

2. A légkör, a bioszféra és az éghajlat

Az éghajlat és a növények közötti kapcsolat vizsgálatához mindenekelőtt az agroklimatológia fogalmával és értelmezésével kellett megismerkednünk. Ehhez első lépésként azt kellett tudnunk, hogy az éghajlat a légkör állapotát kifejező fogalom. Mivel ez esetben az élettelen természet és az élő természet közötti kapcsolatot kívánjuk elemezni, azt is kell vizsgálnunk, hogyan alakultak ki az élettelen természetben azok a feltételek, amelyek az élethez nélkülözhetetlenek.

Ismerkedjünk meg tehát a légkörrel, úgy mint az élet egyik alapvető feltételével.

2.1 A légkör kialakulása és az élet

A légkör a Földet körülvevő gáznemű burok. A Föld felszínétől mintegy 1000 km magasságig terjed.

A földi légkör mind más bolygókhoz viszonyítva, mind pedig önmagában véve is számos sajátos tulajdonsággal rendelkezik. A kialakulására vonatkozóan többféle elmélet is született. Mindegyik tartalmaz olyan feltevéseket, amely teljes mértékben nem bizonyítható, de bővíti idevágó ismereteinket (Brooks és Show 1981). Már összetételét tekintve is felmerülhet az a kérdés, hogy minek a következtében vannak jelen a légkörben bizonyos gázok, mások pedig miért hiányoznak, egyáltalán hogyan alakult ki a légkör mai formája?

Minden anyagi test parányi részecskékből áll, amelyeket atomoknak nevezünk. Amikor az atomok valamilyen módon egymáshoz kapcsolódnak, akkor atomcsoportok, molekulák jönnek létre. Egy adott – természetesen tiszta – anyag minden molekulája tökéletesen egyforma. A különböző anyagok fizikai tulajdonságaiban mutatkozó különbségek, molekuláik különbségével magyarázhatók. Mivel nagyon sokféle molekula van, nagyon sokféle anyag létezik.

A molekulákat intermolekuláris (molekulák közötti) erők tartják egybe. Ezek az erők ellenállnak a belső hőmozgásnak, amely a molekulákat igyekszik szétfeszíteni. Ha az intermolekuláris erők elég nagyok, akkor a molekulák még magasabb hőmérsékleten is szilárdak maradnak (szilárd anyag). Ha magasabb hőmérsékletek mellett az intermolekuláris erőkhez hasonló nagyságrendű lesz a hőmozgás ereje is, akkor akkor a molekulákat az intermolekuláris erők már nem tudják a helyükön tartani, azok szabadon elcsúsznak egymáson (folyékony anyag). Az ilyen anyagok a térfogatukat megtartják, alakjuk azonban olyan lesz, mint az az edény, amelyben tárolják. Ha tovább növeljük a hőmérsékletet, akkor növekszik a molekulák hőmozgása is, és ha az intermolekuláris erők nagyon gyengék, akkor a molekulák szabadon elmozdulhatnak bármely irányban (gáznemű anyag). A gázok összenyomhatók, mert az összenyomás csak az általuk elfoglalt teret kisebbsíti, de a rendelkezésre álló térben a molekulák szabadon mozoghatnak. A levegő ilyen gáznemű anyag.

A légkör létrejöttének feltételei. A légkör keletkezésének két alapvető feltétele van.

1. Az égitest tömege az első feltétel, mert mindenekelőtt az adott égi testnek olyan nagyságú tömeggel kell rendelkeznie, amely képes gravitációs erejénél fogva a gázmolekulákat visszatartani.

Ha egy bolygó tömege kicsi, mint pl.a Merkúr (0,055 földtömeg) vagy a Hold (0,012 földtömeg) esetében, akkor az olyan kis mértékű gravitációs erővel rendelkezik, hogy nem képes visszatartani a gázmolekulákat. S mivel nem képes megtartani a légkört alkotó gázmolekulákat, ezért alkalmatlan arra, hogy ott élet alakuljon ki.

Amennyiben pedig a bolygó tömege meglehetősen nagy, akkor oly mértékben képes visszatartani a gázmolekulákat, hogy azok sűrűségükkel megakadályozzák a napsugarak áthaladását rajtuk. Naprendszerünkben ilyen méretű bolygó a Jupiter (318 földtömeg) és a Saturnus (95 földtömeg). Ennek következtében ezek a bolygók sem alkalmasak arra, hogy ott élet kialakuljon.

Csupán a Vénusz (0,815 földtömeg) a Föld (tömege: $5973 \cdot 10^{15}$ tonna) és kisebb mértékben a Mars (0,108 földtömeg) rendelkezik olyan méretű tömeggel, amely képes megfelelő sűrűségű légkört megtartani, s ezzel az élet keletkezése és megmaradása számára kedvező feltételeket biztosítani. A Föld tömege hozzávetőlegesen 3 billiomod ($2,99 \cdot 10^{-12}$) része a Nap tömegének. A Vénusz tömege ennek mintegy 80%-át teszi ki, a Marsé pedig alig több, mint 10%-át (Gábris-Marik 1981).

Egyes kutatók vizsgálatai szerint (Kamshilov 1976) az univerzumban a bolygók mintegy 1%-a ilyen tömegű.

2. A központi, energiát kisugárzó csillagtól való távolság a másik fontos követelmény. A bolygó pályájának megközelítőleg olyan sugarú körnek kell lennie, hogy *a központi – sugárzást kibocsátó – csillagtól való távolsága se túl nagy, se túl kicsi ne legyen*. A bolygónak ugyanis a központi égitesttől megfelelő mennyiségű sugárzást kell kapnia ahhoz, hogy rajta megfelelő hőmérséklet alakulhasson ki, amely meghatározza a gázmolekulák mozgási sebességét, s amely egyúttal az élet egyik legfontosabb feltétele (az élet csak bizonyos hőmérsékleti határok között létezhet). Ennek a sugárzásmennyiségnek azután relatíve állandónak kell lennie. Ez a Föld esetében a légkör külső határán a sugárzásra merőleges 1 m^2 -nyi felszínre érkező $1360 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ sugárzásmennyiség, amit napállandónak neveznek. Természetes, hogy a változó sugárzásereőségű csillagok nem felelnek meg ennek a követelménynek.

Ez a követelmény azért fontos, mert a központi, sugárzó égitesthez nagyon közel lévő bolygók túlságosan melegek, a nagyon távoliak pedig túlságosan hidegek lennének a molekulák mozgása vagy az élet szempontjából. Van egy olyan közepes távolság – a Föld esetében 150 millió kilométer – ami olyan sugárzási viszonyokat biztosíthat, amelyek kedvező hőmérsékleti feltételeket jelentenek a gázmolekulák mozgása és az élet számára.

A két feltétel együttes előfordulásának a valószínűsége nagyon kicsi. Egyes kutatók szerint 100.000 vagy egy millió csillag esetében legfeljebb egy ilyen bolygó akad. A galaxisunkban azonban több, mint 150.000 millió csillag van, tehát több, mint százezer bolygó rendelkezhet az élet kialakulásához szükséges alapvető két feltétellel.

Azt tehát, hogy egy bolygónak van-e légköre vagy nincs, azt a bolygó nagysága (a tömegvonzás miatt) és hőmérsékleti viszonyai döntik el. A gázok ugyanis, – mint korábban említettük – nagyszámú, szabadon mozgó, s nagyon kicsi részecskékből állnak, amelyeket molekuláknak nevezünk. Ezek a molekulák folytonos, gyors mozgásban vannak, annál gyorsabban haladnak, minél magasabb a hőmérséklet, s minél kisebb az atomsúlyuk. Képesek minden irányban haladni, beleértve a Föld felszínétől való eltávolodást is. Ha mozgásuk az égitesttől távolodó irányban halad, akkor fékezőleg hat rájuk a nehézségi erő.

