при наличии в почве большого количества хлоридов среди галофитов преобладают солерос, сведа.

Некоторые растения устойчивы к гипсовому засолению. Их называют гипсофилами. В Приаралье и Прикаспии к ним относятся реомюрия джунгарская (*Reaumuria soongetica*) из семейства тамариковых, поташники каспийский (*Kalidium caspicum*) и олиственный (*K. foliatum*), суран (*Suaeda physophora*), бюргун гипсовый (*Anabasis gypsicola*), ежовник канделябрный (*A. brachiata*) из семейства маревых.

Кроме того, по видовому составу галофитов можно определить направление миграции элементов, входящих в состав легкорастворимых солей. Изучение особенностей миграции и аккумуляции различных солей важно не только для сельскохозяйственной практики, но и для различных инженерно-

геологических работ, геохимической оценки территорий, народнохозяйственного планирования и разработки рекомендаций по охране земель.

В настоящее время для этих целей используют космические летательные аппараты, например орбитальную станцию "Салют", которая позволяет получать снимки, дающие представление об особенностях засоления территорий. Так, в наших среднеазиатских республиках были обнаружены участки вторичного засоления почв, вызванного нарушением режима грунтовых вод в районах крупных водохранилищ.

Как распознать механический состав почв и грунтов

Влагоемкость почвы, а также количество недоступной для растений воды, как уже отмечалось, определяются, в частности, ее механическим составом. Поэтому механический состав почв имеет важное практическое значение. Узнать его также помогают растения. По отношению к механическому составу почв и грунтов различают псаммофиты (обитатели песков), пелитофиты, или аргилофиты (обитатели наиболее тяжелых суглинков и глин), алевритофиты (обитатели супесей и суглинков), хасмофиты (обитатели щебнистых субстратов).

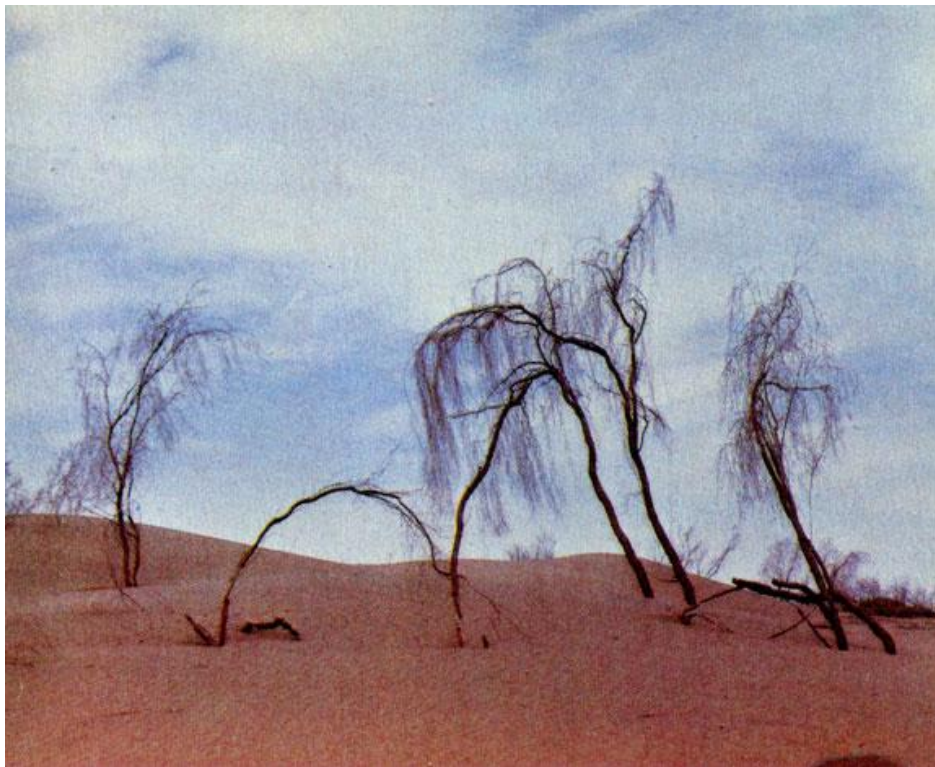
Индикаторами песчаных почв служат псаммофиты. Их корневые системы сильно развиты, но залегают, как правило, неглубоко в поверхностных слоях песка. Разумеется, песчаные барханы легко опознаются визуально и без растений. Однако нередко у различных специалистов - геологов, инженеров, строителей, грунтоведов возникает необходимость в сведениях о гранулометрическом составе почв и материнских пород, почвообразовании на песках, мощности песчаных массивов, скрытых от человеческого глаза.

Некоторые из псаммофитов произрастают на рыхлых, хорошо отсортированных песках. Это так называемые псаммофиты-пионеры. К их числу относятся селины (виды рода *Stipagrostis*) - мелкие злаковые растения со шнуровидными корнями, пронизывающими верхние слои песка, и образующий густые заросли гигантский песколюбивый злак кияк (*Elymus giganteus*). У кияка крепкие прямостоячие стебли с жесткими сизо-зелеными листьями и внушительного размера колосьями. В Нижнем Поволжье, Прикаспии и Приаралье заросли этого растения приурочены к толщам песков. Из кустарниковых растений индикаторами мощных песчаных толщ в пустынях и полупустынях нашей страны могут служить различные виды джужгуна (род *Calligonum*). Они представляют собой крупные безлистные кустарники высотой до 1,5-2,0 м. Как и другие представители семейства гречишных, джужгуны характеризуются обильным цветением и плодоношением. Их плоды хорошо распространяются с помощью ветра. У джужгуна безлистного (*Calligonum aphyllum*) они снабжены пятью широкими крыловидными выростами, а у джужгуна - "голова медузы" (*Calligonum caputmedusae*) - имеют множество радиально расположенных тонких волосовидных выростов, разветвленных на концах. Такие плоды легко подхватываются ветром и переносятся по поверхности песка на большие расстояния. По ним можно легко распознать индикаторное растение.



Джузгун - индикатор мощных песчаных толщ

Из других псаммофитов следует назвать песчаные акации (род *Ammodendron*) - стройные тонкие деревья или кустарники с серебристой листвой, по весне украшенные кистями красивых фиолетовых цветков. Их длинные шнуровидные корни успешно удерживают растения на сыпучих песках Каракумов и Кызылкума.



Песчаные акации, растущие на высоких буграх, располагают свои кроны в ту сторону, куда чаще всего дует ветер

Умеренные псаммофиты в отличие от псаммофитов-пионеров произрастают на более тяжелых пылеватых разностях песков. К ним относятся, например, злаковое растение житняк сибирский (*Agropyron sibiricum*), полынь песчаная (*Artemisia sabulosa*) - крупное растение с характерными красновато-коричневыми побегами, а также опушенный кустарник терескен (род *Ceratoides*). Ученые установили, что низинные фитоценозы с участием терескена и полыней указывают на возрастание тяжелых пылеватых фракций и на закрепление песчаного субстрата. На суглинистые прослойки в толще песков показывают не только полыни, но и рощи черного саксаула.

Промежуточное положение между умеренными псаммофитами и пелитофитами занимают алевритофиты, произрастающие на супесчаных и суглинистых почвах.

Пелитофиты обитают преимущественно на тяжелых суглинистых и глинистых грунтах. К ним относятся многие виды полыней, а также биюргун (*Anabasis salsa*) - невысокое, прижатое к земле растение. Листья биюргуна превратились в мелкие чешуевидные выросты, а корни проникают на глубину 70-150 см. Весной кустики этого растения выглядят зелеными,

а летом и осенью кажутся серовато-бурыми или красновато-бурыми. Каждый такой кустик, скрепляя субстрат корнями и препятствуя его развеванию и размыву, является центром плотной глинистой кочки. Биюргуновые кочкарники, редко встречающиеся на супесях и пылеватых песках, служат индикаторами наиболее тяжелых глинистых грунтов. От гранулометрического состава зависит морфология биюргуновых кочек. Если кочки четко очерченные, крупные, высокие (более 40-45 см), они приурочены, как правило, к глинам и тяжелым суглинкам. Для более легких грунтов характерны едва возвышающиеся над поверхностью слабовыраженные кочки. На качество субстрата указывает и видовой состав кочкарников: на глинистом субстрате произрастают чистые биюргунники, тогда как на легких суглинках и супесях им сопутствуют мелкие травянистые растения.

К лепешковидным пелитофитам относится камфоросма монпельенская (*Camphorosma monspeliacum*) из семейства маревых. Это сорное пастбищное растение поселяется на глинах и суглинках. Достоверными индикаторами таких субстратов служат дереза туркестанская (*Lucium turcomanicum*), каперсы колючие (*Capparis spinosa*) и некоторые другие растения.

Псаммофиты обитают не только в пустынях, но и на песчаных побережьях морей. Песколюбка песчаная (*Ammophila arenaria*), колосняк песчаный (*Leymus arenarius*), пырей ситниковидный (*Agropyron junceum*) из семейства злаковых благодаря длинным корневищам успешно справляются с засыпанием песком. По сравнению с пыреем ситниковидным песколюбка предпочитает более сухие местообитания белых дюн. В Северной Европе эти растения нередко высаживают для закрепления приморских дюн.

Вообще псаммофиты играют исключительно важную роль в закреплении песков. В пустынях Средней Азии для этой цели используются колосняк кистистый (*Leymus racemosus*) и селины (*Stipagrostis*) - перистый, Карелина и паутинистый. Последний обладает высокими декоративными достоинствами, не уступающими перистым ковылям.

Индикаторами приморских дюн могут быть представители не только злаковых, но и других семейств, например синеголовник приморский (*Eryngium maritimum*) из зонтичных и чина приморская (*Lathyrus maritimus*) из бобовых. Синеголовник приморский высотой до 50 см успешно справляется с песчаными заносами и засухой.

Переносить засушливые условия этому растению помогают признаки ксерофитизма: жесткие, оканчивающиеся колючками листья и мощный восковой налет, придающий стеблям и листьям синевато-серый оттенок. С июня по август растение цветет. В это время появляются голубые соцветия - зонтики, очень похожие на головки, отсюда и произошло название растения. Что касается чины приморской, то ее пурпурные цветки распускаются приблизительно в то же время, когда цветет синеголовник.

В умеренной зоне на песчаных почвах встречаются келерия сизая, фиалка песчаная и другие растения. Хорошими индикаторами почв легкого механического состава и песчаных коренных пород являются сосна и ее фитоценозы. Сосново-лишайниковый лес служит показателем песчаных отложений мощностью до 10 м и более.

В сосново-брусничном лесу с примесью зеленых мхов песчаные толщи покрыты некоторым количеством перегноя или торфа. Сосново-черничный лес - индикатор песчаных субстратов пониженных, обильно увлажняемых местообитаний. Следует заметить, что молодой сосновый лес вовсе не обязательно произрастает на песчаном субстрате. Дело в том, что сосна относится к числу светолюбивых пород и поэтому может первой занять территорию, освободившуюся от леса после вырубki или пожара. Впоследствии она заменяется другими породами, такими, как ель, дуб.



Копытень европейский растет преимущественно на суглинистых или легких глинистых почвах

А вот звездчатка большая и перелеска благородная произрастают преимущественно на суглинистых или легких глинистых почвах. Если в тенистом еловом лесу вы повстречали копытень европейский, можете быть уверены, что здесь почвы такого же механического состава.



Печеночница растет преимущественно на суглинистых или легких глинистых почвах

Майник двулистный (*Maianthemum bifolium*) в еловых лесах является индикатором водопроницаемых суглинистых или супесчаных почв.

Внешний вид растений средних широт также может служить показателем механического состава почв. Так, например, на глинистых и суглинистых почвах листья у ландыша широкие и темно-зеленые, а на песчаных - узкие и бледные.

Появление в растительном покрове ситников свидетельствует об обогащенности почвы илстыми частицами, ухудшающими ее физические свойства. Эти растения широко распространены в умеренных широтах, по открытым, часто избыточно увлажненным местам обитания. Они представлены многочисленными травами с узкими линейными листьями и тонкими округлыми стеблями.

Зеленые синоптики

Старайся наблюдать различные приметы:

Пастух и земледел в младенческие леты,
Взглянув на небеса, на западную тень,
Умеют уж предречь и ветер, и ясный день,
И майские дожди, младых полей отраду,
И мразов ранний хлад, опасный винограду.

А. С. Пушкин

С незапамятных времен люди следили за изменением погоды, а наблюдая за растениями, давно подметили, как они чутко реагируют на атмосферные процессы и климатические сдвиги. Так рождались приметы, прогнозирующие погоду, и надо отметить, что приметы эти в старину имели важное хозяйственное значение. Они помогали крестьянам в лучшие сроки проводить сельскохозяйственные работы, прогнозировать урожай той или иной культуры. Передаваясь из поколения в поколение, приметы подвергались длительной и тщательной проверке.

Разумеется, не следует преувеличивать значение всех народных примет. В некоторых из них фиксируется связь между такими явлениями, которые на самом деле друг с другом не связаны. Приметы позволяют предвидеть наступление одного из двух явлений только в том случае, если эти явления имеют причинную связь. Кроме того, необходимо учитывать, что, справедливые для одних мест, они нередко не оправдываются в других. Если примета возникла из наблюдений над растениями в Смоленской области, то в Вологодской или в Воронежской она может не подтвердиться. Здесь растительность развивается с иной скоростью и в иные сроки.

Если тщательно проанализировать народные приметы, установить связь между фигурирующими в них явлениями, выяснить границы территорий, для которых они справедливы, систематизировать их, то некоторые из них могут хорошо послужить и современному человеку.

Поскольку растения чрезвычайно чутко реагируют на изменения погоды, они могут быть использованы для ее прогнозирования, а также для ретроиндикации климата минувших лет.

Ожидается ли ненастье?

Существует более 400 удивительных растений, по которым, словно по барометру, можно заранее определить наступление ненастной погоды. Среди них вьюнок полевой, сердечник луговой, чистотел, белокрыльник, костяника, клевер, одуванчик, кислица и многие другие. Так, например, комнатное растение монстера деликатесная (*Monstera deliciosa*), называемая в простонародье "плаксо́й", выделяет при наступлении ненастья, особенно в сырых квартирах, на своих широких выемчатых листьях большие капли влаги. В чем причина этого явления? Родина монстеры - тропические леса, воздух которых насыщен влагой. В этих условиях растения не могут испарять воду. Поглощенная корнями, она нагнетается при помощи корневого давления в надземные органы и выделяется не путем испарения (транспирации), а благодаря истеканию капель через особые водяные устьяца - гидатоды, расположенные у окончания жилок на краю листа.

Выделение капельно-жидкой воды на кончиках листьев наблюдается у монстеры не только в тропиках, но и в наших широтах перед дождем. Почему это происходит? При приближении дождя (иногда за сутки) влажность воздуха повышается, транспирация ослабляется, что и приводит к выделению избытка воды через гидатоды в виде капель.

Широко культивируемые у нас декоративные растения каллы, так же как и монстера, относятся к семейству аронниковых и обладают способностью перед ненастьем выделять на кончиках листьев капли влаги.

Прекрасными декоративными достоинствами обладают канны - многолетние травянистые растения с крупными овальными листьями, нередко окрашенными антоцианом в красноватый или бронзовый цвет.

Эти растения, родина которых Центральная и Южная Америка, все чаще можно встретить в садах и парках нашей страны. Присмотритесь к их листьям. Если вы обнаружите на них капли жидкости, значит, скоро будет дождь. Наверно, по этой причине немцы прозвали канны "дождливым деревом".

Аналогичным образом предсказывают ненастье растущие в воде или по берегам водоемов стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia*), ежеголовники (*Sparganium*), дербенник иволистный (*Lythrum salicaria*). О последнем растении следует сказать несколько подробнее.

Дербенник иволистный - многолетнее густоопушенное невысокое растение, встречающееся по сырым местам, болотам, берегам рек, прудов и вдоль канав на всей территории нашей страны. Цветет он с июня по сентябрь пурпурными цветками, собранными в густое колосовидное соцветие. На листьях дербенника есть большие щели, которые служат для выделения избытка воды при повышении влажности воздуха. Ничего сверхъестественного в этом нет. Между тем в старину люди, наблюдавшие выделение капельно-жидкой воды на листьях дербенника, не могли объяснить это явление. Так возникла легенда о плакун-траве. По мнению суеверных людей, она зародилась на крови. Появилась она якобы, когда распяли Христа. Богородица при этом так горько плакала, что из ее слез и возникла плакун-трава.

В старину дербенник широко использовался для наговоров. Человек с пучком травы становился лицом к востоку и произносил: "Плакун, плакун! Плакал ты долго и много, а выплакал мало. Не катись твои слезы по чисту полю, не разносись твой вой по синю морю..."

Знахари готовили из дербенника порошки и настойки, с помощью которых лечили от грыжи, болей в желудке и даже от тоски. В одном из русских травников говорится: "Есть трава плакун, растет при озерах, высока в стрелу, цвет багров, и та трава вельми добра; держи в чистоте, давай скоту, который вертится, или которые ребята не спят, клади в головы, а крест из нее вырезать и носить при себе вельми добро".

С помощью плакун-травы искали и клады, но статистика молчит об успехах этих предприятий. Ведь поверья о чудодейственных свойствах плакун-травы не имеют ничего общего с реальностью. Однако дербенник иволистный не бесполезное растение. Он может довольно точно предсказывать наступление ненастья.

Перед дождем на листьях конского каштана появляются капли жидкости, а у комнатного растения бальзамина (*Impatiens balsamina*) - уроженца тропических лесов острова Занзибар, прозванного в России "Ванькой мокрым" - стебель становится влажным. У клена капли жидкости возникают у основания черешков листьев. Таким образом он предвещает ухудшение погоды за 3-4 дня.

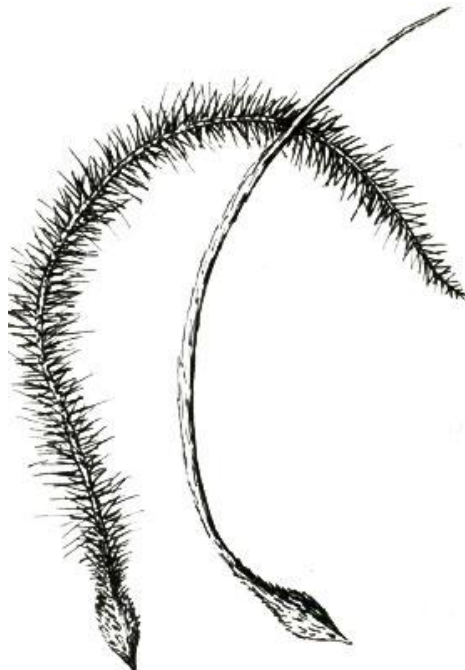
Все перечисленные выше растения могут служить индикаторами наступления ненастья благодаря процессу гуттации - выделению капельно-жидкой воды, активизирующемуся при повышении влажности воздуха. Последняя, как известно, возрастает перед дождем. Вот и начинают растения "запотевать", покрываться каплями гуттационной жидкости.

Определить влажность воздуха можно с помощью особого прибора - гигрометра. Если его у вас нет, можно сделать упрощенный гигрометр самому, нужно только найти необходимый для этого аистник (*Erodium cicutarium*). Это небольшое растение из семейства гераниевых, которое встречается у нас по огородам, полям, сорным местам. Плодик его напоминает головку аиста. Он обладает удивительной способностью зарываться в землю благодаря длинному, закрученному спиралью "носику", который и является главной частью упрощенного гигрометра. Для того чтобы "прибор" заработал, необходимо утолщенный конец плода неподвижно закрепить в центре круга, вычерченного на какой-либо пластинке. Отметить положение вытянутого кончика в сухую и дождливую погоду. Влажность в данный момент определяется по нахождению удлиненной части плода между этими крайними показаниями.



Ломонос виноградолистный во время цветения

В принципе для изготовления вышеописанного гигрометра можно использовать плоды и других растений, способные к самозарыванию в землю. У ломоноса виноградолистного (*Clematis vitalba*) - лианоподобного кустарника, цепляющегося за опору закручивающимися черешками листьев, - плод представляет собой орешек с изогнутым опушенным отростком длиной 3 см. Этот отросток очень чувствителен к влажности воздуха; у мокрого плодика он наименее изогнут, а покрывающие его волоски плотно прижаты к нему. По мере высыхания волоски распрямляются, а отросток изгибается. Если утолщенную часть плода ломоноса закрепить неподвижно, то по положению отростка можно проследить за изменением влажности воздуха. Такие движения называют гигроскопическими. Они присущи также семенам некоторых злаков (ковыля, овсюга) и могут использоваться для определения влажности воздуха.



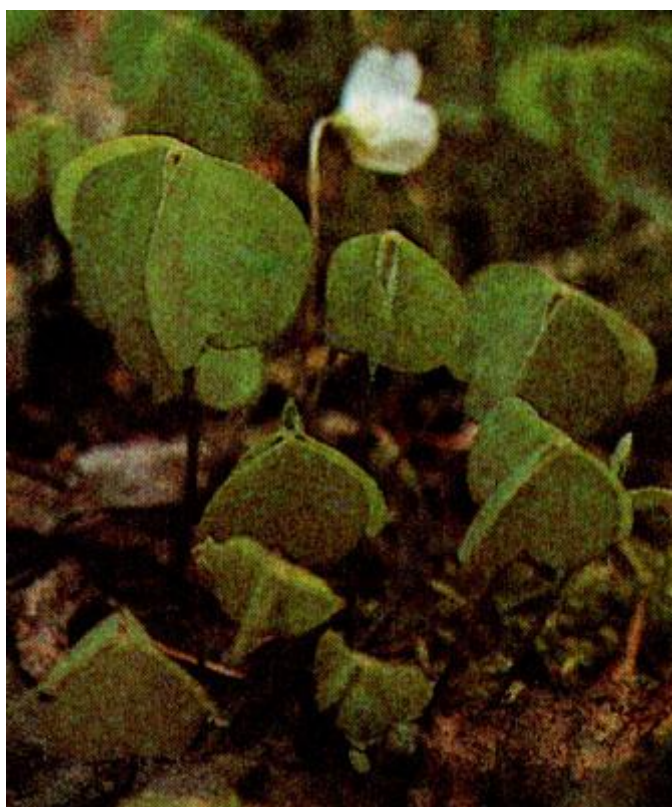
Плод ломоноса виноградолистного во влажном состоянии (справа) и в сухом (слева)

А вот у хвойных пород на изменение влажности зримо реагируют чешуи шишек. Так, например, у ели перед дождем они прижимаются друг к другу.

В научно-популярной литературе довольно часто можно встретить указание на то, что ветки хвойных и некоторых лиственных пород могут служить надежными индикаторами изменений погоды. И. Литинецкий в книге "Изобретатель - природа" пишет: "Аналогичными, но еще более ярко выраженными синоптическими способностями обладают ели: они опускают свои ветви перед дождем и поднимают вверх перед ясной погодой". То же самое сообщает И. Ф. Заянчковский в книге "Живые барометры". При этом автор сослался на оригинальную публикацию М. Надеяева "Естественный барометр".

Однако в книге В. В. Петрова "Мир лесных растений" приводятся совершенно противоположные данные. Автор пишет, что в старом еловом лесу нижние ветви действительно изменяют свое положение в зависимости от колебаний влажности, только вот движутся они в противоположном направлении: "Если погода сырая, дождливая, веточки располагаются горизонтально или даже слегка изогнуты вверх, как сабли. Но когда долго нет дождя, ветки поникают и изгибаются в обратную сторону".

В связи с противоречивостью суждений я решил сам провести эксперимент по методике М. Надеяева. Отрезок ствола новогодней елки с частью ветки длиной 60 см в 1986 г. был неподвижно закреплен в лоджии. Конец ветки и в самом деле испытывал сильные колебания (от плюс 13 до минус 10 см относительно нулевого положения). Однако четкой зависимости этих колебаний от наступления ясной или дождливой погоды я не обнаружил. По-видимому, движения еловой ветки определяются не только влажностью воздуха, но и температурой, а возможно, и изменением каких-то других факторов. Может быть, именно этим объясняется противоречивость литературных сведений.



Перед дождем кислица обыкновенная опускает свои листочки

О состоянии погоды можно судить и по изменению положения листьев разных растений. Перед дождем листочки кислицы обыкновенной (*Oxalis acetosella*) опускаются, прижимаясь к черешку. Аналогичным образом реагирует на изменение погоды дерево саманея (*Samanea saman*) из семейства бобовых, произрастающее в тропиках. Саманея из-за своих сложных, двоякоперистых листьев высаживается

обычно по краям плантаций для их притенения, а также на улицах городов. Она имеет красивую ажурную зонтиковидную крону и особенно нарядной выглядит во время цветения, когда покрывается множеством мелких цветков с длинными розовыми тычинками. Саманея обладает интересной биологической особенностью: листочки, из которых состоят ее большие сложные листья, складываются перед дождем, как бы предсказывая наступление ненастья. По этой причине саманею называют дождевым деревом.



В ясную погоду кислица обыкновенная распрямляет их

В средних широтах предупредить об изменении погоды может другое бобовое растение - клевер луговой (*Trifolium pratense*). Он тоже складывает свои листочки перед ненастьем и расправляет их перед устойчивой ясной погодой.

Эта биологическая особенность имеет важное приспособительное значение. Дело в том, что капли дождя вымывают из листьев органические вещества, образуемые при фотосинтезе, а также минеральные вещества, поглощенные корнями. Еще в 1804 г. швейцарский исследователь Никола Теодор Соссюр первым высказал мысль о возможности вымывания веществ из листьев растений осадками. Опытным путем он установил, что листья орешника, промывавшиеся холодной водой 8 раз по 15 минут, теряли 2/3 находящихся в них солей. Из этих экспериментов был сделан вывод, что дождевая вода вымывает из листьев соли.

