



АКАДЕМИЈА СТРУКОВНИХ СТУДИЈА ШАБАЦ

ЕКОЛОГИЈА

І ДЕО ЖИВОТНА СРЕДИНА

УЏБЕНИК

Милан Глишић
Сузана Кнежевић

ШАБАЦ, 2025.

АКАДЕМИЈА СТРУКОВНИХ СТУДИЈА ШАБАЦ



Уџбеник Академије струковних студија Шабач

Милан Глишић
Сузана Кнежевић

ЕКОЛОГИЈА

I део

ЖИВОТНА СРЕДИНА

Шабач, 2025.

Аутори
Др Милан Глишић
Др Сузана Кнежевић

Наслов:
ЕКОЛОГИЈА I ДЕО: ЖИВОТНА СРЕДИНА
Основни уџбеник
- Прво издање, електронска публикација -

Главни и одговорни уредник:
Др Светлана Карић

Издавач:
Академија струковних студија Шабац

За издавача:
Др Светлана Карић

Рецензенти:
Др Ксенија Јаковљевић, виши научни сарадник
Др Бојан Дамњановић, професор струковних студија

Лектор:
Мср Бојана Симић, професор српске књижевности и језика

Техничка обрада:
Др Милан Глишић

Дизајн корица:
Мср Стефан Марковић, инжењер пољопривреде

Аутор насловне фотографије („Тара и Дрина“):
Др Милан Глишић

Основни уџбеник Академије струковних студија Шабац, одобрен за употребу и објављивање Одлуком Наставно-стручног већа Академије број 01/10/2-57/2025 од 28.05.2025. године.

Шабац, 2025. године

Сва права задржавају аутори и издавач. Забрањено је неовлашћено умножавање и репродуковање текста у целини, делова текста, фотографија и слика.

ISBN 978-86-82858-07-2

САДРЖАЈ

ПРЕДГОВОР	1
1. УВОД У ЕКОЛОГИЈУ	3
1.1. ДЕФИНИЦИЈА, ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА И ЗНАЧАЈ ЕКОЛОГИЈЕ	3
1.2. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ У ЕКОЛОГИЈИ.....	6
1.2.1. Животна средина	6
1.2.2. Нивои организације биолошких и еколошких система.....	8
1.2.3. Биотоп и животно станиште.....	11
1.3. ПОДЕЛА ЕКОЛОГИЈЕ.....	12
1.4. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ ЕКОЛОГИЈЕ	17
1.4.1. Развој екологије у свету.....	17
1.4.2. Развој екологије у Србији и Југославији.....	24
1.4.3. Развој екологије у будућности	26
2. МАТЕРИЈА И ЕНЕРГИЈА.....	29
2.1. МАТЕРИЈА	29
2.1.1. Појам материје.....	30
2.1.2. Састав материје	30
2.1.3. Агрегатна стања материје.....	34
2.1.4. Закони о очувању материје и масе	36
2.1.5. Својства материје	37
2.2. ФИЗИЧКА ПОЉА.....	39
2.3. ЕНЕРГИЈА	40
2.3.1. Појам енергије	41
2.3.2. Потенцијална и кинетичка енергија	42
2.3.3. Механичка енергија	43
2.3.4. Топлотна енергија	44
2.3.5. Хемијска енергија.....	48
2.3.6. Енергија зрачења	49
2.3.7. Електрична енергија.....	54
2.3.8. Енергија звука.....	55
2.3.9. Закон о очувању енергије	57
3. ПЛАНЕТА ЗЕМЉА.....	61
3.1. ОБЛИК И ДИМЕНЗИЈЕ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ	61
3.2. ПОЛОЖАЈ И КРЕТАЊЕ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ	64
3.3. ГРАВИТАЦИЈА ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ.....	65
3.4. МАГНЕТИЗАМ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ	66
3.5. САСТАВ И СТРУКТУРА ЗЕМЉИНЕ УНУТРАШЊОСТИ	67
4. ЛИТОСФЕРА	69
4.1. САСТАВ ЛИТОСФЕРЕ.....	69
4.1.1. Минерали	70
4.1.2. Стене.....	73
4.1.3. Значај састава стена за живи свет	77
4.2. ТИПОВИ ЛИТОСФЕРЕ	77
4.3. ТЕКТОНСКЕ ПЛОЧЕ.....	78
4.4. РЕЉЕФ	79

4.4.1.	Геоморфолошки фактори	79
4.4.2.	Геоморфолошки процеси.....	81
4.4.3.	Карактеристике рељефа од значаја за жива бића.....	92
5.	ПЕДОСФЕРА.....	97
5.1.	САСТАВ ЗЕМЉИШТА	98
5.2.	ФИЗИЧКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА.....	98
5.2.1.	Текстура земљишта.....	98
5.2.2.	Структура земљишта	99
5.2.3.	Порозност земљишта	99
5.2.4.	Водна својства земљишта.....	100
5.2.5.	Ваздушна својства земљишта	104
5.2.6.	Топлотна својства земљишта	105
5.3.	ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА	107
5.3.1.	Хемијски састав земљишта	107
5.3.2.	Реакција земљишта	112
5.4.	БИОЛОШКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА	113
5.5.	ПЕДОГЕНЕЗА	116
5.5.1.	Процес настанка и развоја земљишта	116
5.5.2.	Педогенетски фактори	118
5.6.	ЗЕМЉИШНИ ХОРИЗОНТИ.....	123
5.7.	КЛАСИФИКАЦИЈА ЗЕМЉИШТА	124
5.7.1.	Аутоморфна земљишта.....	126
5.7.2.	Хидроморфна земљишта	131
5.7.3.	Халоморфна земљишта.....	133
5.7.4.	Субаквална земљишта	134
6.	ХИДРОСФЕРА.....	137
6.1.	ВОДА И ЊЕНА СВОЈСТВА.....	137
6.1.1.	Структура молекула воде	138
6.1.2.	Агрегатна стања воде.....	138
6.1.3.	Вода као растварач.....	141
6.1.4.	Хемијски састав природних вода.....	142
6.1.5.	Реакција воде	143
6.1.6.	Електрична својства воде	144
6.1.7.	Оптичка својства воде.....	144
6.1.8.	Топлотна својства воде.....	145
6.2.	ДИСТРИБУЦИЈА ВОДЕ НА ЗЕМЉИ.....	146
6.3.	СВЕТСКО МОРЕ	146
6.3.1.	Океани	147
6.3.2.	Мора.....	147
6.3.3.	Дно Светског мора	148
6.3.4.	Својства морске воде	148
6.3.5.	Кретање морске воде.....	152
6.4.	ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ	153
6.4.1.	Својства подземних вода	153
6.4.2.	Издани	154
6.4.3.	Извори	155
6.5.	РЕКЕ	156
6.5.1.	Својства речне воде.....	157
6.5.2.	Речни ток.....	159
6.5.3.	Речно корито и речна долина	162

6.5.4.	Речни систем, речна мрежа и речни слив	163
6.5.5.	Водни режим река	164
6.6.	СТАЈАЋЕ КОПНЕНЕ ВОДЕ	167
6.6.1.	Настанак језера	167
6.6.2.	Језерски басен.....	173
6.6.3.	Својства језерске воде.....	174
6.6.4.	Стратификација и циркулација језерске воде	177
6.6.5.	Водни режим језера.....	179
6.6.6.	Баре, локве и ритови	181
7.	АТМОСФЕРА.....	185
7.1.	САСТАВ АТМОСФЕРЕ	186
7.2.	СТРУКТУРА АТМОСФЕРЕ	187
7.2.1.	Тропосфера	187
7.2.2.	Стратосфера	188
7.2.3.	Мезосфера	189
7.2.4.	Термосфера	189
7.2.5.	Егзосфера	190
7.3.	ФИЗИЧКА СВОЈСТВА АТМОСФЕРЕ.....	190
7.4.	ВРЕМЕ И КЛИМА	191
7.4.1.	Сунчево зрачење.....	192
7.4.2.	Температура ваздуха.....	195
7.4.3.	Влажност ваздуха	199
7.4.4.	Падавине	200
7.4.5.	Ветар.....	201
7.4.6.	Климатски типови	203
ЛИТЕРАТУРА	207	
ЛИТЕРАТУРА НА СРПСКОМ ЈЕЗИКУ	207	
ЛИТЕРАТУРА НА СТРАНИМ ЈЕЗИЦИМА.....	208	
ИНДЕКСИ	210	
ИНДЕКС ПОЈМОВА.....	210	
ИНДЕКС ИМЕНА	216	
ПОПИС СЛИКА.....	217	

ПРЕДГОВОР

Екологија је једна од најзначајнијих наука савременог доба јер нам омогућава да разумемо односе између живих бића и њихове околине, као и утицај човека на природне системе. Са све већим изазовима у очувању животне средине, познавање екологије постаје неопходно не само за стручњаке у овој области, већ и за сваког појединца који тежи одрживом начину живота.

Овај уџбеник је првенствено намењен студентима Академије струковних студија Шабац који похађају предмете Екологија и Основи заштите животне средине, али и свима који желе да стекну основна знања из ових области. У њему су обрађене теме које чине основу разумевања животне средине. Савладавањем градива овог уџбеника стиче се основа за даље проучавање еколошких процеса, утицаја еколошких фактора на организам, као и интеграција еколошких система. Овај уџбеник представља први у низу уџбеника из екологије, а његова улога је да припреми студенте и читаоце за лакше разумевања односа живих бића и животне средине.

Градиво уџбеника подељено је на седам поглавља: Увод у екологију, Материја и енергија, Планета Земља, Литосфера, Педосфера, Хидросфера и Атмосфера. На почетку сваког наведеног поглавља наведен је његов циљ и резиме. У оквиру сваког поглавља налазе се издвојени одељци са занимљивостима, како би се читаоцима природа представила онаквом каква заиста јесте – чудесна, док се на крају сваког поглавља налазе питања, како би студенти могли да провере своје знање и разумевање градива.

Надамо се да ће ова књига бити користан извор знања и инспирација за даље изучавање екологије, као и подстицај за одговорно и еколошки свесно понашање.

Аутори

1. УВОД У ЕКОЛОГИЈУ

Циљ: упознавање с дефиницијама, предметом истраживања, значајем екологије и са основним појмовима у екологији. Циљ је пружити увид у историјски развој екологије. Савладавањем овог градива, стиче се предзнање неопходно за разумевање основних еколошких феномена и принципа.

Резиме: Екологија је научна дисциплина која је кроз историју имала дуг и постепен развојни пут, за који се може рећи да је отпочео још у античко доба. До значајнијег напретка ове науке долази тек током 18. и 19. века, захваљујући Левенхуку, Линеу, Дарвину, Воласу и другим научницима и природњацима, док је Хекел био први који је овој научној дисциплини дао име „екологија”. Током 20. века, са напретком технологије и све већим глобалним изазовима као што су загађење и климатске промене, екологија се развила у комплексну дисциплину од суштинског значаја за опстанак живих бића, укључујући и човека, на планети Земљи која проучава узајамне односе живих бића и њиховог окружења. Предмет истраживања екологије су у исто време жива бића и животна средина, која се састоји од живе и неживе компоненте. Сваки живи систем који интерагује са животном средином назива се еколошким системом. Еколошки системи су организовани у следеће нивое: јединка, популација, биоценоза, екосистем, предео, биом и биосфера. Екологија се може поделити на различите начине у зависности од групе живих бића које проучава, нивоа организације еколошких система којима се бави, према просторној размери, типу животне средине или станишта, намени коју има итд.

1.1. ДЕФИНИЦИЈА, ПРЕДМЕТ ИСТРАЖИВАЊА И ЗНАЧАЈ ЕКОЛОГИЈЕ

Дефиниција. Екологија се најједноставније може дефинисати као **научна дисциплина која проучава узајамне односе живих бића и њиховог окружења**. Пошто је формирана у оквиру биологије, пре више од сто година, екологија се традиционално означава као „биолошка дисциплина”. Екологија је данас достигла ниво *интердисциплинарне науке*, јер укључује и остале природне науке, које се не баве проучавањем само живих бића. Наравно, екологија се са једне стране у великој мери ослања на класичну биологију и на знања до којих се дошло из те области, али са друге стране је у тесној вези са геонаукама (наукама о Земљи: хемија, физика, геологија, хидрологија, метеорологија, климатологија, географија итд.), односно наукама које проучавају неживу природу, која у великој мери чини окружење живих бића, односно животну средину. Због тога се на територији енглеског говорног подручја екологија истовремено сврстава и у науке о животу (енг. *life sciences*) и у науке о Земљи (енг. *Earth sciences*).

Реч „екологија” сковао је почетком XIX века немачки зоолог Ернст Хекел (*Ernst Heinrich Philipp August Haeckel*, 1834–1919) и назвао ју је „економијом природе”. Сам термин потиче од грчких речи *οἶκος* (*oîkos*), што значи „кућа” или „дом”, и *λογία* (*lógia*), што значи „наука” или „проучавање”. Дословним преводом, екологија представља проучавање организама „код куће”, односно у свом окружењу. С обзиром да је био зоолог, Хекел је екологију дефинисао као „науку о односима животиња према околној органској и неорганској средини, као и према другим животињама”. Касније је ова дефиниција проширена на биљке, као и на сва остала жива бића.

Поред већ поменуте, најједноставније дефиниције, екологија се може дефинисати на другачије начине. Према једној од дефиниција, екологија се бави процесима који утичу на распрострањеност и бројност организама, интеракцијама између организама, трансформацијама и прометом енергије и материје. Екологија се може сматрати науком о историји природе, науком о томе како организми живе и зашто живе тако како живе, односно науком намењеној разумевању основних принципа функционисања природних система. С обзиром да се савремена екологија заснива на Дарвиновим принципима природне селекције и борбе за опстанак, може се дефинисати као наука о манифестацијама борбе за опстанак или као наука о притисцима селекције и резултатима претходних селекција.

Према једној од врло једноставних, али и најсвеобухватнијих дефиниција, екологија је *студија о структури и функцији природе*. Природа постоји као интегрална целина, односно, физички, хемијски, геоморфолошки, биолошки и остали природни процеси се међусобно преплићу и не одвијају се независно једни од других. Док остале природне науке проучавају природу подељену по областима између којих постоје само арбитрарне границе, савремена екологија настоји да проучава природу као недељиву целину. Имајући све ово у виду, не изненађује да неки научници екологију сматрају најкомплекснијом и најсложенијом природном науком, наднауком или филозофијом природе.

Предмет истраживања. Као што се види из класичне дефиниције екологије, централни предмет њеног истраживања је *однос* између живих бића и њиховог окружења. Предмет екологије, као делом и биолошке дисциплине, свакако јесу сама жива бића, а са друге стране и спољашња средина (животна средина, животна околина, окружење, енг. *environment*).

За проучавање еколошких проблема неопходно је добро познавање биолошких карактеристика живих бића – њихове структуре, функције, адаптација, еволуције, развића, понашања итд. Екологија се бави пручавањем живих бића на различитим нивоима организације, а не само на нивоу организма, односно јединке. Жива бића у природи не живе изоловано од осталих живих бића – она заједно формирају специфичне еколошке системе, ступајући у различите интеракције са осталим јединкама своје врсте (популације) и са јединкама других врста (животне заједнице).

Како окружење живих бића представља у великој мери нежива природа, тј. **абиоген (абиотичка компонента)**, то значи да је за разумевање екологије неопходно познавати и њене карактеристике – температуру, светлост, влажност, хемизам средине итд. Не сме се испустити из вида да окружење једног живог организма не чини само нежива природа. Жива бића ступају у најразличитије интеракције са другим живим бићима. Ова жива компонента животне средине назива се **биоген (биотичка компонента)**.

Односи који постоје између биогена и абиогена су од суштинског значаја за целовитост и функционалност природе на планети Земљи. Ови односи се свде на утицаје које живи организми и абиотичка средина имају једни на друге, а који могу

бити различите природе – узајамни или једнострани, позитивни или негативни, стални или повремени. У зависности од смера деловања, ови утицаји се могу поделити у три групе: **акције** – утицаји неживе природе на биоген, **реакције** – утицаји живих бића на неживу природу, и **коакције** – међусобни утицаји између живих бића. **Екосистем**, односно јединство живе и неживе природе представља основну јединицу проучавања у екологији. Овим појмом су обухваћене све компоненте природе, као и сви процеси који се у њој одвијају, а у којима жива бића играју незаменљиву улогу.

Значај. Екологија је данас достигла ниво интердисциплинарне науке од највећег значаја. То је било могуће зато што се законитости у природи, које ова наука изучава, могу препознати у свакодневним и многобројним животним околностима. У данашње време познавање принципа екологије омогућује људима разумевање животне реалности и служи као путоказ којим се може обезбедити опстанак и даљи развој живог света (укључујући и човека) на Земљи.