Átlagos sebességük négyzete egyenes arányban áll a hőmérséklettel és fordított arányban a gázok atomsúlyával:

$$v_K^2 = 3R \frac{T}{M}$$

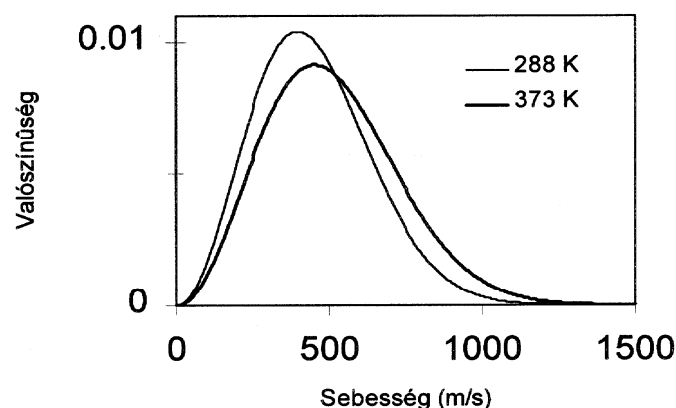
ahol v_K a molekulák átlagos sebessége, R a gázállandó, T a hőmérséklet, M pedig a molakulasúly. Egy molekula átlagsebessége tehát annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklete és minél kisebb az atomsúlya.

Természetesen nem minden molekula mozog átlagos sebességgel. A molekulák egy része az átlagsebességnél lassabban, egy másik része pedig gyorsabban mozog. Egy kis számú molekula pedig az átlagosnál jóval nagyobb sebességgel halad. Egy idő elteltével emiatt a könnyebb molekulák elkezdnek a légkör külső határa felé mozogni, majd a földi gravitációs mezőből kimenekülve a bolygóközi térbe távoznak. A kritikus szökési sebességnél (11,2 km/s a Földön) gyorsabban mozgó molekulák végleg eltávoznak a világűrbe. Minél nagyobb egy égi test tömege, annál nagyobb a vonzereje, s annál nagyobb szökési sebesség (a Napon 919,4 km/s) kell ahhoz, hogy a gázmolekula elhagyja, ezért annál nagyobb a lehetősége légkör kifejlődésének. Minél kisebb az égi test, annál kisebb szökési sebesség (Holdon 2,38 km/s; a Merkúron 3,8 km/s;) kell a tőle való végleges eltávolodásra.

Említettük már, hogy egy adott hőmérséklet mellett nem minden gázmolekula mozog ugyanazzal a sebességgel, a molekulák egy bizonyos hányada gyorsabban, egy másik része pedig lassabban mozog. A molekuláknak azonban egyre kisebb hányada képes az átlag sebességet jóval meghaladó sebességgel mozogni. Rendkívül kevés az olyan molekula, amely az átlag sebességet ötszörösen túllépő sebességgel halad. Ezért, ha a gázmolekulák átlagos sebessége 5,6 km/s, vagyis a világűrbe való távozáshoz szükséges sebességnek csak a fele, akkor a molekuláknak kisebb része képes kilépni a légkörből, s a gáz nagyobbik része visszamarad, de jelentős számú molekula fog átlag feletti sebességgel mozogni. Ekkor a nagy sebesség miatt a légkör anyaga néhány óra alatt elillanna.

Vegyünk egy másik esetet, amikor a gázmolekulák sebessége 2,5 km/s, vagyis csupán egy negyede a légkörből való távozáshoz szükséges sebességnek. Ekkor csak viszonylag kevés molekula fog az átlag sebességet négyszeresen meghaladó sebességgel mozogni, tehát csak kevés molekula tud kilépni a légkörből. Azonban hosszabb időszakot figyelembe véve, a gáz mégis teljesen eltűnhet a légkörből. Ehhez körülbelül 50.000 évre lenne szükség. Ezt a sebességet Jeans kritikus sebességnek tekintette (Boucher 1975). Az átlag sebesség négyszeresével mozgó molekulák számához képest az átlag sebesség ötszörösével mozgó molekulák száma jelentősen lecsökken. Ezért, ha a gáz átlag sebessége 2,25 km/s lenne, akkor már mintegy 30 millió évre lenne visszatartva a gáz.

A Maxwell-féle sebességeloszlás görbéje (2.1 ábra) azt mutatja, hogy a molekulák legnagyobb számban átlagsebesség körüli sebességgel mozognak. Annál háromszor gyorsabban mozgó molekulák már ritkán fordulnak elő, négyszer vagy ötször gyorsabban mozgó pedig még ritkábban.



2.1 ábra. Maxwell-féle sebességeloszlás

Ahhoz, hogy egy égitest a légkörét tartósan megőrizhesse, arra van tehát szükség, hogy a molekulák átlag sebessége a szökési sebesség egy ötöde alatt maradjon, különben a légkör anyaga egy bizonyos idő eltelte után elillan a bolygóközi térbe. Ha az átlagos sebesség fele a szökési sebességnek, akkor néhány óra alatt, ha harmada, akkor néhány hét alatt, ha negyede, akkor néhány tízezer év alatt, ha csak egy ötöde, akkor néhány tízmillió év alatt veszti el a légkörét. Az átlag egy ötöde alatti sebesség esetén a légkör milliárd évekig is fennmaradhat.

Figyelembe véve a molekulák összes lehetséges ütközését, bonyolult matematikai-statisztikai számítások útján el lehet jutni az energia egyenletes eloszlásának (ekvipartíció) elvéhez. Másképpen szólva: a nagy molekulák átlagos kinetikai energiája egyenlő a levegő molekulák átlagos kinetikus energiájával, vagyis az

$$E_M = \frac{1}{2} m_M v_M^2$$

értékkel. Gamov és Cleveland (1971) számításai szerint a levegő molekulák átlagos energiája (E_M) szobahőmérsékleten 10^{-13} erg, a tömege (m_M) pedig $5 \cdot 10^{-23}$ g. Ezeket behelyettesítve az előbbi képletbe, kapjuk, hogy

$$10^{-13} = 0,5 \cdot 5 \cdot 10^{-23} v^2$$

innen v^2 -et kifejezve:

$$v^2 = \frac{10^{-13}}{0,5 \cdot 5 \cdot 10^{-23}} = 4 \cdot 10^9$$

amiből

$$v = \sqrt{4 \cdot 10^9} \approx 63246 \text{ cm/s} \approx 0,63 \text{ km/s}$$

vagyis a levegő molekulák átlagos mozgási sebessége 0,63 km/s, ami jóval a szökési sebesség egy ötöde alatt van.

Vannak olyan égitestek, mint pl. a Hold, ahol azért nem alakult ki légkör, mert kis tömegénél fogva, nincs olyan tömegvonzása, hogy a gázmolekulákat vissza tudja tartani. Vannak olyan égitestek is, ahol megfelelő nagyságú ugyan a tömeg, s így a vonzóerő is, de a Nap közelsége miatti hőmérséklet következtében olyan a molekulák sebessége, hogy azok a bolygóközi térbe távoznak. Az ilyen égi testeknek (pl. Merkúr) nincs légköre.

A Földnek a tömege olyan, hogy képes kellő vonzóerőt gyakorolni a molekulákra, s a hőmérséklet is olyan, hogy a molekulák átlagos sebessége a szökési sebesség ötödét sem éri el (0,6 km/s). Így megvan annak a feltétele, hogy hosszabb időre egy légnemű burok vegye körül a Földet.