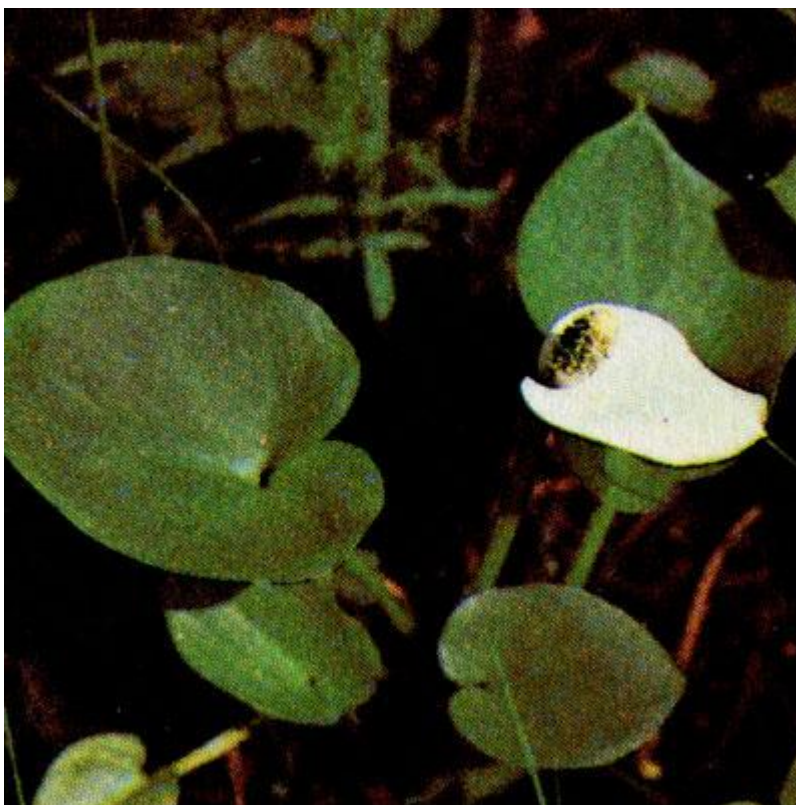
В дальнейшем оказалось, что тонкие и нежные листья белой акации выделяют в несколько раз больше веществ, чем кожистые листья плюща. Листья кислицы, саманей и клевера, не защищенные от дождя ни толстой кутикулой, ни мощным восковым налетом, приспособились к перенесению ненастья путем складывания листочков, что сокращает листовую поверхность, подвергающуюся воздействию дождевых капель.

По-видимому, такова же причина изменения состояния нежной хвои лиственницы: к ясной погоде она разворачивается, делается широкой, отчего становится заметным желобок посередине, а перед дождем сжимается, становится округлой.

А вот у орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum*) - одного из наиболее распространенных видов папоротника, нередко поселяющегося на вырубках и пожарищах, листья закручиваются книзу перед теплой сухой погодой, а расправляются перед ненастьем. Понять причину такой реакции орляка несложно, если внимательно присмотреться к его биологическим особенностям. Крупные листья этого растения испаряют большое количество воды. Между тем очень часто орляк поселяется на песчаных почвах, обладающих низкой водоудерживающей способностью. Закручивание листьев перед сухой погодой служит защитной реакцией, предотвращающей потерю большого количества воды.

То же самое происходит перед хорошей погодой с листьями костяники (*Rubus saxatilis*), они также закручиваются вниз. Однако за 15-20 часов до наступления дождя тройчатые листья костяники раскручиваются или даже загибаются вверх.

Белокрыльник болотный (*Calla palustris*) - родственник монстеры, с которой мы познакомились выше. Оба этих растения из семейства аронниковых. Только в отличие от монстеры белокрыльник болотный произрастает не в тропиках, а в умеренных широтах, где его можно встретить по болотам, берегам рек, озер и прудов. Свое название растение получило за белое крыло, окружающее соцветие початок. Этот белый лист и является указателем погоды. Перед дождем он отгибается в сторону, а в ясную погоду острый конец листа поднят вертикально вверх. Вспомним, что болотные растения хотя и селятся на избыточно увлажненном субстрате, однако нередко испытывают недостаток влаги: их корневые системы вследствие низкой температуры субстрата не могут в достаточной степени снабжать надземную часть растений водой. Поднятый вверх белый лист белокрыльника защищает соцветие от избыточного испарения влаги, от перегрева прямыми солнечными лучами.



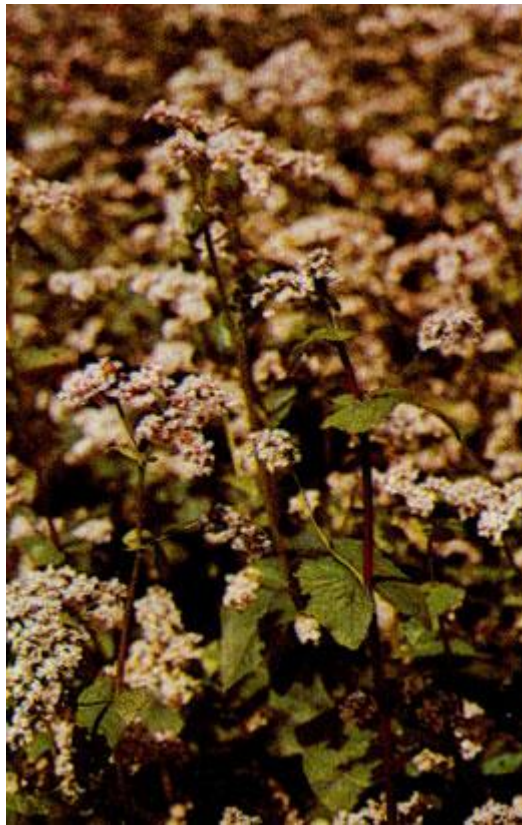
Белый лист белокрыльника болотного перед дождем отгибается в сторону

У некоторых растений при приближении ненастной погоды изменяется ритм закрывания и открывания цветков и соцветий. Цветки широко распространенной мокрицы, или звездчатки средней (*Stellaria media*), могут служить индикатором приближающегося дождя: если до 9 часов утра цветки не раскроются, то днем должен быть дождь. Напротив, если цветки раскрываются к 9 часам утра и не закрываются до 16 часов дня, следует ожидать хорошую погоду. Этим "барометром" можно пользоваться все лето, поскольку мокрица цветет с апреля до поздней осени. Аналогичным образом можно определить погоду по календуле лекарственной, или ноготкам.

Осот огородный (*Sonchus oleraceus*) раскрывает свои желтые корзинки в 5 часов утра и закрывает в 11-12 часов дня. Если он вовсе не раскрывает своих соцветий, значит, на следующий день нужно ожидать дождя. При приближении ненастья закрываются цветки березки вьюнка, лютика, соцветия одуванчика лекарственного.

Очиток пурпуровый, или заячья капуста (*Sedum purpureum*), встречающийся по сухим полянам, холмам, среди кустарников, реагирует на приближающееся ненастье по-иному: если его цветки к ночи не закрываются, значит, утром пойдет дождь. Наоборот, закрылись цветки на ночь - быть хорошей погоде. В ненастье раскрываются цветки салата-латука, бедренца и других растений.

Как бы подвывают перед дождем цветки чистотела, фиалки, мальвы. У сердечника лугового (*Cardamine pratense*) поникает белое соцветие. При таком положении соцветий и цветков пыльца надежно защищена от повреждений влагой. Исследователи объясняют поникание соцветий сердечника лугового тем, что ветер, обыкновенно предшествующий дождю, раскачивает цветонос. Это механическое раздражение вызывает изменение тургора - напряженного состояния клеток цветоножки. В результате потери части воды они становятся дряблыми, и цветки (соцветия) поникают. Аналогичная реакция наступает у многих растений в том случае, если просто потрясти соцветие.



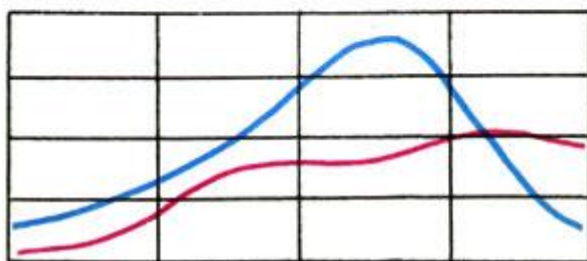
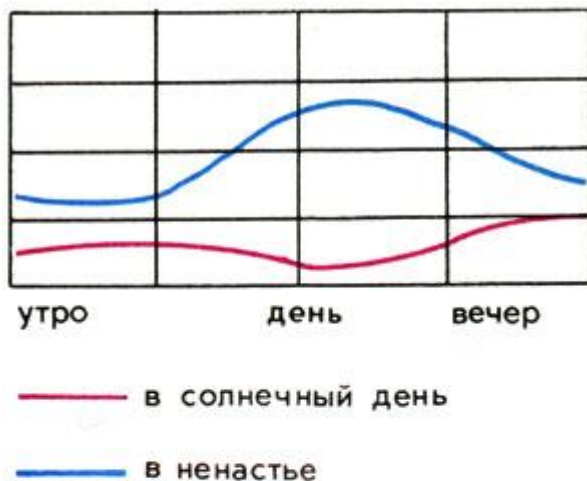
Растение, усиливающее перед дождем выделение нектара: гречиха

Есть растения, которые в сухую погоду почти не пахнут, но перед дождем начинают выделять много эфирных масел и нектара; они как бы торопятся опылить свои цветки с помощью насекомых до наступления ненастья. Вокруг этих растений (акация, жимолость, гречиха, бурачник, горчица белая) перед дождем бывает особенно много пчел. Вот почему не следует отправляться в туристический поход или на прогулку за город, если вокруг желтой или белой акации вьется множество пчел. Сильный запах жимолости ночью, когда не видно насекомых, может также поведать о наступлении ненастья.



Растение, усиливающее перед дождем выделение нектара: жимолость

Интенсивное выделение растениями нектара объясняется тем, что за несколько часов до наступления ненастной погоды влажность воздуха повышается и испарение воды листьями уменьшается. В результате в клетках растений накапливается в большом количестве вода, которая и начинает выделяться либо листьями (гуттация), либо цветками в форме нектара. Так, например, при повышении влажности воздуха с 65 до 98% при температуре 15°C у цветущего вереска объем выделяемого нектара возрастает с 18,5 до 47,5 мм³, а содержание Сахаров в нем уменьшается вследствие разбавления его водой. С увеличением влажности воздуха повышается медопродуктивность не только вереска, но и липы.



Выделение нектара цветками гречихи (верхний график) и горчицы белой (нижний график)

Дрема белая (*Melandrium album*) - растение из семейства гвоздичных - встречается по лугам, канавам, огородам. Ее взметнувшийся на 0,5 м или даже на 1 м стебель клейкий в верхней части, что служит растению надежной защитой от ползающих насекомых. С конца мая до августа дрема украшена белыми цветками с двураздельными лепестками, раскрывающимися с наступлением сумерек. Днем они как бы спят, за что растение и было названо дремой. Белая окраска цветков служит ориентиром для ночных насекомых, главным образом бабочек - их основных опылителей.

Однако не каждый день белые цветки дремы манят к себе бабочек. Дело в том, что перед хорошей погодой они почти не выделяют нектара, и насекомые на них не задерживаются. Если же к дреме с вечера устремляются ночные насекомые, это означает, что цветки выделяют нектар и, следовательно, на завтра нужно ожидать дождя. Так она предсказывает изменение погоды за 10-12 часов.

Сходным образом реагирует на смену погоды и горицвет, или адонис весенний (*Adonis vernalis*) - очень красивое растение из семейства лютиковых. Встречается оно в Крыму, Предкавказье, Западной Сибири. Окраска его лепестков - от золотисто-желтой до интенсивно-красной. Весной они словно огоньки горят в степи, из-за чего русские люди и прозвали адонис горицветом.

Многие растения интенсивнее выделяют нектар перед солнечной погодой. Если пчелы роем гудят на цветущей рябине - завтра следует ожидать ясный день. Рябина, черемуха, фиалка, василек луговой, пустырник выделяют нектар преимущественно в сухую погоду.



Народная примета гласит: 'Хорошо рябина цветет - к урожаю льна'

Различия в выделении растениями нектара в ясную или пасмурную погоду ученые связывают с особенностями расположения в цветках нектарников. Если последние лежат открыто, как у горчицы белой или гречихи, то перед ненастьем они выделяют больше нектара. У красного клевера, у которого нектар скапливается в трубке, образованной сросшимися тычинками, напротив, продуцирование нектара в ясный день в 2-5 раз выше, чем в пасмурный.

Растения привлекают к себе насекомых-опылителей не только нектаром, но и ароматами, появляющимися при выделении эфирных масел. Связь между интенсивностью аромата некоторых цветков и погодой была подмечена поэтами. Ф. И. Тютчев писал, например:

В душном воздухе молчанье,
Как предчувствие грозы,
Жарче роз благоуханье...

И в самом деле: желтые цветки подмаренника настоящего (*Galium verum*) особенно сильно пахнут перед дождем. То же самое можно сказать о цветках жасмина. В этом нет ничего удивительного, ведь перед дождем понижается атмосферное давление, что облегчает возгонку эфирных масел. К тому же адсорбция эфирных масел частицами влаги, количество которых возрастает перед дождем, облегчает человеку восприятие ароматов цветков. Неудивительно, что и народные приметы говорят о более сильном аромате цветущих растений при приближении ненастья:

Утром трава пахнет сильнее обычного - к дождю.

Сказанное справедливо в том случае, если перед дождем температура воздуха существенно не понижается. Если же она резко падает, испарение эфирных масел тормозится.

Перед пасмурной погодой колючки репейника плотно прижимаются к соцветию и не так колются. В ясную погоду, напротив, они отгибаются в стороны. Если репейник днем не колет - жди к вечеру дождя.

Внешний вид растений при перемене погоды изменяется, безусловно, вследствие сдвигов во внутреннем, физиологическом их состоянии. Интенсивность дыхательного процесса у картофеля, как показали исследования американского биолога Фрэнка Брауна, зависит от атмосферного давления. Обычно обмен веществ у этого растения идет тем интенсивнее, чем выше атмосферное давление. Чрезвычайно чувствительными к атмосферному давлению оказались прорастающие глазки клубней. Они на двое суток раньше барометра предсказывают изменение погоды. При приближении дождя растения в буквальном смысле слова "затаивают" дыхание, они поглощают кислород значительно слабее, чем перед ясной погодой.

Как известно, при дыхании часть энергии углеводов преобразуется в энергию макроэргических связей аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и в таком виде используется клетками в их жизнедеятельности, а часть выделяется в виде тепла. Если повышение атмосферного давления действительно резко интенсифицирует дыхание растений (к сожалению, влияние этого фактора на дыхание изучено еще недостаточно), то следует ожидать, что экосистемы с большой биомассой (например, лес) в случае возникновения тенденции к улучшению погоды будут иметь более высокую температуру, чем экосистемы с меньшей биомассой (луг, поле). В связи с этим уместно вспомнить старую широко распространенную примету: ежели вечерний лес теплее поля - погода переменится к лучшему (вариант: вечерний лес теплее поля - к ведру).

Возникает вопрос: почему народная примета настойчиво рекомендует наблюдать за температурой леса и поля вечером? Дело, очевидно, в том, что днем поле сильнее прогревается солнцем, чем лес, и мы не можем уловить разницу в температуре, связанную с дыханием растений. Ночью и утром из-за резкого понижения температуры этот процесс у растений очень ослаблен, что опять-таки делает разницу трудноуловимой. Наиболее удобное время для ее обнаружения - именно вечер.

Приведенный пример показывает удивительную наблюдательность простых людей, сумевших увидеть связь между, казалось бы, не связанными друг с другом явлениями. Углубленное проникновение в суть жизненных процессов растительных организмов позволяет с материалистических позиций объяснить некоторые народные приметы, касающиеся взаимодействия живой и неживой природы.

Не примечать - и хлебушка не есть

Многие народные приметы связаны с прогнозом времен года: за несколько месяцев до наступления лета люди стремились узнать, каким оно будет - сухим или дождливым, знойным или прохладным, хлебородным или неурожайным. Ну а летом думали об осени и зиме. Долгими зимними вечерами рядили-гадали о том, какой явится к ним весна-красна.

Еще весной люди пытались с помощью растений предсказать характер предстоящего лета. Одним из важнейших критериев прогноза являлся порядок облиствения разных растений весной. Если дуб распустится раньше ясеня - погода летом будет влажной и прохладной. А если раньше распустятся листья ясеня - следует ожидать сухого, теплого лета. Считалось, что если береза распустит свои листья раньше ольхи, то это к сухому лету, а если позднее - лето пропало. Особенности летнего сезона пытались определить и раньше, когда у березы начинается движение сока. Если из пораненной березы в апреле течет много сока, то следует ожидать дождливое лето. С помощью растений можно предсказать и погодные условия осени. Вот некоторые народные приметы на этот счет:

Позднее цветение рябины - к долгой осени.

В лесу много рябины - осень будет дождливой, если мало - сухая. (Есть, однако, и противоположная примета: урожай рябины - к красной, золотой осени.)

Летом на деревьях желтеют листья - к ранней осени.

Пока с вишен не опадет лист, сколько бы снегу не выпало, оттепель все равно его сгонит.

Поздний грибок - поздний снежок.

Что же касается зимы, то древнегреческая сельскохозяйственная энциклопедия "Геопоники" рекомендовала понаблюдать за плодоношением дубов: если на каменном или обыкновенном дубе много желудей, то зима будет продолжительной. Русские крестьяне едва ли читали агрономические наставления древних греков, однако и они обратили внимание на плодоношение дуба:

Много желудей на дубу - к строгой (холодной, суровой) зиме.

Хорошим индикатором предстоящей зимы считался орешник:

Если орехов обильно, а грибов мало - зима будет снежная и суровая.

Да и ива, оказывается, может подсказать, какой будет зима:

Ива рано инеем покрылась - к долгой зиме.

А вот обильный урожай рябины предвещает суровую раннюю зиму. О том же говорит и обильное плодоношение ягодников:

Много ягод - зима будет суровой.

Во всех вышеприведенных приметах, устанавливающих связь между плодоношением растений и характером зимы, можно подметить одну и ту же закономерность: интенсивное плодоношение служит предвестником суровой зимы. Это нетрудно объяснить следующим образом. Количество тепла, приходящееся на ту или иную территорию в разные годы, приблизительно одинаково. Однако в пределах года вследствие различных аномалий погоды отдельные сезоны могут существенно отличаться по годам своим температурным режимом. Вот и получается, что вслед за ранней теплой весной и погожим летом, которые благоприятствуют плодоношению растений, обычно следуют суровые зимы.

Обилие отдельных растений также может быть индикатором характера предстоящей зимы:

Летом много полевого осота - зима будет холодной, много щавеля - теплой.

Полезно обратить внимание на осеннюю окраску листвы и листопад. Немцы считают, что если на верхних ветвях березы и ивы листва долго сохраняется зеленой, а с нижних она давно облетела, то зима будет ранней, весна благодатной. Похожую закономерность подметили и русские крестьяне:

Если с деревьев лист не чисто опадает - будет холодная зима.

Среди лета появились желтые листья - жди ранней зимы.

Листопад прошел быстро - будет холодная зима.

Поздний листопад - к суровой и продолжительной зиме.

То же самое предвещает и обилие грибов:

Много грибов - жди суровой зимы.

Некоторые люди предсказывали характер зимы по луковицам лука: тонкая кожура - к гнилой зиме, а грубая - к лютым морозам. Многие из подобных народных прогнозов нуждаются в тщательной и строгой научной проверке.

Особый интерес представляет вопрос, насколько глубоко в каком-то определенном месте промерзает зимой почва. Ответить на этот вопрос также помогают растения. Наблюдения показывают, что видоизмененные подземные стебли (корневища, клубни, луковицы) тем глубже сидят в почве, чем сильнее данное место промерзает зимой. Так, например, у хохлатки, растущей под пологом леса, где почва промерзает незначительно, клубни расположены на глубине всего нескольких сантиметров от поверхности. На открытом месте, где почва сильнее промерзает, так как хуже защищена опавшей листвой и снегом, клубни хохлатки находятся значительно глубже от поверхности. В противном случае они окажутся в промороженном слое почвы, вымерзнут и не дадут всходов. Выживают лишь те из них, которые будут на достаточной глубине. Следовательно, по расположению клубней некоторых растений можно определить глубину промерзания почвы в том или ином месте.

Некоторые исследователи считают, что по глубине залегания подземных органов растений можно определить характер предстоящей зимы. По-видимому, подземные вегетативные органы растений оказываются на различной глубине в результате самозарывания. Если это действительно так, то остается загадкой, каким образом подземные стебли углубляются до определенного уровня. Что касается корневищ, то в отношении их вопрос решается довольно просто: первоначально они растут вертикально вниз, а потом, по достижении безопасной зоны, начинают расти горизонтально.

Клубни и луковицы, как полагают некоторые исследователи, углубляются в результате сокращения корней под воздействием низких температур. Корни весьма чувствительны к различным факторам внешней среды. При похолодании молодые ответвления корней остаются на своих местах, а сокращаются более старые части их, расположенные ближе к клубням и луковицам, что и способствует их перемещению в глубь почвы.

В реальности такого явления убеждают результаты наблюдений за некоторыми кактусами, обладающими способностью к самозарыванию. Тефрокактус субтерранеус из Аргентины, гимнокактус субтерранеус из Мексики, опунция субтерранеа имеют одинаковое видовое название, которое произошло от слова "subterraneus", означающего "подземный". У всех этих кактусов, а также у кактуса копиапоа хипогеа из Чили тело скрывается в земле. И лишь в период дождей, когда кактусы цветут, их можно увидеть среди песка и камней. Но как только наступает засушливое время года, они вновь погружаются в глубь субстрата. Происходит это благодаря сокращению особых корней, толстых и удлиненных, похожих на редьку или морковь. В их корковом слое имеется множество особых сжимающихся волокон, которые в период засухи втягивают тело растения под землю. На родине кактусы растут в основном на песке и гравии, а через эту рыхлую преграду сокращающимся корням совсем нетрудно протолкнуть тело кактуса. По-видимому, аналогичные явления вызывают углубление подземных стеблей при наступлении суровой зимы.

Что же касается весны, то ее характер также пытались определить с помощью растений. Считалось, например, что если осенью ива покрывается инеем, то надо ждать продолжительную не только зиму, но и весну. Чутко растения реагируют на окончание и наступление весенних заморозков. Так, например, если всплывет на поверхность водоема лист кувшинки чисто-белой (*Nymphaea Candida*), значит, конец ночным заморозкам. А вот черемуха в Татарии цветет обычно перед последним весенним заморозком, тогда как листва у березы желтеет перед ранним осенним.

Климат минувших времен

Для составления долгосрочных прогнозов погоды требуются сведения о климате далекого прошлого. Между тем систематические наблюдения погоды в России начались только на рубеже XIX и XX вв.,

хотя первая метеостанция, как известно, была открыта Петром I в 1724 г. Да и в странах Западной Европы регулярные метеорологические наблюдения начались около 200 лет назад.

Конечно, в летописях, наблюдениях астрономов, естествоиспытателей и мореходов прошлого можно найти сведения о засушливых и дождливых годах, однако эти сведения отрывочны и бессистемны. Одна из наиболее полных сводок климатических материалов составлена И. Е. Бучинским ("О климате прошлого Русской равнины", 1957).

Поскольку растительность чутко реагирует на климатические изменения - усиление аридности, увеличение влажности, похолодание, - по ней можно выяснить особенности климата в более или менее удаленные от нас годы.

Хорошими летописцами погоды являются деревья. Ведь многие из них растут сотни и даже тысячи лет. Секвойя, фисташка, мексиканский кипарис, сосна остистая, тис ягодный живут по несколько тысяч лет. Еще Леонардо да Винчи было известно, что рост дерева, характеризуемый шириной годичных колец, связан с природными условиями, в частности с осадками. Карл Линней отметил, что в северных районах ширина годичных колец зависит от теплового режима. Однако первым, кто сумел по структуре годичных колец древесных растений охарактеризовать климатические изменения в прошлом, был русский физик, профессор Новороссийского университета в Одессе Федор Никифорович Шведов (1840-1905). Именно он стал основоположником дендроклиматологического метода.

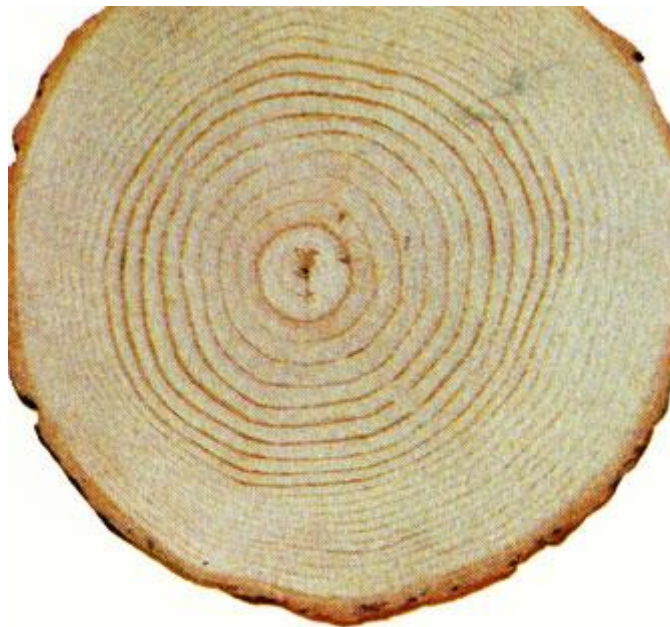
В 1892 г. Ф. Н. Шведов опубликовал работу "Дерево как летопись засух", в которой по годичным слоям белой акации, выросшей в Одессе, пытался определить характер погоды прошлых лет. Он предположил, что процесс всасывания питательных веществ корнями дерева из почвы зависит от ее влажности, а следовательно, от количества выпадающих осадков. По этой причине ширина годичных колец может поведать о чередовании сухих и влажных годов. Действительно, на основании анализа структуры годичных колец белой акации ему удалось выявить, что засухи на юге Украины повторяются приблизительно через 9 лет. Дальнейшие исследования, проведенные другими учеными, подтвердили тесную взаимосвязь между ростом дерева и количеством осадков.