Имајући у виду данашњи ступањ технолошког развоја, као и незаустављив раст људске популације, животна средина у великој мери трпи измене свог изворног стања. Загађивање ваздуха, воде и земљишта, затим угрожавање опстанка великог броја врста биљака и животиња, путем њиховог директног нерационалног коришћења или уништавањем њиховог природног станишта постају све израженији са „напретком” људске цивилизације. Све ово се одражава на самог човека, који је, иако то у данашње време не делује тако, у великој зависности од природе. Природа се не може сматрати непотрошивом и неограниченом. Она има свој одређени капацитет. Одавно је постало јасно да човек не може неконтролисано изловљавати популације дивљих животиња, а да се то не одрази негативно на будуће генерације, које зависе од тог ресурса. Сав отпад који човек производи се не може без последица неограничено одлагати у природу. Екологија као наука која проучава основне природне механизме и законитости представља основу за данас све значајнију научну дисциплину – *заштиту животне средине*, са којом се често погрешно поистовећује.

ПОГРЕШНА УПОТРЕБА И ЗЛОУПОТРЕБА ТЕРМИНА „ЕКОЛОГИЈА”

Последњих двадесетак година сведоци смо тога да готово свакодневно у медијима и неформалним разговорима можемо чути речи „екологија” и „еколошки”, те се може учинити да је ова наука постала изузетно популарна. У овом периоду је дошло до масовне појаве погрешног поимања екологије, јер је поистовећена са заштитом животне средине. Тако се често могу чути потпуно погрешни изрази као што је „брига о екологији”, при чему се не ради о брзи за науку, већ се мисли на бригу о животној средини. Активисти који се баве заштитом животне средине проглашавају се „екологима” иако се можда никада нису бавили научним радом нити су завршили студије екологије, а за особе које су свесне проблема у животној средини и теже ка томе да измене своје обрасце понашања у циљу смањења стварања отпада или потрошње ресурса, често кажемо да су „еколошки освешћене” што нема никаквог смисла уколико се држимо изворне дефиниције екологије. Ово је донекле и разумљиво, с обзиром на изазове са којима се човечанство данас суочава („еколошки проблеми” и „еколошка криза”), као и на реалну повезаност (али не и истоветност) екологије и заштите животне средине. У српском језику не постоји адекватан превод енглеске речи „*environmental*”, тј. не постоји придев који се може извести из синтагме „животна средина” или „заштита животне средине”, те се термин „еколошки” најчешће погрешно користи као замена. Проблем погрешне употребе термина „екологија” и „еколошки” постоји и у другим земљама, рачунајући и земље енглеског говорног подручја. Сама погрешна употреба речи „еколошки” у значењу „*environmental*” у свакодневном говору можда не би представљала

проблем да се ови термини некада не злоупотребљавају у маркетиншке сврхе – придев „еколошки” или само префикс „еко-” користе се како би се привукли купци одређених производа. Људи све чешће производ, који је означен као „еколошки”, доживљавају као нешто што је добро како за животну средину тако и за њих саме и долази до поистовећивања речи „еколошки” и „здро” или „безбедно”.

Са заштитом животне средине тесно је повезан **одрживи развој** под којим се подразумева такав развој друштва, који расположивим ресурсима задовољава људске потребе неугрожавајући природне системе и животну средину. Тиме се осигурава дугорочно постојање људског друштва и његовог окружења. Концепт одрживог развоја се може разложити у три основне и међусобно зависне димензије: еколошка, економска и социјална одрживост. Екологија као наука нам указује на то до које мере можемо и смемо експлоатисати природна богатства, а да се то не одрази на будуће генерације. Еколози познају законитости по којима функционишу природни системи, могућности и брзину обнављања природних популација. Планирање одрживог развоја на било ком нивоу не може бити у потпуности успешно без укључивања стручњака из сфере еколошких наука.

1.2. ОСНОВНИ ПОЈМОВИ У ЕКОЛОГИЈИ

1.2.1. Животна средина

Свако живо биће је отворен систем, што значи да са околном средином размењује материју и енергију. Живот свих организама одвија се у њиховој спољашњој средини, односно у одређеном физичком простору, за који су нераскидиво везани. Тај простор, који представља део Земљине површине са одговарајућим ваздушним омотачем има своје специфичне физичке, хемијске, геоморфолошке и биолошке карактеристике, које се разликују од карактеристика простора неког другог места на планети.

Под животном средином подразумева се **абиотичко и биотичко окружење живих бића које укључује све факторе који утичу на њихово преживљавање, развиће и еволуцију**. Спољашња средина представља комплекс свих утицаја који потичу како од неживе, тако и од живе природе. Ови утицаји се називају **еколошки фактори** и могу се поделити на абиотичке и биотичке, у зависности од које компоненте животне средине потичу – абиотичке (неживе) или биотичке (живе).

Абиотичка компонента животне средине представљена је свим физичким и хемијским *условима* који владају у природи, као што су температура ваздуха, воде или земљишта, интензитет светлости, ваздушна струјања, хемијска реакција средине итд. Овде подразумевамо све расположиве *ресурсе*, у виду воде или минералних материја, које организми могу потрошити. Абиотички фактори су међусобно условљени. Промена интензитета једног фактора, обично мења и карактеристике других фактора. Влажност земљишта зависи од његове температуре, која, с друге стране, зависи од интензитета сунчеве светлости која до њега допире.

Абиотичке карактеристике животне средине могу бити мање или више повољне за жива бића. Оно што је повољно за једну врсту, не мора бити повољно за друге. Свака врста је прилагођена одређеном распону вредности абиотичких фактора, тако да им је опстанак могућ унутар одређених граница. Овај опсег назива се **еколошка валенца**. Неке биљке расту у влажном или мочварном тлу, док неке друге живе у веома сушној средини. Која би се од ове две средине могла означити повољнијом? У влажној средини, биљкама често недостаје кисеоник, који је свим аеробним организмима неопходан за респирацију. Биљке сушних станишта морају да се изборе са малом количином воде у земљишту. Биљке сушних и влажних станишта имају посебне морфолошке или физиолошке карактеристике које им омогућавају да опстану у таквим срединама. Због тога је на питање „која је средина повољнија” немогуће одговорити уколико се у њега не уброји и конкретна врста на којој се то односи.

Абиотичка компонента, утиче на живе организме кроз процесе који се називају акцијама. Карактеристике абиотичког окружења су од примарног значаја за то да ли ће организам уопште моћи да живи у некој средини. Организми су адаптирани на живот у различитим условима. Кроз дуготрајне еволутивне процесе, у наследном материјалу живих бића задржавају се гени одговорни за особине које тим живим бићима дају могућност преживљавања у одређеној средини. Јединке које нису прилагођене кроз процес природне селекције, биће елиминисане и неће успети да оставе потомство.

Иако су жива бића прилагођена специфичним условима средине у којој живе, то не значи да им је опстанак у тој средини загарантован. Једна од основних одлика свих еколошких фактора је променљивост у времену. Интензитет светлости, температура и влажност се мењају на дневном, сезонском, годишњем или вишегодишњем нивоу. Вредности ових фактора се могу приближити границама толеранције појединих организама и тада ти организми трпе стрес. Поред адаптација, које представљају резултат дуготрајних еволутивних промена врста, организми се прилагођавају краткотрајним променама услова средине. Биљке у зависности од теренутне температуре ваздуха и влажности земљишта отварају или затварају стоме, чиме регулишу одавање воде из свог организма.

Абиотички фактори могу у великој мери бити измењени присуством и деловањем самих живих бића. Интензитет светлости који допире до приземног спрата у једном шумском екосистему зависиће од густине лишћа дрвенастих и жбунастих врста. Еколошки фактори као што су количина влажности, температура и брзина струјања ваздуха у шуми су обично знатно модификовани посредством биотичке компоненте, односно присуством дрвенастих врста. Хемијска реакција земљишта ће зависити од карактеристика опалих листова дрвећа које доминира у тој шуми. Ови процеси се називају реакцијама и супротног су смера деловања од акција.

Биотичку компоненту животног окружења сваке јединке чине сви живи организми са којима та јединка ступа у најразличитије односе, који могу бити непосредни или посредни. Ови односи могу бити позитивни или негативни. Све животиње су зависне од оних организама којима се хране, било да су то биљке или животиње друге врсте. Колико год да су абиотички услови живота повољни, организам не може опстати у тој средини уколико у њој нема довољно његове хране. Исти тај организам може истовремено представљати потенцијални извор хране припадницима неке друге врсте. Уколико две врсте имају потребе за истим стаништем или истим извором хране, између њих се јављају конкурентски односи, којима успешнија врста може потиснути мање успешну. Поред различитих врста, конкурентски однос се јавља и између јединки исте врсте.

Организми који припадају различитим врстама могу показивати узајамно позитивно дејство, односно помагати једна другој у борби за опстанак. Као најпознатији пример ове појаве може се навести однос инсеката опрашивача и биљака цветница. Инсекти се хране нектаром или поленом биљних цветова. Заузврат врше њихово опрашивање, односно посредују у размножавању тих биљака.

Док абиотички фактори као примарни одређују да ли ће неки организам уопште живети у одређеном окружењу, биотички фактори модификују начин на који ће тај организам живети и мењају fine детаље његове екологије. Абиотички фактори могу грубо одређивати бројност популација одређених врста, али фина регулација њихове бројности успоставиће се само кроз сложене биотичке интеракције, које постоје између организама унутар популације (интерспецифички односи, тј. односи између јединки исте врсте) и кроз интеракције између организама различитих врста (интерспецифички односи, као што су односи предатора и плена, паразита и домаћина итд.). Све ово указује на огроман значај биотичке компоненте животне средине за опстанак и успешност организама у њој и за одржавање стабилности еколошких система.

Поред тога што се жива бића еволутивним променама прилагођавају абиотичким условима спољашње средине, прилагођавају се и биотичким условима, односно једни другима. Овакав тип реципрочне еволуције назива се коеволуција, а сами односи који владају између живих бића представљају коакције.

Заштита животне средине. Човек је, као и све остале врсте живих бића, нераскидиво везан за животну средину. Његов опстанак, здравље и квалитет живота директно зависе од стања окружења у којем живи – од чистоће ваздуха који удише, исправности воде коју пије и квалитета хране коју конзумира. Савремени начин живота, интензивна индустријализација, урбанизација и прекомерна експлоатација природних ресурса довели су до значајног угрожавања животне средине. У последњим деценијама посвећује се све већа пажња њеној заштити, што подразумева спречавање загађења, смањење негативних утицаја људских активности и отклањање последица које су већ настале. При томе је важно нагласити да животну средину не чине само ваздух, вода и земљиште, већ и све живе врсте које насељавају нашу планету. Одржавање еколошке равнотеже и очување биодиверзитета¹ представљају кључне аспекте заштите животне средине, јер деградација природних станишта и изумирање врста могу имати далекосежне последице, не само на екосистеме већ и на самог човека. Свеобухватна заштита животне средине мора обухватити очување живог света.

1.2.2. Нивои организације биолошких и еколошких система

Скуп интегрисаних елемената, који функционишу као целина чини **систем**. Поред структуре, коју одређују елементи од којих је сачињен, систем се одликује и функционалношћу, која произилази из интеракција које постоје између његових структурних елемената. Поред физичких система (атомски систем, Сунчев систем итд.), у природи постоје и **биолошки системи**, као што су ћелијске органеле, ћелија, ткиво, орган, систем органа и организам. Све њих карактерише изванредан степен интегрисаности (целовитости). То се највише односи на ниво организма. Између поменутих биолошких система постоји хијерархијски однос, тј. сваки од њих се налази на одређеном нивоу организације. Концепт хијерархије који постоји у природи заснива

¹ Биодиверзитет представља свеукупну разноврсност живог света на Земљи или у оквиру одређеног простора, укључујући варијабилност унутар врста, између различитих врста и међу екосистемима.

се на принципима функционалне интеграције уз укључење додатних карактеристика са повећањем сложености система. Тако више ћелија чини ткиво, више различитих ткива изграђује органе који сачињавају одређени систем органа, а сви системи органа заједно чине организам, као највиши и најинтегрисанији биолошки систем. Сваки живи систем, који интерагује са животном средином, чини **еколошки систем**, тј. основни објект истраживања у екологији. Еколошки систем у исто време представља бактерија микроскопских димензија, која интерагује са својом средином, али и читава биосфера. Оно што је сваком еколошком систему заједничко јесте функционисање по истим универзалним еколошким принципима, који почивају на универзалним физичким, хемијским и биолошким принципима.

Нивои организације еколошких система, од најнижег ка највишем, су: јединка (организам), популација, биоценоза (животна заједница), екосистем (биогеоценоза), предео, биом и биосфера.

Организам или јединка представља систем са највишим степеном интеграције у живом свету и не може функционисати уколико му недостаје неки од система органа. Међу системима органа, органима, ткивима и ћелијама који изграђују један организам постоји веома висок ниво међусобне зависности, много виши него што је то случај код виших еколошких нивоа организације живог света. Границе једног организма су веома јасно одређене, за разлику од граница биоценозе или екосистема. Организам је у исто време највиши и најнижи биолошки ниво, тј. основни еколошки ниво организације живог света. Када се организам посматра као биолошки систем, у фокусу је његова грађа и начин функционисања. У екологији се организам посматра као део еколошког система, који је у интеракцији са својим окружењем. Његова грађа и начин функционисања се проучавају у контексту утицаја срединских фактора.

Иако термини „организам” и „јединка” суштински представљају синониме, они се користе у различитим контекстима. Када говоримо о унутрашњој грађи живих бића, о њиховој физиологији или о утицају еколошких фактора на њихове унутрашње процесе, користимо термин „организам” и притом ћемо имати у виду сву унутрашњу сложеност, којом се жива бића одликују. С друге стране, када говоримо о живим бићима као о члановима виших еколошких нивоа организације, користимо термин „јединка” или „индивидуа”. У том случају, није нам битна њихова унутрашња грађа, нити физиолошки процеси у њима. Утицај еколошких фактора на њих битан нам је само у смислу како се он одражава на више системе, чији су те јединке део (нпр. пад бројности популације изазван повећаном смртношћу услед дејства неког неповољног еколошког фактора).

Популација представља скуп јединки исте врсте које насељавају одређени простор у одређено време, а међусобно су повезане односима размножавања. Врсте живих бића се не могу схватити само као прост збир појединачних организама, тј. јединки. Њихов стварни облик постојања представљају популације. Популација се сматра интегрисаном целином, која се одликује различитим особинама, својственим њој као групи, а не члановима те групе (јединкама). Неке од основних карактеристика (атрибута) популације су: величина, просторни распоред, наталитет, морталитет, карактеристике раста, узрасна структура итд.

Животна заједница (биоценоза) представља групу популација различитих врста које живе на одређеном простору, у одређено време. Као што свака јединка ступа у различите односе са припадницима своје врсте (на нивоу популације), неизбежни су

односи са припадницима других врста (на нивоу биоценозе). Ови односи представљају коакције, односно биотичке факторе. Скуп популација које улазе у састав једне биоценозе није случајан. Првенствено је одређен физичким условима који постоје на том месту. Биоценозу изграђују популације оних врста чије им адаптације и захтеви, према абиотичком окружењу, омогућавају да живе заједно. Да ли ће нека врста опстати у некој биоценози не зависи само од абиотичких фактора. Биотички фактори су од велике важности, тако да у неким случајевима утицаји у виду интензивног предаторства, паразитизма или конкуренције од стране боље прилагођене врсте може довести до неуспеха популације одређене врсте у датој заједници. То значи да су врсте које коегзистирају у једној заједници прилагођене не само заједничком абиотичком окружењу, већ и једне другима. Ни ту није крај када говоримо о томе шта одређује састав врста у заједници. У обзир се мора узети географски концепт и чињеница да неке врсте одсуствују из одређених заједница, јер једноставно нису ни биле у могућности да населе дато подручје, услед постојања неких географских баријера или велике географске удаљености.

Екосистем (биогеоценоза) представља интегрисану целину коју чини животна заједница и њоме насељени физички простор, односно врховно јединство живе и неживе природе, будући да животна заједница у реалности не постоји одвојено од свог абиотичког окружења. Компоненте екосистема су међусобно повезане и условљене, тако да се промена у једној од њих неминовно у одређеној мери мора одразити на цео екосистем. Између његових компоненти успостављају се поменути односи акција, коакција и реакција. На тај начин се одвијају процеси у виду протицања енергије и кружења материје у природи, тј. биогеохемијски циклуси. Екосистеми се одликују способношћу одржавања динамичке равнотеже захваљујући узајамности и повезаности његових компонената и процеса.