A földi légkör kialakulása. A Föld ősbolygó állapotában a nagyobb sűrűségű és nagyobb méretű anyagrészek a bolygó középső részében helyezkedtek el. A középponttól kifelé haladva a bolygó anyaga egyre ritkábbá vált, majd bizonyos távolságban tisztán gáz halamazállapotba ment át. Az elsődleges őslégkör összetétele napjainkban még nem teljesen tisztázott kérdés. Feltételezett fontosabb elemei a következők voltak: hidrogén (H_2), hélium (He), metán (CH_4), ammónia (NH_3), kén-hidrogén (H_2S), szén-dioxid (CO_2), szénmonoxid (CO) és vízgőz (H_2O). Ekkor a gravitációs mező és hőmérséklet olyan volt, hogy e gázok csaknem teljes mértékben eltávoztak a világu térbe. Minél melegebb egy gáz, annál gyorsabban

mozognak a molekulái, s a hőmérséklet emelkedésével növekszik a sebességük. Így a fejlődés során, amikor a Föld légköre sokkal melegebb volt, mint a ma, éppen azok a gázok távoztak el a légkörből, amelyek az életre veszélyesebbek. Különösen két gáz távozott el korán: a hidrogén és a hélium. (A magas hőmérséklet és a kis atomsúly miatt nagy volt a szökési sebességük). Az a hidrogén és hélium, amely napjainkban a légkörben található, nem az őslégkör maradványa, hanem napjainkban lebomlott anyagokból keletkeztek vagy pedig valamilyen kozmikus folyamatból származnak. A hidrogén esetében ez utóbbi látszik valószínűnek.

A víz fotodisszociációjából molekuláris oxigén (O_2) is keletkezhetett. Számottevő mennyiségben azonban nem halmozódott fel, amit a korabeli kőzetek vasionjai alapján lehet megállapítani.

A bolygóközi térbe történő távozás alól kivételt képeztek azok a gázok, mint pl. a vízgőz, amelyek az adott hőmérsékleti és nyomás-viszonyoknak megfelelően kondenzálódni voltak képesek vagy a szilárd részekkel kémiai reakcióba léptek.

Volt tehát egy időszak, amikor a Föld – a mai Holdhoz hasonlóan – légkör nélküli égi test volt.

E gázok eltávozása után elkezdődött egy újabb, másodlagos őslégkör kialakulása. Ebben a fő szerepet a vulkánkitörések és a különböző kémiai reakciók által előidézett gázfelszabadulás játszotta. Ennek következtében főként vízgőz (H_2O) és szén-dioxid (CO_2), kisebb mennyiségben pedig nitrogén (N), hidrogén (H) és kéndioxid (SO_2) került a felszínre. Ezek fokozatos felhalmozódásával a Földnek vékony légköre képződött, amely túlnyomó részt vízgőzből és szén-dioxidból állt. Mivel e két gáz a rövidhullámú sugárzást átterjeszti, a földfelszín által kibocsátott hosszúhullámú sugárzást pedig visszatartja, a gázburkok alatt a földfelszín hőmérséklete fokozatosan emelkedett. Amikor a hőmérséklet elérte a nulla fokot, megkezdődött a víz cseppfolyósodása és a felszínen történő felhalmozódása.

A másodlagos őslégkörben a szén-dioxid mennyisége a jelenleginek tízszerese lehetett. Ugyanakkor az oxigén mennyisége a jelenleginek csak ezred része volt. A nitrogén is csak nagyon kis mennyiségben fordult elő. A másodlagos őslégkör és a jelenlegi légkör összetétele jelentősen különbözött egymástól. A jelenlegi légkör összetételének megértéséhez tehát arra kell feleletet találni, hogy mi okozta a másodlagos légkör összetételének olyan irányú átalakulását, hogy létrejött a jelenlegi légkör.

Az egyik változást az idézte elő, hogy a hőmérséklet nulla fok fölé emelkedésével a vízgőz kicsapódott, a mélyedésekben összegyűlt és tengerek keletkeztek.

Az ammónia feltehetően fotolitikus úton nitrogénné és hidrogénné bomlott.

A kéndioxid vízgőzzel reagálva kénsavvá alakult, az pedig oxidálódva a földkéreg ásványaival szulfátokat alkotott. A jelenlegi légkörbe a kéndioxid már csak ipari szennyezőanyagként kerülhet be.

A szén-dioxid csökkenését egyrészt annak tulajdonítják, hogy a légköri szén-dioxid jelentős hányada 300 fok alatti hőmérsékleteken kémiai reakciók útján karbonátos kőzeteket hozott létre. Így a földi szén-dioxid mennyiség nagyobbik része nem a légkörben, hanem a kőzetekben (mészkö, dolomit formájában) található.

Egy másik ok a fotoszintézis megjelenése. Ennek során ugyanis a növényzet a levegőből szén-dioxidot vesz fel és oxigént bocsát a légkörbe. Miután egyre nagyobb mennyiségű szén-dioxid épült be és tárolódott a növényi szerves anyagokban, fokozatosan csökkent a légkör szén-dioxid tartalma.

A másodlagos őslégkörben nagyon kevés oxigén volt. A légköri oxigén növekedésének egyik lehetséges oka az, hogy az ultravioleta sugárzás hatására vízdisszociációval (fotodisszociáció) oxigén keletkezik: a vízgőz hidrogénné és oxigénné bomlik. A számítások szerint azonban az így keletkezett légköri oxigén mennyisége nem haladná meg a jelenlegi

léggör oxigéntartalmának egy tized százalékát. A fotodisszociáció útján keletkezett oxigén egy része ugyanis az ultraibolya sugárzás hatására ózonná alakul. Az ózon pedig egy bizonyos koncentráció felett akadályozza a vízgőz további disszociációját. A jelenlegi léggör magas oxigéntartalmát tehát a víz fotodisszociációjával nem lehet magyarázni.

A másodlagos ősléggör kis mennyiségű oxigénjéből keletkezett vékony, felszínfeletti ózonréteg nem volt elegendő az ultraibolya sugarak hatékony kiszűrésére. Ezért a legelső fotoszintetizáló szervezetek (valószínűleg kékmoszatok) csak a vízben, feltehetően legalább 10 méter vastag vízréteg védelme alatt tudtak csupán létezni. Különben az ultraibolya sugarak elpusztították volna őket. Ezeknek a szervezeteknek a működése révén oxigén jutott a légkörbe. Eleinte ez az oxigén is ózonná alakult. A folyamatos termelés miatt azonban az ózonréteg már annyira megvastagodott, hogy nem tudtak áthatolni rajta az ultraibolya sugarak. Ettől kezdve a fotoszintézis során felszabaduló oxigén már nem alakult ózonná, hanem az ózonpajzs alatt felhalmozódott. A felhalmozódó oxigén következtében az ózonréteg egyre magasabbra került, s így a földi élet fejlődését már nem akadályozták az ultraibolya sugarak. Jelenleg az ózonréteg a 10 és 30 km közötti magasságban található.

A fotoszintézis során folyamatosan termelődik oxigén, ezért a légkörben jelentős mennyiségű oxigén gyülemlt fel. Mivel az oxigén könnyen reakcióba lép a legtöbb anyaggal, a légkörben csak akkor halmozódhatott fel jelentősebb mennyiségű oxigén, ha valamilyen folyamatban rendszeresen újra termelődik.

A nitrogén jelenlegi szintjének kialakulása teljes mértékben nem tisztázott. A kutatók egy része a nitrogén légköri felhalmozódását a vulkáni tevékenység következményének tartja, vagyis úgy gondolja, hogy a vulkáni tevékenységgel a légkörbe jutott nitrogén az év milliók során felhalmozódott, s így érte el a jelenlegi koncentrációját. Ezt az álláspontot erősíti az tény, hogy a Vénuszon hasonló intenzitású vulkáni tevékenység a Vénusz légkörében a földi légköréhez hasonló nitrogén koncentrációt eredményezett.

Más kutatók véleménye szerint viszont a légköri nitrogén koncentrációja az élővilág tevékenységével van kapcsolatban. Szerintük e tevékenység nélkül a légköri nitrogén a különböző sugárzások és elektromos kisülések hatására gyorsan oxidálna, s a nitrogén-oxidok pedig az óceánok vizében feloldódnának. A jelenlegi nitrogén-szint fennmaradása feltételzi a nitrogén oxidációjának elmaradását. Az kétségtelen, hogy jelenlegi körforgását (a talajban lévő nitrifikáló baktériumok a légköri nitrogént megkötik, s a növényi táplálkozás számára hozzáférhetővé teszik) az élővilág hozza létre és tartja fenn, de azt a tényezőt, amely a légköri nitrogén oxidációját gátolja, még nem sikerült kimutatni (Péczely 1979).