Основная идея дендроклиматологического метода заключается в том, что ширина годичного кольца дерева показывает, какими были климатические условия в год образования этого кольца - благоприятными или неблагоприятными для роста растений. Если год был неблагоприятным, кольцо было узким, едва заметным. В благоприятных условиях формировалось широкое кольцо. Следовательно, каждое кольцо древесины служит критерием погодных условий того или иного года. Если по горизонтали откладывать последовательно годы, а по вертикали - ширину колец, то можно составить график, кривая которого покажет, как изменялись климатические условия в течение длительного промежутка времени.



Годичные кольца на поперечном срезе древесины сосны обыкновенной

Разумеется, эта кривая может быть истолкована правильно только в том случае, если верно оценена роль того или иного фактора в формировании годичных колец. Ведь рост растений зависит не от одного, а от ряда факторов, и в первую очередь от температуры и осадков. Какой из этих факторов имеет решающее значение для морфологических особенностей колец? Верный ответ на этот вопрос может быть дан только тогда, когда примем во внимание природные условия местности, в которой произрастает исследуемое растение.



Годичные кольца на поперечном срезе древесины лиственницы сибирской

Эммануэль Ле Руа Ладюри, автор книги "История климата с 1000 года", совершенно правильно отметил, что в полузасушливых областях земного шара, например в Северной Африке и на Юго-Западе США, где хронический дефицит осадков, а тепло не наносит дереву в период его вегетации ущерба, ряд очень тонких "колец в древесине свидетельствует о четко выраженном засушливом периоде, а преобладание широких колец, напротив - о влажном.

В приполярных районах критическим фактором становится не влажность, а температура. Если в этих условиях у дерева формируются узкие кольца древесины, значит, годы были холодными. Широкие кольца служат показателем температур, благоприятных для роста растений.

Что же касается умеренных широт, то здесь прирост деревьев в толщину зависит и от температуры, и от осадков, что затрудняет интерпретацию ширины колец. Неудивительно, что наибольших успехов дендроклиматология достигла именно в переходных климатических областях: в лесотундре Скандинавии, Аляски, в полупустынях Юго-Запада США.

На срезах многих деревьев хорошо видны специфические повреждения, вызванные лесными пожарами. Известно, например, что в Брянских лесах огненная стихия бушевала в 1753, 1776, 1797, 1810, 1836, 1852, 1860, 1872 гг. Это дает основание полагать, что в указанные годы там свирепствовали засухи, благоприятствовавшие лесным пожарам.

Согласно летописям, в самом начале XIV в. на Земле существенно изменился климат, и в Скандинавии зимы стали более суровыми. Отмечалось поднятие уровней Балтийского и Каспийского морей. Изучение срезов деревьев подтвердило этот факт: начиная с 1306 г. у деревьев резко усилился рост годовых колец, что свидетельствует об увеличении количества осадков в этот период.

В США дендроклиматологический метод был использован в начале XX в. А. Е. Дугласом. Благодаря его работам дендроклиматологический и дендрохронологический методы исследования получили широкую известность. В 1938 г. он создал дендрохронологическую лабораторию, в которой были изучены срезы хвойных деревьев, произраставших на Западе США, в том числе секвой в возрасте от 500 до 1500 лет.

Анализ годовых колец секвой, живущих, как известно, до 4 тыс. лет, показал, что 2000, 900 и 600 лет назад сильно увеличивалась влажность (годовые кольца хорошо выражены). Действительно, 2000 лет назад в некоторых нынешних пустынях было много цветущих городов. Там, очевидно, хватало влаги для человека и окружающей его растительности. После 1290 г. на юго-западе Северо-Американского континента очень сильно возросла аридность, что, по-видимому, и вынудило древних обитателей Меса-Верде (нынешний штат Колорадо) покинуть свои пещерные города.

Для определения климатических изменений в далеком прошлом используются не только секвой, но и другие деревья-долгожители, в частности сосна остистая (*Pinus aristata*), возраст которой может достигать 4600 лет. Благодаря изучению ширины ее годовых колец были установлены даты резких похолоданий: 1453, 1601, 1884, 1902, 1941 и 1965 гг. Полученные результаты совпали с результатами наблюдений метеорологов, что свидетельствует о достоверности дендроклиматологического метода.

Отнюдь не каждое дерево может служить индикатором климатических условий прошлого. Еще Ф. Н. Шведов отмечал, что для характеристики засушливых лет с помощью ширины годовых колец нельзя использовать деревья, растущие в поливных условиях, по берегам рек, ручьев и озер, а также на высоких хребтах. Наиболее удобными объектами для этой цели он считал деревья, произрастающие в степи на положительных формах рельефа. В поймах рек деревья слабо реагируют на сухость, поскольку хорошо снабжаются грунтовыми водами. Лишь в исключительно сильные засухи, когда их уровень понижается, у этих деревьев уменьшается прирост древесины. Не удобны для характеристики климата прошлого и деревья, растущие на солонцах, физико-химические свойства которых затрудняют

всасывание корнями воды. На солонцах деревья испытывают физиологическую сухость, они плохо растут и имеют очень мелкослойную древесину.

Для реставрации климата прошлых лет ученые рекомендуют использовать наиболее старые деревья, господствующие в древостое и в настоящее время. Наиболее высокие и толстоствольные деревья, по-видимому, не испытывали неблагоприятных воздействий, не связанных с климатом. Их рост определялся в основном погодными факторами. Молодые деревья непригодны для анализа климата прошлого еще и потому, что в первые десятилетия их жизни колебания годичного прироста имеют довольно неопределенную картину. С позиций физиологии это вполне объяснимо: молодые организмы более чувствительны к внешней среде, чем взрослые. Они резко реагируют на изменение не только погоды, но и условий почвенного питания, затенение другими растениями и т. п. Молодые деревья неудобны для дендроклиматологического анализа еще и потому, что дают информацию о приросте за сравнительно короткий срок.

Сотрудники лаборатории кибернетики живой природы Сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева рекомендуют использовать для анализа годичного прироста сосны, произрастающие в крайних условиях существования: сосняки сухие (сухие боры) и болотные (мшары). Хвойные породы давно уже признаны лучшими летописцами погоды. У них по сравнению с лиственными породами более четко выражены годичные кольца. К сожалению, в сухих борах возраст деревьев редко превышает 150-180 лет. Болотные сосняки имеют то преимущество, что позволяют использовать для составления дендроклиматологических шкал деревья, находящиеся в толще торфа, т. е. "законсервированные" в болотах. Благодаря изучению их удастся познакомиться с климатом, существовавшим не два столетия назад, а значительно раньше.

Рост годичных колец деревьев зависит не только от годовой суммы осадков за период вегетации, но и от числа дней с активными температурами и суммы активных температур. Детальное изучение срезов деревьев позволило установить, что растительность реагирует не столько на годичные колебания температур и осадков, сколько на десятилетние. Установлено, что деревья Хибин и Полярного Урала не отвечают на снижение температуры в течение одного сезона вегетации и реагируют на десятилетние колебания летних температур.

Исследование срезов сосен, выросших в сухих борах и на болотах, выявило циклические изменения, охватывающие двух-четырёхлетний период. Существование таких циклов объясняется тем, что засуха сказывается на росте растений в течение не только одного какого-то года, но и нескольких последующих лет в зависимости от ее интенсивности. Падение прироста в год после засухи во многом обусловлено уже не недостатком осадков, а другими причинами, например обильным плодоношением, которое обычно бывает за засушливым годом. Иногда падение прироста, вызванное засухой, обнаруживается на третьем и даже четвертом году после нее.

Следует учитывать и то обстоятельство, что в некоторых случаях летняя засуха может и не сказаться на ширине кольца дерева, соответствующего засушливому году, особенно если зимой и весной выпало достаточное количество осадков.

Климат прошлых времен реставрируют не только по ширине годичных колец, но и по срокам фенологических дат. Этот метод был весьма успешно применен Эммануэлем Ле Руа Ладюри, который считал, что дата созревания плодов, например винограда, в основном зависит от температур, воспринятых растением за вегетационный период - от формирования почек до созревания плодов. Чем теплее и солнечнее он был, тем быстрее и раньше созревает урожай культурных растений. Если в это время было холодно, облачно, мало солнечного света, то вызревание плодов и сбор урожая запаздывают. Исследователь обратил внимание на то, что дата сбора урожая винограда довольно регулярно фиксировалась в исторических документах. Во Франции эту дату устанавливали эксперты, назначаемые городской или сельской общиной, а затем ее оглашали. Разумеется, на сроки созревания винограда помимо климата влияли и другие факторы. Тем не менее фенологическая кривая,

построенная по датам сбора винограда в XIX в., прекрасно согласуется с кривой средних температур вегетационного периода за соответствующие годы, составленной по данным обсерватории в Париже.

Фенологические кривые дат сбора винограда совпадают с дендроклиматологическими диаграммами для дуба. На основании полученных результатов автор пришел к выводу, что с 1540 по 1560 г. число мягких зим уменьшилось, а менее знойных летних сезонов увеличилось. Все это создавало предпосылки для роста ледников.

Японский исследователь Аракава Хидетоси отметил тесную взаимосвязь между температурой воздуха весной и датами цветения растений. Мягкая и теплая погода весной является предпосылкой для раннего зацветания растений, тогда как прохладная - для позднего. Зацветание вишневого дерева в Киото ежегодно отмечалось приемом во фруктовых садах, который устраивался императором или его наместником. Даты этих приемов фиксировались в летописях начиная с IX в.

Анализ фенологических наблюдений в Ленинграде, проводившихся с середины XIX в., привел Д. О. Святского и Л. С. Берга к выводу о том, что с каждым новым десятилетием фенологические фазы многих растений смещаются ближе к началу года. Это обстоятельство авторы объясняли потеплением климата. Аналогичные наблюдения имеются и для других районов России. Так, например, в городе Купянске (Харьковская область) с 1866 по 1916 г. сроки зацветания сирени сместились на 6 дней, а чистотела - на 10.

Для характеристики климата прошлого могут быть использованы и некоторые другие фенодаты, например даты созревания хлебов, которые также нередко фиксировались в исторических документах. Однако они менее точно отражают климатические сдвиги, чем даты сбора винограда, поскольку время уборки хлебов определяется не только погодными условиями, но и сроками сева. А те в свою очередь зависят от обилия осенних дождей, состояния почвы, рдивости крестьянина и т. п.

Некоторые исследователи для реконструкции климата прошлого используют массовые замеры слоевищ накипных лишайников. Этот так называемый лишайнометрический метод вместе с дендрохронологическими исследованиями позволил выделить на Кавказе три периода активизации ледников: 1640-1660, 1730 - 1750, 1790-1840 гг.

О похолодании или потеплении климата можно судить также по распространению современной растительности. Уменьшение ареала представителей тундровой флоры, распад его на отдельные фрагменты, распространение тундровых растений к северу свидетельствуют о потеплении климата. Наоборот, уменьшение ареала представителей теплолюбивой флоры говорит о его похолодании.

На протяжении нескольких столетий в Арктике наблюдалось похолодание, которое в последние десятилетия сменилось потеплением, на что указывают постепенное облесение тундры, зарастание ее кустарниками.

Длительные многолетние изменения климата, как отмечает В. И. Турманина, наиболее четко прослеживаются в динамике границ древесно-кустарниковой растительности в предельных условиях существования - в субальпийском поясе гор, в лесостепи и лесотундре, где годичный прирост деревьев испытывает наибольшие колебания. Неудивительно, что для выяснения климатических сдвигов исследователи чаще всего обращаются именно к этим местообитаниям растений.

Если в течение какого-либо десятилетия летом была прохладная погода, то древесно-кустарниковая растительность оставалась преимущественно на южных склонах гор, так как на северных она постепенно деградировала из-за горных ледников, которые в такие периоды приобретали тенденцию к продвижению вниз. Поэтому оба показателя - прирост деревьев и динамика границ древесно-кустарниковой растительности - В. И. Турманина считает надежными критериями для реконструкции климата прошлых времен. Большое внимание ученые уделяют исследованиям ископаемых остатков

растений, по которым можно установить очередность смены растительных формаций в данном месте. Для этих целей часто используется пыльца растений. С помощью пыльцевого метода удалось определить, что в прошлом под Полтавой был влажный и жаркий климат, в котором пышно развивались пальмы, миртовые и мангровые растения. Таковы основные приемы использования растительности для реконструкции климата давно минувших времен. А теперь попытаемся выяснить, как изменялся климат на территории нашей страны хотя бы с XVI столетия.

Основываясь на летописных источниках, историки отмечают в начале этого столетия частые засухи (в 1507, 1508, 1516, 1525, 1530, 1533 гг.). Так, например, летом 1533 г. пыль и смрадная гарь окутали русские города. Стало так темно, что нельзя было рассмотреть солнце или облака. Путники сбивались с дороги, а плывущие на лодках по рекам и озерам не знали, куда плыть. С конца июня на землю не упало ни капли дождя. От страшной жары пересохли болота, иссыхали ключи, горели подмосковные леса, в которых погибло много зверей и птиц. От недостатка воды по селам пало немало скота. Почти то же самое летописи сообщают и о засухе 1525 г.

Засушливая погода наложила отпечаток на растительность: в начале XVI столетия в условиях резко континентального климата степи начинались сразу же за Рязанью. Результаты изучения растительности подтвердили сведения, почерпнутые из летописных источников.

Как отмечает В. И. Турманина, в Европе в конце XVI в. усилились снегопады, а в начале XVII в. началась "малая ледниковая эпоха", что отразилось в интенсивном продвижении ледников в Альпах и на Кавказе. В это время на Северном Урале леса не возобновлялись. В 40-х годах XVII в. наметилась тенденция к изменению климата, о чем свидетельствует появление в районе Центрального Кавказа поколения молодых сосен, многие из которых сохранились и поныне. На Северном Урале начало расти новое поколение лиственницы, которая стала продвигаться вверх по горным склонам и поднялась на высоту 500 - 700 м. В настоящее время деревья этого поколения довольно обильны в редколесьях. Многие из них имеют вполне здоровый вид.

Для второй половины указанного столетия характерны мягкие зимы и сухие лета.

В самом конце XVII - начале XVIII в. в Карпатах плохо росли сосны, а на Северном Урале прекратилось возобновление древесных пород. Наступившее похолодание привело к изреживанию древостоев и некоторому снижению верхней границы леса. На существование в это время резко континентального климата указывает распространение к северо-западу некоторых представителей степей и полупустынь, например солодки голой (*Glycyrrhiza glabra*), тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii*), грудницы мохнатой (*Linosyris villosa*).

Континентальный климат сменился морским во второй половине XVIII в., и растительность довольно чутко прореагировала на это. На Кольском полуострове, в Хибинах, леса стали подниматься в горы. Это явление наблюдалось с 1710 по 1760 г. Устремилась вверх по склонам и лиственница на Северном Урале. Она поднялась в горы на высоту 500 - 600 м. Менее засушливым стал климат Крыма, где около Феодосии появились пресные озера. В исторических документах часто упоминается о чрезвычайно сильных разливах русских рек (1777, 1779, 1783, 1785, 1786, 1787, 1788, 1789, 1792, 1797 гг.).

О благоприятных для растений условиях, существовавших во второй половине XVIII в., свидетельствуют и относящиеся к этому времени массовые посадки широколиственных деревьев в садах и парках. Многие из них сохранились до наших дней.

Иным был климат в XIX в. Во втором десятилетии отмечалось существенное похолодание. Языки ледников устремились в долины Кавказа. Неудивительно, что прирост сосновых деревьев в Баксанской долине в 1814-1860 гг. был весьма незначительным. Однако позднее, с 1860 по 1880 г., сосны дали хороший прирост. Благоприятный климат был в это время в Крыму и много севернее его. На

территории Украины травы в степи достигали такой высоты, что скрывали всадника. Даже на Урале в 60-х годах стали интенсивно разводить сады.

С 80-х годов XIX в. начался относительно холодный период. Он продолжался до 1920 г. В это время широколиственные деревья средней полосы европейской части нашей страны возобновлялись чрезвычайно слабо. На Северном Урале верхняя граница леса понизилась почти на километр. Отмирание древесной растительности на склонах Уральских гор обусловлено массовым усыханием молодых побегов, вызванным, по-видимому, сильными зимними морозами. Молодые ели в возрасте до 20 лет, произраставшие по опушкам лесов, также подверглись усыханию. В это время погибло немало южных растений, украшавших сады и парки России столетие назад. Так, в парках П. А. Демидова в Москве и в поместье А. К. Разумовского в Горенках под Москвой не сохранилось ни одного дерева, в изобилии привезенных сюда с юга во второй половине XVIII в. Плохо возобновлялись в 90-х годах прошлого столетия дубы на Воробьевых (ныне Ленинских) горах в Москве.

В 20-х годах нашего столетия климат постепенно становился теплее, начали отступать горные ледники, на севере удлинился вегетационный период. На Северном Урале лиственницы дали молодое поколение, а взрослые деревья отреагировали на потепление увеличением размера годичных колец. То же самое отмечалось и у сосен на Кавказе.

Это потепление было прервано кратковременным похолоданием, последовавшим в самом конце 30-х годов, когда в садах вымерзали яблони, вишни и сливы. Но уже в начале 40-х годов вновь произошло потепление, на которое трехвековые деревья сибирского кедра (*Pinus sibirica*) в низовьях Оби отреагировали в последние десятилетия необычайно бурным приростом древесины. То же самое наблюдается на срезах лиственницы из Прибайкалья. В ответ на потепление современные леса устремились вверх по склонам гор и на север. Как и 200 лет назад, в парках средней полосы снова появились теплолюбивые растения: белая акация, грецкий орех, конский каштан, которые цветут и плодоносят без укрытия в Москве, Смоленске и в других городах средней полосы России.

Приведенные факты свидетельствуют о том, что на территории Восточно-Европейской равнины климат испытывает вековые колебания, вызванные, по всей вероятности, колебаниями солнечной активности с интервалом в 80-90 лет. Последний подъем солнечной активности начался около 1910 г. Она постепенно возрастала и в конце 50-х годов достигла весьма значительной величины. Это привело к потеплению в Арктике, к уменьшению полноводности рек, текущих по Восточно-Европейской равнине, к учащению засух в южных районах нашей страны.

Итак, мы показали, как изменялся климат с XVI в. Дендроклиматологи надеются на то, что изучение годичных колец деревьев, погруженных в торфяники и песчано-гравийные отложения рек, позволит определить, как изменялся климат на протяжении последних тысячелетий, что в свою очередь облегчит составление его долгосрочных прогнозов.

Ну а как насчет климата будущего?

Проблема долгосрочного прогнозирования климата в настоящее время встает особенно остро в связи с перспективным планированием экономического и социального развития нашей страны вплоть до 2000 г., а также с освоением северных регионов и территорий, прилегающих к Байкало-Амурской магистрали. От того, будут ли более теплыми или засушливыми, холодными или влажными ближайшие десятилетия, зависят условия судоходства в Арктике, создание новых территориально-производственных комплексов, развитие транспорта, связи, сельского и лесного хозяйства. Установленные с помощью дендроклиматологического метода закономерности позволяют представить климат будущего. Приведем один из его прогнозов, опубликованный О. А. Дроздовым, Л. Г. Полозовой и Б. И. Сазоновым в 1972 г. По их мнению, солнечная активность постепенно должна падать примерно до уровня 80-х годов прошлого века. Это приведет к существенному похолоданию, хотя и менее резкому, чем в начале и в 80-х годах XIX столетия. Тем не менее следует ожидать существенного

ухудшения условий для судоходства в морях западной части Арктики. Покрытие льдом значительной территории северных морей приведет к постепенному уменьшению осадков в высоких широтах и в Средней Азии. Что же касается юга лесной зоны на востоке европейской территории СССР и Западной Сибири, то там будет заметно некоторое возрастание зимних осадков, а на значительной площади степной полосы европейской территории Союза и Западной Сибири количество осадков должно увеличиться как летом, так и зимой. В результате засушливость этих регионов несколько уменьшится по сравнению с предыдущим тридцатилетием.

Предоставляя читателям самим судить о том, насколько оправдался за истекшие годы этот прогноз, отметим, что он был составлен в соответствии с представлениями о цикличности естественных природных процессов. Один из авторов приведенного прогноза, Б. И. Сазонов, писал, что использование цикличности естественных природных процессов для прогнозирования их дальнейшего хода не получило широкого распространения главным образом потому, что физическая природа ритмов (циклов) остается неясной. Он обратил внимание на гипотезу, выдвинутую еще в прошлом веке швейцарским астрономом Рудольфом Вольфом, согласно которой приливообразующие силы планет влияют на уровень солнечной активности. Позднее эта гипотеза получила подтверждение в ряде экспериментальных работ.

Влияние космических факторов на формирование климата Земли было отмечено академиком М. В. Келдышем еще в 1968 г. Говоря о прогнозировании погоды, он писал: "Все сделанное до сих пор должно быть подвергнуто фундаментальному пересмотру. Почему? Потому, что весь теоретический аппарат, применяемый для расчетов долгосрочных прогнозов, до последнего времени строился на основе закономерностей тех гидродинамических процессов, которые протекают замкнуто в атмосфере. Между тем разогрев верхних слоев атмосферы, постоянно сказывающийся на процессах в нижних слоях, в значительной степени зависит от воздействий Солнца, которых мы раньше не знали и которые нам стали известны благодаря исследованиям на спутниках и других космических аппаратах. Поэтому прогресс в области долгосрочных прогнозов, видимо, следует ожидать с созданием, если так можно сказать, космической теории погоды".

Фенологические сады

Систематические наблюдения за растительностью имеют чрезвычайно важное значение как для реконструкции климата прошлого, так и для прогнозов его изменений в будущем. Работы Эммануэля Ле Руа Ладюри и других исследователей убедительно показали важность фенологических наблюдений. Однако для того, чтобы можно было сравнить результаты этих наблюдений, целесообразно стандартизировать объекты наблюдений. Так возникла мысль о создании при метеостанциях особых фенологических садов, в которых можно было бы проводить фенологические наблюдения над специально подобранными растениями определенных видов и сортов, а также одного возраста. Дело в том, что у разновозрастных растений по-разному протекают физиолого-биохимические процессы, и это обстоятельство накладывает отпечаток на анатомо-морфологические признаки растений и сроки наступления фенофаз - распускания листьев, зацветания и др. Для объектов наблюдения в фенологических садах целесообразно создать по возможности одинаковые условия минерального питания, водоснабжения и ухода. Все это способствовало бы более точному исчислению фенологических дат.

Первый такой фенологический питомник был создан при Бельгийском метеорологическом институте в Уккле. Здесь наряду с наблюдениями за состоянием погоды отмечают показатели сезонного развития растительности. Аналогичный фенологический сад создан в Трире (ФРГ).

В сентябре 1953 г. в Рио-де-Жанейро Всемирная метеорологическая организация приняла решение о создании нескольких фенологических садов на разных континентах, в том числе и в Южной Америке. Было рекомендовано в этих садах составлять коллекции растений как из местных видов, так и других географических зон.

Следует отметить, что русские ученые внесли большой вклад в создание таких питомников. Уже в 1914 г. при подмосковной метеорологической станции Собакино появился первый такой питомник, где для фенологических наблюдений использовались сеяные лесные и луговые травы. В настоящее время многие метеостанции нашей страны имеют фенологические сады.

Вместо компаса

– Кто сказал – правильно сказал! Кокпек есть – дорога есть! Лучше объехать дальше, чем лезть туда, где нет кокпека. Ты кокпек знаешь? Пойдем покажу. Невзрачное, серое, жесткое маленькое растение – я уже встречал его и даже догадывался, что это и есть кокпек. ...Но вот уже совсем близко темная полоса кустарника – и конец солончакам. Здесь, думаю я с облегчением, уж можно и пренебречь кокпеком, здесь уж должны кончиться солончаковые западни! Однако Гнедой почему-то всхрипнул, попятился. Я соскочил с повозки, забежал вперед, чтобы взять под уздцы заупрямившегося коня, и... увяз в предательской, присыпанной песком топи. Нет, больше не буду рисковать! Ехать только там, где растет кокпек!

П. С. Массажетов

Древний человек не был домоседом. В поисках пищи ему приходилось совершать дальние переходы. Ведь до того как освоить самое примитивное земледелие, он занимался собирательством и охотой. Процесс собирания дикорастущих пищевых растений, преследования диких животных был трудоемким, связанным с обходом значительной территории. Поэтому поговорка о волке, которого ноги кормят, была справедлива и по отношению к нашим далеким предкам.

Переходы совершались не бессистемно, а в определенном направлении: к местам наибольшего распространения пищевых растений, к установленным ловушкам, к родному очагу и т. д. В связи с этим успешная ориентация людей в пространстве имела для них жизненно важное значение. Самыми надежными ориентирами в пути были солнце и звезды. Однако далеко не каждый день их можно было видеть на небе. И тогда люди внимательно присматривались к растениям. По ним они и находили нужное направление.

Современный человек, передвигаясь по незнакомым малозаселенным местам, редко пользуется в качестве ориентира в пространстве растениями и звездами. В руках у него простой и надежный прибор – компас. Ну а если нет компаса, если небо затянуто тучами? Тогда в душе каждого, кто сбился с дороги в лесу, степи, тундре, пустыне, невольно возникает чувство тревоги, неуверенности, беспомощности. А между тем повсюду есть растения, которые могут служить указателями стран света.

Компасные растения и растения-гномоны

Поговорим прежде всего о так называемых компасных растениях. Сразу же отметим, что с магнетизмом они никак не связаны. У компасных растений листья имеют определенную ориентацию относительно стран света, причем эта ориентация возникла как защитное приспособление от действия интенсивной солнечной радиации. Компасными эти растения названы потому, что по ним, как и по компасу, можно узнать, где находится юг, а где – север.

Обычно компасные растения встречаются по открытым местам. Если же они находятся в гуще растений, то расположение их органов нарушается, и пользоваться ими в качестве ориентиров уже невозможно. Характерный признак компасных растений - расположение листьев в одной плоскости, ориентированной с севера на юг.