Предео представља хетерогену област која обухвата групе екосистема у међусобним интеракцијама и који се у њему понављају према сличном обрасцу. То је интегрисани мозаични комплекс одређених типова екосистема међусобно функционално повезаних. Границе између екосистема, чак и уколико су веома оштре, никада не представљају непропусне баријере. Између екосистема постоји извесна размена материја и енергије. Многа жива бића не живе само у једном екосистему, већ повремено прелазе из једног у други. На тај начин се остварује повезаност између два екосистема. С тим у вези, предео се са практичног аспекта може дефинисати као хетерогени географски простор, чији се просторни обухват дефинише у зависности од организма или процеса који нас интересује, тј. који проучавамо.

Биом представља велики, регионални или субконтинентални систем, који се одликује специфичним главним типом вегетације или неким другим уочљивим аспектом предела. Најчешће је тип биома одређен макроклиматским карактеристикама територије, распоредом копна и великих водених површина, надморском висином итд. У оквиру једног биома владају релативно слични климатски услови, тако да се на целој његовој територији развија слична климаксна (зрела) вегетација, која том биому даје печат и издваја га од осталих биома. Биоми могу бити акватични (биоми мора и океана или биоми копнених вода) и терестрични, као што су биом листопадних шума, биом тропских кишних шума, биом пустиња, биом тундре, биом тајге итд.

Биосфера (екосфера, глобални екосистем) је глобални еколошки систем који представља врхунско јединство живе и неживе природе на Земљи и обухвата читав простор насељен живим светом. Она представља животни простор, који обухвата доње слојеве атмосфере, хидросферу и горње делове литосфере (односно Земљине коре). Све ове компоненте биосфере међусобно су повезане биогеохемијским циклусима размене материје и протоком енергије.

1.2.3. Биотоп и животно станиште

Свака територијална јединица животног простора је историјски и еколошки условљена својеврсном комбинацијом фактора животне средине. Оваква, просторно ограничена јединица, која се одликује специфичним комплексом абиотичких фактора, назива се **биотоп** (од грч. *bios* – живот, *topos* – место). Уколико неки простор означимо као један одређени биотоп, подразумева се да на целом том простору владају приближно исти абиотички еколошки фактори. Имајући у виду дејство такве одређене комбинације еколошких фактора, сваки биотоп насељава одређена животна заједница. Отуда се биотоп може дефинисати као место или просторни оквир, који заузима одређена биоценоза, односно као абиотичка компонента екосистема.

Појам биотопа треба разликовати од појма **животног станишта** (енг. *habitat*). Животно станиште је термин који се користи када треба означити место (простор) где једна врста, популација или јединка живи и где је можемо пронаћи. Станиште представља комплекс абиотичких и биотичких фактора средине. Када се каже да је станиште поточне пастрмке поток, под тиме се не подразумева само абиотичка компонента животне средине, већ се мисли и на биотичку компоненту, односно на све оне организме који поред ње живе у том потоку и са којима успоставља директне или индиректне односе. Дакле, мисли се на целокупан екосистем.

Иако се појмови станишта и екосистема добрим делом преклапају, ипак се не могу схватити као синоними. Екосистем букове шуме и станиште букове шуме се односе на једно те исто, али је концепт коришћења ова два термина различит. Појам станишта треба користити када је у фокусу нека одређена врста, популација или јединка. Појам екосистема треба користити када је акценат на процесима и функционалности једног тако комплексног природног система, без издвајања неке посебне врсте. Једна врста, односно јединка, може током свог животног циклуса захтевати већи број типова станишта, па тако у једном може проводити ноћ, у другом се хранити, а неки трећи користити током одгајања младих.

1.3. ПОДЕЛА ЕКОЛОГИЈЕ

Као и свака наука, екологија има своје гране, тј. различите научне дисциплине које се разликују по објектима, предметима, начинима, сврхама и методама истраживања. Постоје различити начини поделе екологије у зависности од критеријума, као што су: ниво организације, група живих бића, тип животне средине или станишта којима се бави итд. Заједничко је да се у основи истраживања свих грана екологије налази однос између живих бића и животне средине.

Према групи живих бића коју проучава, екологија се може поделити на екологију биљака (фитоекологија), екологију животиња (зооекологија), екологију гљива (микоекологија), екологију микроорганизама (микробијална екологија), екологију човека (хумана екологија) итд. Ово је врло честа подела, с обзиром да се екологијом баве многи биолози, који се најчешће врло рано у току своје научне каријере опредељују за одређену групу организама коју ће изучавати (ботаничари, зоолози, микробиолози...).

Према нивоу организације живог света, тј. у зависности од тога да ли се бави проучавањем организама, популације, биоценозе, екосистема, предела или биосфере као целине, екологија се може поделити на аутекологију (идиоекологију), демекологију (популациону екологију), синекологију (биоценологију), екосистемску екологију (екосистемологију), предеону екологију и глобалну екологију.

Аутекологија (идиоекологија) је грана екологије која се бави проучавањем односа индивидуалних организама и њихове животне средине. Назива се још и аналитичком екологијом или екологијом врсте, јер сваки организам представља представника своје врсте. Проучавајући однос већег броја појединачних организама једне врсте према факторима животне средине, аутеколози долазе до сазнања о еколошким карактеристикама читаве врсте. Аутекологија се ограничава на проучавање на нивоу организма у хијерархији еколошких система и има задатак да пружи одговоре о томе на који начин се организми прилагођавају животној средини, на који начин у њој опстају, које су им границе толеранције према спољашњим условима итд. Као посебне научне дисциплине могу се издвојити **екоморфологија** и **екоанатомија**, које проучавају утицаје животне средине на морфолошке, односно анатомске карактеристике организма. Предмет проучавања могу бити и утицаји срединских фактора на физиолошке процесе организма, чиме се бави грана екологије под називом **екофизиологија (физиолошка екологија)**. Нивои проучавања могу бити и молекуларни механизми, тј. њихова реакција на факторе животне средине, што спада у домен посебне научне дисциплине која се назива **молекуларна екологија**, док се **биохемијска екологија** бави проучавањем утицајима срединских услова на биохемијске процесе ћелије.

Популациона екологија (демекологија) је грана екологије која се бави проучавањем популација биљака, животиња или микроорганизама, као и њиховог односа према животној средини. Предмет проучавања популационе екологије јесу карактеристике (атрибути) популације (бројност, густина, структура...), затим динамика популације (кретање и промена бројности), али и начини на које фактори средине утичу на популационе атрибуте и динамику. Популациона екологија се бави односима који

постоје између њених чланова, тј. јединки (интрапопулациони, тј. интраспецијски односи), а који утичу на карактеристике саме популације. Популациона екологија човека је демографија, научна дисциплина из које многи постулати популационе екологије вуку своје корене. Слично као демографија, популациона екологија се у великој мери ослања на статистичке и математичке моделе. Ова грана екологије данас има велику примену у пољопривреди и шумарству (процена бројности и кретања популација „штетних“ организама), заштити биодиверзитета (процена бројности и кретања популација угрожених врста), одрживом коришћењу биолошких ресурса итд.

Биоценологија (синекологија) је екологија животних заједница и бави се проучавањем састава, структуре и динамике биоценозе, утицаја фактора животне средине на биоценозу као целину и међусобним односима који постоје између њених чланова – ценобионата, тј. различитих врста које је чине (интерспецијски односи). Како су животне заједнице често веома сложене и састављене од огромног броја различитих врста, еколози се баве само њеним појединачним деловима. Можемо разликовати **фитоценологију** (фитосоциологију), која се бави проучавањем биљних заједница и **зооценологију**, која се бави проучавањем животињских заједница.

Екосистемска екологија (екосистемологија) се бави проучавањем структуре екосистема коју чине и абиотичке и биотичке компоненте, као и начином функционисања екосистема. Ова грана екологије се бави интеракцијом биотопа и биоценозе у оквиру екосистема, што представља основ за одвијање неких од основних природних процеса, као што су проток материје и кружење енергије. Екосистемска екологија се често сматра интердисциплинарном науком, јер комбинује знања из физике, хемије, геологије, педологије, метеорологије, климатологије итд. (за разумевање абиотичке компоненте екосистема) и различитих грана биологије (за разумевање биотичке компоненте екосистема). Екосистемска екологија данас има веома значајну примену, јер нам омогућава да схватимо на који начин се одвијају процеси у природи, како настају и како се одржавају ресурси потребни човеку, као што су чиста вода и ваздух, храна, материјали, горива итд. Нормално функционисање екосистема представља основ опстанка свих осталих живих бића на планети, због чега се знања из ове области примењују и у заштити биодиверзитета. Екосистемска екологија представља основ за успешно бављење заштитом животне средине.

Предеона екологија се бави проучавањем предела као еколошког система. Предеони еколози изучавају структуру одређеног предела, начин његовог функционисања, факторе његове стабилности, кретање врста у оквиру тог предела и његовом динамиком, тј. променама у току времена. Један од најчешћих предмета истраживања у предеонај екологији јесте фрагментација станишта и њене последице по екосистемске процесе и биодиверзитет. Свој данашњи развој предеона екологија у великој мери дугује напретку географских информационих система (ГИС) и даљинској детекцији. Ова научна дисциплина има примену у просторном планирању и уређењу предела и у планирању подручја посебних намена као што су пољопривредна подручја, урбана подручја (примена у урбанизму), индустријски комплекси, саобраћајни системи, заштићена подручја итд. Предеона екологија има задатак да обједини знања из популационе екологије, биоценологије и екосистемске екологије и примени их за потребе планирања одрживог развоја и заштите животне средине.

Глобална екологија се бави проучавањем биосфере као највишим нивоом у хијерархији еколошких система. Може се рећи да је глобална екологија грана екологије која проучава интеракције између живе и неживе компоненте животне средине, као и проток енергије и кружење материје на глобалном нивоу, тј. на нивоу читаве планете Земље. С тим у вези, ова грана екологије усмерена је на истраживање међусобних зависности екосистема и биома различитих делова света. Предмет проучавања у глобалној екологији је дугорочни ефекат човекових активности на животну средину, биодиверзитет и климу Земље. Сви процеси који се одвијају на великим просторним размерама и који имају глобални карактер (утицај уништавања шумске вегетације на повећање нивоа угљен-диоксида у атмосфери или транспорт загађујућих материја на велике удаљености) спадају у домен ове научне дисциплине.

Према просторној размери, екологија се може поделити на микроекологију и макроекологију. **Микроекологија** се бави проучавањем микроекосистема и микростаништа и повезана је са већ поменутом микробијалном екологијом, тј. екологијом микроорганизама. Предмет проучавања у микроекологији може бити микробиота („микрофлора“) органа дигестивног тракта животиња или ризосфера терестричних биљака. С друге стране, **макоекологија** се бави проучавањем еколошких феномена на великим просторним размерама, па је повезана са глобалном екологијом. Предмет проучавања у макроекологији може бити састав, разноврсност врста биљака и животиња дуж неког глобалног градијента као што су: географска ширина или дужина, утицај климатских промена на популације одређених врста на глобалном и регионалном нивоу или на промене граница одређених биома.

Према типу животне средине коју проучава, екологија се најгрубље може поделити на акватичну и терестричну екологију. **Акватична екологија (хидроекологија)** се даље дели на океанску и маринску екологију, екологију стајаћих вода (лимноекологију), екологију текућих вода (потамоекологију), итд. У зависности од типа станишта који проучава, **терестрична екологија** се даље дели на екологију тропских кишних шума, екологију високопланинских станишта, екологију травних заједница, екологију земљишта итд. Овде се могу поменути посебне гране екологије, које су данас веома интердисциплинарне и примењене науке, као што је агроекологија, која проучава агроекосистеме и примену еколошких принципа у пољопривредној производњи. Урбана екологија представља посебну грану екологије која се бави проучавањем односа живих бића (подразумевајући и људе) и њиховог окружења, биодиверзитета и еколошких процеса у специфичним градским срединама.

Према намени, екологија се може поделити на фундаменталну и примењену (апликативну) екологију. Неки од примера примењене екологије су медицинска екологија, шумарска екологија, агроекологија, конзервациона екологија, ресторативна екологија, итд., које имају задатак да опште еколошке принципе примене у делатностима значајним за човека, као што су: здравство, шумарство, пољопривреда, просторно планирање, заштита животне средине, заштита природе итд.

Поред наведених грана екологије, издвајају се и посебне гране екологије, као што су палеоекологија, археоекологија, еволуциона екологија, генетичка екологија, екологија понашања (бихевиорална екологија), функционална екологија, системска екологија и бројне друге субдисциплине. **Палеоекологија** је наука која се бави проучавањем еколошких аспеката давно прошлих времена, тј. односом између живих бића и њихове животне средине током различитих геолошких периода. Настала је из палеонтологије

тако што су палеонтолози, поред тога што су се бавили изумрлим живим бићима, почели да се баве и реконструкцијом услова животне средине у којој су та жива бића живела. Због тога се ова наука у великој мери ослања на палеоботанику, палеозоологију и на науке које се баве абиотичким карактеристикама прошлих времена, као што су палеоклиматологија, палеогеографија, палегеологија итд. Као посебна научна дисциплина може се издвојити **археоекологија**, која се бави истраживањем утицаја које је човек имао на екосистеме кроз историју, и до 60.000 година уназад. Археоекологија се у великој мери ослања на открића до којих се дошло у археологији. Неки од одговора које ова научна дисциплина нуди су следећи: како су људи у прошлости користили земљиште у пољопривреди, које биљке и животиње су користили у исхрани и за остале потребе, како је текао процес њихове доместификације, на који начин је човек мењао животну средину током праисторије и историје итд. У палеоекологији и археоекологији од великог је значаја примена палинолошких метода (испитивање полена и спора биљака у седиментима) и методе радиоактивног датирања (датирање стена, фосила или археолошких објеката на основу поређења заступљености природно јављајућег радиоизотопа унутар материјала и заступљености његових продуката распада).

Еволуциона екологија се бави проучавањем еколошких појава са аспекта еволуције, па се може рећи да представља комбинацију екологије и еволуционе биологије. Ова научна дисциплина има задатак да одговори на питање зашто жива бића имају одређене карактеристике, на који начин су се мењала током историје живог света на планети Земљи, како су се развијали и успоставили специфични односи међу појединим врстама итд. Одговори на ова питања леже у притиску животне средине којим су жива бића била изложена током еволуције, природној селекцији и прилагођавању организама динамичним условима животне средине. Кроз разумевање еволуционих процеса са еколошког аспекта може се предвидети у ком правцу ће се еволуција појединих врста и читавих екосистема, кретати у будућности, на који начин ће се врсте и екосистеми прилагођавати изменама у животној средини, рачунајући и оне измене које настају као последица људских активности. Еволуциона екологија има великог значаја у заштити биодиверзитета и конзервационој биологији.

Генетичка екологија се бави проучавањем интеракције између гена и животне средине и начина на који еколошки фактори утичу на експресију гена². Животна средина кроз еволутивне механизме утиче на фенотипске³ карактеристике организама, у основи којих леже карактеристике генотипа⁴ и/или начин експресије гена. Битно је напоменути да промене у животној средини могу директно утицати на генотип (нпр. мутагено дејство UV зрачења на ДНК материјал) или индиректно, преко карактеристика фенотипа у процесу природне селекције. Разумевање генетских аспеката еколошких процеса помаже у бољем предвиђању одговора организама на промене у околини, што има директан значај у конзервационој биологији и другим примењеним наукама.

² Експресија гена представља процес у коме се генетичка информација користи за синтезу функционалног генског продукта, тј. одређеног протеина или РНК молекула.

³ Фенотип је скуп свих особина одређеног организма које настају заједничким деловањем генотипа и услова животне средине у којима тај организам живи.

⁴ Генотип је генска конституција организма која у ширем смислу обухвата скуп свих његових гена, тј. његову целовиту наследну основу.

Бихевиорална екологија или **екологија понашања** се бави проучавањем начина на који фактори животне средине утичу на понашање животиња. Ова научна дисциплина обухвата различите аспекте понашања, укључујући начине на које животиње комуницирају, траже храну, избегавају опасност, затим територијално понашање, размножавање, социјалну хијерархију итд. и начин на који су различити видови понашања животиња подстакнути стањем и променама у животној средини. Бихевиорална екологија настоји да пронађе еволутивну основу понашања животиња под утицајем различитих еколошких притисака. Животиње се поред својих физичких карактеристика одликују специфичним обрасцима понашања, који такође, могу бити предмет природне селекције која одређене обрасце фаворизује у датим условима средине. Бихевиорална екологија је значајна за разумевање начина на који животиње преживљавају у екосистемима чији су саставни део. То може имати импликације у заштити угрожених врста, контроли непожељних организама итд.