Ahhoz, hogy a léggör alkalmas legyen arra, hogy teret adjon életnek, még két olyan jelenség kialakulása volt szükséges, amely az élet szempontjából meghatározó. Az egyik az ózonréteg, amely a 10 és 30 km közötti magasságban veszi körül a Földet. Ez a réteg az élet szempontjából pusztító hatású ultraibolya sugarakat tartja vissza.

A másik a légkörnek az tulajdonsága, hogy a magassággal a hőmérséklet csökken. Ennek a következménye, hogy az élet szempontjából nélkülözhetetlen víz nem tud eltávozni a légkörből a bolygóközi térbe. A talajfelszínről elpárolgó víz – vízgőz formájában egyre nagyobb magasságokba emelkedve – ugyanis egyre alacsonyabb hőmérsékletű lesz és elérve egy alacsony, kritikus hőmérsékleti értéket a vízgőz kicsapódik, majd csapadék formájában visszajut a földfelszínre. A troposzféra és a sztratoszféra határán tapasztalható –50 fok körüli hőmérséklet tehát tulajdonképpen „vígőz csapda”-ként is felfogható, mert a felemelkedő nedves levegő ebben a magasságban már annyira lehűl, hogy a benne lévő vízgőz szinte teljesen kicsapódik. Emiatt a sztratoszférába csak elenyésző mennyiségben kerül vízgőz.

A szén-dioxid és a vízgőz a rövidhullámú napsugárzást átengedi, viszont az alattuk lévő felszínek hosszuhullámú kisugárzását nem engedik ki (üvegházhatás). Ezzel eléri, hogy a Föld átlaghőmérséklete -18 fok helyett +15 fok legyen. E több, mint 30 fokos melegedést

jelentő üvegházhatás miatt olyan hőmérsékletek vannak a Földön, amelyek az élet szempontjából kedvezőek. Ezzel a légkör olyan tulajdonságokkal rendelkezik, amelyek biztosítják az élethez szükséges feltételeket.

A légkör összetétele. A légkör kialakult összetétele kulcsfontosságú mind az élet, mind pedig a jelenlegi éghajlat fennmaradása szempontjából. Szabályozza ugyanis a Napból érkező rövidhullámú sugárzás áthaladását a légkörön, valamint a földfelszín hosszuhullámú sugárzásának világűr felé történő haladását.

Alapgázok. A száraz légkört 78 %-ban molekuláris nitrogén (N_2) és 21 %-ban molekuláris oxigén (O_2) alkotja. A fennmaradó 1 %-ot főleg nemes gázok (argon, neon, xenon stb.) töltik ki. Ezt a gázkeveréket nevezzük levegőnek.

Vendéggázok. Azok a légköri gázok: az ózon, valamint a szén-dioxid és a vízgőz, amelyek – mint láttuk – fontosak az élet szempontjából, fontosak a sugárzási energia elnyelése és kibocsátása szempontjából is, bár csak kevesebb mint 1 %-át alkotják a légkörnek.

Az ózon (O_3) jelentősége abban van, hogy elnyeli az ultraibolya sugárzást, amely sejtroncsoló hatása miatt káros az élőnyekre. Mennyiségének tartós megváltozása ugyanakkor hatással van az éghajlat alakulására is. A különböző spray-ekből a levegőbe kerülő és ott felhalmozódó freon gázok pedig az ózon lebontásában játszanak szerepet, s ezzel az ózonrétegben ritkulást (ózonlyuk) idéznek elő, ami a felszínre érkező káros ultraibolya sugárzás megnövekedésében nyilvánul meg.

A szén-dioxidnak és vízgőznek azt a tulajdonságát kell kiemelni, hogy a Napból érkező rövidhullámú sugárzást átengedik, a felszínről kibocsátott hosszuhullámú sugárzást viszont nem engedik eltávozni a bolygóközi térbe, hanem visszasugározzák a felszínre. Így tulajdonképpen a Napból érkezett hőt „fogva tartják”. Ezt nevezzük „üvegházhatás”-nak. Az utóbbi időben különösen a fokozódó légköri CO_2 tartalom miatt növekvő üvegházhatás következményeként az éghajlat változására lehet számítani.

Szilárd részecskék. Származhatnak a bolygóközi térből. Amennyiben eredetileg is por formában léteztek, a Föld vonzóereje következtében kerülnek a légkörbe. Előfordulhat azonban, hogy szétrobbant meteoritok darabjaként a légkörön való áthaladás közben mállanak szét porszerűvé.

Származhatnak a földfelszínről. Ezeket a részecskéket függőleges emelőmozgások juttatják a magasba. Lehetnek emberi tevékenység termékei (mint pl. a füst, a korom), lehetnek a természet erői által levegőbe juttatott szemcsék (pl. vulkáni hamu).

Többnyire mikroszkópikus nagyságúak, 1 cm^3 levegőben több ezer is található. Legnagyobb számban az ipari városok levegőjében találhatók. A magassággal felfelé haladva számuk erősen lecsökken. A felhőképződésben játszanak szerepet. A lehülő levegőben rájuk csapódik ki a vízgőz. Ugyanakkor, ha nagy számban fordulnak elő, légszennyeződésről beszélünk. Csökkentik a besugárzást, s egy meghatározott koncentráció felett károsak a növényzetre és az emberi egészségre is.

Szerves anyagok. Elsősorban virágpor, különböző baktériumok, vírusok és egyéb apró organizmusok sorolhatók ide. A különböző kórokozók néha nagy magasságokba is feljutnak, s a légmozgás segítségével nagy távolságokra képesek eljutni.

A földi légkör nem engedi át az életre káros (sejtroncsoló hatású), 280 nm hullámhossznál rövidebb ultraibolya sugarakat. Lényegében ernyőt tart a földfelszín fölé a káros sugárzással szemben. Az ennél hosszabb sugárzás számára viszont a légkör ablakot jelent, amelyen keresztül elérheti a földfelszínt. Ez a sugárzás szolgáltatja a fényt, a fotoszintetikusan aktív sugárzást, vagyis az energiát az élet számára. Egyúttal felmelegíti a felszínt is, amely folyamatosan kisugároz a világűr felé. Azonban az alacsony hőmérséklet miatti hosszuhullámú kisugárzást főleg a szén-dioxid és a vízgőz nem engedi eltávozni a bolygóközi

térbe, hanem elnyeli és jelentős részét visszasugározza a felszínre. Ezzel lényegesen emeli a felszín hőmérsékletét, ami – mint korábban rámutattunk – nélkülözhetetlen az élet számára.

A légkör tehát ernyőt tart a káros sugárzás elé, ablakot nyit az élet számára nélkülözhetetlen fotoszintetikusan aktív sugárzás számára és visszatartja a kedvezőtlen lehűlést előidéző hosszuhullámú kisugárzást, fontos szerepet játszik ezzel a Földön az élet feltételeinek biztosításában.

A Föld légköre számos sajátosságot mutat más bolygók légköréhez viszonyítva. A földméretű bolygók (Vénusz, Mars) légköre főleg szén-dioxidból (CO₂) és nitrogénből (N₂) áll, s oxigént (O₂) csak nyomokban tartalmaz. A nagy bolygók (Jupiter, Saturnusz) légköre mintegy 99 %-ban hidrogénből (H) és héliumból (He) tevődik össze, s amónium felhőket találtak rajtuk.

A légkör kiterjedése és tömege. A légkör a Föld külső anyagtartománya, amely együtt forog a Földdel. Határainak kijelölése nem egyszerű dolog, mert alsó és felső határán is tapasztalható a fokozatos átmenet.

A légkör alsó határa. A légkör alapfelszíne tulajdonképpen megegyezik a Föld felszínével (5,1·10⁸ km²). A Föld felszínének kiemelkedései (magas hegységek) és bemélyedései (mély medencék) miatt az alsó határ nem egyenletes. Sőt a levegő behatol a szilárd talaj pórusaiba is, s ott nélkülözhetetlen az élet szempontjából. Nem egyenletes az alsó határ a hullámzó tengereken sem. Gyakorlati szempontból azonban megfelelő, ha a légkör alsó határának a szárazfölkék és tengerek felszínét tekintjük, ahol a gáznemű levegő a szilárd halmazállapotú talajjal vagy a cseppfolyós halmazállapotú vízzel találkozik.