Особенно много таких растений среди представителей семейства сложноцветных. Классический пример их - дикий латук (*Lactuca sergiola*), встречающийся в Евразии по опушкам, огородам, сорным местам. Листовые пластинки этого растения (особенно верхние) в полуденные часы повернуты широкой стороной к востоку и западу, а ребром на юг. Такое расположение листьев способствует тому, что они в утренние часы освещаются солнцем, а днем, когда солнечные лучи особенно жгучи, нагреваются относительно слабо. Эта особенность обеспечивает нормальную работу листьев в самое жаркое время дня, предохраняет растения от избыточной потери влаги. Она наблюдается лишь на открытых сухих местах, во влажных или несколько затененных листья размещаются на стебле равномерно, ориентируясь во все стороны.



Компасное растение дикий латук. Слева вид с востока, справа - вид с юга

Наблюдая за диким латуком, ученые установили одну интересную особенность. Если он произрастает на очень крутом каменистом западном склоне или у обращенной на запад стены, то оказывается подверженным воздействию радиации с двух сторон: с юга - со стороны дневного светила и с запада - со стороны стены (склона горы), отражающей солнечную радиацию. Отраженная радиация оказывается, по-видимому, более губительной, чем прямая солнечная, поскольку заставляет латук ориентировать плоскость своей листовой пластинки перпендикулярно стене, несмотря на то, что теперь широкая сторона листьев оказывается обращенной на юг и подвергается действию прямых солнечных лучей.

У многолетнего растения сельфиума дольчатого (*Silphium laciniatum*), уроженца североамериканских прерий, широкая сторона листовых пластинок также обращена к западу и востоку. Это расположение листьев хорошо сохраняется растениями в любую погоду, и охотники, когда не видно солнца и звезд, могут по нему отлично ориентироваться в пространстве. Особое значение сельфиум дольчатый имел в те времена, когда обширные пространства североамериканских прерий были слабо заселены.

Тенденцию к компасному расположению листьев в условиях интенсивного освещения можно заметить и у других представителей семейства сложноцветных, например у пижмы (*Tanacetum vulgare*),

называемой еще полевой рябинкой. С июня до глубокой осени ее ярко-желтые тугие соцветия видны вдоль тропинок и дорог. Особенно заметны они в пасмурную погоду, когда их солнечное сияние оживляет природу. Компасное расположение листьев наблюдается у пижмы только при отсутствии затенения, в засушливых местообитаниях.

Меридионально располагаются ветви у молодых экземпляров туи западной (*Thuja occidentalis*) - дерева высотой 12-15 м. Молодые растения можно отличить по кроне: она обычно узкая, пирамидальная, тогда как при старении в большинстве случаев становится яйцевидной. На родине растения, а ею считается восток Северной Америки, его называют американским деревом жизни.

К особой разновидности компасных растений относятся растения-гномоны. Гномон - это очень древний астрономический инструмент, представляющий собой вертикальный стержень, укрепленный на горизонтальной площадке. По длине и направлению тени стержня можно определить высоту и азимут Солнца. Этот прибор в более поздние времена стал использоваться в качестве солнечных часов. Наименование его и определило название особой группы компасных растений, которое можно истолковать по-русски как "солнце-указатели". Итак, растения-гномоны указывают то место, где в данный момент находится дневное светило.

К числу гномонов относится астра золотистоволосая (*Aster linosyris*), которую немцы издавна называют золотой гривой. Она имеет узкие ланцетовидные листья, обычно расположенные горизонтально. В сухих местообитаниях, подверженных воздействию интенсивной солнечной радиации, ее листья поворачиваются и принимают вертикальное положение (сходство со стержнем гномона). Однако на крутых юго-западных склонах листья, находящиеся со стороны склона, изгибаются к югу и устанавливаются точно в направлении наивысшего полуденного положения Солнца над горизонтом. Благодаря этому в период наиболее интенсивной радиации растение подставляет солнечным лучам минимальную поверхность.

Растения-гномоны даже на западных крутых склонах в отличие от компасных сохраняют свою ориентацию по отношению к дневному светилу и отклоняются от направления на полуденное Солнце не более чем на 10°.

Вслед за солнцем

С давних времен человек, внимательно присматриваясь к явлениям природы и пытаясь объяснить их, подметил, что цветки и соцветия некоторых растений в течение дня поворачиваются вслед за солнцем. К числу таких растений относится подсолнечник.

Наблюдения показали, что движутся нецветущие корзинки подсолнечника. Утром они смотрят в сторону поднимающегося над горизонтом солнца. Верхушки стеблей в это время слегка изогнуты, и корзинки держатся вертикально. В полдень все корзинки наблюдаемых растений обращены к солнцу. Изгибов стеблей нет, корзинки принимают горизонтальное положение.

По мере того как дневное светило склоняется к горизонту, изгибаются в его сторону верхушки стеблей и поворачиваются к солнцу корзинками.

Итак, еще не раскрывшиеся корзинки подсолнечника следуют за солнцем в направлении с востока на запад, и весь день солнечные лучи падают на них перпендикулярно их плоскости. За ночь корзинки "проходят" обратный путь в противоположном направлении. Интересно отметить, что днем они преодолевают его приблизительно за 15 часов, а ночью - за 4-5 часов, после чего "ждут" восхода солнца. Как только корзинки начинают распускаться, движение их за солнцем ослабевает и затем совсем прекращается.

По болотам, канавам, сырым местам, вдоль берегов рек и прудов нередко можно встретить череду трехраздельную (*Bidens tripartita*), которая, как и подсолнечник, относится к семейству сложноцветных. После отцветания буро-желтых соцветий корзинок череды образуются плоды с двумя шипами, покрытыми загнутыми назад зубчиками. Благодаря этим шипам плоды череды застревают в шерсти животных, перьях птиц, цепляются за одежду человека.



Соцветия-корзинки череды трехраздельной обычно направлены в сторону дневного светила

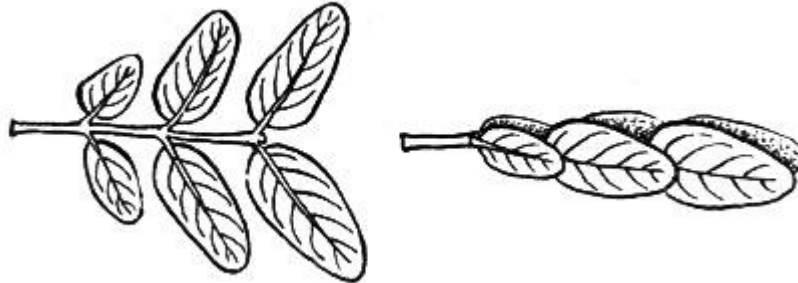
Череда принадлежит к числу светолюбивых растений, поэтому она растет на открытых местах. Любопытно, что соцветия ее направлены в сторону дневного светила даже тогда, когда оно скрыто облаками. Утром (в 7 часов) соцветия череды обращены к востоку, в полдень (в 13 часов) - к югу, а вечером (в 19 часов) - к западу. Посмотрев на часы и на расположение корзинок череды, нетрудно определить страны света. Так, например, в 10 часов корзинок череды бывают обращены к юго-востоку, а в 16 часов - к юго-западу.

Совершенную систему слежения за солнцем можно наблюдать у цимбалярии настенной (*Muralis symbalagia*) из семейства норичниковых, в диком виде произрастающей в Центральной и Южной Европе и в Средиземноморье. Ее цветоножки реагируют на световое раздражение таким образом, что цветки всегда оказываются повернутыми к свету. После того как околоцветник завядает и на месте цветка формируется плод, цветоножка начинает совершенно по-иному отвечать на воздействие света - она поворачивает плод в противоположную от света сторону.

Но не только цветки и соцветия в течение дня следуют за солнцем. У многих растений за дневным светилом движутся и листья. Просвирняк приземистый (*Malva pusilla*) - сорное растение, встречающееся по огородам, садам, паровым полям, возле дорог, имеет округло-сердцевидные листья, которые своей пластинкой повернуты к солнцу. Чтобы лучше улавливать солнечные лучи, они по мере движения светила поворачиваются вслед за ним. Если на пути солнечных лучей возникает какая-либо преграда, то движение листьев приостанавливается, но едва солнечный свет начинает падать на них, они довольно быстро поворачиваются к нему. Сразу же после захода солнца листья просвирняка быстро переориентируются на восток. Они как бы ожидают восхода солнца, хотя до него еще много часов. Глядя на эти растения, невольно вспоминаются строки из стихотворения А. И. Недогонова:

На цыпочках встали растенья
И смотрят глазком на восток.

По-иному движутся листья некоторых австралийских деревьев, например эвкалиптов. Их листья непрерывно поворачиваются вслед за солнцем, и в течение дня каждый из них обращен к свету не пластинкой, а ребром. Предполагают, что таким образом растения спасаются от избыточной потери влаги в засушливых условиях существования.



Лист кассии - растения из семейства цезальпиниевых - днем (слева) и вечером (справа)

Изучая движение листьев разных растений вслед за солнцем, американские ученые в 1980 г. пришли к заключению, что существуют две группы растений. У видов, принадлежащих к родам люпин, аброния, амарант (ширица), мальвастрем, бурхавия, кальстремия и некоторым другим, листья следят за солнцем, располагаясь перпендикулярно солнечным лучам. У видов, относящихся к родам астрагал, кассия, лядвенец, якорцы и другим, листья ориентируются параллельно потоку солнечных лучей.

Приспособление первой группы растений можно рассматривать как адаптацию, направленную на более полное использование солнечных лучей для фотосинтеза и увеличения продуктивности растений, а второй - как адаптацию к водному стрессу в засушливых местообитаниях, позволяющую уменьшить интенсивность транспирации, ослабить перегрев листьев.

Если вы сбились с дороги...

Свет - один из главнейших факторов жизни растений. Он определяет не только ориентацию цветков и листьев, но и характерную асимметрию крон деревьев, очередность распускания цветков в соцветиях и формирования плодов. Перенесемся мысленно в южное полушарие. В пустынях Анголы и Юго-Западной Африки направление движения можно узнать по деревьям пахиподиума (*Pachypodium namaquanum*) из семейства кутровых. Их внешний вид очень необычен и приводит в ужас каждого, кто их видит впервые. Местные жители называют эти растения "люди-призраки" и из-за них боятся ходить в пустыню. Вид их действительно причудлив. В возрасте более 100 лет они достигают высоты 1,5-2,0 м. Их усаженные колючками стволы, торчащие тут и там в голой каменистой пустыне, напоминают скелеты.

У местных жителей есть древняя легенда, рассказывающая о происхождении этих странных деревьев. Будто некогда готтентоты, спасаясь от врагов, бежали на север. Здесь, в безводной каменистой пустыне, они обратились к богу, и тот, сжалившись, превратил их в причудливые деревья, чтобы они смогли выжить в этом бесплодном месте.

Удивительно то, что кроны деревьев пахиподиума всегда обращены на север, куда, согласно легенде, бежали готтентоты. Напомним, что в южном полушарии солнце освещает предметы с северной стороны. Возвратимся теперь в наши русские леса и внимательно присмотримся к кронам деревьев. У одиноко стоящего на поляне дерева крона несколько гуще и пышнее на южной стороне, в то время как на северной и ветвей меньше и листьев. Если же деревья растут часто, то такой закономерности не наблюдается. В этом случае крона более густая с той стороны, где ничто не мешает ее росту.

Если путник сбился с дороги в Австралии, то ему следует найти цветущий экземпляр распространенного на всей территории континента растения, которое коренные жители Западной Австралии называют "чернокожие люди". Речь идет о ксанторрее древовидной (*Xanthorrhoea arborea*) из семейства ксанторреевых. Странное название связано с тем, что, когда "стволы" этих растений оголяются, они становятся похожими на чернокожих людей с копьями. Высота их от 1,2 до 6,0 м. Буквальный перевод слова "xanthorrhoea" - "желтое истечение". Дело в том, что основания метровых линейных листьев, окружающих верхушку каудекса (стеблекорня), выделяют густую желтоватую смолу, которую химики называют акароидной. Эта смола застывает у основания листьев. Когда появляются новые листья, их основания в свою очередь покрываются затвердевшей на воздухе смолой. Таким образом, в течение определенного промежутка времени смола начинает выполнять роль ствола. С обычным стволом он не имеет ничего общего, поскольку состоит из волокнистых оснований листьев, пропитанных смолой. Эти смоляные чехлы разрубают и используют для производства сургуча, лаков, красок и пикриновой кислоты.

Цветки ксанторреи древовидной, образующие огромные колосья длиной до 3 м, обладают одной интересной особенностью, полезной для заблудившегося путника: они всегда раскрываются сначала на северной стороне соцветия, ведь в Австралии северная сторона наиболее теплая.

Но разве в наших местах нельзя наблюдать подобное явление? Присмотритесь повнимательнее к цветущим растениям, и вы увидите, что во многих соцветиях первые цветки раскрываются на южной стороне. Вполне естественно, здесь и плоды созревают быстрее. Если рассмотреть в пору начала плодоношения нетронутое растение земляники, то можно заметить, что самая красная ягода обычно располагается на южной стороне. На северной ягоды более длительное время сохраняют зеленую окраску. Такое же явление можно наблюдать у боярышника и других растений.

Неодинаковая интенсивность солнечного освещения, а также связанные с этим температурные аномалии определяют целый ряд других признаков растений, полезных для сбившегося с дороги человека.

Натеки смолы у сосен, располагающиеся обычно на южной стороне дерева, подскажут вам правильное направление движения. Лишайники чаще покрывают северную сторону камней и деревьев. У березы кора с южной стороны более белая и чистая, тогда как с северной обычно трещиновата и с пятнами. Опята дружнее появляются на южной стороне пней.

В пасмурную дождливую погоду у деревьев на северной стороне можно обнаружить вертикальную темную полосу. Она образуется от неравномерного высыхания коры. С южной стороны кора быстрее высыхает, а на северной долго держится влага. Трава, растущая возле деревьев, также подскажет правильное направление движения. В первой половине лета она выше и гуще с южной стороны дерева, с северной трава более низкорослая. Во второй половине лета на южной стороне трава более пожухлая, желтая, тогда как с северной более свежая.

Если надо прибегнуть к помощи растительных "компасов", то обязательно следует осмотреть несколько деревьев или воспользоваться несколькими указателями направления движения. Дело в том, что из правил всегда есть исключения, поэтому на каком-то одном дереве лишайники могут расти не на северной, а на южной стороне.

Кроме солнца есть еще фактор, определяющий неравномерность роста крон деревьев, - это ветер. Деревья, растущие на морских побережьях и наветренных склонах гор, очень часто имеют флагообразную форму. Их крона вытянута в одну сторону, куда постоянно дуют сильные ветры. С наветренной стороны ветви или полностью отмирают, или очень плохо растут. Стволы уродливо изогнуты, нередко пригибаются к земле. Основная причина таких деформаций - иссушающее действие ветра, который энергично удаляет водяной пар от поверхности листьев, где находятся устьица, в результате чего резко возрастает интенсивность транспирации. При сильном ветре листья теряют влаги

во много раз больше, чем в безветренную погоду, а чрезмерное обезвоживание листьев и ветвей, как известно, приводит к их отмиранию.

Ветер, дующий в одном каком-то направлении, способен вызвать асимметрию крон и у растений в пустынях. Песчаные акации (виды рода *Ammodendron*) благодаря наличию длинных шнуровидных корней успешно удерживаются на сыпучем субстрате Каракумов и Кызылкума. Ствол песчаной акации гибкий, стройный. Он и в безветрие наклонен, будто сопротивляется какой-то невидимой силе. Кроны деревьев с одной стороны всегда гуще, они как бы направлены по ветру. У песчаных акаций, растущих на высоких буграх, они обычно развернуты в одну сторону, куда постоянно дует ветер. По ним-то и можно найти правильное направление движения. Если же акации произрастают в межбарханных понижениях, расположение их крон зависит от завихрений низового ветра, следующего изгибам барханов и ложбин. Такие деревья не могут служить ориентиром.

На побережье Средиземного моря направление движения можно определить с помощью сосны алеппской (*Pinus halepensis*), достигающей высоты 10- 15 м. Ствол сосны всегда искривлен и направлен в сторону Средиземного моря.

Характерная особенность кокосовой пальмы (*Cocos nucifera*) - ее приверженность к самому берегу океана. Уже на расстоянии 6 -8 км от него кокосовая пальма плохо развивается. Все деревья этого вида наклонены в сторону океана. Не случайно в Океании люди племени съетура называют кокосовую пальму "кокос-что-наклонился-над-морем". Этот наклон имеет важное приспособительное значение в распространении плодов. Немало их попадает в воду и переносится морскими течениями на большие расстояния. Будучи выброшенными на берег, кокосовые орехи быстро прорастают. Так, путем самосева кокосовая пальма расселилась по многочисленным островам Тихого океана. На острове Кракатау во время извержения вулкана вся растительность была уничтожена. Спустя всего 10 лет ботаники обнаружили там много кокосовых пальм. Они выросли из плодов, принесенных океаном.

Рассматривая вопрос об использовании растений в качестве указателей направления движения, нельзя не упомянуть о явлении магнитотропизма. Первые опыты по влиянию магнитного поля на растения были поставлены французскими учеными Антуаном Беккерелем и Анри Дютроше еще в прошлом веке. Однако обстоятельные исследования этого вопроса начались лишь с середины XX столетия. В 1960 г. советские исследователи А. В. Крылов и Г. А. Тараканова опубликовали работу "Явление магнитотропизма у растений и его природа", которая получила широкую известность. В ней убедительно показано, что магнитное поле влияет на всхожесть семян и темпы роста всходов. Последующие исследования выявили много интересного в действии магнитного поля на растительные организмы. Однако до сих пор не выяснено, как влияет естественное магнитное поле Земли на пространственную ориентацию растений. А это имеет непосредственное отношение к рассматриваемой нами проблеме использования растений для ориентации в пространстве.

Что касается бактерий, то исследователи из Массачусетского технологического института установили, что они обладают способностью ориентироваться относительно магнитного поля Земли. Некоторые из них, обитающие в болотной тине и относящиеся к группе спирилл, имеют тенденцию перемещаться в направлении Северного полюса. При этом бактерии пользуются особым механизмом, выявленным с помощью электронного микроскопа. В поле зрения прибора в клетках спирилл видны цепочки намагниченных кристалликов. В среднем одна бактерия содержит 22 таких кристаллика. Они-то и служат "компасом" при движении бактерий на север.

Разумеется, человек, сбившийся с дороги, из-за отсутствия под рукой электронного микроскопа едва ли сможет воспользоваться услугами спирилл в качестве указателя стран света. Исследования американских ученых интересны тем, что позволяют предполагать наличие подобного механизма и у некоторых высших растений. Если это подтвердится, то будут открыты и морфологические признаки, по которым можно определять страны света, и тогда обладающие ими растения станут настоящими компасами.

Пути-дороги былых времен

Особое значение имеют растения для ретроиндикации караванных путей и троп в пустынях. Так, например, трассы движения караванов нередко прослеживаются по обильному распространению придорожных сорняков. В частности, в северном Приаралье к ним приурочен рогоплодник песчаный (*Ceratocarpus arenarius*). Ретроиндикация древних кочевых трасс и связанных с ними мест выпаса скота позволяет выявить те элементы старых кочевий, которые не утратили своей практической значимости и ныне и могут быть использованы при организации современного отгонного животноводства.

Определить трассы старых кочевий можно с помощью аэрометодов, причем индикаторным признаком в этом случае будет не распространение, а, напротив, отсутствие растений, что тоже придает характерные черты ландшафту. На аэрофотоснимках участков, где когда-то проходили пути кочевий, хорошо прослеживаются островные песчаные массивы, т. е. мелкие изолированные участки песков, лежащие среди супесчано-суглинистых равнин. Возникновение таких песчаных массивов в значительной степени обусловлено изменениями почвенно-растительного покрова пастбища под влиянием выпаса.

Древние заброшенные дороги нередко заявляют о себе приуроченной к ним растительностью. Так, например, во Франции построенная рабами Древнего Рима из известняковых плит дорога была обнаружена по полосе дубового древостоя, протянувшегося среди каштанового леса. Дуб в отличие от каштана кальцефил, поэтому его экземпляры и были приурочены к известняковым плитам, погребенным под современными отложениями.

С помощью растений можно отыскать пути к местам древних поселений человека. Так, например, шведский полярный исследователь Адольф Норденшельд в 1880 г. разыскал в Гренландии места стоянок древних викингов. В этих поисках ему очень помогли растительные спутники человеческих жилищ - крапива и гусяная лапка. Они до сих пор растут там, где некогда были стоянки викингов, тогда как все другие следы колонизации Гренландии давно исчезли.

Один из выдающихся исследователей дикорастущей флоры нашей страны, П. С. Массажетов, в книге "Заветные травы" высказал соображения о возможности использования в археологических поисках итсегека - ежовника безлистного, или анабазиса безлистного (*Anabasis aphylla*). Столетиями человек, живший в степи, ценил это растение как топливо и создавал ему преимущественные условия для развития, рыхлил землю, обновлял порубками, а домашний скот вокруг городищ вел своеобразную прополку, уничтожая кормовые растения и не трогая итсегек.

Цветочные часы и древесные календари

Я дала тебе травы, указывающие часы,
и, чтобы не отвращал ты глаз своих
от земли к солнцу, вместе с ним
обращаются гелиотроп и люпин. К чему
же все еще смотреть в высь и
вопрошать небо. Вот тебе Плеяды
у ног твоих.

Плиний Старший

Когда речь заходит о растениях - указателях времени, все сразу же вспоминают цветочные часы известного шведского ботаника Карла Линнея. Однако не ему принадлежит приоритет в использовании растений для определения времени суток. Приведенная выше цитата из "Естественной истории" Плиния показательна в том отношении, что позволяет отнести изобретение цветочных часов к значительно более раннему времени. Об использовании люпина для определения времени сообщал не только Плиний, но и другие древнеримские писатели, например Апулей. Что же касается гелиотропа, то

относительно способности его цветков поворачиваться вслед за солнцем существует следующая древнегреческая легенда. Некогда нежная океанида Клития влюбилась в лучезарного бога солнца Гелиоса. Но высокомерный бог с высоты своей огненной колесницы не обращал на нее никакого внимания. Она так страдала от этого, что боги решили превратить ее в растение гелиотроп. Овидий в "Метаморфозах" следующим образом описывает превращение Клитии в цветок:

И, говорят, к земле приросла, из окраски двоякой
Смертная бледность ее претворилась в бескровные листья,
Все же и алость при ней. В цветок, фиалке подобный,
Вдруг превратилось лицо. И так, хоть держится корнем,
Вертится Солнцу вослед и любовь, изменяясь, сохраняет.

Судя по литературным источникам, люди с древних времен пытались определить время с помощью растений. И в этом нет ничего удивительного, ведь в течение суток освещенность и температура - одни из важнейших условий жизни растений - испытывают закономерные изменения, отражающиеся и на внешнем облике растений.

Растения "спят" и "бодрствуют"

Взгляните на некоторые растения ночью, и вы удивитесь тем изменениям, которые они претерпели. У широко распространенной в наших лесах кислицы после захода солнца листочки опускаются и прижимаются нижней стороной к черешку и друг к другу. Пробуждение наступает около 6 часов утра, и листочки восстанавливают свое нормальное положение. У моркови и незабудки в состоянии "сна" молодые соцветия опускаются вниз. Белая акация и фасоль, как и кислица, реагируют на приближение ночи опусканием листочков, а вот у клевера вечером листочки, напротив, поднимаются вверх.

"Сном" у растений называются периодические изменения положения органов (листьев, побегов, цветков, соцветий), которые совпадают со сменой дня и ночи. Это состояние было известно людям с глубокой древности. Феофраст в своем труде "Исследование о растениях" писал, например:

"Есть другое дерево со множеством листочков, как у розы. Ночью они складываются, с восходом солнца начинают раскрываться и в полдень окончательно развертываются; с наступлением вечера опять постепенно сжимаются и ночью складываются. Местные жители говорят, что дерево засыпает".

Речь идет о тамаринде индийском (*Tamarindus indica*) - большом дереве, достигающем в высоту около 25 м при окружности ствола 7 м. В период цветения оно покрывается желтыми цветками, собранными в мелкие кисти. После отцветания формируются плоды - бобы бурого цвета. Они употребляются в пищу в свежем виде, из них готовят напитки и варенье. Но самое интересное - это листья тамаринда. Они бледно-зеленые сложноперистые и состоят из 10-20 пар продолговатых тупоконечных листочков. Ежедневное движение их описано Феофрастом с большой точностью. Исследователь обратил внимание на связь этих движений со временем суток.

Движения листьев, связанные со сменой дня и ночи, привлекали к себе внимание многих ученых. Еще в 1729 г. французский астроном Жан-Жак де Мэран обнаружил, что листья гелиотропа изменяют свое положение в зависимости от времени суток. Они то как бы впадают в состояние сна, то бодрствуют. Причем это свойство присуще растениям, не только находящимся в естественных условиях, но и содержащимся все время в полной темноте или при постоянном освещении.

Сходные опыты были поставлены другими учеными, и результаты подтвердили способность растений воспринимать смену дня и ночи.

Глубоко и плодотворно исследовал периодические движения у растений Чарлз Дарвин. В результате ученый пришел к выводу, что во время "сна" листья занимают такое положение, которое обеспечивает им минимальные потери тепла. Благодаря этому растения приобрели способность защищаться от

холода. Опыты с кислицей и другими видами показали, что в состоянии "сна", когда листья опущены вниз, растения лучше переносят низкие температуры, чем те, которые были лишены возможности складывать и опускать свои листочки.

То же самое характерно и для цветков. Так, например, белая водяная лилия обычно в 5 часов вечера закрывает свои цветки, чем спасает себя от излишнего излучения тепла во время Довольно прохладной ночи. В благоприятных же температурных условиях она может вести себя по-другому. В Индии, где воздух и вода теплы даже ночью, водяная лилия бодрствует в это время и закрывает свои лепестки утром. Индийские поэты, наблюдая необычное поведение растения, приписали его влюбленности в луну: как человеческая душа расцветает вблизи любимого, так и лилия открывает свой цветок от прикосновения лунного луча и бодрствует всю ночь напролет. Напуганная первым прикосновением грубого солнечного луча, она съезживается и закрывает свои лепестки на весь день. Наружные листочки околоцветника у лилии зеленые, и днем закрытые цветки едва заметны среди плавающих на воде широких зеленых листьев. Вечером картина меняется как по волшебству, и бесчисленное множество белых цветков мерцает на поверхности темной воды.