Функционална екологија је грана екологије која се бави проучавањем функција, тј. улога које врсте имају у заједницама, односно екосистемима чији су део. Веома је важно познавати физиолошке, анатомске и морфолошке карактеристике појединих врста и карактеристике њихових животних историја. Функционална екологија има интегративни приступ проучавања, јер настоји да на основу карактеристика врста објасни начин функционисања екосистема, нарочито кроз призму промена у животној средини на глобалном нивоу. Ова научна дисциплина представља спој аутекологије, еволуционе биологије, еволуционе екологије, генетике, геномике и традиционалне екологије. Функционални приступ проучавања природе омогућава боље разумевање биологије као науке и начина на који се може применити за добробит човека и животне средине.

Системска екологија је интердисциплинарна наука која има холистички приступ проучавања еколошких система, а нарочито екосистема. У основи системске екологије лежи идеја о томе да еколошки системи имају емергентна („израђајућа”) својства, тј. својства која његови саставни делови немају и која се јављају само када су ти саставни делови повезани и у интеракцији, чинећи систем целином. Пошто се ради о холистичком приступу, у оквиру ове научне дисциплине се неретко занемарују детаљи који нису од већег значаја за функционисање система, а сам систем се посматра као целина. Системска екологија подразумева примену опште теорије система у екологији, односно примену научног оквира који служи за описивање и анализирање групе објеката који функционишу у садејству. Ова научна дисциплина се заснива на примени методологије математичког моделовања, системске анализе и симулације. Свој напредак дугује развоју других дисциплина, као што су математика, кибернетика и електронска обрада података. Системска екологија користи и концепте из термодинамике и енергетике, примењујући их на еколошке системе. У системској екологији врши се превођење еколошких система, њихове структуре и функције у математичке моделе. Иако ови модели представљају несавршену апстракцију природе и природних процеса, од великог су значаја јер се уз помоћ њих могу вршити предвиђања, у чему лежи највећи значај ове дисциплине. Са напретком информационих технологија, а поготово са напретком вештачке интелигенције, може се очекивати да ће системска екологија у будућности доживети свој процват.

Неопходно је напоменути да поред поменутих и објашњених грана екологије постоји читав низ еколошких дисциплина које се баве одређеним еколошким феноменима, ужим групама организама, одређеним животним стаништима и

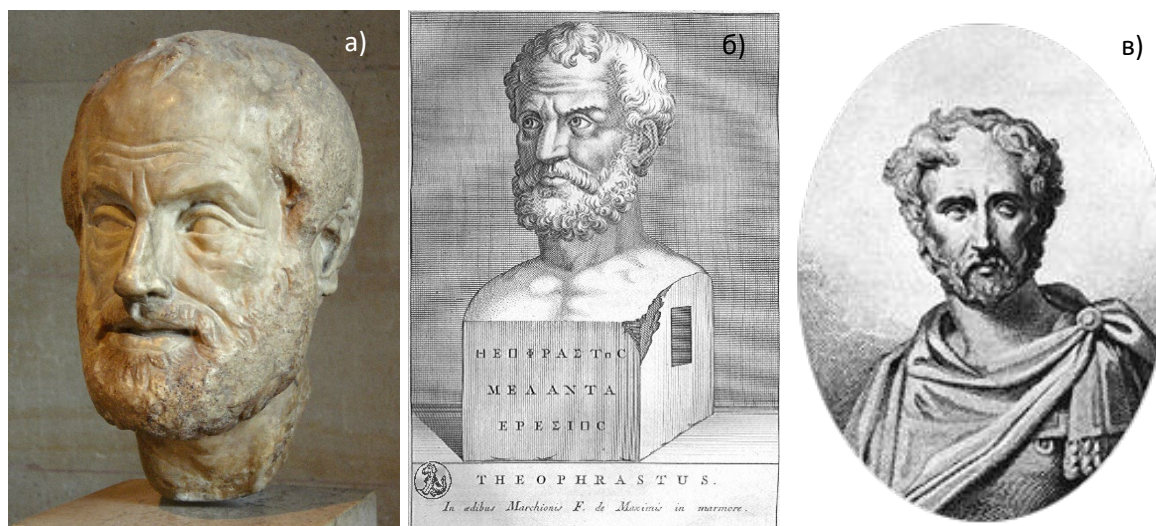
дисциплина које имају специфичан значај у примењеним наукама. Могу се користити различити критеријуми за издвајање одређених еколошких дисциплина, а неке гране екологије се даље могу делити на гране вишег реда, што практично ствара неограничен број могућности за издвајање посебних еколошких дисциплина. На тај начин, могу се издвојити дисциплине са веома суженим и прецизираним предметима проучавања, као што су бихевиорална екологија пчела, популациона екологија глодара травних станишта, фитоценологија ксерофилних жбунастих заједница, акватична зооекологија ледничких језера итд.

1.4. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ ЕКОЛОГИЈЕ

Развој екологије као научне дисциплине обухвата веома дуг период. Може се рећи да је започео још у античко време, јер су се проблемима односа живих бића и животне средине бавили још старогрчки филозофи и мислиоци. Од тада, еколошка мисао се развијала постепено, иако је период Средњег века обележила релативна стагнација развоја науке. Почетком 19. века долази до процвата биологије. Међу темама које су заинтересовале тадашње природњаке биле су и оне из домена екологије. Током 20. века, са напретком технологије и све већим глобалним изазовима као што су загађење и климатске промене, екологија се развила у комплексну дисциплину која проучава интеракције на свим нивоима, од појединачних организама до целокупних екосистема. Може се рећи да је екологија данас једна од кључних наука за решавање проблема са којима се суочава савремени свет.

1.4.1. Развој екологије у свету

Антички период. Иако је сам термин „екологија” релативно новијег датума, корени ове науке сежу далеко у прошлост, будући да најстарији сачувани записи који се баве односом живих бића и њиховог окружења датирају још из времена старе Грчке. Често се због тога првим еколозима сматрају старогрчки филозофи, [Аристотел](#) (*Ἀριστοτέλης*, 384–322 п.н.е; слика 1а) и његов ученик, [Теофраст](#) (*Θεόφραστος*, 371–287. п.н.е; слика 1б), који су још у 4. веку пре нове ере писали о односу биљака и животиња и њихове животне средине, као и о међусобним интеракцијама између биљака и животиња. Неке од тема којима су се бавили, а које се могу подвести под еколошке, укључују хербиворију, отровне биљке, штетне биљке, примену стајњака, настанак гала, расејавање семена итд. Теофраст, који се сматра оцем ботанике, дао је велики допринос разумевању екологије биљака, пишући о значају климатских карактеристика и карактеристика земљишта за распрострањеност биљних врста. Поред грчких, сличном тематиком су се бавили и римски филозофи, попут [Гаја Плинија Другог](#) (Плиније Старији, *Gaius Plinius Secundus Maior*, 23–79, слика 1в), који је у 1. веку пре нове ере написао књигу под називом „Историја природе”, чији се садржај може окарактерисати као еколошки.



Слика 1. Антички филозофи који су се бавили питањима екологије: Аристотел (а), Теофраст (б) и Гај Плиније Други (в)

Средњи век. Након пада Западног римског царства долази до значајног губитка дела античког знања, а током „мрачног” средњег века научни напредак у Европи углавном стагнира. Током овог периода теме које су у основи еколошког карактера биле су од великог значаја за човека. Средњовековно друштво је претежно било засновано на пољопривредној производњи, у коју је била укључена већина становништва, тако да је од великог значаја за напредак заједнице била брига о гајеним биљним културама и домаћим животињама, што је подразумевало одређена знања о природи којим је средњовековни сељак морао располагати. У Византијском царству су постојали бројни закони којима се регулисало коришћење природних ресурса. Један од чланова Душановог законика у српском царству бавио се забранама сече шума и утврђивањем обавезе садње на местима где је шума посечена, што указује на постојање извесног нивоа свести о начину функционисања природе и потреби за њеном заштитом и обновом. Из овог периода нема писаних трагова који би потврдили постојање озбиљнијих научних истраживања у области коју данас називамо екологијом.

Биолошка ренесанса. Током 18. и 19. века долази до значајног процвата биолошке и еколошке мисли, иако сам термин „екологија” још увек није био употребљаван. Значајан допринос екологији и науци уопште током овог периода дао је Холанђанин **Антони ван Левенхук** (*Antonie Philips van Leeuwenhoek*, 1632–1723) (слика 2а), познат по проналаску микроскопа и проучавању ланаца исхране и регулације бројности живих бића. Због свог најзначајнијег дела „*Systema Naturae*” и увођења биноминалне номенклатуре, **Карл Лине** (*Carl von Linné*, 1707–1778) (слика 2б), шведски научник, сматра се оцем таксономије живих бића. Бавио се и економијом природе и дао немерљив допринос даљем развоју екологије и еволуционе биологије, знатно пре Дарвина. **Александер фон Хумболт** (*Friedrich Wilhelm Heinrich Alexander von Humboldt*, 1769–1859) (слика 2в), немачки природњак, путујући кроз различите земље света дошао је до врло значајних еколошких открића и фитогеографских сазнања, на основу којих је написао чувено дело под називом „Преглед географске ботанике”. Овај научник је први описао и објаснио постојање еколошког градијента на глобалном нивоу у виду повећања биодиверзитета са смањењем географске ширине (од полова према екватору). Значајан научни допринос у том периоду дао је и **Алфред Волас** (*Alfred Russel Wallace*, 1823–1913), енглески природњак и истраживач. Током овог периода по први пут је уведен концепт животне заједнице, те је 1877. године **Карл Мебијус** (*Karl August*

Möbius, 1825–1908) (слика 2г) први употребио термин биоценоза, иако је још 1825. године француски природњак [Адолф Диро де ла Мал](#) (*Adolphe Jules César Auguste Dureau de la Malle*, 1777–1857) скуп различитих биљних врста назвао *société*.



Слика 2. Значајни научници из периода биолошке ренесансе: Антони ван Левенхук (а), Карл Лине (б), Александер фон Хумболт (в) и Карл Мебијус (г)

Аркадијска и империјална школа. Током периода биолошке ренесансе и убрзаног развоја екологије, јављају се два супротстављена мишљења, тј. идеологије у овој области, а то су аркадијска и империјална школа. Срж размимоилажења ове две школе налазио се у схватању односа човека и природе и улоге коју човек треба да има у том односу. Аркадијска школа залагала се за хармоничан однос људи и природе. Следбеници ове идеје сматрали су да човек треба да води скроман и једноставан живот, којим неће наштетити другим живим бићима и природи у целини. Другим речима, човек не би требало да преузме доминацију на планети Земљи. Аркадијско становиште вероватно вуче корене из ренесансе, чији су следбеници ценили природне вредности, поштовали лепоту природних предела и залагали се за уважавање дивљине и природе.

Оснивачем аркадијске школе сматра се енглески природњак и свештеник, [Гилберт Вајт](#) (*Gilbert White*, 1720–1793). Насупрот аркадијским еколозима, следбеници империјалне школе залагали су се за то човек својим знањем, разумом и напорним радом треба да преузме превласт над природом, тј. да постане доминантна фигура над свим осталим живим бићима. Сматрали су да човек треба да управља природом, која постоји да би била у служби човека и да би је човек користио за своје потребе, како би себи обезбедио благостање (утилитаризам). Као инспирација за овакво становиште, империјалним еколозима послужила је идеологија енглеског филозофа, [Френсиса Бејкона](#) (*Francis Bacon*, 1561–1626). Подршку коју је Карл Лине касније дао империјалној школи многи сматрају њеном победом. Борба између ова два супротстављена мишљења настављена је и у будућем периоду, а са све већим проблемима у животној средини можемо рећи да је она и данас веома актуелна.

Оснивање екологије. Поред бројних наведених природњака, који су се појавили током 18. и 19. века, титулу оснивача екологије као научне дисциплине многи често додељују [Евгенијусу Вармингу](#) (*Johannes Eugenius Bülow Warming*, 1841–1924), данском ботаничару, који се бавио проучавањем утицаја различитих абиотичких фактора на формирање животних заједница, као што су: суша, ватра, заслањеност, хладноћа итд. Варминг је настојао да проучавањем морфологије и анатомије биљака (тј. проучавањем њихових адаптација) објасни зашто се нека врста јавља на одређеном месту, тј. под одређеним абиотичким условима животне средине. Претходна флористичка и фаунистичка истраживања заснивала су се на пописивању врста које насељавају одређено подручје и била су опсервационе и дескриптивне природе, тако да нису

нудила одговоре за којима је Варминг почео да трага. Иако су дотадашња флористичка и фаунистичка истраживања била од изузетне важности, нису се нужно бавила односом живих бића и њихове животне средине, тј. главним предметом екологије. Варминг се најближе бавио оним што данас сматрамо екологијом у правом смислу те речи. Циљ његовог истраживања био је усмерен ка томе да објасни зашто и како врсте које имају различито филогенетско порекло, а живе под истим условима абиотичког окружења, на сличан начин решавају проблеме са којима се суочавају на свом станишту. Вармингов утицај на даљи развој екологије био је огроман.

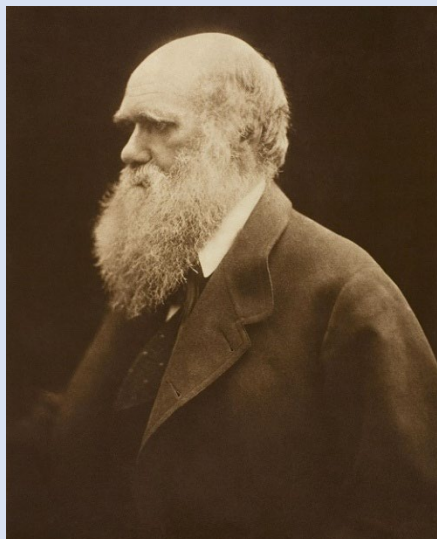
Малтузијанизам и екологија. Томас Малтус (*Thomas Robert Malthus*, 1766–1834), творац је чувене Малтусове теорије, по којој све животињске популације (подразумевајући и људску) расту геометријском прогресијом, док се ресурси повећавају аритметичком прогресијом. Иако је био демограф и економиста (али и англикански свештеник), његов допринос разумевању популационе екологије је огроман. Његова теорија је помогла Дарвину да формулише своју теорију природне селекције. Малтус је значајан и јер су захваљујући његовој теорији принципи економије по први пут примењени у природним наукама. Нека од Малтусових становишта била су да је раст људске популације ограничен доступном количином ресурса и да до раста популације долази када дође до повећања количине ресурса. Сматрао је да раст људске популације треба ограничити превенцијом зачећа или абортусима, а епидемије болести, ратове, глад и друге катастрофе природним механизмима којима се спречава неограничен раст популације.

Малтусова теорија је била подложна бројним критикама. Сматрана је превише уопштеном и мањкавом, али и веома контроверзном са етичког становишта. Иако је због специфичности људске популације и њеног технолошког напретка (који је Малтус превидео и занемарио) и због бројних моралних дилема, ова теорија у економији и демографији одбачена, нема сумње да су њени основни принципи, који се тичу раста популације у екологији, широко прихваћени и данас.

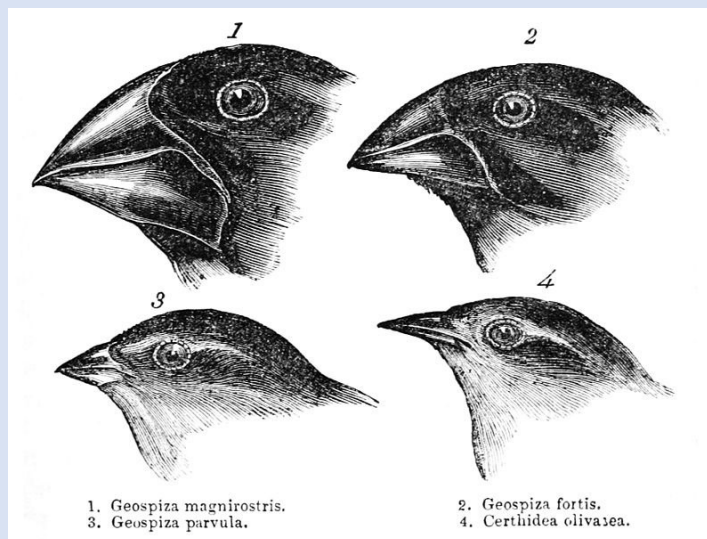
Дарвинизам и екологија. Енглески природњак, биолог и геолог, Чарлс Дарвин (*Charles Robert Darwin*, 1809–1882) (слика 3) 1859. године, објављује своје чувено дело „О пореклу врста” (*„On the Origin of Species”*), у коме доноси ново схватање и објашњење еволуције живих бића. Дарвин у овом делу користи појам „борба за опстанак”, којим описује утицај животне средине на жива бића и њихове међусобне односе, што представља окосницу екологије. Дарвинов допринос екологији је огроман, с обзиром да је његово објашњење еволуције путем природне селекције дало потпуно нову слику начина на који се врсте прилагођавају и еволуирају, а која ће касније постати темељ савремене екологије. Дарвинова открића у вези са конкуренцијом, предаторством, симбиозом, варијабилношћу, наслеђивањем, репродуктивним успехом итд. еколози и данас користе како би објаснили динамику популације, организацију биоценозе или функционисање екосистема. Дарвин се често сматра „оцем” екологије. Оно што је посебно занимљиво јесте да у свом раду никада није користио, нити поменуо реч „екологија”.