A légkör felső határa. A légkör felső határának megadása egyúttal a Föld anyagtartományának a bolygóközi tér felé történő elhatárolását is jelenti. Ennek a határnak a kijelölésénél két szempontot kell figyelembe venni:

- a légkör részének azokat a légrészecskéket tekinthetjük, amelyek a Földnek a Nap körüli és saját tengelye körüli forgása során együtt mozognak vele;
- a légkör részének tekintett gáztömegnek anyagi összetételében különböznie kell a bolygóközi tér anyagától.

E két feltételen kívül figyelembe szokták még venni a légrészecskék hőmozgását is, amely meghatározott sebesség (szökési sebesség) esetén lehetővé teszi számukra a Föld vonzóerejéből való kiszabadulást.

Az elmondott szempontok figyelembe vételével a légkör magasságát 1000 km-re becsülik.

2.1 TÁBLÁZAT

A légkör tömegének változása a magassággal

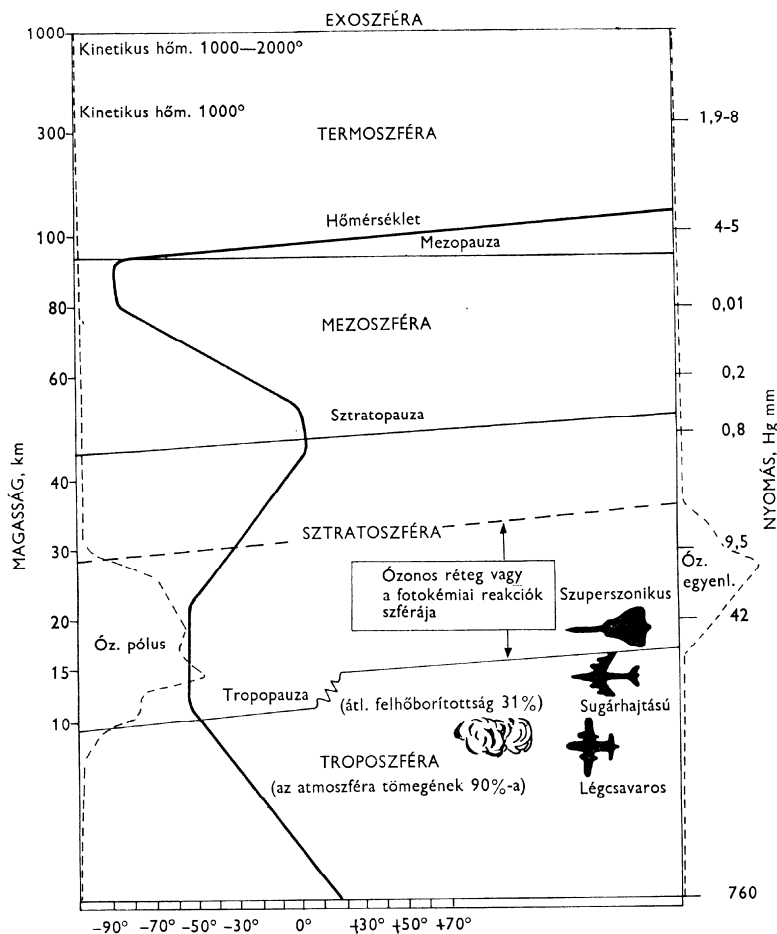
80,0	km felett	0,001 %
67,0	km felett	0,01 %
48,0	km felett	0,1 %
31,0	km felett	1 %
26,5	km felett	2 %
20,6	km felett	5 %
16,2	km felett	10 %
10,4	km felett	25 %
5,5	km felett	50 %
2,5	km felett	75 %
0,8	km felett	90 %
0	km felett	100 %

A légkör tömege. A levegőnek – éppenúgy, mint minden más anyagnak – van tömege és súlya. A tenger szintjén 1 m^3 levegőnek nulla fokos hőmérsékleten 2290 g a tömege.

Ugyanakkor a tenger szintjén 1 cm^2 -re hozzávetőlegesen 1 kg súly nehezedik, 1 m^2 -re pedig 10000 kg , vagyis 10 tonna . Ismerve a Föld sugarának nagyságát ($R = 6370000 \text{ m}$), kiszámíthatjuk a Föld felszínének nagyságát: $F = 4R^2\pi = 5,1 \cdot 10^{14} \text{ m}^2$. Mivel minden m^2 -re 10 tonna súly nehezedik, ezt az értéket meg kell még szorozni 10 -zel, vagyis a légkör tömege: $4,536 \cdot 10^{15} \text{ tonna}$.

A Föld vonzóereje következtében a légkör tömege a földfelszín közelében sűrűsödik (2.1 táblázat) és felfelé haladva fokozatosan ritkábbá válik. A mintegy $5,5 \text{ km}$ -es alsó rétegben koncentrálódik a légkör fele, s hozzávetőlegesen 30 km felett már csak 1% -a, 100 km felett pedig csupán 1 ezreléke található.

A légkör szerkezete. A légkör kémiai és fizikai sajátosságai is változnak a magassággal. Az alsó mintegy $80\text{-}90 \text{ km}$ -es rétegben a levegő összetétele és átlagos molekulatömege azonban nem változik. Ezt a réteget ezért **homoszféra**nak nevezzük. Felfelé haladva a levegő molekulatömege a magassággal jelentősen csökken. Emiatt növekszik az atomos oxigén aránya, a légkör külső határa felé közeledve pedig a levegmolekulák többségét a hélium és hidrogén alkotja. A légkörnek a $80\text{-}90 \text{ km}$ magasságok feletti változó összetételű részét **heteroszféra**nak nevezzük. A 2.1 táblázatból látható, hogy a légkör tömegének ezred részénél is kevesebb az a levegőtömeg, amely a heteroszféra alkotja, ezért a különböző vizsgálatoknál csupán a homoszféra összetételét szokták figyelembe venni.



2.2 ábra. A légkör szerkezete

A légkört az összetételének magasságbeli változása mellett, a légkört fizikai (főként a hőmérsékleti) tulajdonságainak magasságbeli változásai alapján is szokták tagolni (2.2 ábra). Ez utóbbi alapján 5 tartományt lehet elkülöníteni.

Troposzféra. Ebbe a tartományba (troposz: meleg) a légkör legalsó, földfelszín feletti rétege tartozik. Magassága az egyenlítő felett 18 km, a sarkok felett 12 km körül van. Ebben a tartományban a legsűrűbb a légkör. A felszín minden 1 cm²-e felett lévő légoszlop súlya kb. 1 kg-ot tesz ki, ami azt jelenti, hogy minden négyzetméterre hozzávetőlegesen 10 tonna súly nehezedik. A magassággal a légnyomás fokozatosan csökken, mivel felfelé haladva az adott magassági szintek felett egyre kisebb légoszlop foglal helyet.

A hőmérséklet a földfelszín közelében a legmelegebb (innen a neve), a magassággal felfelé haladva fokozatosan csökken, mégpedig 100 m-enként hozzávetőlegesen 0,65 °C-kal (km-enként 6,5 fokkal). A troposzféra felső határán emiatt már csupán –50 fok alatti hőmérsékletek vannak.

A vízgőz is szinte kizárólag ebben a tartományban található csak. Mivel a magassággal a hőmérséklet csökken, a nagyobb magasságok alacsony hőmérséklete miatt a vízgőz a levegőben lebegő szilárd részecskékre kicsapódik, felhők képződnek, amelyből csapadék formájában ismét visszahullik a felszínre az onnan elpárolgott víz.

Jellemzők még erre a tartományra a jelentős mértékű vízszintes és függőleges légmozgások, valamint légtömeg áthelyeződések.