Покажется на поверхности водоема лист белой водяной лилии - конец ночным заморозкам

Известный индийский физиолог растений Джагдиш Чандра Бос писал по этому поводу, что луна не имеет никакого отношения к распусканию цветков водяной лилии: они раскрываются и тогда, когда на небе нет ночного светила. Солнечный свет также не причастен к закрыванию ее цветков, иногда они остаются открытыми даже в 11 часов дня. На основании проведенных экспериментов Бос пришел к заключению, что решающим фактором здесь является температура: повышение ее вызывает закрывание цветка, а падение - раскрывание.

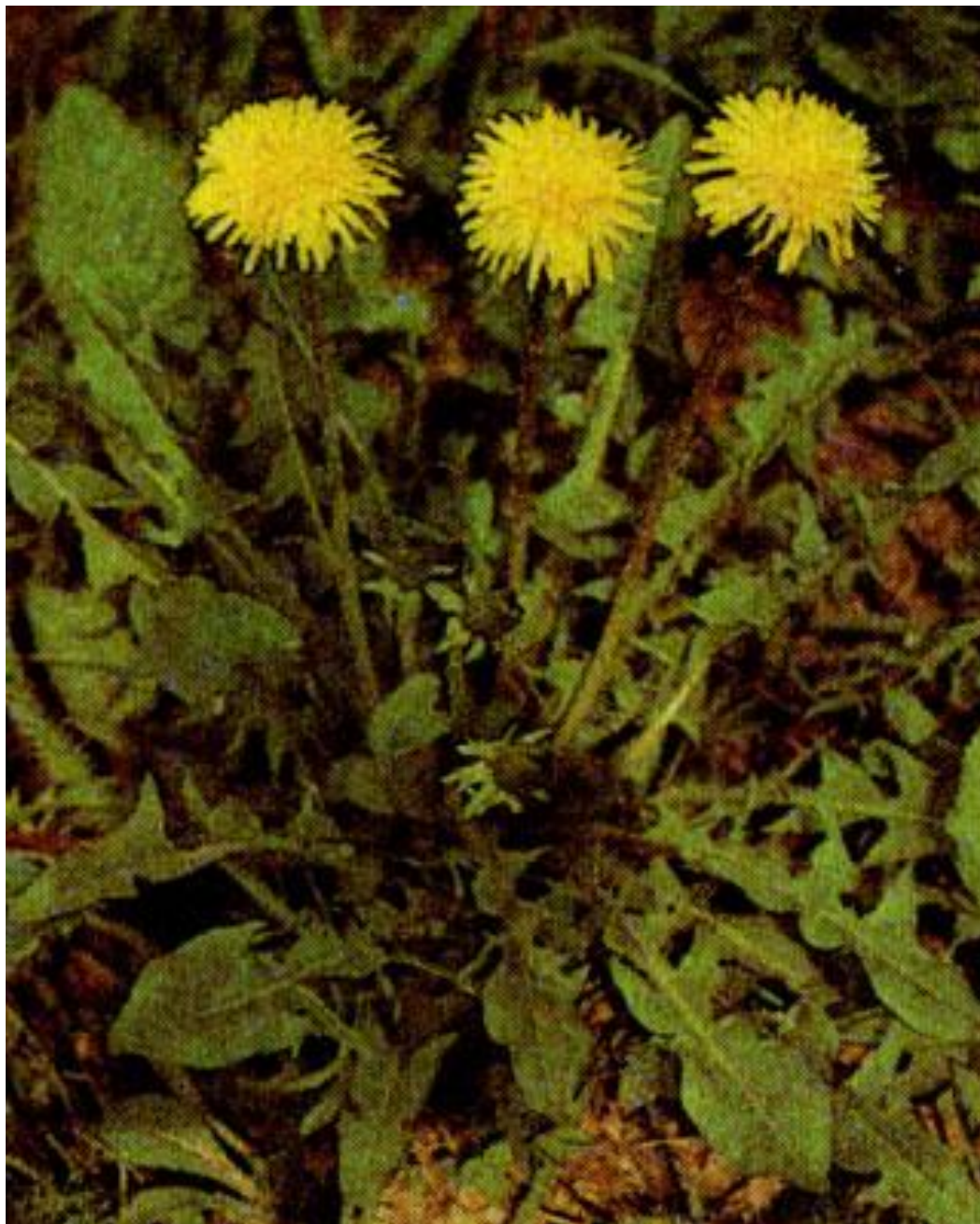
Итак, растения воспринимают смену дня и ночи и соответственно этому изменяют положение своих органов в пространстве. Одни из этих движений обусловлены действием внешних факторов (закрывание и открывание цветков белой водяной лилии), другие (движение листьев гелиотропа) совершаются даже в том случае, если внешние условия на протяжении суток будут постоянными.

Цветочные часы

Наблюдая за цветками какого-либо растения, можно заметить, что они распускаются приблизительно в одно и то же время. Наиболее рано, между 3 и 5 часами утра, открываются желтые соцветия козлородника лугового. Затем (между 4 и 5 часами) "просыпаются" цветки мака, шиповника, соцветия кульбабы.

В 5 часов желтыми огоньками загораются соцветия осота огородного - самого заурядного сорного растения, которое, однако, высоко почиталось в старину торговыми людьми, а в древних травниках наделялось таинственными свойствами.

В 5-6 часов раскрываются ярко-желтые корзинки одуванчика лекарственного и скерды кровельной, цветущей в июне и июле среди посевов, по паровым полям, склонам, обрывам, среди кустарников.



Растение - указатель времени: одуванчик

В 6 часов "пробуждаются от сна" цветки картофеля и льна, соцветия ястребинки зонтичной, корзинки которой легко заметны по паровым полям, опушкам, придорожным канавам.



Растение - указатель времени: лен

Несколько позднее, между 6 и 7 часами, раскрываются корзинки ястребинки волосистой, одиночные соцветия которой располагаются на верхушке безлистного стебля - стрелки. Этим она существенно отличается от своей сестры - ястребинки зонтичной, цветоносные стебли которой густоолиственны.

В 7 часов преобразается поверхность медленно текущих водоемов, прудов и стариц. Это лотос севера, сказочная одолень-трава - кувшинка белая - раскрыла свои великолепные крупные цветки. Одновременно с ней "просыпаются" в огородах цветки салата-латука.

В 9-10 часов распускаются бархатцы, а в лугах начинают розоветь цветки смолки и торичника, относящихся к семейству гвоздичных.

Конечно, в ясный день и в ненастную погоду соцветия одуванчика, да и других растений распускаются не в одно и то же время. Однако в целом можно говорить о том, что цветки того или иного вида растения "пробуждаются от сна" в свое определенное время.

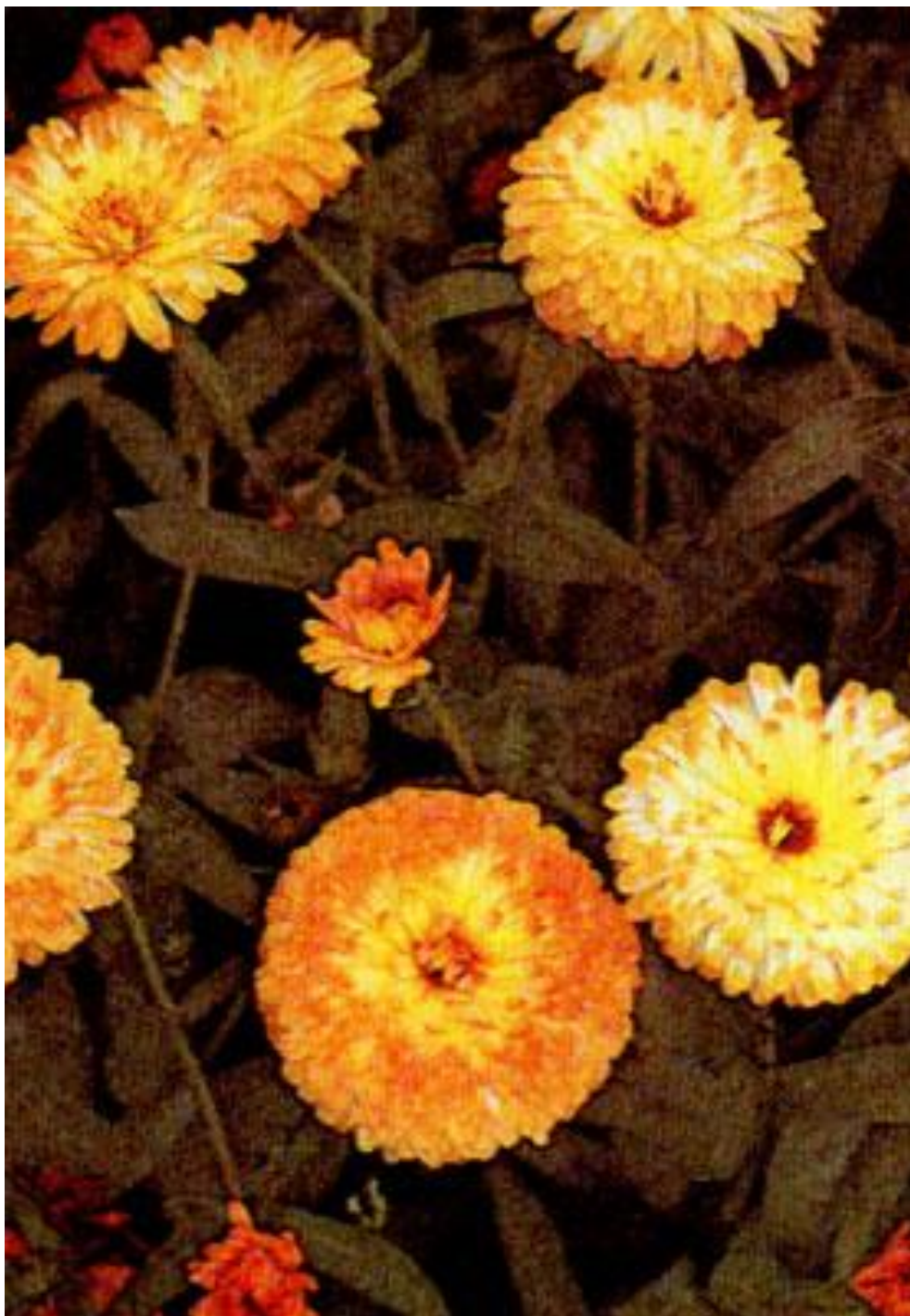
У некоторых из них - душистого табака, кактуса "царица ночи", дремы белой, водяной лилии, произрастающей в водоемах Индии, - цветки открываются с наступлением сумерек. Перед заходом солнца начинают распускаться крупные желтые венчики цветков энотеры двулетней из семейства кипрейных.



Растение - указатель времени: душистый табак

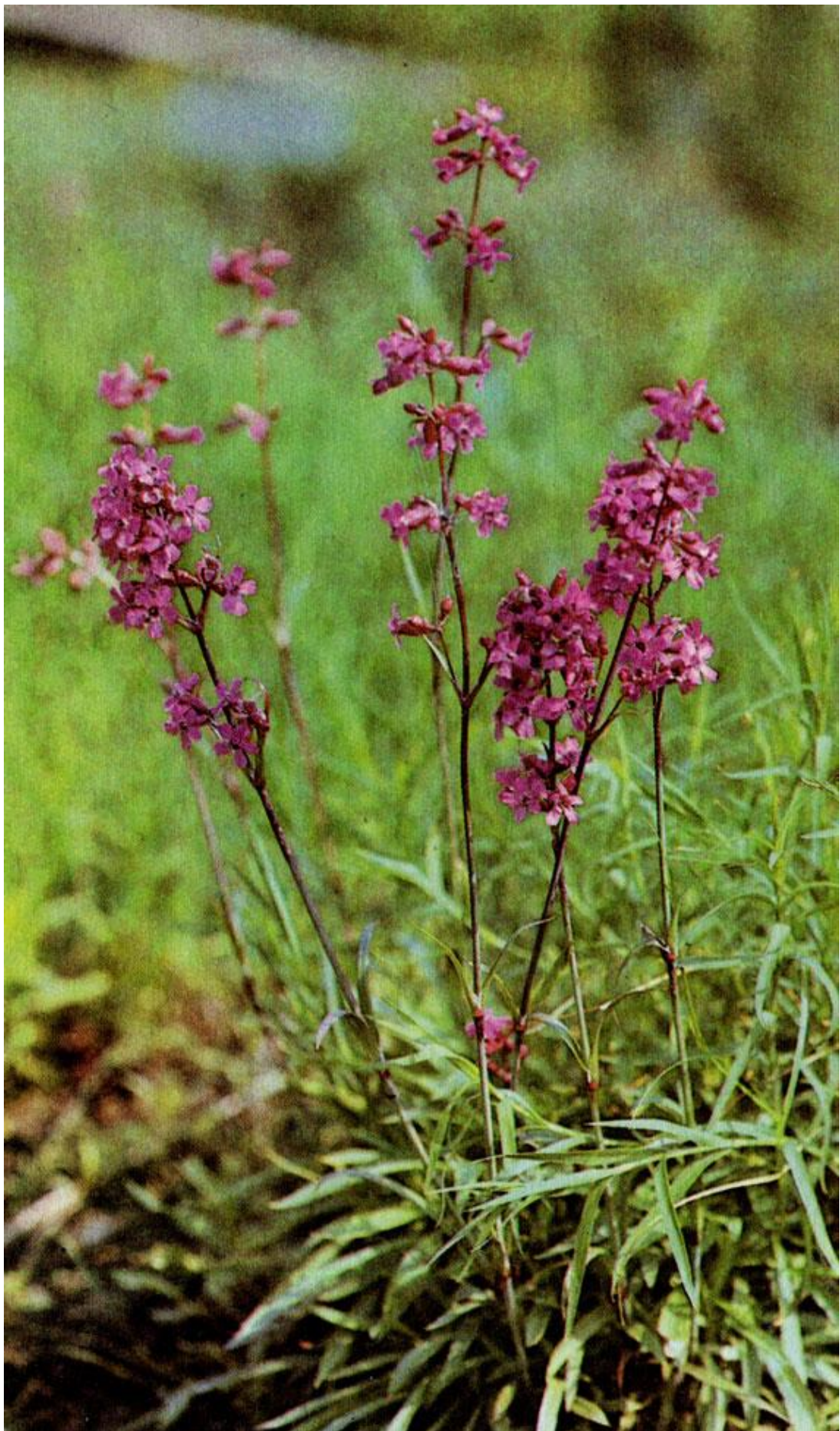
Чрезвычайно эффектно открываются в вечерних сумерках прекрасные белоснежные цветки луноцветы - вьющегося лианообразного растения. Сначала чуть заметно подрагивают бутоны. Затем остроконечная верхушка их слегка раздвигается, и с боков по спирали появляются узкие белые просветы. Бутон ритмично покачивается, отверстия между верхушками лепестков увеличиваются. Пестик, находящийся внутри цветка, плавно раскручивается. Это вращение длится от 15 до 30 секунд. Затем бутоны

полностью раскрываются и превращаются в огромные белые цветки, наполняющие сад тонким ароматом.



Растение - указатель времени: календула

Закрываются цветки и соцветия у разных видов растений также в свое определенное время. Например, в 14-15 часов закрываются цветки мака и торичника, соцветия цикория, одуванчика. В 15-16 часов "засыпают" соцветия ноготков, ястребинки волосистой. Голубые звездочки льна погружаются в "сон" в 16-17 часов. В 17 часов съеживаются корзинки мать-и-мачехи и ястребинки зонтичной. Между 17-18 часами закрываются цветки белой водяной лилии и кислицы. В 18-20 часов складывают свои лепестки цветки шиповника, в 20-21 час меркнут розовые огоньки смолки.



В 20-21 час меркнут розовые огоньки смолки обыкновенной

Определенная периодичность открывания и закрывания цветков и соцветий была подмечена очень давно. Еще в Древней Греции и Риме на клумбах высаживались растения, с помощью которых можно было определить время суток.

Известный шведский ботаник Карл Линней, изучив периодичность открывания и закрывания цветков разных растений, написал труд "Somnus plantarum" ("Сон растений"). Его наблюдения легли в основу создания цветочных часов, которые были "пущены в ход" в Упсале в 20-х годах XVIII в. Они показывали время с 3 - 5 часов утра, когда раскрывались соцветия козлобородника.

С чем связано раскрывание и закрывание цветков и соцветий? Чаще всего на движение листочков околоцветника влияют свет и темнота. В этом нетрудно убедиться на опыте. В ясный солнечный день выберите на лугу несколько цветущих экземпляров одуванчика, полейте вокруг них почву и закройте ящиком или ведром. Через некоторое время можно увидеть, что соцветия одуванчика закрылись. Оставьте растения открытыми. Если день солнечный и теплый, соцветия вновь раскроются.

Наряду с освещением на открывание и закрывание цветков влияет температура воздуха. Так, например, если срезанные тюльпаны внести зимой с холода в теплое помещение, то цветки начинают открываться.

Движения закрывания и открывания цветков относятся к так называемым настиям. В зависимости от характера раздражающего агента различают фотонастии (закрывание соцветий одуванчика при затенении), термонастии (открывание цветков тюльпана в теплом помещении) и др. В основе настических движений лежит неравномерный рост верхней (внутренней) или нижней (наружной) стороны лепестка. Если быстрее растет верхняя (внутренняя) сторона лепестков, то они отклоняются наружу, в результате чего цветок открывается. Напротив, в случае быстрого роста нижней (наружной) стороны лепестков цветок закрывается.

В течение суток температура и интенсивность инсоляции претерпевают закономерные изменения, что и приводит к открыванию или закрыванию цветков и соцветий в определенное время суток.

Периодически изменяется не только положение лепестков, но и интенсивность выделения цветками нектара и ароматических веществ. Так, например, у левкоев цветки открыты все время, однако их запах ощущается только после захода солнца. Пока опыляющие левкой насекомые неактивны, цветки не расходуют приманивающие душистые вещества.

У гречихи максимум нектара в ясную погоду выделяется в утренние и вечерние часы, в пасмурную - в 12-17 часов. У фацелии в ясную погоду нектаропродуктивность утром незначительна, но днем увеличивается в 3-4 раза.

Периодичность выделения растениями нектара является для пчел своеобразным ориентиром во времени.

Рыбам время нереститься...

Растения подвержены не только суточным, но и годовым колебаниям внешних факторов. Годовые колебания сказываются на химической деятельности растений, а та в свою очередь может определять поведение некоторых животных, связанное, например, с размножением. Благодаря химическим сигналам, поступающим от растений, некоторые животные могут размножаться в наиболее благоприятное для этого время.

Растения, помещенные в анаэробные условия, накапливают в своих тканях этиловый спирт, являющийся ядом для них самих. Однако если растения находятся в воде, то спирт вымывается водой из тканей, и те не отравляются.

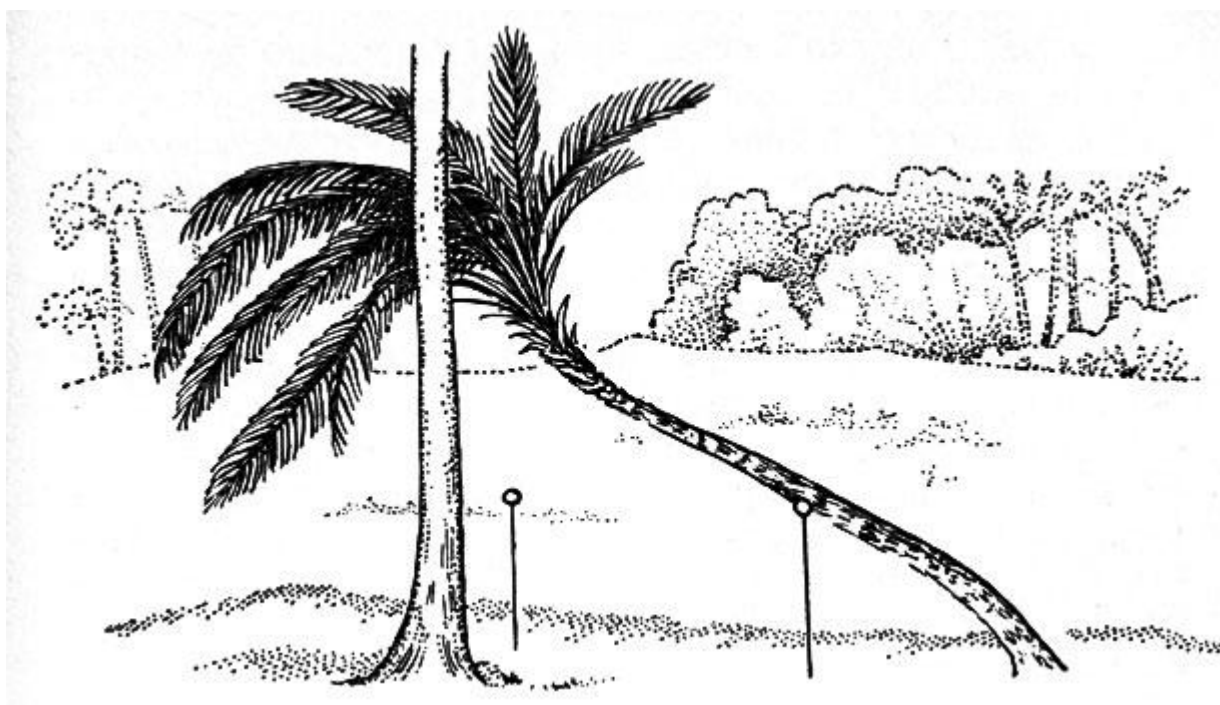
В бассейне Амазонки разливы случаются часто и наблюдаются длительное время. В образующихся при этом мелких, хорошо освещенных водоемах в результате жизнедеятельности затопленных растений накапливается заметное количество спирта. Интересно отметить, что некоторые рыбы тех мест начинают метать икру только тогда, когда в воде накапливается некоторое количество спирта. Спирт служит для них своеобразным сигналом к началу нереста. Даже в аквариумных условиях, будучи перенесены в другие страны, эти виды рыб не приступают к икрометанию до тех пор, пока владелец не внесет в аквариум несколько капель спирта.

"Богомольная" пальма из Фаридпура

Движения присущи не только листьям, цветкам и соцветиям растений, но и их стеблям. Так, например, в Англии, недалеко от Ливерпуля, в начале прошлого века можно было наблюдать дерево ивы, которое временами почти укладывалось на землю, а затем вновь поднималось вверх. В Южной Африке на плантациях кокосовых пальм из-за сильного ветра, дующего в одном направлении, растущие под углом деревья по утрам выпрямлялись, а в полдень наклонялись так, что можно было, стоя на земле, собирать с них плоды.

Анализируя эти факты, индийский физиолог растений Джагдиш Чандра Бос пришел к заключению, что для растущих наклонно деревьев характерны движения вверх и вниз, но они очень медленные, и непосвященный человек обычно их не замечает, за исключением редких случаев, когда они выражены настолько отчетливо, что способны поразить воображение людей.

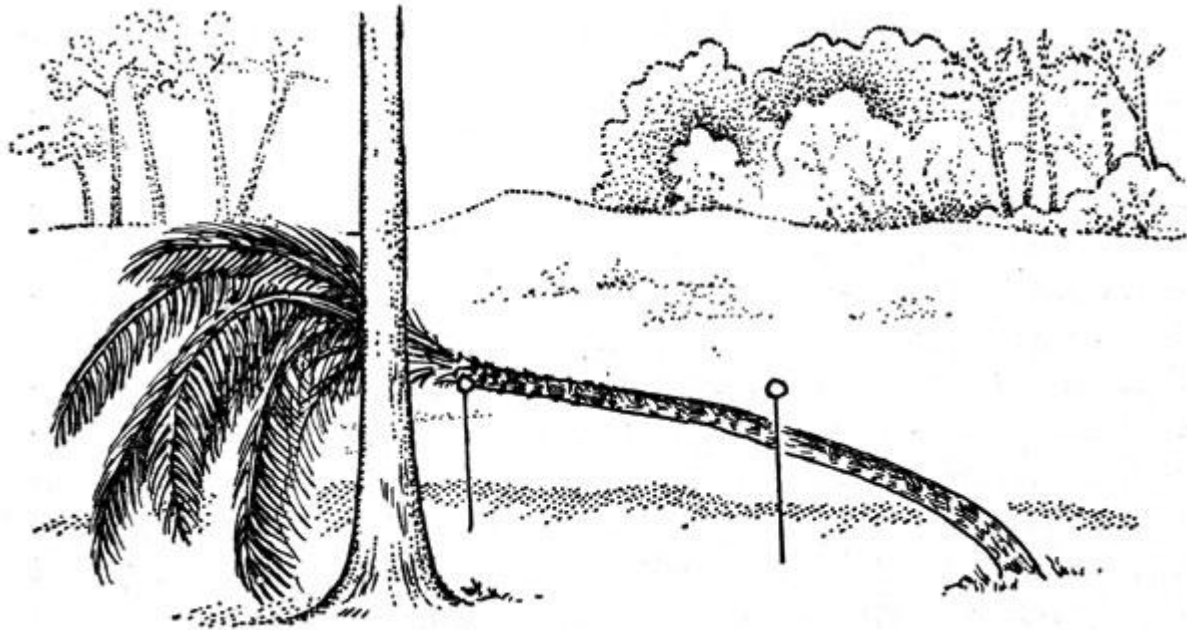
Он же сообщил о "богомольной" финиковой пальме из Фаридпура. Это дерево каждый раз склоняло свою вершину, расстилая по земле длинные листья, когда в храме звонили колокола, призывающие верующих к вечерней молитве. Утром финиковая пальма выпрямлялась, и листья ее были направлены вверх. Так повторялось ежедневно. При этом вершина дерева смещалась на три фута (*Фут - единица длины в английской системе мер, равная 0,3048 м*). "Благоговейное" поведение пальмы привлекало толпы паломников. Служители храма уверяли всех, что дерево обладает чудодейственными свойствами.