ДАРВИН ЈЕ БИО У ПРАВУ?

Дарвинов боравак на Галапагосу био је кључан на његовом путу до идеје о еволутивном процесу. Нарочито су значајне галапагоске зебе, које је тамо имао прилике да проучава. Приметио је да жива бића са ове групе острва подсећају на оне са континенталног дела Јужне Америке, али је касније сазнао да се не ради о истим врстама. Та чињеница га је навела да закључи да су Галапагоске зебе пореклом са континента, а да су се временом, услед различитих животних услова и прилагођавања на њих, развиле у „нове животне облике”. До тада се сматрало да су врсте непроменљиве и да су креиране од стране „Створитеља”, који их је распоредио на различита места на планети Земљи. Дарвину није било јасно зашто би „Створитељ” на сваком острву стварао посебну врсту. Зебе са Галапагоса су му посебно привукле пажњу, јер су се њихове врсте међусобно разликовале по облику кљуна (слика 4), што је повезао са различитом храном коју су користиле. Према томе, Дарвин је дошао до закључка да галапагоске зебе имају истог претка, али су се временом од њега морфолошки дистанцирале, као и једна у односу на другу, а све као последица прилагођавања на другачије изворе хране, коју су проналазиле на различитим острвима. Ово је послужило само као „иницијална каписла” за Дарвиново размишљање у супротном смеру од до тада широко заступљене креационистичке идеје, по којој су врсте непроменљиве и креиране као такве од стране „Створитеља”.



Слика 3. Чарлс Дарвин



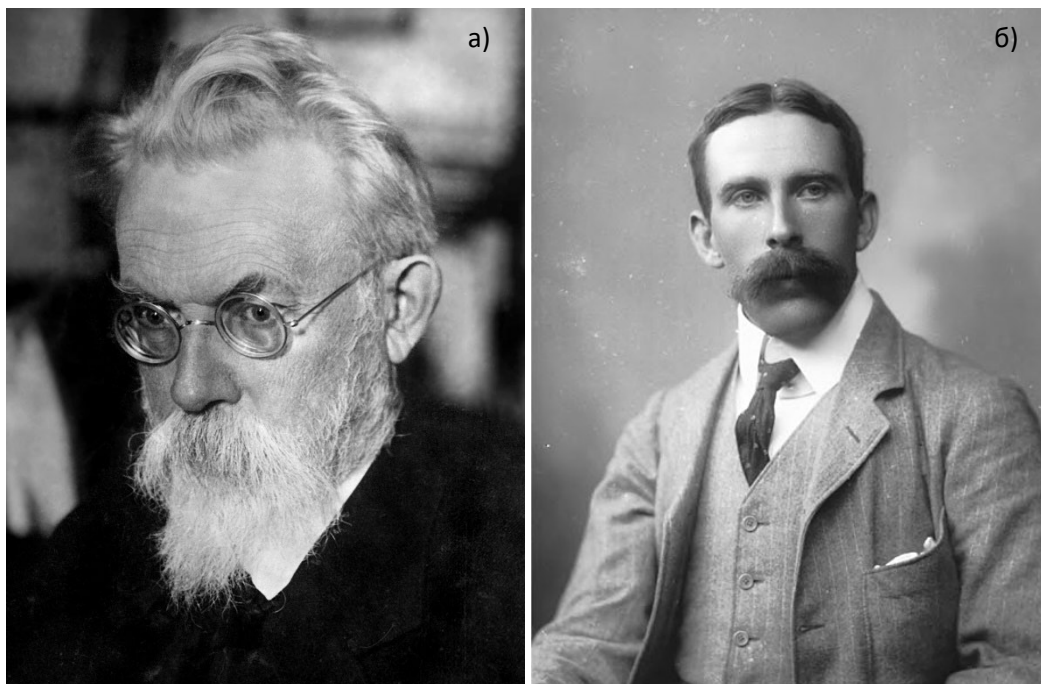
Слика 4. Дарвинове зебе са Галапагоса

Прича о еволуцији се овде не завршава, већ тек почиње. Много тога још је Дарвин морао да схвати, да би комплетирао своју теорију. Многе ствари, које је додатно потврђују, откривене су тек после њега. Да би се схватило на који начин од једне врсте може настати нека друга врста неопходно је много више од интересантне приче о зебама са Галапагоса, тако да се временом развила сасвим нова научна дисциплина - еволуциона биологија. Дарвинове идеје јесу биле оспораване за време његовог живота, али се и данас често могу чути тврдње да је теорија еволуције „само теорија” и да „није доказана”. Оваква размишљања долазе од особа које углавном нису биолози, не познају или не разумеју принципе и механизме еволуције и за које се појам еволуције своди на реченицу: „Човек је настао од мајмуна”, често је погрешно приписујући самом Дарвину. У свету биологије мало који научник ће негирати теорију еволуције, а савремена генетичка открића иду јој у прилог. „За мене је Дарвин најважнија личност која је икада живела”, речи су Џејмса Вотсона, једног од заслужних научника за откриће ДНК молекула. Нема сумње да без открића и једног и другог, тј. без теорије еволуције и сазнања о ДНК молекулу, биологија, екологија и читава наука не би биле то што су данас.

Настанак термина „екологија”. **Ернст Хекел** (*Ernst Heinrich Philipp August Haeckel*, 1834–1919), немачки зоолог и природњак, био је први који је 1869. сковао и употребио реч „екологија”, користећи се уобичајеном грчком речју *λόγος* (*lógos*), тј. *λογία* (*lógia*), која се налази у називима многих наука и грчком речју *οἶκος* (*oîkos*), што се може превести као „кућа”, „дом” или „домаћинство”. Хекел је био поборник Дарвинових идеја, те је популаризовао његов рад у Немачкој. У основи је био зоолог, док је његова најзначајнија теорија (иако данас одбачена) била теорија рекапитулације („биоенетски закон”), односно теорија по којој је онтогенија (индивидуално развиће организма) рекапитулација филогенетских стадијума, тј. еволутивног развоја врсте, којој тај организам припада. Иако је заслужан за постојање самог термина „екологија”, Хекел се преваходно бавио ембриологијом, систематиком, филогенијом и еволутивном биологијом животиња. Остао је упамћен по бројним нетачним тврдњама, нагађањима и касније оповргнутим теоријама, као и по контроверзама због наводних научних превара. Оно што је интригантно у вези са њим јесте чињеница да је био еугеничар – веровао је да људску врсту треба „унапредити”, између осталог, „елиминацијом” душевно оболелих, што су нацисти касније и спроводили у дело.

Рани 20. век. Даљем развоју екологије, почетком 20. века, значајно су допринела дотадашња открића у области хемије, поготово она која се тичу кружења материје у природи, тачније циклуса азота. Године 1926, руски геолог, **Владимир Вернадски** (*Владимир Иванович Вернадский*, 1863–1945; слика 5а) објавио је рад под називом „Биосфера” у коме је описао основне принципе биогеохемијских циклуса. **Артур Тенсли** (*Sir Arthur George Tansley*, 1871–1955; слика 5б), британски еколог, сковао је 1935. године термин „екосистем”, под којим је подразумевао интерактивни систем који чине животна заједница (група живих бића) и биотоп (средина у којој та жива бића живе). Од тада се често може чути да је екологија наука о екосистемима. Овај концепт су преузела **браћа Одум**, (*Eugene Pleasants Odum*, 1913–2002. и *Howard Thomas Odum*, 1924–2002).

Велики допринос разумевању еколошких сукцесија почетком 20. века дао је **Хенри Каулс** (*Henry Chandler Cowles*, 1869–1939), описујући ток развоја вегетације и земљишта током времена на примеру пешчаних дина Индијане у САД. За развој екологије током овог периода био је веома значајан енглески зоолог и еколог, тзв. „отац” екологије животиња, **Чарлс Елтон** (*Charles Sutherland Elton*, 1900–1991), који је остао запамћен по проучавањима динамике, тј. флукуација популација америчког зеца и канадског риса, увођењу термина „ланац исхране” и по чувеној књизи под називом „Екологија животиња” (*Animal Ecology*) итд. Када се говори о овом периоду, врло је важно поменути и „оца савремене екологије”, британско-америчког еколога, **Џорџа Хачинсона** (*George Evelyn Hutchinson*, 1903–1991), који се бавио лимнологијом (науком о слатким стајаћим водама), ентомологијом (науком о инсектима), генетиком, биогеохемијом, системском екологијом, популационом динамиком итд. Био је међу првима који је користио математичке моделе у екологији. Остаће упамћен и по концепту мултидимензионалне еколошке нише.



Слика 5: Научници који су дали значајан допринос развоју екологије током раног 20. века: Владимир Вернадски (а) и Артур Тенсли (б)

Настанак савремене екологије. Током 20. века, али и раније, екологија се у већем броју случајева сматрала само једним од „угла посматрања” у биологији. Иако су током овог периода у области аутекологије спровођени различити експерименти, то није био случај када је у питању синекологија, која се и даље заснивала само на посматрању и описивању природе (нпр. животних заједница). Екологија се није сматрала егзактном и експерименталном науком. Иако је током овог периода дошло до настанка бројних теорија, није постојао начин да се дође до конкретних података који би те теорије подржали. Прекретницу је направио, већ поменути, „отац савремене екологије” Хачинсон. Од тада се екологија све више посматра као егзактна наука о екосистему. Екологија је од 60-их година прошлог века убрзано почела да постаје све признатија као веома значајна наука, у коју се улаже много новца за потребе захтевних истраживања на великим просторним размерама. Екологија је све више постајала засебна наука, а не само једна од грана биологије. Овоме је допринело то што је човечанство почело да увиђа различите проблеме када је у питању загађење и угрожавање животне средине, што доводи до њеног приближавања науци о животној средини и инжењерству заштите животне средине. Амерички биолог **Рејчел Карсон** (*Rachel Louise Carson*, 1907–1964) је 1962. године објавила револуционарну научну књигу под називом „Тихо пролеће” (*„Silent Spring”*), у којој је описан и документован негативан утицај ДДТ пестицида на животну средину. Убрзо након тога, екосистемска екологија је у научним круговима проглашавана за науку о животној средини. Екологија је пронашла још једну могућност за своју практичну примену и то у заштити животне средине. Велики допринос савременој екологији, а последично и конзервационој биологији и заштити природе, дали су **Роберт Макартур** (*Robert Helmer MacArthur*, 1930–1972) и **Едвард Вилсон** (*Edward Osborne Wilson*, 1929–2021) својом теоријом острвске биогеографије, објављеном 1967. године.

Екологија 21. века. Захваљујући добрим основама успостављеним у претходном веку и бројним технолошким достигнућима, екологија је током 21. века знатно напредовала, што се огледа у бројним значајним открићима и новим еколошким концептима, који су допринели бољем разумевању природе у целини. Иако је своје најзначајније радове објавио крајем прошлог века, већ поменути амерички биолог и еколог Едвард Вилсон, дао је огроман допринос екологији у овом веку, јер је након свог пензионисања 2002. године, објавио велики број нових књига које баве екологијом. Највећи допринос дао је проучавању и заштити биодиверзитета, а с обзиром да је управо он увео овај термин, често се назива „оцем” биодиверзитета. Један од значајних еколога 21. Века, била је [Џејн Лубченко](#) (*Jane Lubchenco*, 1947), амерички марински еколог, која је својим радом допринела разумевању деловања фактора који одређују обрасце дистрибуције, богатства и разноврсности врста дуж морских обала, интеракција између људи и природе, значаја заштићених морских подручја итд. Захваљујући америчком екологу [Петеру Витоушеку](#) (*Peter Morrison Vitousek*, 1949) дошло се до нових сазнања о кружењу нутријената и утицају инвазивних врста. Иако корени неких значајних концепата за савремену екологију, попут хипотезе умереног поремећаја или модела метапопулационе динамике, сежу у прошли век, тек је током 21. века њима посвећено више пажње. Данас екологија све више поприма мултидисциплинарни карактер, интегришући генетику, компјутерско моделирање, савремену технологију која омогућава истраживања на великим просторним размерама, итд. Током овог века долази до знатне популаризације екологије као науке, чему су допринели [Дејвид Белами](#) (*David James Bellamy*, 1933–2019), британски ботаничар, и [Дејвид Атенбороу](#) (*Sir David Frederick Attenborough*, 1926), британски новинар и природњак, првенствено својим чувеним телевизијским серијалима.

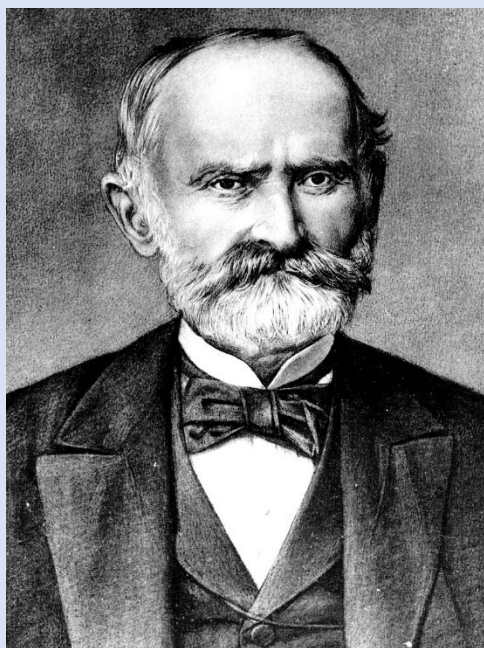
1.4.2. Развој екологије у Србији и Југославији

Иако је превасходно био ботаничар, [Јосиф Панчић](#) (1814–1888) дао је немерљив допринос развоју екологије у Србији и Југославији, будући да су се његова истраживања природе и живог света добрим делом односила на еколошке концепте. У фокусу његових истраживања нису били само флора и фауна, него минерали и стене, као и утицај физичких и географских фактора на живи свет. Поред тога што је дао знатан допринос познавању нашег биљног и животињског света и откривању нових врста, Панчић се бавио и еколошком проблематиком, односно животним формама, еколошким нишама, популацијама, животним заједницама, односима исхране, стаништима, итд. У фокусу овог српског и југословенског ботаничара, били су место и улога човека у природи, као и заштита животне средине.

Оснивачем савремене екологије у нашој земљи сматра се [Синиша Станковић](#) (1892–1974), професор Универзитета у Београду, чија најпознатија дела носе називе *Оквир живота* (1935), *Охридско језеро и његов живи свет* (1957) и *Екологија животиња* (1962). Велики допринос познавању екологије биљака дао је [Милорад Јанковић](#), нарочито својом књигом под називом *Фитоекологија са основама фитоценологије и прегледом типова вегетације на Земљи* (1979). Као истакнутог еколога Србије обавезно је поменути професора Биолошког факултета, Универзитета у Београду и редовног члана Српске академије наука и уметности, [Владимира Ставановића](#) (1947–2024), који је аутор великог броја научних радова, не само из области екологије, већ и ботанике, орнитологије и заштите биодиверзитета.

ПРИЧА О ПАНЧИЋЕВОЈ „ЛЕДЕНОЈ ЛЕПОТИЦИ”

Једна од најзанимљивијих и најпознатијих прича у области биологије на подручју наше земље јесте прича о открићу нове врсте четинара на Тари. Јосиф Панчић (слика 6) се заинтересовао за њу још 1855. године, када је од мештана ужичког краја чуо да тамо расте оморица, четинар „који није ни бор, није ни јела, а није ни смрча”. Од тада, па до њеног открића, прошло је више од двадесет година! Први покушај проналаска овог четинара, 1861. године, када је Панчић посетио овај крај, није био успешан. Да на Тари заиста расте њему и науци непозната врста, Панчић се уверио 1865. године, када је добио две њее гране. Иако је сада био сигуран да оморица постоји, проблем је и даље био у томе што није знао где тачно расте, јер се за материјал који је добио није знало ко га је послао, нити одакле је сакупљен. Већ наредне године, потрага за оморицом се наставља, али и овај пут безуспешно. Коначно, 1877. године, у селу Заовине на Тари, у засеоку Ђурићи (слика 7), Панчић проналази дуго тражени четинар. Након тога, Панчић је дао научни опис ове новооткривене врсте којој је доделио научно име *Picea omorika*. У част нашег великог научника, у народу је оморица постала позната као Панчићева оморица, односно српска смрча на енглеском језику (енг. *Serbian spruce*). Колико је сам Панчић био задивљен оморицом говори чињеница да ју је често називао леденом лепотицом.