A felette lévő tartománytól egy vékony átmeneti réteg, az ún. tropopauza választja el.

Sztratoszféra. Ez a tartomány (sztratosz: réteg) hozzávetőlegesen az 50 km-es magasságig terjed. Ebben a tartományban megszűnik a hőmérséklet magassággal való csökkenése, az alsó részében a hőmérséklet közel állandó marad. A felső rétegében pedig a hőmérséklet fokozatosan emelkedik. Ennek oka a benne található ózonréteg, amely az ultraibolya sugarak tartományában energiát nyel el, s ez okozza a melegedést. A sztratoszféra felső határán a hőmérséklet megközelíti a földfelszíni hőmérsékletet.

Ebben a tartományban jelentős mértékű függőleges áramlások nem fordulnak elő. Emiatt, s az alacsony hőmérsékletek miatt, stbilis rétegződésű, innen a neve.

A felette lévő tartománytól szintén egy vékony, átmeneti réteg, a sztratopauza választja el.

Mezoszféra. A légkör középső (mezosz) tartománya. Hozzávetőlegesen a 90 km-es magasságig tart. Nagyjából három részre tagolható. Az alsó néhány kilométeres rétegben a hőmérséklet alig változik, majd rohamosan csökken egészen kb. 80 km-ig. A 80-90 km közötti réteg a légkör leghidegebb része –90 fok körüli hőmérséklettel.

A felette lévő rétegtől ugyancsak egy átmeneti réteg, a mezopauza választja el.

Termoszféra. Ez a tartomány (termosz: hő) már a heteroszférába tartozik, s mintegy 800 km magasságig terjed.

Ebben a tartományban található az ionizált rétegek, ezért ionoszférának is szokták nevezni. Az ionizáció miatt ezek a rétegek vezetik az elektromosságot, s visszaverik a rádióhullámokat.

Ebben a tartományban a hőmérséklet ismét emelkedni kezd a magassággal. Itt a levegő már nagyon ritka, ezért a magas 1000 fok feletti hőmérsékletek (ezt mutatja az elnevezés) már inkább a levegőmolekulák fizikai állapotát jellemzik. Ezek nagy sebességgel mozognak, s csak ritkán ütköznek egymással.

Itt is található egy átmeneti, vékony réteg, a termopauza.

Exoszféra. Ez a légkör legfelső tartománya (exosz: külső). Erről még meglehetősen keveset tudunk. A termoszférához hasonlóan ritka réteget, a gyorsan mozgó molekulák miatt szintén 1000 fok feletti hőmérsékletek jellemzik.

A légkör anyaga ebben a tartományban megy át fokozatosan a bolygóközi tér anyagába.

2.2 A bioszféra

A bioszféra a szilárd kéregnek (a litoszférának), a vízburoknak (a hidroszférának) és a légkörnek (az atmoszférának) az a része, amelyben az élet lehetséges (Kovács 1977).

Ha túlságosan kicsi egy égitest, akkor nem alakulhat ki rajta légkör, s így bioszféra sem. Meg lehet határozni azt a legkisebb égitest tömeget, amely mellett még légkör és bioszféra is kialakulhat. A Mars bolygó, amelynek tömege a Föld tömegének egy tizede, még e kritikus határ felett van (Kádár 1965).

A bioszféra keletkezésének van egy másik feltétele is. Szükség van egy olyan égitestre, amely az élet keletkezéséhez és fenntartásához szükséges energiát szolgáltatja. Mivel a sugárzási energia a távolság négyzetével csökken, fontos az adott bolygónak az energiát szolgáltató égitesttől való távolsága is. Ez az energiát szolgáltató égitest esetünkben a Nap.

A bioszféra alsó határát különböző szerzők különböző értéknagyságokkal adják meg. A bioszféra határait mind vízszintes irányban, mind pedig függőleges irányban az szabja meg, hogy az életfeltételek hogyan alakulnak. Ahol valamilyen életfeltétel megszűnik, vagy meghaladja az élet szempontjából elviselhető maximumot, ott húzhatók meg a bioszféra határai. Ez nem egyszerű feladat, mert a nagyszámú élőlény között gyakran számolni lehet olyan fajokkal, amelyek képesek élettevékenységet folytatni a legtöbb élőlény számára elviselhetetlen körülmények között is. Az életfeltételek időbeli változásai is nehezítik e feladat egyértelmű megoldását. Egyes élőlények kedvezőtlen körülmények között beszüntetik élettevékenységüket, majd az életkörülmények kedvezőre fordulása után – néha hosszabb idő után is (pl. hosszabb hideg vagy száraz időszakok után) – újra folytatják a megszakított életműködést.

A függőleges irányú kiterjedés felső határát általában 5000 m körül szokták meghúzni. Bár egyes spórák és baktériumok ennél nagyobb magasságokban is előfordulhatnak. Az alsó határ másképpen alakul a szilárd talajban és a tengerben. Az előző kiemelkedő jelentősége abban áll, hogy a szárazföldi élet hordozója. A talajba kapaszkodnak gyökereikkel a növények, a talajon él az állatok jelentős része, a madarak és egyes tengeri állatok számára pihenőhelyül szolgál, s itt hozzák világra az utódaikat is, a rovarok nagy többsége pedig a talajban él számos egyéb apró élőlényrel együtt. Az élet a talajban főleg a felső néhány deciméterre koncentrálódik, bár egyes fák gyökerei lenyúlhatnak 10 m mélységig is. A barlanglakó élőlények pedig nagyobb mélységekben is megtalálhatók, a kőolaj baktériumok még 1000 m alatt is tudnak élni.

A tengerben is a felső néhány 10 m-es rétegig található az élőlények zöme, mert ide jut el a napsugárzás. A mélyebben fekvő tengerfenéken – úgy átlagosan 4000 m körül – ismét van egy olyan réteg, amelyben élőlények élnek. Ezek a felszíni rétegekben élők aláhulló tetemeit használják táplálékkul.

Azt mondhatjuk tehát, hogy a bioszféra mintegy 10 km vastagságú. Ebben a rétegben található olyan életfeltételek, amelyekhez az élőlények különböző fajtái alkalmazkodni tudtak, s itt él a Földet benépesítő élővilág majdnem teljes egésze.

A vízszintes irányú kiterjedést úgy lehetne röviden jellemezni, hogy a bioszféra betölti az egész földfelszínt. Kétségtelen, hogy a hideg sarkvidék vagy a száraz sivatagok belseje felé haladva egyre gyérül az élet, de valamilyen formája rendszerint megtalálható. A legdúsabb az élővilág a meleg és nedves trópusokon.

A bioszférának azt a részét, ahol az emberi tevékenység érvényesül nooszférának nevezzük. A technika fejlődésével a bioszféra egyre nagyobb része válik nooszférává.

2.3 Az éghajlat fogalma és értelmezése

A légkör állapotát a légköri állapotjelzők együttese alapján határozhatjuk meg. A légkör állapotjelzőit rendszeresen mérjük, de a légkör állapotait tapasztalati ismeretekre építve is jellemezhetjük. A légkör állapotáról alkotott véleményünket fejezzük ki olyan fogalmakkal, mint az idő, az időjárás. A mindennapi életben az időjárást rendszerint a légkör valamilyen kiemelt tulajdonsága alapján jellemezzük, pl. napos, borult, meleg, hűvös, esős stb. A mindennapi életben az időjárás fogalmához hasonlóan rendszeresen használjuk az éghajlat fogalmát is. Ezen általában azt szokták érteni, hogy egy adott helyen hosszabb időszakot figyelembe véve mi jellemzi a légkör állapotát. Vagyis az év milyen hosszú időszakában lehet megre vagy hidegre, csapadékra vagy szárazságra számítani, vannak-e fagyok, télen van-e hótakaró stb. Az éghajlat szubjektív jellemzése ezért összetettebb módon történik, mint az időjárásé: meleg–nedves, meleg–száraz, meleg–száraz–szeles, hideg–havas–borult stb.