'Богомольная' пальма из Фаридпура

Джагдиш Чандра Бос заинтересовался необычной пальмой и внимательно осмотрел ее. Это было взрослое дерево со стволом толщиной 25 см, наклоненное на 60° по отношению к вертикали и, видимо, когда-то поврежденное ураганом. Исследователь с помощью специального прибора записал движения

дерева в течение дня. Однако сделать это оказалось не так просто, поскольку владелец пальмы опасался исчезновения ее чудодейственных свойств после "богохульного" прикосновения иностранных инструментов. Ученый заверил его, что пальме ничто не грозит, так как прибор сделан в Индии и прикреплять его к дереву будет ассистент, сын священника.



'Богомольная' пальма из Фаридпура

Оказалось, что момент наибольшего опускания дерева не совпадал точно со временем молитвы. График движения дерева четко соответствовал графику изменения температуры. Пальма поднималась с падением температуры и опускалась с ее повышением. Поскольку эти движения прекратились со смертью дерева, исследователь пришел к заключению, что они были вызваны его активной жизнедеятельностью.

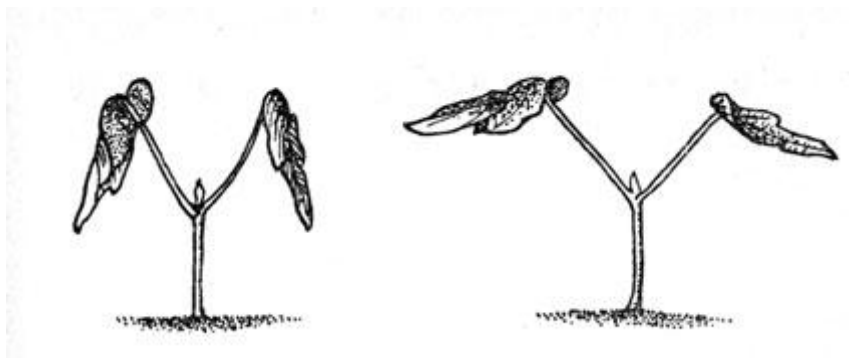
Ритмы физиологических процессов

Итак, растения с наступлением ночи впадают в состояние "сна", заблаговременно начинают готовиться к зимовке, в определенное время раскрываются и закрываются их цветки. Поэтому можно предположить, что они каким-то образом воспринимают ритм движения времени. С помощью факторостатных камер, в которых в течение всего года поддерживаются постоянные температура, влажность воздуха, атмосферное давление, интенсивность искусственного освещения, получены веские доказательства в пользу существования у живых организмов "биологических часов". Растения в факторостатных камерах, несмотря на полную изоляцию от внешнего мира, продолжают вести себя так же, как и в естественных условиях, когда они воспринимают смену дня и ночи, чередование времен года. Примечательно, что там у них сохраняются суточные ритмы даже в том случае, если их постоянно содержат в темноте или на свету. У фасоли, как уже отмечалось, ночью листья опускаются вниз, как бы прижимаются к стеблю, а днем приподнимаются и располагаются перпендикулярно к нему. В факторостатных камерах и у других организмов наблюдаются периодические изменения, связанные со сменой дня и ночи. Одноклеточная эвглена зеленая днем всплывает на поверхность, а ночью погружается в глубину водоема. После помещения в факторостатную камеру она продолжает всплывать и погружаться в те же часы, что и в естественных условиях.

Интересно отметить, что обитательница южных морей одноклеточная водоросль гониаулак (*Goniaulax poliedra*), скопления которой служат причиной ночного свечения моря, обладает суточным ритмом биолюминесценции. Максимум ее свечения наблюдается в полночь. В это время она светится в 40 - 60 раз интенсивнее, чем днем, Ритм свечения не зависит ни от температуры, ни от освещенности. Однако

при длительном пребывании в темноте водоросли перестают светиться, поскольку прекращается фотосинтез и клетки отмирают.

Эндогенные суточные ритмы у разных организмов имеют общие признаки. Прежде всего следует отметить, что периодичность их обычно не соответствует полностью 24 часам. Так, например, периодичность движения листьев фасоли - 27 - 28 часов. Если организм поместить в факторостатную камеру с постоянными температурой и освещенностью, то "биологические часы" начнут либо спешить, либо отставать (периодичность составляет от 22 до 28 часов), поэтому эти ритмы называют циркадными, т. е. околосуточными.



У фасоли ночью листья опускаются вниз, а днем располагаются перпендикулярно к стеблю

Когда организм из факторостатной камеры вновь попадает в естественные условия, циркадные ритмы преобразуются в суточные. При этом в качестве синхронизатора периодичности выступают суточные изменения основных экологических факторов - освещенности, температуры.

Если организм остается в факторостатной камере длительное время, амплитуда колебаний эндогенных ритмов постепенно уменьшается, и ритмы затухают. Теперь для их возникновения в онтогенезе растения необходим определенный стимул извне, своего рода начальный толчок. Так, например, если фасоль вырастить из семян в темноте и при постоянной температуре, то ее листья не реагируют на смену дня и ночи и не изменяют своего положения. Для того чтобы возникли ритмические движения, необходимо растение подвергнуть кратковременному освещению. Листья фасоли не изменяют своего положения и в том случае, если она выросла при непрерывном освещении. Для таких растений индуктором ритмических движений листьев может быть полная темнота в течение 9-10 часов.

В факторостатных камерах у растений наблюдается тенденция к сохранению некоторых годовых циклов. Несмотря на то что живые организмы, находящиеся в них, не испытывают действия солнечного света, при наступлении весны в них изменяются процессы жизнедеятельности, например семена растений в это время лучше прорастают.

Каким же образом семена, высаженные в герметичной светонепроницаемой камере, узнают о приходе весны?

Ученые считают, что растениям и животным свойственны внутренние ритмы физиологических процессов, причем периодичность этих процессов может быть по времени различной. Рассмотрим несколько примеров. В опытах с дрожжевыми клетками было установлено, что концентрация некоторых веществ в них ритмично изменяется через несколько минут. Эти колебания характерны не только для клеток, но и для клеточных органоидов. Так, например, в течение минуты в митохондриях изменяется скорость потребления кислорода. Ритм потребления кислорода в свою очередь тесно связан с периодическими изменениями свойств мембран и объема митохондрий.

А вот другой пример. У растений фазы повышенной активности синтеза, продолжающиеся около 12 часов, сменяются фазами усиленной диссимиляции, иначе говоря, фазы более высокой активности фотосинтеза чередуются с фазами интенсивного дыхания.

Эти факты чрезвычайно интересны и приближают нас к объяснению сущности биологических часов с помощью так называемых периодических реакций, открытых в 1951 г. советским биофизиком Б. П. Белоусовым при изучении превращений в клетках лимонной кислоты. Когда исследователь смешал раствор лимонной кислоты со смесью серной кислоты и бромата калия, а затем добавил в качестве катализатора соль редкоземельного элемента церия, то увидел удивительное явление. Реакционная смесь стала периодически изменять свою окраску: она то становилась желтой, то обесцвечивалась, причем промежутки времени между окрашиванием и обесцвечиванием оставались неизменными. Дальнейшие исследования показали, что в зависимости от соотношения указанных компонентов интервалы между колебаниями в цвете раствора могут изменяться в пределах от долей секунды до многих часов.

В 1980 г. группа советских ученых, в том числе и Б. П. Белоусов, была удостоена Ленинской премии за открытия в области периодических реакций. Признание заслуг не застало ученого в живых: в 1970 г. он скончался.

Важно еще отметить, что открытие периодических реакций было сделано Б. П. Белоусовым отнюдь не случайно. Его интересовали процессы, протекающие в живых клетках, в частности превращения в митохондриях лимонной кислоты. Он считал, что периодическая реакция, протекающая в пробирке, имеет прямые аналогии с процессами, происходящими в живых клетках.

Для нас открытие Б. П. Белоусова интересно в связи с выяснением механизма биологических часов. Не исключено, что именно периодические реакции позволяют растениям воспринимать ход времени, реагировать на него ритмическими движениями своих органов.

По мнению ряда авторов, суточные ритмы наследуются, они присущи растениям и животным от рождения. Поскольку наследственность связана с молекулами дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), по всей вероятности, информация о суточных ритмах зашифрована в особенностях их строения.

Человек пока не открыл механизм "биологических часов". Однако нет сомнения в том, что это будет со временем сделано. Полное раскрытие сущности биоритмов даст в наши руки мощное средство управления темпами роста и развития растений.

Эндогенные суточные и годовые ритмы сформировались в результате длительной эволюции. Они позволили растениям приспособиться к сезонным изменениям погоды. Из года в год у растений одного и того же вида физиологические изменения, связанные со сменой времен года, происходили в одно и то же время. Основным ориентиром при этом растениям служила длина светового дня: увеличение ее в конце января указывало на приближение весны, а сокращение в конце лета было сигналом к началу подготовки к зиме, несмотря на то что климатические условия еще оставались благоприятными для роста растений. Те организмы, которые не могли распознавать смену времен года, погибли, поскольку они были хуже приспособлены к условиям существования, чем обладавшие этим качеством.

"Биологические часы" обеспечивают синхронизацию цветения растений, способствуют протеканию цветения в наиболее благоприятных для этого условиях. Дело в том, что растения зацветают не тогда, когда им заблагорассудится, а лишь после воздействия определенным фотопериодом, т. е. при известном соотношении продолжительности дня и ночи. Это явление, получившее название "фотопериодизм", обнаруживается не только в средних широтах, но и в тропиках. Несмотря на то, что здесь круглый год условия благоприятны для жизни растений, многие виды цветут лишь в определенный промежуток времени, который нередко бывает очень коротким.

По отношению к длине светового дня различают нейтральные, длиннодневные и короткодневные растения.

На образование цветков у *нейтральных* растений (например, у томатов) длина светового дня не влияет. Примером *длиннодневных* растений являются яровые злаки умеренной зоны. Они дружно зацветают при длине дня, равной 16-18 часам. К числу *короткодневных* растений относятся рис, просо, конопля, соя. Их цветение приурочено обычно к продолжительности дня меньшей 12 часов. В связи с тем что в тропических районах разница в длине дня и ночи очень незначительна, многие короткодневные растения, произрастающие здесь, обладают чрезвычайно высокой чувствительностью к длине фотопериода. Так, например, на острове Ява максимальная разница в длине дня составляет всего лишь 48 минут. И тем не менее растения успешно "распознают" времена года. Некоторые сорта яванского риса реагируют на разницу в продолжительности дневного освещения, равную всего одной минуте! Этой минуты достаточно, чтобы более чем на один день задержать или ускорить цветение риса. Такая точность поистине уникальна. Ошибка "биологических часов" риса составляет всего 0,07%!

Таким образом, настройка и поддержание суточных и годовых ритмов основных физиологических процессов у растений представляют собой чрезвычайно важную адаптацию в условиях ритмически меняющихся параметров окружающей их среды.

Дела давно минувших дней

Растения нередко позволяют археологам установить время тех или иных исторических событий. Очень часто для этой цели применяется метод дендрохронологии, в основе которого, как известно, лежит исследование ширины годовых колец. Первоначально наиболее быстрыми темпами дендрохронология развивалась в США, где леса изобиловали многовековыми хвойными деревьями, очень удобными для исследований. Среди них сосна тяжелая (*Pinus ponderosa*), псевдотсуга тисолистная, или дугласия, пихта дугласова (*Pseudotsuga taxifolia*), возраст которых может достигать 1 тыс. лет, сосна остистая (*Pinus aristata*), произрастающая до 4600 лет. Кроме того, там было большое количество археологической древесины, необходимой для составления дендрохронологических шкал. Эта древесина была получена из индейских поселений V-XV вв.

Большой вклад в разработку дендрохронологического метода внесли работы А. Е. Дугласа, с которым мы познакомим читателя в разделе, посвященном дендроклиматологии. Тщательно исследовав особенности строения и очередность колец деревьев начиная с XIV в., А. Е. Дуглас добился поразительных результатов. Он мог, придя в индейское селение и узнав, в каком веке была сооружена та или иная постройка, по последнему годовичному кольцу, находящемуся сразу же под корой, совершенно точно определить год, когда было срублено дерево, из которого были изготовлены балки.

В 1929 г. А. Е. Дуглас составил абсолютную дендрохронологическую шкалу протяженностью более 1 тыс. лет. При помощи этой шкалы нетрудно датировать самые разнообразные постройки.

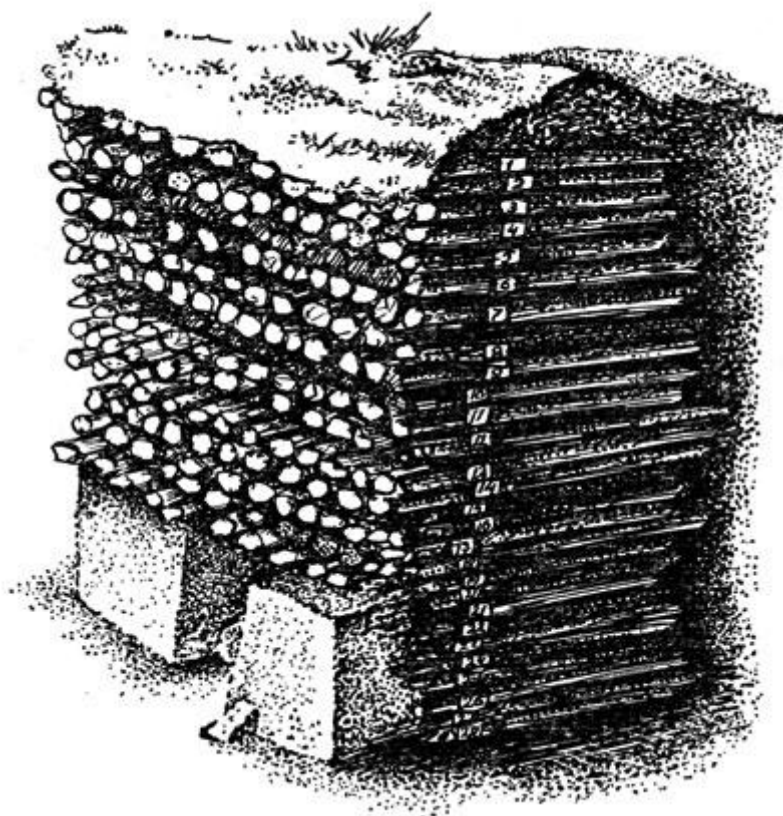
В Европе нет хвойных деревьев, обладающих способностью к росту в течение столь продолжительного времени. Европейские сосны могут дать представление о постройках лишь 3-4-вековой давности. Да и археологической древесины здесь было немного. Все это ограничивало возможности использования дендрохронологического метода.

После Великой Отечественной войны начались широкие археологические работы в северных древнерусских городах, где из-за низких температур почвы, тормозящих процессы гниения, сохранились деревянные постройки.

Основным поставщиком археологического дерева IX-XVI вв., пригодного для дендрохронологического анализа, стал Новгород. На его территории в раскопках были обнаружены деревянные мостовые, которые на некоторых улицах образовали слой из 28 ярусов.

Чтобы установить возраст каждой из этих мостовых, необходимо было выяснить время рубки пошедших на их изготовление деревьев, а для этого нужно было построить дендрохронологическую шкалу.

Началось изучение срезов деревьев, обнаруженных в древних мостовых. Большинство их имело возраст более 150 лет. Мостовые мостились в среднем через 20 лет, поэтому наружные годичные кольца деревьев нижней мостовой соответствовали внутренним годичным кольцам деревьев из последующей верхней мостовой. Годичные колебания роста колец археологи, как, впрочем, и климатологи, для наглядности изображают в виде графиков. Выстроив в хронологической последовательности графики роста годичных колец деревьев из разных мостовых, составили единый график изменений прироста годичных колец деревьев из лесов Новгородского края за 578 лет. Однако этот график надо было "оживить", т. е. точно датировать возраст каждого кольца, что можно было сделать только после того, как удастся установить год рождения хотя бы одного кольца.



Разрез настилов мостовой Великого Новгорода. Самая древняя мостовая была выслана в 953 г.

Для этой цели археологи использовали бревна из церковных построек, время создания которых точно установлено по историческим документам. Таких построек, в основном церквей, в Новгороде сохранилось немало. Старейшие из них относились к XI в.

Срезы деревянных обрубков, найденных в церквях, были тщательно изучены; для каждого образца был составлен график годичного прироста колец и с точностью до года датировано образование любого кольца. Когда эти графики сопоставили со шкалой, составленной по материалам новгородских раскопок, выяснилось время сооружения каждой мостовой. Оказалось, что первая из них, на Кузьмодемьянской улице, была выслана в 972 г., а последняя - в 1462 г.

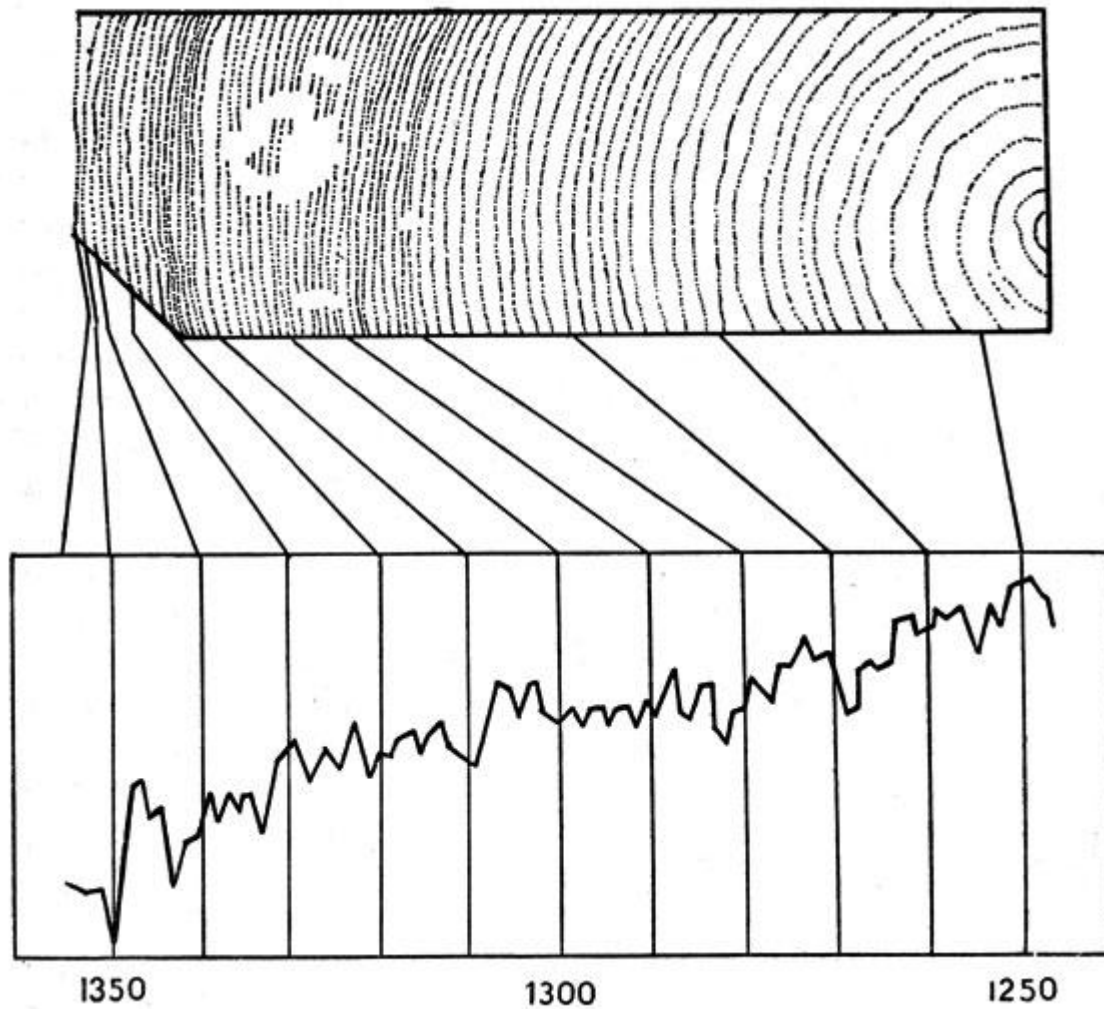


График колебаний роста годичных колец. Образец дерева, срубленного в 1354 г.

Дендрохронологические исследования Института археологии АН СССР продолжаются. Здесь хранятся образцы древесины не только из Новгорода, но и из Москвы, Смоленска, Белозерска, Полоцка, Торопца, Мстиславля, Минска и других городов. За создание Новгородской дендрохронологической шкалы, с помощью которой стала возможна датировка любого объекта древнего Новгорода, Б. А. Колчину и его коллегам в 1970 г. была присуждена Государственная премия СССР.

Аналогичные исследования в настоящее время проводятся и в других странах. Дендрохронологи Мюнхенского института лесной ботаники успешно датируют старинные строения, сохранившиеся в Западной Европе. В ФРГ созданы тысячелетние дендрошкалы по дубу.

Особенно высоко ценится в дендрохронологии древесина древних построек, дата сооружения которых известна. Однако современная дендрохронология может определить возраст любой древней древесины. Для этого используется, например, радиоуглеродный метод. Его точность в настоящее время доведена до 0,2-0,3%. Выяснив возраст древесины с помощью радиоуглеродного метода, можно затем, прибегнув к дендрошкале, датировать его с точностью до одного года.

Дендрохронологический анализ оказался полезным и для... судебной экспертизы. Во Всесоюзном научно-исследовательском институте судебных экспертиз в 1968 г. были начаты дендрохронологические исследования для установления местности и условий произрастания, а также года рубки дерева, части которого рассматриваются в качестве вещественных улик совершенного преступления. Все эти сведения нередко оказываются чрезвычайно ценными при расследовании.

Для датирования какого-то события археологи применяют не только дендрохронологический метод, но и лихенометрический, в основе которого лежит способность некоторых лишайников расти в течение очень продолжительного времени. Так, например, отдельные слоевища ризокарпона географического (*Rhizocarpon geographicum*) имеют возраст, измеряемый четырьмя тысячелетиями. Слоевища аспидии пепельной (*Aspicilia cinerea*) могут жить на протяжении тысячи лет. В течение столь длительного времени слоевища лишайников растут, как правило, равномерно. Это обстоятельство и позволяет использовать их для датирования исторических событий.



У лишайника ризокарпона географического радиальный прирост слоевища составляет менее 1 мм в год. Возраст его может достигать 4 тыс. лет

Так, например, этот метод был успешно применен для установления возраста гигантских статуй, обнаруженных на острове Пасхи. Дендрохронологический и радиоуглеродный методы в данном случае нельзя было применить, поскольку статуи изготовлены из вулканического туфа. Тогда немецкий лихенолог Г. Фолльманн предложил установить возраст статуй по имеющимся на них лишайникам. Начиная с 1914 г. статуи неоднократно фотографировали. На полученных при этом фотографиях отчетливо видны розетки лишайников трех видов: диплошистеса (*Diploschistes anactus*), фисции (*Physcia picta*) и лецидеи (*Lecidea paschalis*). Ученые измерили площадь, которую занимали эти лишайники в 1914 и 1961 гг., и установили, что их прирост за год составил соответственно 8,12 и 17 мм. Зная среднегодовой прирост лишайников, нетрудно рассчитать абсолютный возраст их розеток, имеющихся на статуях. Оказалось, что им, а следовательно, и статуям как минимум 430 лет. Позднее этот вывод был подтвержден другими фактами, поступившими в распоряжение археологов.

С помощью лихенометрического метода был определен возраст многих ледниковых морен в Гренландии и на севере Канады.

А вот еще один пример использования растений археологами для уточнения времени очень давнего события. Властитель Древнего Египта Тутанхамон вступил на престол в XIV в. до н. э. в возрасте 12 лет. А в восемнадцать лет он скончался. В 1922 г. была обнаружена и вскрыта гробница юного фараона. В ней археологи нашли прекрасно сохранившийся венок полевых цветов, сплетенный из побегов василька, мандрагоры и паслена. С помощью этих растений ученые установили, что Тутанхамон был похоронен где-то в середине марта - начале апреля.

Растение в роли газоанализатора

Есть запах чистоты. Он зелен, точно сад,
Как плоть ребенка, свеж, как зов свирели, нежен.

Ш. Бодлер

Проблема загрязнения природной среды - одна из глобальных проблем современности. В связи с интенсивным развитием промышленности и транспорта в атмосферу, гидросферу и почву поступает все большее количество вредных выбросов. Среди веществ, загрязняющих воздух, наибольшее значение имеют сернистый газ, галогены и их соединения, озон, пероксиацетилнитрат, окислы азота, окись углерода, сероуглерод, сероводород, аммиак, этилен, а также копоть, пепел, твердые частицы пыли (цемента, извести, кремния, каменного угля, металлов и их соединений и др.).

Сильному загрязнению подвергся не только воздушный, но и водный бассейн. Загрязнение морей, океанов, рек, озер, прудов, а в последнее время и грунтовых вод стало весьма острой проблемой. Положение усугубляется еще и тем, что между всеми природными компонентами существует постоянная связь, и загрязненные воздушные массы становятся источником загрязнения водоемов и почв. Наибольшая доля в общем объеме сточных вод принадлежит стокам металлургических предприятий. Кроме того, водоемы служат местами стоков бытовых стоков, объем которых весьма значителен. Довольно велико и количество веществ, загрязняющих гидросферу. Особенно широкий спектр их дают стоки предприятий химической и нефтехимической промышленности. В результате получение чистой воды в некоторых странах (ФРГ, Голландия) превратилось в сложную проблему.

Токсические вещества, циркулируя в природной среде, попадают в почву, которая в ряде случаев стала их конечным накопителем. Загрязнение почвы происходит как за счет промышленных, бытовых и транспортных отходов, так и в результате целенаправленного внесения химических веществ (пестицидов, минеральных удобрений, структурообразователей, осадка сточных вод).