Слика 6. Јосиф Панчић



Слика 7. Локалитет на Тари на коме је Панчић први пут пронашао оморику

Поред саме приче о открићу, за Панчићеву оморику се везује низ других занимљивости. Ова врста је ендемит Балканског полуострва веома уског ареала. Поред Таре, Панчићева оморица расте и на појединим местима са друге стране Дрине, у Босни и Херцеговини, као и у долини реке Милешевке у југозападној Србији. Панчићева оморица је веома стара, реликтна врста, која је за време Терцијара имала знатно ширу распрострањеност. Како се клима од тог времена до данас променила, оморица је успела да се одржи само на малом броју поменутих локалитета. Под садашњим климатским условима чини се да ова врста губи битку против конкурентских врста, као што је широко распрострањена и веома заступљена европска смрча. Да би оморица опстала у природним стаништима, потребна јој је помоћ човека. Иако је угрожена на свом природном станишту, занимљиво је да оморица добро подноси услове у градској средини и загађен ваздух, те се често може наћи у градским парковима.

На факултетима и универзитетима у Србији данас постоји више студијских програма који образују студенте у области екологије. У оквиру Биолошког факултета, Универзитета у Београду налазе се Катедра за екологију и географију биљака и Катедра за екологију и географију животиња, на којима раде бројни истакнути истраживачи и професори, чија научна достигнућа по значају превазилазе границе наше земље. Велике заслуге припадају истраживачима и професорима са Природно-математичких факултета, Универзитета у Новом Саду, Универзитета у Нишу и Универзитета у Крагујевцу. Од научних института који се баве екологијом треба истаћи Институт за биолошка истраживања „Синиша Станковић” – Институт од националног значаја за Србију. Све ово указује на огроман потенцијал којим Србија располаже када је екологија као наука у питању, док се као проблеми могу навести недостатак финансијских улагања у еколошка истраживања и недостатак адекватних радних места за стручњаке у овој области.

1.4.3. Развој екологије у будућности

Планета Земља и човечанство се суочавају са све израженијим проблемима, као што су: климатске промене, загађивање, несташицу хране и воде за пиће, губитак биодиверзитета итд. Јасно је да исход тог суочавања у великој мери зависи од политика и њених креатора, поготово када су у питању велике и развијене земље. Сви одговори човечанства на изазове са којима се суочава морају бити научно засновани, што значи да само уз помоћ науке можемо доћи до решења надлазећих проблема. Једна од наука која нам у томе несумњиво може помоћи је екологија, која ће у будућности имати задатак да одговори на бројна питања у вези са опстанком живих бића, па и човека, на планети. Оно што ће омогућити даљи напредак екологије јесте примена најновијих технолошких достигнућа (различитих компјутерских програма и софтвера, даљинске детекције уз помоћ сателита, достигнућа у оквиру биотехнологије итд).

Уз помоћ нових технологија, еколози ће бити у стању да у кратком временском периоду сакупе огромну количину података, уз исто тако брзу обраду и анализу. Сматра се да уплив високо софистицираних технологија у екологију доводи до развоја једне сасвим нове научне субдисциплине, која се назива техноекологија. Нека од најзначајнијих питања на која екологија у будућности треба да пружи одговоре тичу се начина на који људи мењају биодиверзитет, улоге и значаја продуктивности екосистема, фактора који одређују број врста које егзистирају у заједници, фактора који одређују географску распрострањеност врста итд.

ПИТАЊА:

1. Како се екологија може дефинисати?
2. Шта је предмет истраживања у екологији?
3. Који је значај екологије?
4. Шта је животна средина и које су њене компоненте?
5. Шта се подразумева под абиотичком, а шта под биотичком компонентом животне средине?
6. Који је значај заштите животне средине?
7. Шта су то биолошки, а шта еколошки системи?
8. Наведите нивое организације еколошких система.
9. Шта је популација?
10. Шта је биоценоза?
11. Шта је екосистем?
12. Шта је предео?
13. Шта је биом?
14. Шта је биосфера?
15. Каква је разлика између биотопа и животног станишта?
16. Како се екологија може поделити на основу нивоа организације живог света, а како на основу групе живих бића које проучава?
17. Који су примери примењене екологије?
18. Навести најзначајније научнике који су највише допринели развоју екологије као науке.
19. Какав је однос екологије и заштите животне средине?
20. Анализирајте употребу термина „екологија” и „еколошки” са којима се сусрећемо у свакодневном животу. У којим случајевима је употреба термина одговарајућа, а у којим неадекватна?

2. МАТЕРИЈА И ЕНЕРГИЈА

Циљ: разумевање материје и енергије као основних феномена на којима почива физичка реалност универзума и животне средине. Савладавањем овог градива стичу се услови за адекватно разумевање њиховог значаја и улоге у животној средини, као и процеса кружења материје и протицања енергије у природи.

Резиме: Материја и енергија чине све што нас окружује. Материја је изграђена од атома, који се састоје од елементарних честица. Сваки атом представља одређени елемент. Исти или различити атоми се могу међусобно комбиновати у молекуле или јоне. Молекули изграђени од различитих атома чине једињења. Материја се у природи јавља у чврстом, течном, гасовитом и плазма стању. Свака материја, тј. супстанца одликује се специфичним хемијским саставом од кога зависе њена хемијска и физичка својства и својства која одређују начин утицаја те супстанце на организме и њено понашање у организму или у животној средини.

Енергија се дефинише као способност за извршавање рада. Енергија може бити потенцијална, уколико потиче од положаја честица или тела и кинетичка, уколико потиче од њиховог кретања. У природи постоје различити облици енергије, као што су: механичка, топлотна, хемијска, енергија зрачења, електрична, енергија звука итд. Материја и енергија се не могу уништити, нити створити ни из чега, већ само могу прелазити из једног облика у други.

2.1. МАТЕРИЈА

Материја (лат. *materia* – дрвна грађа, у изворном значењу, од *mater* – мајка) представља целокупну објективну стварност која постоји у простору и времену. Она је основа свега што постоји у универзуму, па тако и живих бића и њихове животне средине. Материја чини све што је живо и нежив. Она игра кључну улогу у динамици екосистема у којима стално долази до промена њених облика, у зависности од различитих природних процеса. С обзиром да су изграђени од материје, организмима је потребна материја из окружења како би обављали основне животне процесе, расли и размножавали се. Организми нису затворени системи, јер између њих и окружења константно постоје процеси размене материје и енергије. На тај начин, жива бића представљају део глобалних процеса кружења материје у којима активно учествују. Способност материје да мења своје облике и стања представља основу постојања и функционисања екосистема и живота на планети Земљи.

2.1.1. Појам материје

Материја у исто време представља један од кључних концепата у физици и филозофији. Она је саставни део свега што постоји у нашој физичкој стварности, јер чини грађу природе и читавог универзума. Иако постоје различити концепти и начини дефинисања материје, под њом се у физици најчешће подразумева све оно што има масу и запремину којом заузима одређени простор. Материја је **супстанца**. Она је шири појам, док се супстанца односи на конкретну материју одређеног хемијског састава. Супстанца је врста материје и облик њеног постојања. Од материје, тј. од одређених супстанци изграђен је сваки **физички објекат**, који представља скуп материја унутар одређених граница у тродимензионалном простору.

Материја се још дефинише и као истовремена манифестација масе и енергије у времену и простору. Поред тога, материја је неодвојиво повезана са концептом времена. Она увек постоји у одређеном простору и одређеном времену. Материја не може постојати ван простора и времена, што значи да сви физички објекти изграђени од материје, рачунајући атоме, молекуле и друге честице, као и већа физичка тела, имају своју просторну локализацију и постоје у одређеном тренутку времена. **Простор** представља геометријски аспект у ком материја заузима неко место, док се **време** односи на континуитет у којем се материја мења. Материја је неодвојиво повезана са кретањем и не може постојати без њега, што значи да није статична. Ово кретање не мора бити увек видљиво (као што је кретање објеката у простору), већ се под њим подразумева кретање молекула, атома или електрона који неку материју сачињавају. У физици влада концепт по коме „апсолутни мир” не постоји.

Иако је речено да је материја свака супстанца која има масу и запремину, важно је напоменути да поред ње постоји и други облик постојања материје у ширем смислу, а то је **физичко поље**, као што је то гравитационо, електрично или магнетно поље. Иако физичка поља не представљају материју у класичном смислу, она имају физичке ефекте и заузимају одређени простор. Концепт којим су супстанца и физичко поље два облика постојања материје у природи не важи у целом свету, те се на енглеском говорном подручју под материјом подразумева само супстанца. Ове недоследности су више термилошке природе и не одражавају се на суштинска схватања поменутих физичких појмова, која су универзална и општеприхваћена у науци. У наставку ове књиге, под материјом ће се првенствено подразумевати супстанца, док је физичким пољима посвећен посебан одељак.

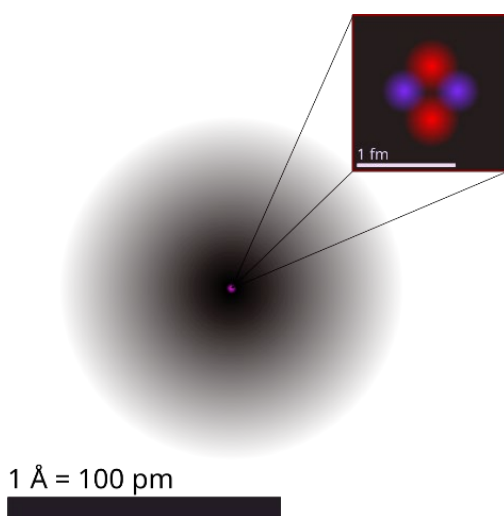
2.1.2. Састав материје

Свака материја сачињена је од атома, који су састављени од елементарних, тј. субатомских честица. Атоми се даље комбинују, да би формирали молекуле и јоне. Материја може бити изграђена од једног или више хемијских елемената и од једног или више хемијских једињења.

Елементарне честице су субатомске честице, тј. честице које изграђују атоме и за које се сматра да се не могу даље делити. Постоје две основне групе елементарних честица: фермиони, који чине материју, и бозони, који су преносиоци сила и који посредују интеракције међу фермионима. **Фермиони** се даље могу разврстати на кваркове и лептоне. Кваркови су честице које изграђују протоне и неутроне, као и друге хадроне

(честице које су састављене од више кваркова). Протони и неутрони су стабилни и чине атомска језгра, тако да играју кључну улогу у атомским структурама. Кваркови се увек налазе у групама (две или три) и никада не могу бити самостални. Најпознатији лептони су електрони, који се налазе у електронским омотачима атома. **Бозони**, за разлику од фермиона, не изграђују материју, али су одговорни за посредовање основних сила у природи. Без њих у природи не би постојале силе попут гравитације или електромагнетизма. У бозоне спадају фотони (преносиоци електромагнетне силе), W и Z бозони (преносиоци слабе нуклеарне силе), глюони (преносиоци јаке нуклеарне силе), гравитони (теоретски преносиоци гравитационе силе), итд.

Атоми представљају најмање јединице материје које дефинишу хемијске елементе. Другим речима, атоми се не могу поделити без губитка својстава хемијског елемента. Због тога се називају основном јединицом грађе сваког елемента и материје уопште. Величина атома је толико мала да се мери у пикометрима (pm), тј. билионитим деловима метра. Атоми су изграђени од језгра (нуклеуса) и омотача (слика 8). Језгро атома изграђено је од позитивно наелектрисаних протона и ненаелектрисаних неутрона, док омотач чине негативно наелектрисани електрони који круже око језгра. Електрони се крећу око језгра у енергетским нивоима, тј. орбиталама. Број протона у језгру одређује ком хемијском елементу атом припада и назива се атомским бројем. У стабилним атомима, број електрон једнак је броју протона, што те атоме чини електрично неутралним. Уколико број протона и електрона није једнак, такав атом се назива **јон**. Уколико има више електрона уместо протона, реч је о негативно наелектрисаним јонима (анјонима). Ако је ситуација обрнута, јон је позитивно наелектрисан (катјон).



Слика 8. Илустрација атома хелијума са издвојеним приказом његовог језгра (ружичасто – језгро атома, црно и сиво – електронски облак, црвено – протони, љубичасто – неутрони)

Хемијски елементи су чисте хемијске супстанце, које се састоје од атома са истим бројем протона у свом језгру. Сви атоми истог елемента имају исти број протона, али могу имати различит број неутрона, што доводи до постојања различитих изотопа једног истог елемента. Иако је већина хемијских елемената стабилна, постоје радиоактивни елементи са нестабилним језгрима који подлежу нуклеарном распаду, што даље резултује трансформацијом једног елемента у други. У зависности од својих карактеристика, као што су проводљивост, реактивност, тачка топљења итд., елементи се деле на: метале, металоиде и неметале. Данас је познато 118 хемијских елемената, од

којих је 94 природно присутно на Земљи, док су остала 24 елемента лабораторијски синтетисана у нукларним реакцијама. Ови бројеви варирају у зависности од извора. Заступљеност хемијских елемената на Земљи је веома неуједначена, тако да се кисеоник, силицијум и гвожђе налазе у великим количинама, док су неки елементи веома ретки, попут платине, злата, иридијум итд.

За живот на планети Земљи најзначајнији елементи су угљеник (C), водоник (H), кисеоник (O) и азот (N), јер учествују у изградњи органских једињења. Живим бићима су у већим количинама потребни и остали елементи, као што су калијум (K), калцијум (Ca), фосфор (P), магнезијум (Mg), натријум (Na), сумпор (S) и хлор (Cl). У мањим количинама, живим бићима су потребни елементи попут гвожђа (Fe), цинка (Zn), јода (I), мангана (Mn), бакра (Cu), кобалта (Co), молибдена (Mo), бора (B) и флуора (F). Елементи који су живим бићима неопходни за раст и развој, називају се есенцијални елементи (као што су Fe, Cu, Zn, итд.), док постоје елементи који се сматрају неесенцијалним или чак токсичним. Додатно, елементи потребни у већим количинама називају се **макроелементима**, док су **микроелементи** они који су им потребни у малим количинама или у траговима.

Молекули представљају стабилне групе два или више атома хемијски повезаних ковалентним везама, при чему долази до стварања заједничких парова електрона. Молекул је најмања јединица хемијске супстанце, која задржава све хемијске и физичке особине те супстанце. Могу се разликовати молекули елемента, који су изграђени од истих атома, тј. од атома истог хемијског елемента (молекул кисеоника, изграђен од два атома овог елемента), и молекули једињења, који су изграђени од атома различитих елемената (молекул воде, изграђен од два атома кисеоника и једног атома водоника). Величина већине молекула се креће од 0,1 до 100 nm (нанометара, тј. милијардитих делова метра). Постоје и макромолекули састављени од великог броја атома, те су им димензије знатно веће. У групу макромолекула спадају и полимери, тј. молекули сачињени од већег броја понављајућих јединица, тј. мономера, повезаних у дугачке ланце. У макромолекуле спадају бројна органска једињења, укључујући и протеине, полисахариде и нуклеинске киселине.

Како се између метала не формирају ковалентне, већ металне везе, њихови атоми не изграђују молекуле у класичном смислу, већ **кристалне решетке**. У кристалним структурама распоред атома метала се правилно понавља у свим правцима, при чему електрони слободно циркулишу међу њима. У кристалним структурама метала електрони не припадају једном атому, већ су заједнички. Слободно кретање атома у кристалним решеткама метала представља разлог њихове електричне и топлотне проводљивости.

Битно је напоменути да се под кристалним решеткама не подразумева само кристална структура метала, већ сваки уређени распоред било којих елементарних јединица чврсте супстанце, подразумевајући молекуле и јоне, а не само атоме. Везе које се формирају између елементарних јединица могу бити различите, рачунајући и водоничне, јонске и ковалентне. Тако нпр. молекули воде у леду међусобно повезани водоничним везама формирају кристалну решетку. Кухињска со (натријум-хлорид) представља пример јонске кристалне решетке састављене од јона натријума и хлорида повезаних јонским везама. Поред метала, атомску кристалну решетку формирају и други елементи, као нпр. угљеник чији су атоми у дијаманту повезани ковалентним везама. Насупрот супстанцама које имају кристалну структуру налазе се аморфне супстанце, чијој грађи недостаје правилност у распореду градивних јединица.