A meteorológia fejlődése során az időjárás és az éghajlat fogalmát sokan és sokféleképpen definiálták. Különösen sokféle meghatározást találunk az éghajlat fogalmára vonatkozóan. Az eltérések elsősorban abból adódnak, hogy a különböző szakterületek képviselői - a meteorológusok, a geográfusok, a hidrológusok, az ökológusok - más-más oldalról közelítik meg a problémát.

Eltérések mutatkoznak a szakterület művelői, a meteorológusok által megadott fogalom-meghatározásokban is. Ennek főbb okai a kö vetkezők lehetnek.

(a) A szakkikkek és szakkönyvek túlnyomó többségét a főbb világnyelveken írták meg. S az egyes nyelvterületek különböző természeti sajátosságainak és tudománybeli hagyományainak hatására a fogalmak különbözőképpen alakultak ki.

(b) A meteorológiai kutatások intenzívebbé válásával a kutatók mind kisebb (mezo-, lokál-, mikroméretű) térségek meteorológiai viszonyait kezdték vizsgálni, s ennek megfelelően változott a szemléletmód. S ez is éreztette a hatását a korábbi fogalmak újbóli megfogalmazásánál.

(c) Az új adatelemzési és kutatási módszerek hatására ugyancsak szemléletmódbeli változások következtek be. Emiatt még erőteljesebben felvetődött egyes fogalmak újratelmezésének gondolata.

Az egyes meghatározások rövidegük és tömörségük folytán azonban csak gyors, átfogó képet adhatnak az időjárásról és az éghajlatról, s nem jelentik az adott jelenségek mindenre kiterjedő, örök időre szóló megadását. A meteorológiai tudomány fejlődésével az e fogalmakról alkotott kép is átalakulhat, változhat.

Fizikai értelmezés. Az éghajlat fogalmának meghatározásánál a legnagyobb figyelmet az éghajlat értelmezésére kell fordítani, mert az értelmezésből következik, hogyan alkothatunk róla fogalmat és numerikusan hogyan tudjuk jellemezni.

(1) Az éghajlat értelmezésénél az első kérdés, amire válaszolni kell, hogy létezik-e a valóságban az éghajlat, s ha létezik a valóságnak mely része az.

A kérdésre adandó válaszban abból indulunk ki, hogy létezik a légkör, amely egy adott időpontban meghatározott fizikai állapotban van. Az egymásra következő időpontokban különböző fizikai állapotok folyamatosan váltogatják egymást. Ezekből az egymásután bekövetkező állapotokból már a légkörben lezajló folyamatok is felismerhetők, s az eltérő gyakorisággal előforduló állapotok is jól elkülöníthetők. A légkör állapotát tehát - mint ténylegesen létezőt - akár rövidebb, akár hosszabb időszakra vonatkozóan jellemezhetjük. Amikor a légkört folyamatosan változó állapotai alapján egy rövidebb időszakra akarjuk jellemezni, akkor időjárásról beszélünk, ha hosszabb időszakra vonatkozó jellemzést akarunk róla adni, akkor pedig éghajlatról. A magyar nyelvben meg szoktuk még különböztetni az idő fogalmát is, amely nyilvánvalóan a légkör egy adott időpontban létező állapotát jelenti.

Más kérdés azonban az, hogy az általunk megadott jellemzés mennyire felel meg a valóságos helyzetnek? Nyilvánvaló, hogy a valóság minden részletében teljesen pontos leírása sohasem adható meg. De hát így van ez az egzakt tudományok mintaképeként tekintett fizikában is, amely a valóság teljesen hű és pontos leírását ugyancsak nem képes megadni. Ezért mondta joggal Russel angol matematikus-filozófus (cit. Biswas 1980): Bár ellentmondásnak tűnhet, minden egzakt tudományban a közelítés eszméje van túlsúlyban. ("Although this may seem a paradox, all exact science is dominated by the idea of approximation.")

A légkör tehát a maga állapotaival és folyamataival ténylegesen létező, ezért rövidebb vagy hosszabb időszakokra vonatkozóan egyaránt jellemezhető, a feladat pedig az, hogy minél jobb közelítéssel próbáljuk meghatározni.

(2) Ha elfogadjuk a közelítés eszméjét, akkor a következő kérdés: melyek azok a legfontosabb tényezők, amelyek a légkör állapotát és a benne lejátszódó folyamatokat meghatározzák?

A válasz ismeretes: a napsugárzás, a sugárzást felfogó felszínnek és a légáramlások (földi méretekben az általános cirkuláció). Közülük kettő a légkör környezetéhez tartozik. Ez azt mutatja, hogy a környezet fontos szerepet játszik a légkör állapotának alakításában. Mivel a felszínre érkező sugárzásmennyiség függ a sugárzás beesési szögétől és időtartamától (a nappalok hosszától), valamint a felfogó felszín fizikai tulajdonságaitól, a légkör állapotát erősen meghatározza a földrajzi hely. Ez igaz az egész Földre vonatkoztatva, de igaz a regionális, a lokális és a mikrotérségű viszonyokra is. Igaz abban az értelemben is, hogy a kisebb térségek környezeti viszonyai mindig a nagyobb térségek által meghatározott légköri állapotokat módosítják. Vagyis ahhoz, hogy megértsük egy hely éghajlatát, ismerni kell az adott hely tágabb és szűkebb értelemben vett környezeti viszonyait.

Így értelmezve az éghajlat és a környezete közötti kapcsolatot érthetővé válik a nagyobb területi egységeken belüli kisebb területek éghajlata és a nagyobb területek éghajlata közötti kapcsolat, illetve az azonos területi egységekhez tartozó éghajlatok közötti kapcsolat. Így például az is, hogy hazánk éghajlatában miért a maritim, a kontinentális és mediterrán klímahatások érvényesülnek, valamint az is, hogy adott makroklimán belül miért az adott lokál- vagy mikroklímák alakulnak ki.

Azt mondhatjuk tehát, hogy a légkör állapotát, annak időbeli egymásutánjait, s a benne lejátszódó folyamatokat, mindig egy adott földrajzi helyhez rögzítve, annak tágabb és szűkebb környezetét figyelembe véve kell jellemezni.

(3) Ha ezt elfogadjuk, akkor még arra a kérdésre is válaszolnunk kell, hogy a légköri állapotok hosszabb távú jellemzését milyen módon végezzük el?

Szokás az éghajlatot az időjárások összességének tekinteni. Ez esetben a probléma abban van, hogy az éghajlatot (illetve hosszabb időszakokra vonatkoztatva a légkör állapotát) nem csupán az jellemzi, hogy az adott időszakban milyen időjárások (légköri állapotok) fordultak elő, hanem meghatározó módon az is, hogy ezek hogyan kapcsolódnak egymáshoz. A légkör állapotainak egymásutánjait ugyanis nem valami ötletszerűség jellemzi, nem valami káosz, hanem mindig felismerhető benne valamilyen rendszer. Magyarország éghajlatában például előfordulhatnak olyan napok, amikor a maximum hőmérséklet 30 fok felett van, január hónapban azonban ez elképzelhetetlen. Tehát egyes légköri állapotokat, még az adott területen előforduló állapotok közül sem akármilyen más állapot követhet. Ezenkívül a napi és évi menet, valamint a sugárzás-, hő- és vízháztartási egyenletek által meghatározott törvényszerűségek is jellemzik. A légkör állapotát jellemző meteorológiai elemek egymáshoz kapcsolódásának rendjét természetesen számítani is lehet. Az éghajlat tehát rendszer.

Az éghajlat rendszer jellegű felfogása segíti az éghajlatok hierarchikus egymáshoz kapcsolódásának és azonos területi egységhez tartozó elemei egymáshoz kapcsolódásának megértését is.