Таким образом, проблема защиты природной среды в настоящее время носит глобальный характер. К решению ее существуют различные подходы, рассмотрение которых выходит за рамки настоящей книги. Отметим лишь, что важным этапом на пути оздоровления природной среды становится разработка методов мониторинга, направленных на выявление, идентификацию и определение концентрации токсических веществ.

В настоящее время разработана концепция комплексного экологического мониторинга природной среды, составной частью которого должен быть биологический мониторинг, осуществляемый на комплексных фоновых станциях. Большое внимание, уделяемое ныне биологическому мониторингу, определяется рядом обстоятельств.

Во-первых, измерение физических и химических параметров загрязненности природной среды более трудоемко по сравнению с методами биологического мониторинга.

Во-вторых, в окружающей человека среде нередко присутствуют не один, а несколько токсических компонентов, которые в комплексе воздействуют на живые организмы куда сильнее, чем каждый компонент в отдельности (явление синергизма). Иными словами, концентрация каждого компонента в

комплексе загрязнителей, фиксируемая с помощью физико-химических методов, может казаться не опасной для живых организмов, тогда как на самом деле их совокупное влияние будет угрожающим. Этот синергизм не учитывается физико-химическими методами, однако он выявляется при использовании биоиндикации, т. е. при наблюдении непосредственного воздействия загрязнителей на живые организмы.

Разумеется, биологический мониторинг не подменяет и не вытесняет физико-химических методов исследования состояния природной среды, а позволяет более точно прогнозировать изменения в экологической обстановке, вызванные деятельностью человека.

Принципы биологического мониторинга в настоящее время интенсивно разрабатываются. Весьма важный элемент его - растения, которые очень чутко реагируют на состояние природной среды. Поэтому неудивительно, что исследователи рассматривают растения как наиболее чувствительные и надежные индикаторы загрязненности атмосферы и гидросферы.

Растения, произрастающие в городе, страдают от выхлопных газов автомобилей и дыма труб. Они рано стареют, редеет и уродуется их крона, преждевременно желтеют и опадают листья. Если сосны растут поблизости от промышленного предприятия, то хвоя опадает тем раньше, чем сильнее загрязнен воздух. В нормальных условиях хвоя сосны опадает через 3 - 4 года, а поблизости от промышленного предприятия - значительно раньше. Это растение может с успехом служить индикатором загрязненности атмосферы.

В индикаторных свойствах деревьев нетрудно убедиться во время прогулки по большому городу. Липы в боковых тихих улочках со слабым автомобильным движением чувствуют себя прекрасно. Их крона темно-зеленая, развесистая. Совсем по-другому выглядят липы на магистралях с интенсивным движением. Здесь немало угнетенных деревьев, особенно возле светофоров. Дело в том, что при торможении автомашин в атмосферу попадает особенно много фитотоксикантов, которые сильно угнетают растения. Листья у них словно обгоревшие, ветви, обращенные в сторону автомагистрали, нередко засохшие, отчего крона выглядит однобокой. Сравните дерево, растущее возле самой дороги и расположенное во втором ряду посадок. Они также существенно отличаются.

Индикаторные растения могут использоваться как для выявления отдельных загрязнителей воздуха, так и для оценки общего состояния природной среды. Фитотоксическое действие атмосферных загрязнителей обнаруживается путем наблюдения за дикорастущими и культурными растениями в зоне загрязнения. При этом прежде всего необходимо исключить возможность повреждения растений биологическими или абиотическими факторами, не связанными с загрязнением окружающей среды.

Мониторинг может осуществляться путем наблюдения как за отдельными растениями, так и за состоянием растительных сообществ - фитоценозов. С помощью мониторинга на уровне вида обычно производят специфическую индикацию какого-то одного загрязнителя, а на уровне фитоценозов - общего состояния природной среды.

Мониторинг на уровне вида включает в себя констатацию присутствия растения, определение его встречаемости, изучение анатомо-морфологических и физиолого-биохимических свойств. При этом может учитываться, например, ширина годичных колец, площадь поврежденной поверхности листьев, аномалии роста, мощность воскового налета, содержание хлорофилла, активность некоторых ферментов.

Обнаружив по состоянию дикорастущих и культурных растений присутствие в воздухе специфических загрязнителей, приступают к измерению количества этих веществ путем стандартной экспозиции некоторых растений в обследуемом районе. Роберт Гудериан, автор книги "Загрязнение воздушной среды", предлагает использовать при этом следующие методы:

1. Экспозиция растений в контейнерах или на делянках.
2. Экспозиция в тест-камерах с фильтрованным и нефилтрованным воздухом.
3. Экспозиция на специальных стендах.
4. Испытание растений в лабораторных условиях.

На всех этих объектах производится количественное измерение отдельных реакций на загрязнение (степень повреждения листьев, скорость роста, величина урожая). Для количественной характеристики предлагается использовать генетически однородный материал и стандартные условия выращивания растений.

Мониторинг на уровне фитоценозов предполагает учет различных показателей разнообразия видов. Так, например, был предложен метод, в основе которого лежит способность диатомовых водорослей успешно расти на стеклах. Он позволяет фиксировать изменения как в структуре сообществ диатомовых водорослей, так и в видовом составе, вызванные воздействием загрязнений, находящихся в водной среде. При естественных условиях структура сообщества диатомовых водорослей остается довольно постоянной во времени. Однако, если в водную среду поступают загрязнения, богатые биогенными элементами (азотом, фосфором, углеродом), некоторые виды становятся очень многочисленными. При поступлении токсических веществ число видов и величина популяций снижаются, хотя иногда некоторые виды, устойчивые к токсикантам, становятся очень многочисленными из-за отсутствия конкуренции за пищу. Такие диатомеры можно помещать в различные участки реки. В ряде случаев с их помощью могут быть обнаружены небольшие концентрации тяжелых металлов или радиоактивных элементов, поскольку некоторые металлы аккумулируются водорослями до количеств, в тысячи раз превышающих их содержание в окружающей среде.

Как на уровне вида, так и на уровне фитоценоза о состоянии природной среды можно судить по показателям продуктивности растений. Дело в том, что изменения в экологической обстановке сказываются на круговороте биомассы и потоках энергии в сообществах.

Среди методов биологического мониторинга важное место принадлежит учету содержания загрязнителей в живых организмах. Некоторые анатомо-морфологические и физиолого-биохимические признаки растений могут служить критерием количества поглощенного растениями токсиканта. Однако прямой зависимости между количеством поглощенного загрязнителя и интенсивностью проявления этих признаков может и не быть, тогда целесообразнее измерять содержание загрязнителей непосредственно в растительном материале. Для этой цели удобно использовать такие растения, которые обладают устойчивостью к загрязнителям и в то же время селективно аккумулируют их. Так, например, для определения содержания в воздухе соединений фтора предлагается анализировать малочувствительные к ним растения плевела многоцветкового (*Lolium multiflorum*) и плевела многолетнего (*L. perenne*). По величине накопления фитотоксиканта в листьях за определенный период можно с достаточной точностью определить среднее его содержание в окружающем воздухе.

Японские ученые предлагают оценивать загрязненность атмосферы вредными примесями в прошлом по строению годичных колец деревьев. Для этого они рекомендуют исследовать очертания самих колец, а также определять плотность ранней и поздней древесины.

Этот вредный сернистый газ

Сернистый газ, являющийся одним из наиболее вредных компонентов загрязнений, накапливается в атмосфере в результате переработки и горения органических веществ (каменного и бурого угля, нефти, нефтепродуктов, древесины), при производстве и использовании серной кислоты, плавке серосодержащих руд. Его выбрасывают тепловые электростанции, предприятия черной и цветной металлургии, коксохимические и цементные заводы, заводы по производству синтетических волокон, аммиака, целлюлозы.

По данным на 1978 г., в атмосферу ежегодно поступало 110 млн. т сернистого газа, из них 75% приходилось на долю Северной Америки и Западной Европы. Возрастание выброса сернистого газа за последние годы - прямое следствие дефицита энергоресурсов. Раньше, когда он еще не ощущался, высокосернистые угли и мазуты почти не использовались в качестве топлива. Однако сейчас они активно сжигаются и служат одной из главных причин загрязнения атмосферы.

Сернистый газ особенно токсичен для растений. Некоторые виды, например люцерна, хлопчатник, пшеница, перилла, капуста, ячмень, овес, ревеня, салат-латук, шпинат, табак, женьшень, редька посевная, ежа сборная, очень чувствительны к этому загрязнителю.

Благодаря диффузии молекул двуокиси серы поступает в растения главным образом через устьица. Чем сильнее опушены листья, тем меньше они поглощают сернистого газа. Так, например, низкой поглотительной способностью обладают липа войлочная и клен серебристый, а интенсивной - снежноягодник и желтая акация.

Поступив внутрь листа, газ растворяется в жидкой фазе клеток. По этой причине скорость поступления фитотоксиканта сильно зависит от влажности воздуха и насыщенности листьев водой. Увлажненные листья поглощают сернистый газ в несколько раз быстрее, чем сухие. Влажность воздуха также влияет на этот процесс. Растения фасоли при относительной влажности воздуха 75 % поглощали сернистый газ в 2-3 раза быстрее, чем при влажности 35%.

В зоне загрязнения воздуха сернистым газом растения интенсивно накапливают в своих тканях серу. Обычно чем больше содержание этого элемента в растениях, тем сильнее выражено повреждение листьев. Сначала на них возникают ожоги, потом листовые пластинки сморщиваются, отмирают и опадают. При концентрации сернистого газа порядка 1:1000000 хвоя сосны опадает. Если концентрация будет увеличиваться, хвоя может погибнуть за несколько часов. Молодые листья активнее поглощают сернистый газ и сильнее страдают от него, чем старые.

В растениях, подвергшихся воздействию двуокиси серы, резко падает содержание хлорофилла, существенно нарушается структура хлоропластов. Все это сказывается на интенсивности фотосинтеза, она резко ослабляется, что в свою очередь тормозит рост растений, снижает урожайность, ослабляет устойчивость растений к возбудителям болезней и неблагоприятным факторам среды.

Растения, у которых реакция на сернистый газ выражена резко и отчетливо, можно использовать как индикаторы этого токсиканта.

Лишайники очень неприхотливы, могут селиться даже на голых скалах, однако нуждаются в очень чистом воздухе. Малейшее загрязнение атмосферы, не влияющее на большинство высших растений, вызывает их массовую гибель.

Еще в 1866 г. финский лишенолог Б. Нюландер, описавший лишайники Парижа, отметил, что лишенофлора большого города по видовому составу беднее лишенофлоры его окрестностей. При повышении степени загрязненности воздуха первыми исчезают из города кустистые лишайники, затем листоватые и, наконец, накипные (корковые). Во многих промышленно развитых городах, особенно вокруг заводов, возникают зоны, в которых лишайники вообще отсутствуют. Это так называемая "лишайниковая пустыня". Для того чтобы читатели имели представление о размерах "лишайниковой пустыни", приведем следующие цифры: в 1957 г. ее площадь в Мюнхене составила 58 км², а в Таллине в 1954 г. - около 12 км². Воздух Нью-Йорка влияет на лишайники, удаленные от города на очень большое расстояние.

Почему именно лишайники так чувствительны к загрязнению окружающей среды? Исследователи объясняют это рядом причин. Во-первых, у них нет непроницаемой кутикулы, благодаря чему газообмен происходит свободно через всю поверхность. Во-вторых, большинство токсичных газов

концентрируется в дождевой воде, а лишайники впитывают ее всей своей поверхностью в отличие от цветковых растений, которые поглощают воду в основном из почвы. В-третьих, большинство цветковых растений в наших широтах активны только летом, когда уровень загрязненности среды обычно ниже, а некоторые лишайники обладают способностью к росту при температурах ниже 0°C. В-четвертых, в отличие от цветковых растений лишайники не способны избавляться от пораженных ядовитыми веществами частей своего тела.

Перечисленные выше причины высокой чувствительности лишайников к загрязнителям окружающей среды позволяют понять, почему в городах редко можно видеть этих представителей растительного мира. Главный враг лишайников в городах - сернистый газ. Именно он определяет распространение некоторых эпифитных (*Лишайники, растущие на коре деревьев и кустарников*) лишайников. Ученые установили, что, чем выше уровень загрязнения природной среды сернистым газом, тем больше серы содержится в слоевищах лишайников, причем живое слоевище аккумулирует ее из среды интенсивнее, чем мертвое.

Если вы решили отдохнуть в данной местности и хотите установить, насколько чист в ней воздух, поищите вокруг лишайники. Чем чище воздух, тем разнообразнее видовой состав этих растений и интенсивнее их рост. Человек, знающий некоторые виды лишайников, может довольно точно установить концентрацию сернистого газа в воздухе. Если, прогуливаясь по городу, вы не встретите ни одного лишайника ("лишайниковая пустыня"), то это означает, что концентрация двуокиси серы в воздухе превышает 0,3 мг/м³. Присутствие в городе некоторых выносливых по отношению к загрязнителям лишайников, например ксантории, фисции, анаптихии, леканоры, говорит о том, что количество сернистого газа колеблется в пределах от 0,05 до 0,20 мг/м³.

Ксантория настенная (*Xanthoria parietina*) - один из самых обычных лишайников. Она часто встречается на коре деревьев, например осин, на скалах и камнях. Слоевище ксантории имеет вид оранжево-желтых розеток, которые хорошо заметны издали. Характерную окраску им придает особое вещество - париедин. Интенсивность окраски зависит от условий освещения. На солнце слоевище оранжевое, при затенении оно становится серовато-зеленым.

На придорожных и парковых деревьях часто можно видеть фисцию припудренную (*Physcia pulverulenta*). Розетковидное слоевище этого лишайника достигает в диаметре 15 см. Сверху оно оливково-коричневое, часто покрыто сизоватым налетом, а снизу темное.

Наиболее распространена в парках, в светлых лиственных лесах, на придорожных деревьях анаптихия реснитчатая (*Anarthychia ciliaris*). Реже ее можно встретить на скалах и древесине. Ее пепельно-серое или коричневатое-серое слоевище имеет вид лежащих на субстрате или слегка приподнимающихся кустиков.

Представители рода леканора (*Lecanora*) очень широко распространены в природе. Они относятся к группе накипных лишайников, у которых слоевище имеет вид корочек, плотно сросшихся с субстратом.

Если вы видите, что лишенофлора данной местности более богатая, включает в себя пармелии, алектории и другие виды лишайников, значит, воздух довольно чист, содержание двуокиси серы не превышает 0,05 мг/м³.

Слоевище у пармелии листоватое, имеющее различную окраску: беловато-серую, серую, желтовато-зеленую, коричневую, черновато-бурую. Их можно обнаружить на деревьях, древесине, скалах, реже на почве. Наиболее широко распространены пармелии оливковая (*Parmelia olivacea*), образующая на коре деревьев, чаще всего берез, розетковидные блестящие коричневые слоевища, козлиная (*P. caperata*) с желтовато-зелеными розетками и бороздчатая (*P. sulcata*), произрастающая как в лесах, так и в населенных пунктах.

Представители рода алектория (*Alectoria*) имеют слоевища в форме низких кустиков или бород, свисающих с деревьев.

Экспериментально установлено, что сернистый газ в концентрации 0,08-0,10 мг/м³ вызывает нарушение фотосинтеза, появление бурых пятен в хлоропластах лишайниковых водорослей, деградацию хлорофилла. При низких значениях pH среды (3,2-4,4) хлорофилл необратимо окисляется, а при pH = 2-3 претерпевает еще более глубокие изменения. Повышение влажности приводит к усилению растворимости сернистого газа и подкислению среды. По этой причине лишайники, менее устойчивые к сернистому газу при высокой влажности, могут успешно выжить при достаточно большой его концентрации, если у них сухое слоевище. При концентрации двуокиси серы, равной 0,5 мг/м³, гибнут все виды лишайников.

Особое внимание исследователей привлек лишайник гипогимния вздутая (*Hypogymnia physodes*), серые, узколопастные слоевища которой часто встречаются на стволах хвойных. Он широко распространен на территории Европы. Если концентрация сернистого газа достигает 0,23 мг/м³, этот лишайник полностью отмирает за 29 суток. После 8-суточного воздействия сернистого газа меньшей концентрации (0,08 мг/м³) некроз занимал 60% площади слоевища.

Для индикации загрязненности воздуха с помощью лишайников последние срезают вместе с корой деревьев в незагрязненных районах, помещают на специальные стенды и выставляют в обследуемых местах. Скорость отмирания слоевища регистрируется с помощью фотографирования, которое производится на цветную или инфракрасную пленку через определенное время. Кроме того, путем микроскопирования определяют процент поврежденных клеток водорослей лишайников. Если нужно, можно определить еще и содержание хлорофилла. Так осуществляется контроль за состоянием окружающей среды и выявляются границы загрязненной территории.

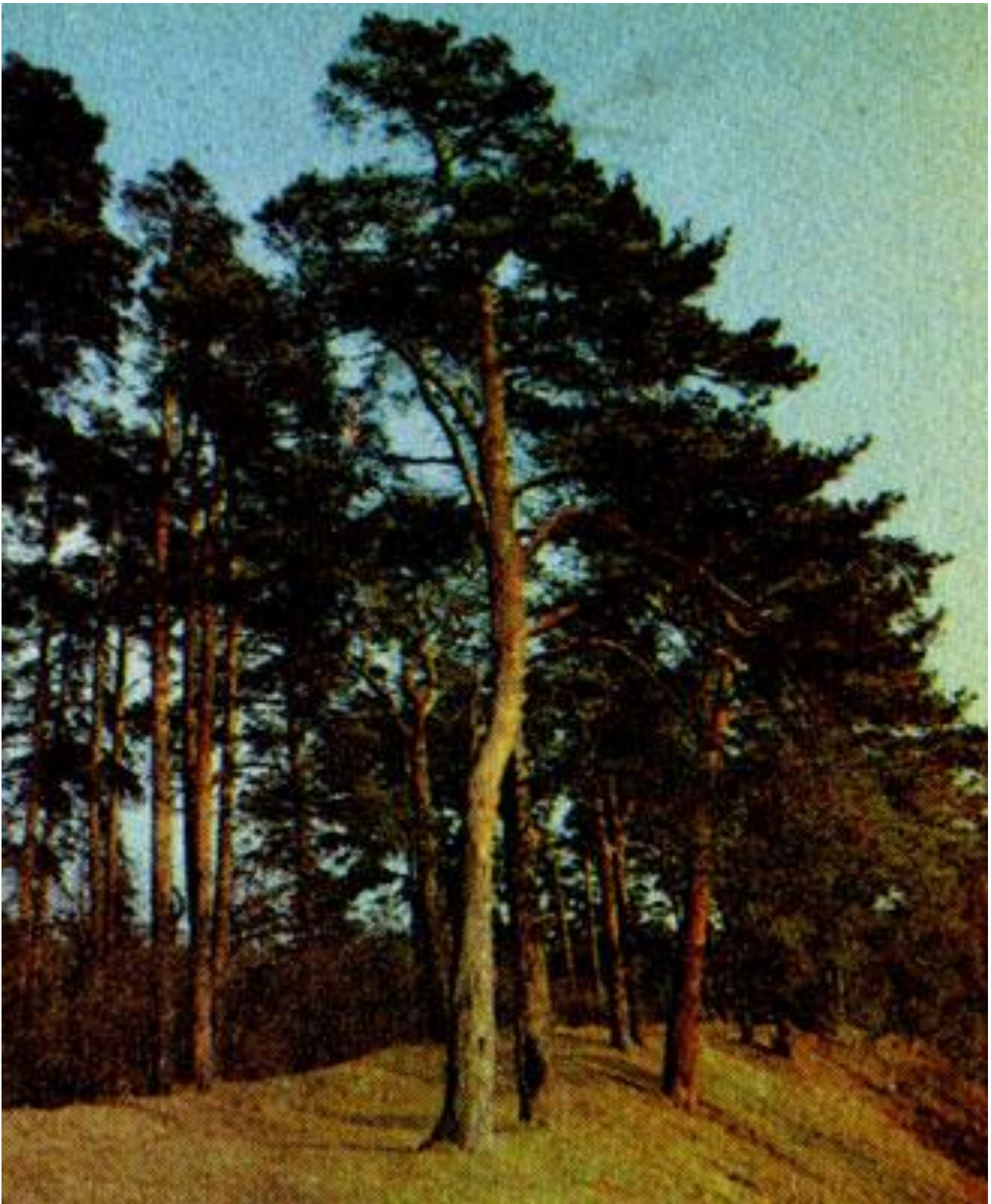
Установлено, что по мере удаления от центра Рура скорость отмирания подопытного лишайника снижается. Особенно удобны эти растения в качестве индикаторов токсических веществ, содержащихся в окружающей среде в низких концентрациях.

С целью индикации загрязненности окружающей среды используются специальные карты, показывающие частоту встречаемости лишайников и степень покрытия ими древесных стволов. Такие карты составлены для различных районов ЧССР, ФРГ, Великобритании, Канады и других стран. Они почти полностью совпадают с картами, составленными на основании показаний приборов, регистрирующих загрязненность воздуха.

Для выяснения корреляции между реакциями лишайников и потенциальной опасностью для высших растений в лаборатории западногерманского эколога Роберта Гудериана были проведены сравнительные опыты по газации этих объектов. Оказалось, что при концентрациях сернистого газа, вызывающих острые повреждения у высших растений, гипогимния погибала в течение недель или месяцев. По сравнению с высшими растениями лишайники реагировали очень медленно. Некроз у высших растений появлялся раньше, чем можно было обнаружить какие-либо внешние признаки реакций у слоевищ лишайников. Роберт Гудериан полагает, что кратковременное воздействие высоких концентраций загрязнителя менее опасно для гипогимнии, чем для некоторых высших растений. Вместе с тем долговременное воздействие низких концентраций вызывает более продолжительное заболевание у лишайников, чем у высших растений.



Ель



Пихта

Дальнейшие исследования с долговременной газацией очень низкими концентрациями сернистого газа, а также полевые наблюдения показали, что гипогимния погибает при концентрациях, которые вызывают повреждение лишь у самых чувствительных высших растений. Поэтому гипогимнию вздутую можно считать хорошим индикатором для регистрации низких концентраций загрязнителей в атмосфере. Скорость отмирания листоватых лишайников может служить показателем потенциального влияния атмосферных загрязнителей на высшие растения.



Cocha



Лиственница

Хвойные породы, как уже отмечалось, особенно сильно страдают от сернистого газа. Чувствительность к нему убывает в такой последовательности: ель, пихта, сосны веймутова и обыкновенная, лиственница. Как известно, продолжительность жизни хвои сосны в нормальных условиях составляет 3-4 года. За это время она накапливает такое количество сернистого газа, которое существенно превышает пороговое значение. Под влиянием токсиканта хвоя сосны в зонах сильного загрязнения приобретает темно-красную окраску, которая распространяется от основания иглы к ее острию, а затем отмирает и опадает, просуществовав всего один год. Лиственница, ежегодно сбрасывающая свою хвою, значительно устойчивее к сернистому газу. Поэтому по продолжительности жизни хвои сосны и характеру некрозов можно определить степень поражения сосновых насаждений сернистым газом. Важным критерием при этом является содержание хлорофилла. Чрезвычайно удобной для индикации сернистого газа по содержанию хлорофилла считается криптомерия японская (*Cryptomeria japonica*) - большое дерево с довольно гладким темно-коричневым стволом и густой пирамидальной кроной. Короткие игольчатые хвоинки словно выросли в веточку и составляют с ней единое целое. Они не осыпаются по отдельности,

как у ели или сосны, а опадают вместе с веточками, на которых сидят. В нашей стране криптомерию высаживают на Черноморском побережье Кавказа для защиты чайных плантаций от холодных ветров.



Криптомерия японская очень удобна для индикации загрязненности воздуха

По наблюдениям Гертеля, толщина воскового слоя на хвое сосны тем больше, чем выше концентрация или продолжительнее воздействие на нее сернистого газа. Это обстоятельство послужило основанием для разработки количественного метода индикации данного соединения в атмосфере. Суть метода заключается в том, что определенное количество хвои кипятится в воде. Принимается, что степень помутнения экстракта прямо пропорциональна количеству воска, покрывающего хвою. Чем выше мутность, устанавливаемая с помощью приборов, тем больше концентрация сернистого газа в воздухе. Такой метод получил название "тест помутнения по Гертелю".

Дальнейшие исследования показали, однако, что помутнение водного экстракта из хвои вызвано не только воском, но и целым рядом других веществ, присутствующих в растительных тканях. В связи с этим возникли сомнения относительно достоверности результатов, получаемых с помощью указанного метода. Между тем накопление эпикутикулярного воска под влиянием сернистого газа обнаружено не только у хвойных, но и у других растений, в частности у райграса. По этой причине, возможно, следует определять не интенсивность помутнения экстракта, а непосредственно содержание воска в растительном материале.

Вместе с тем двуокись серы вызывает у ели обыкновенной характерные изменения в содержании фенольных соединений, которые наблюдаются задолго до появления видимых симптомов повреждения. Поэтому реакцию изменения фенолов в хвое ели предлагается использовать для оценки количества сернистого газа, загрязняющего воздух.

Другой характерный признак действия двуокиси серы на растения - повышение кислотности в клетках. Если растения росли в центре города, то величина рН в клетках коры липы широколистной (*Tilia platyphyllos*) равнялась 2,72, ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior*) - 3,12, а клена остролистного (*Acer platanoides*) - 3,42. На расстоянии 16,5 км от центра города у тех же объектов величина рН составляла соответственно 3,74; 4,21; 4,35. Между величиной кислотности в клетках и содержанием

серы в образцах коры трех растений обнаружилась тесная корреляция. У образцов с более кислой средой отмечено более высокое содержание серы. Таким образом, повышение кислотности в клетках может служить индикатором накопления растениями сернистого газа.