Хемијска једињења представљају супстанце састављене од два или више хемијска елемента у строго одређеном и фиксном односу. Као што је речено, атоми једног елемента могу формирати хемијске везе и са атомима других елемената, при чему настају молекули једињења. У молекулима једињења, атоми елемената заузимају дефинисан просторни распоред. Хемијска једињења поседују специфична својства, која се разликују од својстава појединачних елемената од којих су састављена. Она се на елементе могу раздвојити само путем хемијских реакција. Треба правити јасну разлику између њих и смеса, које се могу раздвојити на своје саставне методе физичким процесима, тј. методама попут филтрирања, седиментације или дестилације.

Хемијска једињења се могу поделити у зависности од врсте веза које су успостављене између атома елемената у њима. У том смислу можемо разликовати: ковалентна, јонска, метална и комплексна једињења. Најпознатија подела хемијских једињења је класификација на неорганска и органска једињења. **Неорганска једињења** су она која у својој структури не садрже међусобно повезане атоме угљеника, као ни атоме угљеника повезане са атомима водоника. Неке од најчешћих група неорганских једињења су: оксиди, хидроксиди, неорганске киселине, соли итд., а најзаступљеније неорганско једињење на Земљи је вода. Неопходно је напоменути да се нека једињења, која садрже угљеник попут: карбонатне киселине, угљеникових оксида, карбида и цијанида, убрајају у неорганска, јер у њима не постоје везе између угљеникових и водоникових јона. **Органска једињења** су она хемијска једињења која се састоје од угљеника и водоника и других елемената као што су: кисеоник, азот, сумпор, фосфор и халогени елементи (флуор, хлор, бром, јод). Основу свих органских једињења чини костур сачињен од међусобно повезаних угљеникових атома у различите структуре, као што су прстенови или негранати и гранати ланци. Ова једињења су основа живота на Земљи и чине основне компоненте живих организама, као што су протеини, угљени хидрати, липиди и нуклеинске киселине.

СУПРОТНОСТ МАТЕРИЈИ: АНТИМАТЕРИЈА

У универзуму постоји пука супротност материји – антиматерија, изграђена од елементарних античестица. Свака елементарна честица која изграђује материју има свог „антипандана“, тј. античестицу која јој је по свим карактеристикама истоветна, али супротног наелектрисања и супротног магнетног момента. Тако нпр. наспрам електрона (e^-) постоји позитрон (e^+). Сваки елемент који изграђује материју има свог еквивалента, који изграђује антиматерију (антиводоник, антикисеоник). Материја и антиматерија се међусобно уништавају уколико дођу у контакт у процесу који се назива анихилација. Честице и античестице не претварају се у „ништа“, већ у нове честице, као што су фотони, што значи да је овај процес праћен ослобађањем енергије у виду гама зрачења. Антиматерија није само теоријски концепт, већ је потврђено да до њене производње у малим количинама долази у сударима космичких зрака и током одређених процеса радиоактивних распада. Научници су у акцелераторима честица успели да произведу антиматерију. Ради се о веома малим количинама, које врло брзо буду уништене у процесу анихилације са материјом са којом дођу у контакт. Антиматерија се тренутно може чувати само у вакууму у високотехнолошким посудама, уз истовремено примењивање магнетне силе како би се спречило да дође у контакт са материјом (зидом суда), што је веома сложен и скуп процес. Уколико би се пронашао адекватан начин да већа количина антиматерије буде сачувана, могла би да буде искоришћена као извор енергије далеко моћнији од било ког другог до сада познатог.

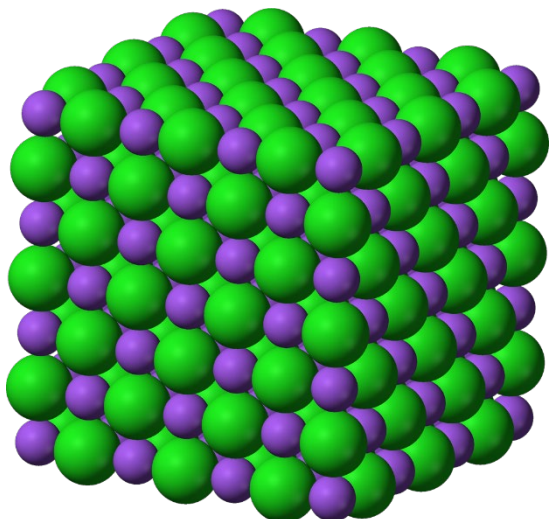
2.1.3. Агрегатна стања материје

Материје се у природи могу наћи у различитим агрегатним стањима (фазама), тј. макроскопским облицима свог постојања, условљеним карактеристичним просторним распоредом и облицима кретања честица (молекула или јона). У ком агрегатном стању ће се материја налазити зависи од природе саме супстанце, њене температуре, тј. количине топлотне енергије коју поседује и притиска под којим се налази. Термална енергија честица утиче на њихово кретање. Насупрот њој стоји енергија међучестичних интеракција, док њихов однос одређује агрегатно стање материје. У природи постоје четири основна агрегатна стања материје: чврсто, течно, гасовито и плазма.

Прелази материје из једног у друго агрегатно стање називају се **фазним прелазима**. Фазни прелази неке материје у природи условљени су променом температуре, а у зависности од тога да ли током њих долази до ослобађања или апсорбовања енергије могу се поделити на егзотермне и ендотермне. Током егзотермних фазних прелаза долази до ослобађања топлотне енергије и они се дешавају приликом снижавања температуре. Овде спадају прелази гасовитог у течно или течног у чврсто агрегатно стање. У ендотермним фазним прелазима материја апсорбује топлотну енергију, што значи да се том приликом енергија троши. Ендотермни фазни прелази су прелаз чврстог у течно или течног у гасовито агрегатно стање и до њих долази са порастом температуре. Поред температуре, фазни прелази су условљени хемијским саставом, молекуларном структуром саме материје и притиском.

Чврсто агрегатно стање. Материје у чврстом агрегатном стању карактерише уређена структура у којој су честице (атоми, молекули или јони) тесно распоређене у стабилном просторном распореду и имају мало могућности за кретање, које је сведено на осцилације око равнотежних положаја. Због тога се чврсте материје опирају променама облика и запремине. Чврсте материје због своје крутости не могу променити свој облик и заузети облик суда у коме се нађу (што је случај са течним материјама), нити се шире како би попуниле читаву доступну запремину у којој се нађу (што је случај са гасовитим материјама). Како су честице у њима распоређене веома близу једна другој, чврсте материје се одликују високом густином у поређењу са истом супстанцом у другим агрегатним стањима (изузетак је вода, која има већу густину у течном него у чврстом стању). Са порастом температуре до одређене вредности, материје из чврстог агрегатног стања топљењем прелазе у течно, а под одговарајућим условима могу директно прећи у гасовито стање, процесом који се назива сублимација.

Материје у чврстом агрегатном стању могу бити кристалне и аморфне. **Кристали** су чврсте материје са правилном унутрашњом структуром (кристалном решетком), у којој су честице распоређене по уређеном обрасцу, који се протеже у свим правцима (слика 9). Због тога унутрашња структура кристала има одређену симетрију, која се огледа у својствима и спољашњем облику кристалних тела (слика 10). **Аморфно стање** имају материје у којима је распоред честица неправилан (случајан, неуређен) и неуједначен у различитим деловима простора, који та материја заузима. Распоред честица у аморфним супстанцама сличан је распореду честица у течностима. У аморфним супстанцама честице се не крећу на начин на који се крећу у течним материјама, већ се одликују само вибрационим кретањима. Због тога се може рећи да аморфне супстанце по својој структури изгледају као нагло замрзнуте течности у којима је неуређеност структуре остала фиксирана.



Слика 9. Шематски приказ кристалне структуре кухињске соли (натријум-хлорида)



Слика 10. Кристал кварца

Течно агрегатно стање. Материје у течном агрегатном стању састоје се од честица које немају фиксиран распоред. За разлику од честица у чврстим материјама, које само осцилују око равнотежног положаја, у течностима се честице могу кретати трансляторно и ротационо. Међу честицама у течним материјама владају слабије привлачне силе у односу на чврсто агрегатно стање, али ипак довољно јаке да се честице држе заједно на блиским растојањима. Течности имају сталну запремину (веома мало су компресибилне), али променљив облик, тако да заузимају облик суда у коме се налазе. За разлику од гасова, течности се не шире како би заузеле сав расположиви простор, те им је густина углавном стална. Мали број елемената се у природним условима налази у течном агрегатном стању, али су течна једињења веома распрострањена. Убедљиво најзаступљеније течно једињење у природи је вода. Већина супстанци се налази у течном стању у веома уском опсегу вредности температуре и притиска. Изузетак је вода, која је течна у распону температуре од 0 до 100°C.

Течне супстанце при одређеним вредностима температуре и притиска прелазе у чврсто агрегатно стање у процесу замрзавања или очвршћавања, док њихов прелазак у гасовито стање представља испаравање и кључање. Снижавање температуре материје подразумева смањење термалне кинетичке енергије њених честица, чиме се њихово кретање смањује и на крају сведе само на вибрационо. Са повећањем температуре, кретање честица постаје све интензивније. Када честице течне супстанце добију довољну количину топлотне енергије, међучестичне привлачне силе више нису довољно јаке да их држе на окупу. То доводи до издвајања и ослобађања појединачних честица са површине течности, односно процеса који се назива испаравање. За разлику од испаравања, кључање је нагли процес који се одвија на тачно одређеној температури специфичној за дату супстанцу (тачка кључања) и којим је обухваћена читава запремина течне материје, а не само њени површински слојеви.

Гасовито агрегатно стање. Материје у гасовитом агрегатном стању, тј. гасове, чине честице чија је термална кинетичка енергија знатно јача од међучестичне привлачне енергије. Оне се крећу насумично и скоро сасвим слободно у свим правцима, тј. не држе се на окупу, већ су знатно размакнуте међусобно, тако да се гасови одликују мањом густином од течних и чврстих материја. Последица тога је то да гасови

заузимају сав расположив простор у коме се нађу, било да је то нека посуда или просторија.

Гасовите материје могу бити чисти гасови, састављени од исте врсте честица и смеше гасова, састављене од различитих врста честица. Чисте гасове сачињавају појединачни атоми одређеног елемента (као што је случај са племенитим гасовима), елементарни молекули састављени од истоветних атома (кисеоник – O_2 или азот – N_2 у ваздуху) или истоветни молекули одређеног једињења састављени од атома два или више различитих елемената (угљен-диоксид – CO_2 , водена пара – H_2O , или метан – CH_4). Смеше гасова се састоје од два или више чистих гасова који могу бити присутни у различитим пропорцијама, као што је случај са ваздухом.

Гасови при одређеној температури и притиску прелазе у течно стање у процесу који се назива кондензација. Некада гасови могу директно прећи у чврсто стање у процесу који се назива депозиција (десублимација или ресублимација), као што је у случају настанка мрза.

Плазма. Поред чврстог, течног и гасовитог стања, са којима се у природи срећемо свакодневно, постоји и агрегатно стање под називом плазма. У суштини, плазма је гас који је делимично или потпуно јонизован, али се због специфичних својстава сматра посебним, четвртим агрегатним стањем. До јонизације гасова, тј. преласка из гасовитог у плазма стање, долази при екстремно високим температурама услед чега се од атома и молекула одвајају електрони. Плазму чине негативно наелектрисане честице – електрони и позитивно наелектрисани јони, тј. оно што остане након издвајања електрона из атома и молекула. Због тога, плазма је добар проводник електричне енергије, за разлику од гасова који су изолатори. Кретањем електрона и јона у плазми долази до стварања електричне струје и магнетног поља. Како плазму чини једнак број негативно и позитивно наелектрисаних честица, она је као целина неутрална.

Процеси у којима плазма прелази у гас називају се рекомбинација и дејонизација, при чему се позитивно наелектрисани јони спајају са електронима, тако да настају неутрално наелектрисани атоми или молекули. До овог процеса долази губитком термалне енергије честица плазме, тј. њеним хлађењем. Прелазак плазме у гас представља егзотермни процес.

Плазма се на Земљи јавља у јоносфери (спољашњем слоју атмосфере). Муње представљају појавни облик плазме, а некада и пламен ватре при високим температурама доводи до плазма стања. Човек у вештачким условима ствара плазму за различите потребе (неонске лампе или плазма екрани). Иако је на Земљи ретка појава, материја у плазма стању чини чак 99% свемира, јер изграђује звезде (укључујући и Сунце), а налази се у међуглактичком, међузвезданом и међупланетарном простору.

2.1.4. Закони о очувању материје и масе

Један од најстаријих закона физике је закон о очувању материје који гласи: *Материја се не може уништити, нити ни из чега створити, она може само да се мења и да прелази из једног у други облик.* Материја не може бити ни створена ни уништена током класичних хемијских и физичких процеса, већ може само променити свој облик, при чему њена укупна количина у затвореном систему остаје константна. Вода када кључа не нестаје, већ само мења своје агрегатно стање из течног у гасовито. Сличан је случај и са материјом која сагори. Растварањем шећера у води, молекули шећера се раскидају и распршују међу молекулима воде, али њихова маса остаје

непромењена, иако ми не видимо појединачне молекуле. Добијање нових хемијских супстанци врши се на основу већ постојећих материја.

Закон о очувању материје је веома значајан за разумевање процеса кружења материје у природи, тј. биогеохемијских циклуса. У природним системима, материја непрестано пролази кроз различите облике и фазе (агрегатна стања), али укупна количина материје остаје константна. Тако се угљеник у природи јавља у различитим облицима: као саставни део органских и неорганских једињења, гасовитих, течних и чврстих супстанци, као део живе и неживе природе. Угљеник као елемент стално прелази из једног облика у други. У процесу фотосинтезе атоми угљеника из угљен-диоксида уграђују се у органску материју фотоаутотрофних организама, док је процес респирације обрнут. Сагоревањем фосилних горива угљеник заробљен у угљу, нафти или природном гасу, ослобађа се у атмосферу у виду угљен-диоксида. Угљеник се у току ових процеса не уништава, већ само мења свој облик у складу са законом о очувању материје.

Иако су међусобно повезани, потребно је разликовати закон о очувању материје од закона о очувању масе, који гласи: *У затвореном систему, маса пре и после хемијске реакције остаје константна, односно нема губитка материје*. Према овом закону, када се две или више супстанци (реагенаса) комбинују или реагују, укупна маса производа реакције једнака је маси реагенаса који су учествовали у реакцији. Иако се ова два закона често користе као синоними, закон о очувању материје није стандардно прихваћен у физици, па се исправнијим и прецизнијим сматра закон о очувању масе.

Битно је напоменути да закони о очувању материје и масе не важе у случају нуклеарних реакција нити у случају анихилације као последице контакта материје и антиматерије. У процесима који се одвијају на Сунцу или током реакција у нуклеарним реакторима, маса се може променити, јер се део масе претвара у енергију у складу са Ајнштајновом једначином еквивалентности енергије и масе по којој је количина енергије (E) која се из неког тела може добити једнака маси (m) тог тела помноженој квадратом брзине светлости (c^2): $E = mc^2$.

2.1.5. Својства материје

Свака материја се одликује специфичним особинама, које првенствено зависе од њене грађе. У односу на то да ли зависе од количине материје, њена својства се могу поделити на интензивна и екстензивна. **Интензивна својства материје** не зависе од њене количине, тако да у њих спадају боја материје, тачка топљења, тачка кључања, електропроводљивост, агрегатно стање на одређеној температури итд. **Екстензивна својства материје** представљају величине којима се материја описује и које се мењају у зависности од количине материје. Овде спадају маса (m), тежина (W) и запремина (V). Густина (ρ) спада у интензивна својства материје, упркос томе што зависи од њених екстензивних својстава, тј. представља однос масе и запремине ($\rho = m/V$).

Својства материје могу бити физичка и хемијска. **Физичка својства** су она која могу бити измерена без измене хемијског састава материје. Нека од најзначајнијих физичких својстава материје су: **маса**, **запремина**, **густина**, **електропроводљивост**, итд. Посебне групе физичких својстава материје представљају **механичка својства** (тврдоћа, чврстоћа, еластичност), **оптичка својства** (боја и начини на које материја апсорбује, прелама или рефлектује светлост) и **термална својства** (тачке кључања, топљења и мржњења, топлотни капацитет, топлопроводљивост). У физичка својства спадају

тренутне особине, које се мењају у великој зависности од карактеристика окружења, као што је нпр. температура материје.