A rendszer jelleggel értelmezhető egy fontos gyakorlati következmény is. Ha ennek a rendszernek valamely elemét befolyásoljuk - mivel a rendszer az elemeinek sajátos összekapcsolódásából jön létre, - akkor annak eredményeként más elemei is változni fognak. Erre alapozódik az a feltevés is, hogy az ipari termelés miatt megnövekedett légköri szén-dioxid mennyisége a légkör melegedéséhez vezet. Ugyanez történik, ha a mezőgazdasági termelés során valamilyen agrotechnikai eljárást alkalmazunk vagy módosítunk, akár azzal a céllal, hogy a termelés végeredményét befolyásoljuk (sor- és tőtávolság változtatása stb.), akár azért, hogy egy környezeti tényezőt befolyásoljunk (pl. öntözéssel), mindig számolnunk kell a befolyásolt tényezőkhöz kapcsolódó egyéb tényezők változásával is.

Ezenkívül nyilvánvaló elvileg az is, hogy amíg a rendszerben lejátszódó változások nem érintik a rendszer strukturáját, addig éghajlati változékonyságról beszélünk, ha a változások következményeként a rendszer struktúrája is megváltozik, akkor éghajlatváltozásról beszélünk.

Az éghajlat fizikai értelmezése alapján tehát azt mondhatjuk, hogy *az éghajlat egy adott helyen hosszabb időszak alatt a környezetével állandó kölcsönhatásban lévő légkör egymáshoz kapcsolódó tulajdonságainak és folyamatainak a rendszere* (Varga-Haszonits 1977).

A fizikai értelmezés a meteorológia mezőgazdasági alkalmazása során is könnyebben áttekinthetővé és érthetővé teszi azokat a folyamatokat, amelynek során a légkör a mezőgazdasági termelésre gyakorolt hatását kifejti.

Az időbeli és térbeli határok. Meg kell említeni azt is, hogy két olyan probléma van, amit nagyon nehéz megfelelő módon megoldani. Ezek a következők:

(1) Nem adható megfelelő válasz arra, hogy mit értünk rövidebb időszakon, vagy hosszabb időszakon.

Mivel a légkörben az állapotváltozások folyamatosan mennek végbe, bármilyen hosszúságú időszak kiválasztható állapotának a jellemzésére. Csak meg kell mondani, hogy a jellemzés milyen hosszú időszakot fog át. Arra vonatkozóan azonban nem lehet objektív kritériumot megadni, hogy milyen időtartamig nevezzük a folyamatot időjárásnak, azontúl pedig éghajlatnak.

Ezért a félreértések elkerülése végett mindig célszerű megadni, hogy a vizsgálat milyen hosszúságú időszakra vonatkozik, akár időjárásról beszélünk, akár éghajlatról.

(2) A másik nehézséget a térbeli határok megadása jelenti.

Nagyon nehéz megadni azt, hogy az éghajlat a légkör milyen térben körülhatárolható részére vonatkozik, mert a fölfelszínen haladva a különböző éghajlatok fokozatosan mennek át egymásba, a magassággal felfelé haladva pedig csak azokat a jelenségeket szokás az időjáráshoz és az éghajlathoz számítani, amelyek a földfelszínen éreztetik a hatásukat.

Ennek megfelelően a légkörnek az a része, amelyre az adott éghajlatot jellemzőnek tartjuk, csak gyakorlati szempontok alapján különíthető el. Ezért többnyire egy adott területet szoktak kiválasztani (Föld, kontinens, ország stb.), s azt szokták éghajlati szempontból jellemezni. Így az adott területen - különösen ha az két vagy több éghajlati zóna találkozási területén van - felismerhető a területi változékonyság, s a különböző éghajlatok közötti átmenet.

Az éghajlat és környezete. Meg kell adni azokat a határokat is, amelyeken belül a környezet értelmezhető. Először az éghajlat és a környezete közötti határt kell megadni. Ha az éghajlatot a légkörre vonatkoztatjuk, akkor a légkört a környezetétől elválasztó határoknak a különböző "halmazállapotú" felszínek (szilárd talaj, víz, növény stb.) tekinthetők. Ez számos bizonytalansági tényezőt rejt magában, gyakorlati célokra azonban viszonylag jól megadható. Természetesen meg kell még adni azt is, hogy az adott dologtól távolodva meddig terjed a környezet. Ez még nehezebb feladat. Általában azt szokták távolabbi környezethatárnak tekinteni, ameddig az adott dolog és környezete közötti kölcsönhatások terjednek. Ilyen módon lényegében a hatókörnyezet fogható fel. Vagyis a földfelszínen egy rovar nem tartozik az adott

éghajlati környezethez, mert nincs hatással rá, míg a 150 millió kilométerre lévő Nap igen, mert az szolgáltatja a légköri folyamatokhoz szükséges energiát.

A környezet határait tehát nehéz megadni. Mégis túlzónak tűnik az a nemzetközi szakirodalomban markánsnak mutató irány, amely az éghajlat fogalmába belefoglalja a környezetet is. Vagy méginkább: összemossa az éghajlat és a környezet fogalmát. Ily módon természetesen a határok megadásának problémáját csak megkerüli és nem megoldja. Ha azonban az éghajlat a légkörön kívül magában foglalja a litoszférát, a hidroszférát, a krioszférát és bioszférát, akkor azt kell kérdezni, hogy az éghajlatnak nincs földi környezete? Az éghajlat környezete a bolygóközi tér?

Felmerülhet az a kérdés is, hogy ha az említett földi szférák beletartoznak az éghajlat fogalmába, s ezeknek mindenütt jelen kell lenniök, ahol éghajlatról beszélünk, akkor csak a Földnek lehet éghajlata, egyes területeknek nem. Pl. a krioszféra hiánya miatt nem lehetne trópusi éghajlatról beszélni. Ha pedig nem kötjük ki, hogy minden szférának jelen kell lennie, akkor ugyanoda jutottunk, ahol voltunk, vagyis az éghajlatot az adott hely környezete határozza meg, s nem a földi szférák együttese.

Nyilvánvaló az is, hogy a légkör nem az egyes szférák minden alkotóelemével van kapcsolatban, hanem csak azok egy részével. Ez esetben az egész szféra megnevezése a kapcsolat szempontjából egyrészt félrevezető, mert a légkör nem az egész szférával van kapcsolatban, másrészt semmitmondó, mert a szféra megnevezése után sincs fogalmunk arról, hogy tulajdonképpen mivel van szoros kapcsolata.

Helyesebb ezért *a környezetet úgy tekinteni, hogy az egy adott helyen az éghajlattal kölcsönhatásban lévő külső tényezők rendszere.*

Az éghajlat alapvető jellemzői. Az eddig elmondottakat összefoglalhatjuk néhány fontosabb megállapításban, amelyek a következők:

(1) Az időjárás és az éghajlat a ténylegesen létező légkör egy meghatározott időtartam alatt előforduló állapotait jellemző fogalom.

(2) Az éghajlat nyílt rendszer, amely a tágabb és szűkebb környezetével állandó kölcsönhatásban van. Ennek megfelelően idő- és térbeli változékonyság jellemzi.

(3) Rendszerjellegéből következik, hogy valamely elemére gyakorolt egyirányú hatás a többi elem módosulását is maga után vonja. Ha ennek hatására a rendszer struktúrája is módosul éghajlatváltozásról beszélünk.

Az éghajlat meghatározásánál a fizikai értelmezés az alapvető, mert minden dologról először azt kell tudnunk, hogy létezik-e, s ha igen, akkor a valóságnak mely része. Csak azután lehet leírni, csak azután lehet numerikusan jellemezni, csak azután lehet modellezni. Ezért az éghajlat fizikai értelmezése nem az egyik lehetséges értelmezés, hanem az alapvető értelmezés, amelyre minden éghajlatmeghatározásnak figyelemmel kell lenni, ha nem akar a valóságtól eltérni.

Kérdések

1. Mi a feltétele annak, hogy egy bolygónak légköre legyen?
2. Melyek a légkör azon tulajdonságai, amelyek egyúttal az élet feltételeit is jelentik?
3. Melyek a bioszféra főbb jellemzői?
4. Hogyan jellemezhetjük az éghajlatot?
5. Mi az éghajlat?
6. Melyek az éghajlat főbb jellemzői?