В качестве показателя скрытого повреждающего действия сернистого газа предлагается использовать интенсивность выделения этилена хвоей лиственницы, сосны или ели, величину активности фермента глутаматдегидрогеназы в листьях гороха и другие критерии. На некоторых растениях под влиянием сернистого газа возникают характерные повреждения. Так, у злаков на листьях появляются светло-коричневые или белесоватые полосы по обеим сторонам листа вблизи центральной жилки, которая сохраняет зеленую окраску. Американские исследователи предлагают использовать в качестве индикатора мятлик однолетний (*Poa annua*), обладающий чрезвычайно высокой чувствительностью к сернистому газу. Этот злак весьма широко распространен, его семена почти не имеют периода покоя и быстро прорастают. Проростки энергично развиваются во взрослые растения, которые дают несколько поколений в год. Все это делает мятлик однолетний очень удобным для изучения загрязненности воздуха двуокисью серы.

Гладиолусы не терпят фтора

Фтор, так же как и сернистый газ, очень вреден для растений. Его выбрасывают в атмосферу алюминиевые и криолитовые заводы, предприятия, производящие фосфорные удобрения, эмалевые и керамические изделия. Из дымовых труб и фабричных установок фтор выходит в основном в виде фтористого водорода и четырехфтористого кремния, а также в форме пылевых частиц фторида натрия и калия.

Исследования показали, что проникновение фторидов через развитую кутикулу листьев ограничено. Поэтому в естественных условиях они поступают в листья в основном через устьица, а также молодую или поврежденную кутикулу.

Фтор относится к числу сильнодействующих фитотоксикантов. Растительные клетки реагируют на него сразу же после его проникновения внутрь ткани. Поэтому промышленные предприятия, загрязняющие окружающую среду фторидами, могут служить причиной массовой гибели растительности.

Особенно чувствительны к фтору лук, гладиолусы, ель, фасоль, сорго, сосна. Эти растения страдают уже при концентрации фтористого водорода порядка $0,5 \text{ мкг/м}^3$.

Каковы же симптомы повреждения растений фтором? Прежде всего появляется хлороз, сопровождающийся отмиранием листьев (цитрусовые, хвойные, рис, колеус, яблоня, груша). Наиболее характерный признак повреждения хвойных пород - побеление, а затем потемнение концов игл. При отмирании 1/2-1/3 части хвоинок последние опадают. Вновь появляющиеся на растении листья отличаются меньшими размерами. Так, например, после двухмесячной обработки фтором у апельсиновых деревьев отмечалось снижение площади листьев на 25-35%.

Существует пропорциональная зависимость между степенью повреждения листьев у отдельных растений и содержанием в них фторидов. Самыми устойчивыми к фтористому водороду оказались нижние, более старые листья бобовых растений.

Под влиянием фтора замедляется рост в высоту. У апельсиновых деревьев после двухмесячной обработки этим токсикантом прирост уменьшился на 52%.

Фтор задерживает ростовые процессы у пшеницы, резко подавляет прорастание ее семян. У очень многих видов газация фтористым водородом приводит к существенному снижению урожая.

При индикации загрязненности атмосферы фтором используют две группы растений: устойчивые и неустойчивые к нему. Устойчивые к фтору виды накапливают его, и количество фитотоксиканта в них служит показателем загрязненности воздуха. Очень чувствительные к фтору растения реагируют даже на слабые его концентрации некрозом листьев.

Гладиолусы и фрезия особо чувствительны к фторидам. Эти растения можно широко использовать для оценки загрязненности воздуха указанными веществами.

Гладиолусы очень удобны для этих целей еще и потому, что обладают повышенной устойчивостью к сернистому газу. Весьма ценным для индикации фтора в атмосфере является голландский сорт гладиолусов "Снежная королева". По мере увеличения концентрации фитотоксиканта в воздухе верхняя часть листьев у этих растений отмирает. В качестве индикаторного растения на фториды гладиолусы успешно используются в США и Канаде.

Существуют и другие способы обнаружения загрязненности воздуха фторидами. Один из них основан на определении активности фермента пероксидазы при повышенном содержании фтора. Повышение активности этого фермента в растениях абрикоса, культивируемых вблизи алюминиевого завода, предшествовало появлению внешних признаков отравления фтором. Аналогичные закономерности были обнаружены при действии фтора на ель, сосну и бук. Поэтому показатель пероксидазной активности предлагается использовать для оценки скрытых повреждений растений, вызываемых фтором.

Нелегкий груз тяжелых металлов

Свыше 40 химических элементов таблицы Менделеева относятся к тяжелым металлам. С точки зрения загрязнения окружающей среды, способности накапливаться в пищевых продуктах и токсичности наибольшее значение имеют ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, ванадий, олово, цинк, сурьма, медь, молибден, кобальт и никель.

Тяжелые металлы поступают в атмосферу как из природных источников (пыль, переносимая ветром, лесные пожары, вулканическая деятельность, выделение растительностью, морская пена и морская пыль), так и из антропогенных источников (горнодобывающая промышленность, цветная металлургия, обрабатывающая промышленность, сжигание угля, нефтепродуктов, дерева, мусора и отходов, производство фосфорных удобрений и т. д.). Деятельность людей коренным образом изменила потоки химических элементов в природе. В настоящее время все крупные естественные источники поступления металлов в атмосферу отступили на задний план по сравнению с антропогенными, которые обеспечивают выброс в 18,3 раза больше свинца, в 8,8 раза - кадмия, в 7,2 раза больше цинка. Особенно сильно возросли масштабы геохимической деятельности человечества за последние годы. Добыча металлов удваивается каждые 12-14 лет. И вместе с ней растет доля металлов, рассеиваемых в атмосфере. В течение года, например, окружающую среду загрязняют 80-90% добываемых за тот же период свинца и ртути.

Загрязнение окружающей среды медью резко сказывается на темпах роста растений, которые приобретают при этом карликовую форму. У некоторых из них (мак, роза) окраска лепестков меняется на голубую или даже черную. У шток-розы в этом случае лепестки цветков становятся ненормально узкими. Некоторые бромелиевые и орхидные, культивируемые в теплицах, оказались очень чувствительными к цинку. Выяснилось, что они накапливали этот элемент из дождевой воды, которой их поливали, а она соприкасалась с цинковыми конструкциями теплиц. Высокую чувствительность орхидных и бромелиевых к цинку можно попытаться использовать для индикации загрязненности природной среды этим элементом. В природной обстановке у растений под влиянием избытка цинка отмирают кончики листьев, возникают аномальные формы. У мака цветки иногда становятся махровыми.

Симптомы повреждения растений томатов никелем очень специфичны: на листьях появляются различные по величине некротические пятна. Нередко на стеблях возникают побуревшие участки, происходит усыхание стеблей в форме перетяжки. Более высокие концентрации никеля подавляют рост стеблей и корней, приводят к отмиранию точек роста.

Для индикации загрязненности атмосферы тяжелыми металлами в Скандинавских странах используются низшие растения: сфагновые мхи, лишайники. Различные виды этих растений имеют неодинаковую способность к поглощению и накоплению тяжелых металлов. По данным шведских исследователей, более интенсивно накапливает свинец, железо и марганец сфагнум бурый (*Sphagnum fuscum*) - мох, произрастающий на кочках олиготрофных болот, и менее интенсивно - сфагнум длинноостроконечный (*S. cuspidata*), встречающийся в смежных западинках. Исследователи объясняют этот факт более высокой продуктивностью и ионообменной способностью сфагнума бурого, который удобно использовать как индикатор.



Кустистые лишайники очень удобны для индикации загрязненности воздуха

Способность низших растений аккумулировать тяжелые металлы - загрязнители природной среды широко используется при составлении карт загрязненности городов и территорий, примыкающих к автострадам. Химический анализ мхов позволил установить, что в Хельсинки максимальная концентрация свинца (80 мкг/л) наблюдается в 20 м от дороги, тогда как, начиная с 40-50 м, она составляет 30 мкг/л и в дальнейшем остается на этом уровне. Сходным образом изменялась концентрация цинка (от 8 до 4 мкг/л) и железа (от 2 до 0,5 мкг/л). Чем интенсивнее движение автомашин по дороге, тем больше свинца обнаруживается во мхах. Так, например, при максимальной интенсивности движения содержание свинца составляло 223 мкг/л, а при минимальной - 40-50 мкг/л.

Традесканция распознает выхлопные газы автомобилей

В последние годы пальма первенства в загрязнении начинает переходить к автомобильному транспорту. В США около 60% вредных веществ поступает в воздух от автомобилей. В крупных городах мира - Лос-Анджелесе, Нью-Йорке, Токио и других - доля автомобилей в загрязнении воздуха повышается до 90%.

Эффект от совершенствования двигателей внутреннего сгорания, направленного на уменьшение поступления в окружающую среду вредных веществ, сводится на нет из-за роста численности автомобилей. Ученые установили, что в отработанных газах содержится около 170 вредных компонентов, большинство из которых канцерогены, т. е. вызывают перерождение нормальных клеток в опухолевые. В связи с этим возникла проблема индикации выхлопных газов автомобилей.

Отрицательное влияние выхлопных газов проявляется на некоторых растениях настолько отчетливо, что их с успехом можно использовать для обнаружения опасной для здоровья людей концентрации этих газов. Особенно это важно в таких местах, где вследствие слабой циркуляции воздуха могут скапливаться выхлопные газы, например в туннелях для автотранспорта. С целью индикации опасных концентраций ядовитых веществ там помещают сосуды с разными растениями. При большой концентрации газов кончики листьев у некоторых растений засыхают, а на листьях появляются светлые участки, лишенные хлорофилла. Эти показатели свидетельствуют о необходимости вентиляции в туннеле.

Чрезвычайно чувствительно к выхлопным газам автомобилей комнатное растение традесканция. Французские ученые подметили, что при увеличении в воздухе окиси углерода и окислов азота, выбрасываемых двигателями внутреннего сгорания, окраска ее тычиночных нитей меняется из синей в розовую.

Бегония, чувствительная к смогу

Смог - это особое атмосферное явление, связанное с образованием тяжелого и плотного тумана, насыщенного газообразными выделениями города. Печальную известность получил смог лос-анджелесского типа. Он образуется в результате фотохимических реакций, в которых участвуют главным образом окислы азота и углеводороды, содержащиеся в выхлопных газах автомобилей. В состав фотохимического смога входят озон, окислы азота, пероксиацетилнитрат, многочисленные органические вещества перекисной природы, называемые в совокупности фотооксидантами. Он обычен для крупных промышленных центров США, Японии и других индустриально развитых стран.

В связи с тем, что во время смога в приземном слое воздуха создается повышенная концентрация ядовитых веществ, это атмосферное явление представляет опасность для здоровья людей. Так, например, во время фотохимического смога в 1972 г. в Токио около 100 человек попали в больницы с тяжелыми поражениями дыхательных путей, а около 30 тыс. человек обратились в поликлиники. Особенно опасен смог для городов, расположенных в низинах, куда слабо проникает ветер. Лос-анджелесский смог хорошо просматривается космонавтами с расстояния многих тысяч километров как грязное пятно на фоне планеты.

Культурные растения под влиянием смога резко снижают урожайность: бобы - на 25%, а помидоры - на 33%. Между степенью повреждения растений от загрязнений (некроз, ожог листьев, хлороз) и величиной урожая имеется вполне определенная количественная связь. Так что культурные растения могут выступать в роли индикаторов смога.

С помощью гамма-облучения японские исследователи вывели очень чувствительный к смогу сорт бегонии, который при первых признаках фотохимического смога (0,15 частей газа на миллион частей воздуха) покрывается пятнами. Если концентрация смога продолжает увеличиваться, то пятна на листьях вздуваются, а затем образуются сквозные отверстия.

Ядовитый для биосферы озон

Одним из компонентов фотохимического смога, как мы уже отмечали, является озон. Содержание его в окрестностях Лос-Анджелеса за последние 50 лет возросло в 50 раз. Он попадает в окружающую среду при дезинфекции и дезодорации дурнопахнущих газов и жидкостей, очистке промышленных стоков, отбеливании тканей. Озон используется во многих технологических процессах, в частности в органическом синтезе различных жирных кислот, эпоксидных смол. Его употребляют для обеззараживания питьевой воды. Озонированный воздух отличается особой чистотой и свежестью, но только в том случае, когда соблюдается определенная его концентрация. В высоких дозах он токсичен для живых организмов. Для человека вредной считается концентрация озона 0,2-0,3 мг/м³.

Загрязненность воздуха озоном характерна для многих крупных городов мира. Так, например, в начале мая 1976 г. контрольная станция Большого Лондонского совета зарегистрировала резкое возрастание его содержания в воздухе: 18 частей на миллион. Для сравнения укажем, что естественный фон озона в воздухе Южной Англии составляет 2-4 части на миллион частей воздуха. Всемирная организация здравоохранения считает пределом 6 частей на миллион. Таким образом, содержание озона в воздухе Лондона в 3 раза превысило допустимые нормы.

Диффузия озона в листья растений происходит главным образом через устьица. В естественной обстановке максимально озон поглощается листьями обычно в 13-15 часов. Скорость поглощения его зависит от влажности воздуха. Так, например, при относительной влажности воздуха 75% растения фасоли поглощают озон в три-четыре раза быстрее, чем растения, выращиваемые при относительной влажности 35%.

Наиболее чувствительными по отношению к озону являются виноград, табак, цитрусовые, шпинат, редис, фасоль сорта "Пинто", картофель, томаты, люцерна. Устойчивы к озону морковь, сахарная свекла, земляника, тис, можжевельник.

Повреждение озоном виноградников сопровождается возникновением темно-коричневых пятен на верхней стороне взрослых листьев. В районе Великих озер (США), где концентрация озона составляет 0,1 мкл/л, листья винограда теряют зеленую окраску и преждевременно опадают.

Более старые листья повреждаются озоном сильнее, чем молодые. Этим озон отличается от сернистого газа и фтористого водорода, которые поражают прежде всего молодые листья. Повреждение ассимиляционного аппарата проявляется в виде изменения окраски листьев. Сначала листья становятся серебристыми и глянцевитыми, затем хлоротичными с некротическими участками. Кончики листьев обесцвечиваются и становятся белыми. У клевера под влиянием повышенных доз озона поверхность листьев сокращается на 50%, а у райграса - на 35%.



Повреждение листьев красной смородины после воздействия высоких концентраций сернистого газа

Если заглянуть внутрь клетки, находящейся в атмосфере озона, то можно заметить первые симптомы повреждения - разрушение хлоропластов и их скопление в общую гомогенную массу. Эти нарушения в структуре хлоропластов сказываются на интенсивности процесса фотосинтеза.

По мнению ряда ученых, первичными мишенями озона при его воздействии на растения служат клеточные мембраны, проницаемость которых под влиянием фитотоксиканта резко нарушается.

В результате всех этих изменений замедляются темпы роста и снижается урожайность сельскохозяйственных культур. Потери урожая картофеля от действия озона могут достигать 50%, а у люцерны - 33-42%. У декоративного растения петунии озон вызывает уменьшение диаметра и сырого веса цветков, причем токсичность этого газа возрастала по мере увеличения экспозиции.

Установлено, что разные сорта одного и того же растения неодинаково реагируют на загрязнение природной среды озоном, подобно тому как существует сортовая реакция растений на вредителей, болезни, воздействие неблагоприятных условий погоды. Некоторые сорта оказались чрезвычайно чувствительны к озону, в частности фасоль "Пинто". Выведены сорта табака, отличающиеся реакцией на данный фитотоксикант. Так, например, растения сорта "Bel B" устойчивы, "Bel C" - чувствительны, а "Bel W₃" - очень чувствительны к нему.

В 1967 и 1968 гг. загрязненность воздуха озоном в отдельных районах ФРГ определялась по симптомам повреждений растений-индикаторов - табака сорта "Bel W₃". Установлено, что степень заболеваний растений в ФРГ была ниже, чем в США. Исследователи объясняют это тем, что в ФРГ концентрация озона в воздухе при проведении опыта была сравнительно невысокой. По-видимому, для выявления пониженных концентраций озона требуются более чувствительные сорта табака, чем "Bel W₃".

Между тем в США в 1976 и 1977 гг. у восьминедельного табака сорта "Bel W₃", выращенного в поле на острове Нантакет, появлялись симптомы повреждения озоном, который переносился ветром из промышленных районов Нью-Йорка и Вашингтона через открытый океан.

В 1981 г. был предложен оригинальный метод учета повреждений индикаторных растений озоном, осуществляемый в два этапа:

- фотографирование поврежденных листьев в поле;
- проведение измерений на негативах с помощью телевизионной камеры, соединенной с вычислительной машиной.

Фотографирование листьев в поле производится в определенном положении с использованием подсветки. С помощью зеленого светофильтра получают негативы, на которых некротические участки выглядят как темные пятна на белом фоне. Негативы рассматриваются в телевизионной системе. Размер повреждений устанавливается с помощью малой вычислительной машины. Преимущество этого метода заключается в его объективности и возможности производить съемку прямо в поле, не повреждая растений.

Исследовалась также реакция культуры ткани указанных выше сортов табака на озон. Кусочки тканей, культивировавшиеся на искусственной питательной среде, из-за разрушения фитотоксикантом поверхностных клеток вскоре становились коричневыми.

Одним из характерных признаков действия озона на растения является ингибирование прорастания пыльцы. В связи с этим прорастающую пыльцу можно использовать в качестве биотеста на озон. Оказалось, что у разных сортов табака пыльцевые трубки в присутствии озона растут с разной скоростью. Длина пыльцевых трубок у чувствительного сорта "Bel W₃" уже при слабых концентрациях озона была в 2 раза короче, чем у сорта "Bel B".

Эффект воздействия озона, отмеченный выше, - разрушение хлорофилла - лежит в основе простого и быстрого метода, применяемого для оценки повреждения листьев фасоли сорта "Пинто". Степень поражения листьев учитывается по убыли хлорофилла.

Японские исследователи предложили в качестве индикатора загрязненности окружающей среды озоном растения ипомеи сорта "Scarlet O'Hara".

Концентраторы радиоактивных веществ

Пристальное внимание исследователей привлекает проблема загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Радиоактивные элементы могут попадать в природную среду в результате взрывов атомных и водородных бомб. Испытания ядерного оружия в 50-х годах привели к выпадению радиоактивных осадков. В них был обнаружен стронций-90, который, поступая в организм вместе с кальцием, накапливается в костях людей. В результате этого повышается вероятность заболевания людей раком, генетических аномалий, уменьшается продолжительность жизни.

В 1963 г. был подписан Договор о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, космическом пространстве и под водой, сыгравший важную роль в прекращении эскалации загрязнения окружающей среды радиоактивными веществами. Однако нельзя сказать, что проблема охраны природной среды от радиоактивных веществ снята с повестки дня. И сегодня некоторые страны, не присоединившиеся к Договору, продолжают проведение ядерных испытаний. Кроме того, на Земле строится все больше атомных реакторов для мирных целей, которые при нормальном режиме работы не представляют опасности для окружающей среды, но в случае аварийной ситуации могут стать источником радиоактивного загрязнения. Одна из американских групп, выступающих за более строгий контроль за использованием ядерной энергии, подсчитала, что только в 1979 г. в США произошло 2300 аварий и несчастных случаев на атомных электростанциях и заводах, производящих ядерное горючее. Многие из них обернулись значительным экологическим ущербом. О важности проблемы говорит и трагедия Чернобыля. Следует также признать, что способы захоронения радиоактивных отходов нельзя считать удачными. Только за последние 10 лет западноевропейские страны сбросили в контейнерах на дно

Атлантики 46 тыс. т радиоактивных отходов. В результате этого повысилась радиоактивность Ирландского моря и прилегающего района Северо-Восточной Атлантики, Тихоокеанского побережья США и некоторых других районов Мирового океана. В недавнем прошлом большую озабоченность вызывало присутствие в морской воде таких продуктов ядерного деления, как цезий-137 и стронций-90. В настоящее время в связи с интенсивным развитием ядерной энергетики наибольшее беспокойство вызывают плутоний и амерций.

Хотя концентрация радиоактивных веществ в природной среде пока невелика, тем не менее существует угроза их избирательного накопления некоторыми живыми организмами до такого уровня, который становится опасным либо для них самих, либо для тех, кто питается этими организмами. Большое количество радиоактивных веществ накапливают в себе водоросли и морские животные. Так, например, некоторые двусторчатые моллюски Тихого океана стали в 2 тыс. раз более радиоактивными, чем морская вода. Концентрация стронция-90 в тканях протококковой водоросли сценедесмус превышает концентрацию этого элемента в воде в 1-9 тыс. раз. Высокую концентрацию радиоактивных веществ несут планктонные диатомовые водоросли, удельная радиоактивность которых может быть в 2 тыс. раз больше, чем радиоактивность воды.

Поэтому с помощью растений можно контролировать уровень радиоактивности водоемов в случае попадания в них радиоактивных отходов. Так, например, исследования водорослей в реке Колумбии позволили определить участки радиоактивного заражения воды ниже Хэнфордских реакторов, которое было значительным даже на расстоянии 25-50 км.

Микроорганизмы "следят" за загрязненностью

Ученые подметили, что некоторые микроорганизмы очень чутко реагируют на состояние окружающей среды. Они, например, чувствуют чрезвычайно малые концентрации вредных веществ, поступающих с промышленными стоками и атмосферными осадками. Большой интерес в связи с этим представляют светящиеся бактерии. Некоторые из них перестают светиться в присутствии самых разнообразных веществ, в частности газообразных промышленных загрязнений, например сернистого газа.

В настоящее время ученые создают штаммы бактерий, которые сигнализируют бы о наличии в природной среде токсических веществ, а также конструируют приборы, в которых детекторами загрязнений служат сменные патроны, заполненные питательной средой с бактериями. Прекращение свечения бактерий под действием вредных примесей будет восприниматься фотоэлементами, которые подадут соответствующие сигналы человеку. Приборы подобного типа предполагается использовать для определения содержания ядохимикатов вблизи обрабатываемых полей, обнаружения утечки ядовитых веществ в лабораториях и даже в поиске наркотиков.

Приведенные факты говорят о том, что растения играют исключительно важную роль в индикации загрязненности природной среды токсическими веществами. Наиболее чувствительные растения по существу могут заменить сложную дорогостоящую установку для газовых анализов. В "конструирование" таких "газоанализаторов" еще больший вклад должны внести селекционеры.

При анализе данных, получаемых с помощью растений-индикаторов, необходимо учитывать многие факторы, в том числе погодные условия. Дело в том, что сила отравляющего действия загрязнителей зависит от состояния устьиц, а оно в свою очередь определяется климатическими факторами. В засушливом году устьица открыты слабее, чем в достаточно влажном, поэтому растения вблизи очагов загрязнения атмосферы будут повреждаться в меньшей степени. Опыты, проведенные в Югославии, хорошо подтверждают эту мысль. В засушливом 1971 г. содержание серы в растениях, находившихся в условиях постоянного загрязнения атмосферы железорудными заводами "Зеница", было меньше, несмотря на то, что заводы работали более производительнее. В связи с этим рекомендуется при использовании листьев древесных пород в качестве индикаторов присутствия токсикантов учитывать характер метеорологических условий года и вносить соответствующие поправки.

Среди методов биологического мониторинга за состоянием природной среды весьма перспективны дистанционные методы. Исследователи полагают, что для индикации загрязненности природной среды может быть с успехом применена цветная инфракрасная съемка растительности. На полученных снимках здоровые и поврежденные загрязнителями растения выглядят по-разному. Благодаря этому по снимкам можно установить степень повреждения растений, концентрацию токсиканта в воздухе, площадь территории, находящейся под воздействием источника загрязнения. По некоторым косвенным признакам можно определить, какой именно загрязнитель отравляет растительность.

Зеркало природы

Наш мир - не завершение -
Там - дальше - новый Круг -
Невидимый - как Музыка -
Вещественный - как Звук.

Эмили Дикинсон

Вот и закончилось наше путешествие в мир растений-индикаторов. Мы остановились лишь на наиболее важных проблемах фитоиндикации, которыми она отнюдь не исчерпывается изложенным выше. Растения могут быть использованы как индикаторы геоморфологических процессов, лавин, селей и оползней, типов карста, характера карстового процесса, гидрогеологических условий озер и болот, динамических процессов, протекающих в морях и океанах, мощности сезонного протаивания грунтов, глубины снежного покрова, для прогнозирования уровней продуктивности лесных фитоценозов, генезиса горных пород, вулканической деятельности, при разработке мероприятий по рекультивации промышленных отвалов с целью выяснения характера землетрясений в прошлом и т. п.

Но и изложенного в книге достаточно, чтобы осознать исключительную важность рассматриваемой проблемы. Растения-индикаторы имели жизненно важное значение для древних народов. Они являлись для людей ориентирами в пространстве и времени, основой сельскохозяйственного календаря.

Прошли тысячелетия, и человечество заново открыло истину, хорошо известную древним: растительность является зеркалом окружающей их природы, мерилем почвенных, климатических, гидрологических и иных условий. Вот почему мы вновь внимательно всматриваемся в растения, используя для этого самые последние достижения науки: аэро- и космосъемку в различных лучах спектра, телевизионную аппаратуру, вычислительную технику. Полученные результаты представляют большой интерес для различных отраслей народного хозяйства. Остановимся лишь на использовании их в сельском хозяйстве.

В нашей стране начала функционировать система "АИУС-агроресурсы", название которой расшифровывается следующим образом: автоматизированная информационно-управляющая система комплексной обработки аэрокосмической и наземной информации для сельского хозяйства. Опорные пункты системы находятся в разных городах нашей страны. Они служат своего рода передаточным звеном между наукой и сельским хозяйством. Информация о состоянии посевов в том или ином регионе, получаемая со спутников, после расшифровки поступает в эти пункты, где на основе ее сопоставления с результатами наземных исследований разрабатываются конкретные рекомендации для колхозов и совхозов, которые могут касаться корректировки сроков полива и подкормки растений, борьбы с вредителями, сорняками и т. п.

То, чего мы достигли в настоящее время в области фитоиндикации, отнюдь не является чем-то законченным, конечным. Это лишь начало большой и сложной работы, чрезвычайно важной для человечества.

Фитоиндикация нужна не только специалистам. Каждый человек должен знать окружающий его растительный мир, уметь пользоваться этим уникальным зеркалом природы.