Хемијска својства односе се на способност материје да се подвргне некој хемијској промени или реакцији, што зависи од њеног хемијског састава и молекуларне структуре. За разлику од физичких својстава, хемијска својства материје се могу променити само променом молекуларне структуре и хемијског састава супстанце. Ова својства материје могу се одредити и мерити извођењем хемијске промене или хемијске реакције. Нека од најважнијих хемијских својстава материје су:

- **хемијска стабилност** – способност материје да остане непромењена у одређеним условима;
- **реактивност** – способност учествовања у хемијским реакцијама са другим супстанцама;
- **запаљивост** – способност материје да се запали и сагорева при излагању извору топлоте или пламену;
- **растворљивост** – максимална количина материје која се може растворити у одређеном растварачу при одређеним условима;
- **оксидативна својства** – способност материје да учествује у процесу оксидације.

Хемијско својство материје, које је од великог значаја за жива бића у природи јесте њена **pH вредност**. Ово својство се не односи на све супстанце у природи, већ само на водене растворе различитих супстанци. pH вредност се може дефинисати као мера концентрације водоникових јона (H^+) у раствору, чиме се одређује да ли је раствор кисео, неутралан и базан (алкалан). Прецизније речено, pH вредност представља негативни логаритам концентрације водоникових јона ($pH = -\log[H^+]$). За поређење pH вредности различитих раствора направљена је логаритамска скала, која обухвата вредности од 0 до 14. У неутралним растворима концентрације H^+ и OH^- јона су једнаке (што је случај у чистој води при стандардним условима температуре), а њихова pH вредност износи 7. Кисели раствори имају pH вредност нижу од 7, што значи да се одликују високом концентрацијом H^+ јона. Нижом концентрацијом H^+ јона, тј. pH вредношћу изнад 7, одликују се базни (алкални) раствори. pH вредност може утицати на брзину и ток хемијских реакција, тако да од ње зависе многе ензимске реакције у биолошким системима. Жива бића су веома осетљива на pH вредност унутрашњих течности, тако да је одржавање оптималног pH неопходно за њихово нормално функционисање. За жива бића је веома значајна pH вредност средине у којој живе. Велике промене pH вредности воде у стајаћим и текућим водама или земљишних раствора могу имати штетне ефекте на акватичне организме, односно на биљке и земљишну фауну.

Поред хемијских и физичких својстава, неке материје имају и специфична **биолошка својства** и називају се живим. У екологији је уобичајена подела материја у природи на живу и неживу. Жива материја је веома сложена и изграђује жива бића која се одликују способношћу за раст, репродукцију, реаговање на стимулусе из окружења, метаболизам и прилагођавање на измењене услове средине. Основну јединицу грађе и функције живе материје чине ћелије које садрже све неопходне молекуле и структуре, које омогућавају животне процесе. Жива материја је у својој основи изграђена од органских једињења, као што су протеини, угљени хидрати, липиди и нуклеинске киселине. Ипак, као посебно значајно органско једињење може се издвојити дезоксирибонуклеинска киселина (ДНК), која сама по себи није жива материја, али представља основни

молекул који садржи генетску информацију неопходну за живот. Према томе, ДНК игра кључну улогу у развоју, функционисању, расту и репродукцији организама. Садржи инструкције које регулишу све процесе унутар ћелије, који омогућавају живот.

Као посебна категорија могу се издвојити **еколошка својства материје**, под којима се подразумева њихов однос према живој материји (ћелији или организмима), тј. начин на који нека материја утиче на жива бића, начин на који се метаболише у организму, како се разлаже од стране микроорганизама у природи или како се понаша у животној средини. У том смислу, посебно су значајне:

- **токсичне материје**, које изазивају акутно или хронично тровање организма;
- **мутагене материје**, које изазивају мутације генетског материјала;
- **канцерогене материје**, које изазивају настанак карцинома;
- **тератогене материје**, које проузрокују настанак абнормалности или деформитета фетуса током његовог развоја, итд.

За животну средину су значајне материје које су неразградиве у природи. Неке од њих имају потенцијал нагомилавања у ткивима живих бића у процесу под називом **биоаккумуляција**. Када се нађу у животној средини, за неке од ових материја карактеристично је да им се концентрације постепено повећавају на сваком следећем трофичком нивоу. Највише концентрације ових материја присутне су код животиња које се налазе на врху ланца исхране, а сам процес носи назив **биомагнификација**.

2.2. ФИЗИЧКА ПОЉА

Физичко поље се сматра једном од два појавна облика материје, поред супстанце. Ипак, о томе да ли је физичко поље материја или не, данас постоје различита схватања. У сваком случају, у питању је концепт којим се описује на који начин су физичке величине (сила или енергија) распоређене у простору и времену. Физичко поље се може објаснити као својство простора које узрокује физичке ефекте, као што су интеракције између тела у природи. Физичким пољима остварује се дејство између тела или честица, чак и када нису у директном контакту. За разлику од фермиона, елементарних честица које изграђују материју у класичном смислу, за постојање физичких поља одговорни су бозони, тј. елементарне честице које преносе основне силе у природи.

Гравитационо поље постоји у простору који окружује свако тело са масом која генерише гравитациону силу. Према Њутновом закону гравитације, сва тела привлаче једно друго силом која је пропорционална производима њихових маса и обрнуто пропорционална квадрату дужине растојања између њих. Гравитациона сила је увек привлачна, а гравитационо поље је универзално, што значи да све масе у свемиру врше гравитационо дејство једна на другу. Гравитациона сила је слаба и од значаја је само у случају тела великих маса, као што су небеска тела попут звезда и планета. Према теорији опште релативности, гравитационо поље настаје као последица деформације (закривљености) просторно-временског континуума, до кога долази услед присуства велике масе и енергије. То за последицу има да друга тела која се нађу у гравитационом пољу неког небеског тела бивају привучена гравитационом силом ка његовом средишту.

Електрично поље је облик физичког поља, које делује као посредник између тела која имају наелектрисање. Када је неко тело позитивно или негативно наелектрисано, оно генерише електрично поље које утиче на друга наелектрисана тела у близини. Ово поље се јавља око сваке наелектрисане честице. Око позитивно наелектрисане честице јавља се електрично поље, које генерише силу која привлачи негативно наелектрисане честице и обрнуто. Према Кулоновом закону, сила која се јавља између две наелектрисане честице или два тела зависи од величине њихових наелектрисања и удаљености између њих. Векторска величина која описује деловање електричне силе на наелектрисану честицу назива се јачином електричног поља и изражава се волтима по метру (V/m) или њутнима по кулону (N/C). Електрично поље делује на сваку наелектрисану честицу која се у њему нађе, чиме настаје електрична енергија која је саставни део сваког електричног поља. Важно је напоменути да се електрично поље јавља у простору у коме влада променљиво магнетно поље.

Магнетно поље је физичко поље које постоји око наелектрисаних честица које се крећу. У магнетном пољу на наелектрисане честице делују магнетне силе. Оно се може дефинисати као део простора у коме ове силе делују. Магнетно поље је везано за сваки облик кретања наелектрисања, убрајајући и кретање електрона у оквиру атома, као и за ротацију електрона око своје осе. Свако тело које генерише магнетно поље назива се магнетом. Магнетно поље је векторско, као и електрично поље. Разлика између магнетног и електричног поља је у томе што је магнетно поље повезано са покретним наелектрисаним честицама, а електрично поље се односи на статичне наелектрисане честице. С обзиром да су ова два поља у тесној вези, често се говори о електромагнетном пољу.

Електромагнетно поље представља комбинацију електричног и магнетног поља, која су нераскидиво повезана. Постојање овог поља условљено је наелектрисаним телима или честицама. Електрично и магнетно поље су у међусобној интеракцији и зависности, јер промене у електричном пољу утичу на промене магнетног поља и обрнуто. Овај динамични однос између електричног и магнетног поља представља основу постојања електромагнетних таласа. Када се једно поље промени то може створити осцилације које се шире као таласи кроз простор, при чему настаје електромагнетно зрачење. У простору, електромагнетно поље се електромагнетним зрачењем преноси бесконачно брзином светлости, која у вакууму износи око 300.000 km/s.

2.3. ЕНЕРГИЈА

Енергија (од стгрч. *ἐνέργεια* – делатност, радиност) је свуда око нас и заједно са материјом представља основу за све што постоји у универзуму. У природи се ништа не може дешавати без промене у енергији, било да је то њена потрошња или ослобађање у различитим облицима. То важи за све биолошке и еколошке процесе. Енергија је од кључног значаја за сва жива бића јер животни процеси, попут метаболизма, зависе од константног протока енергије. Сходно томе, без ње нема ни живота. Енергија из животне средине може имати негативан утицај на жива бића, као што је случај са екстремно високом температуром или високим нивоом радијације. У природи, енергија постоји у различитим облицима, али се константно трансформише из једног облика у други, у чему жива бића имају удела. Та њена способност да прелази из једног облика у други чини је централним појмом за разумевање функционисања света око нас.

Енергија и материја су нераскидиво повезане, тако да разумевање физичке стварности захтева њихово заједничко разматрање.

2.3.1. Појам енергије

Енергија се у физици најчешће дефинише као **способност да се изврши рад**. Може се тумачити и као квантитативни показатељ способности физичког система, физичког тела или честице да промени други систем, тело и честицу у окружењу. Као таква, енергија представља узрок свих феномена акције у природи. Потребна је за разне процесе у природи: покретање аутомобила, струјање ваздуха, загревања воде, раст биљке итд. Сви физички системи у себи поседују одређену количину енергије. Та количина енергије није апсолутна и константна вредност, већ је релативна у зависности од референтног стања, односно референтног нивоа, тј. неке врсте почетне или базне вредности у односу на коју се мери промена енергије у систему. Енергија као физичка величина изражава се у различитим јединицама у зависности од контекста. У Међународном систему јединица (SI), њена основна јединица је **џул (J)**. Један џул представља ону количину енергије која се утроши када сила од 1 њутна делује на објект и премести га за 1 метар у правцу те силе ($1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$). Да би се енергија као природни феномен разумела, неопходно је упознати се и са другим појмовима у физици, као што су рад, сила и снага.

Под **радом (W)** се у физици подразумева пренос енергије из једног физичког система у други физички систем. Овај пренос енергије врши се деловањем силе дуж неког пута, те је рад једнак производу силе (F) и пређеног пута, тј. помераја (s), уколико сила делује у правцу померања тела: $W = F \times s$. Основна јединица за рад је иста као и за енергију – **џул (J)**.

Под **силом (F)** се подразумева мера узајамног деловања тела и његове околине које узрокује промену брзине, смера, правца или облика тела. Као таква, сила представља основну компоненту која покреће рад. Сила се израчунава као производ масе тела (m) и убрзања (a) које је то тело задобило након њеног деловања: $F = m \times a$. Основна јединица за силу је **њутн (N)**, који представља ону количину силе која телу масе 1 килограма даје убрзање од 1 метра у секунди ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2$). У природи постоје четири фундаменталне врсте сила: гравитациона, електромагнетна, слаба нуклеарна и јака нуклеарна сила.

Појам који је повезан са енергијом и радом у физици јесте **снага (P)**, која представља меру извршеног рада у јединици времена ($P = W/t$), односно количину енергије која је претворена из једног облика у други, у току једне секунде. Основна јединица за снагу је **ват (W)**, који је једнак једном џулу у секунди ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ Nm/s}$).

Док је енергија количина која се складишти у систему, рад је начин на који се та енергија преноси или користи. Сила је узрок који доводи до рада, а снага описује колико брзо се енергија користи за вршење рада. Иако на овај начин објашњен појам енергије може створити утисак да се она доводи у везу само са физичким телима, механичким радом и појавама на макроскопском нивоу, треба имати на уму да се ради о знатно ширем појму и доста сложенем физичком феномену. Енергију поседују честице које изграђују тела, тј. атоми и молекули и елементарне честице као што су електрони или фотони. Енергија ових честица потиче од њиховог кретања или положаја. Свако физичко тело има своју унутрашњу енергију која представља суму енергија које поседују честице од кога је оно изграђено, али се као целина одликује енергијом сопственог положаја и кретања. Енергија се може дефинисати не само као способност система да врши механички рад, већ и да одаје топлоту. Да би се енергија

што боље разумела, неопходно је упознати се са њеним појавним облицима у природи, који се одликују својим специфичностима, што отежава схватање енергије као јединственог концепта. У еколошком контексту, најзначајнији облици енергије су енергија Сунчевог зрачења, топлотна, хемијска и механичка енергија, док се у физици енергија примарно дели на потенцијалну и кинетичку.

2.3.2. Потенцијална и кинетичка енергија

Као што је већ напоменуто, енергија може потицати од положаја честица или тела, или пак од њиховог кретања. У природи постоје две основне врсте енергије: потенцијална и кинетичка.

Потенцијална енергија је енергија која потиче од положаја тела или честица у неком пољу сила. Она представља способност тела да изврши рад због свог положаја у односу на друге објекте или физичка поља. Због тога се често описује као складиштена енергија. У најједноставнијем смислу, потенцијална енергија се повезује са висином на којој се неко тело налази у гравитационом пољу. Тело које се налази под утицајем гравитационог поља Земље поседује потенцијалну енергију (E_p) која је једнака производу његове масе (m), висине на којој се налази (h) и гравитационом убрзању (g , око $9,8 \text{ m/s}^2$): $E_p = m \times g \times h$. Овај облик потенцијалне енергија назива се гравитациона потенцијална енергија.

У природи постоје различити облици потенцијалне енергије, али сви они су повезани са одређеном силом (гравитационом, електричном, еластичном, привлачном силом између честица) која делује у складу са неком особином тела или честице, а то могу бити: маса, наелектрисање, еластичност, температура итд. У природи постоје различити облици потенцијалне енергије: гравитациона потенцијална енергија, хемијска енергија, еластична енергија, итд. Свим овим облицима потенцијалне енергије заједничко је да се могу претворити у кинетичку енергију.

Кинетичка енергија је енергија која потиче од кретања тела или честица. Сва тела и честице поседују одређену кинетичку енергију уколико се крећу. При овом кретању се не подразумева само кретање у смислу промене локације у простору, већ свака промена положаја, подразумевајући и ротациона кретања тела или честице. Због тога се кинетичка енергија често описује као мера количине кретања. Кинетичка енергија (E_k) зависи од масе (m) тела или честице и брзине (v) њиховог кретања и може се представити следећом једначином: $E_k = \frac{1}{2} m \times v^2$. Како постоје честице које не поседују масу, као што су фотони, количина кинетичке енергије коју оне поседују зависи од фреквенције њихових осцилација. Кинетичка енергија се може пренети са једног тела на друго (када једно тело које се креће удари у друго и изазове његово кретање) и трансформисати у друге облике енергије (енергија зрачења се у контакту са неком површином може трансформисати у топлотну енергију). У природи постоје различити облици кинетичке енергије: механичка, електрична, енергија зрачења (укључујући и светлосну енергију), топлотна, енергија звучних таласа итд.

Категорисање различитих облика енергије у потенцијалну и кинетичку енергију није увек тако једноставно ни могуће. Механичка енергија представља збир потенцијалне и кинетичке енергије неког тела. Топлотна енергија, иако наведена као облик кинетичке енергије представља последицу кинетичке енергије кретања честица које чине неко тело, те се често ни не сматра кинетичком енергијом у строгом смислу

речи. Топлотна енергија не представља кинетичку енергију тела као целине, већ се односи на статистички просек кинетичке енергије честица које то тело сачињавају.

2.3.3. Механичка енергија

Као што је већ предочено, механичка енергија представља збир потенцијалне и кинетичке енергије неког тела ($E = E_p + E_k$). Нека тела могу имати само кинетичку енергију, нека само потенцијалну, а нека могу истовремено поседовати потенцијалну и кинетичку. Камен који пада под утицајем гравитационе силе Земље у сваком моменту има кинетичку енергију, јер се креће, али и потенцијалну која се константно смањује, како се смањује висина на којој се налази. Механичка енергија тела које се креће на овај начин остаје константна, јер како се са смањењем висине смањује потенцијална енергија, кинетичка енергија се повећава због повећања брзине кретања. Механичка енергија се преноси са тела на тело (када тело које се креће удари у тело које мирује), а може се трансформисати и у друге облике енергије, као што су: топлотна (услед трења), енергија звучних таласа (када објекат који пада удари о тло), еластична (приликом механичког истезања или сабијања еластичног материјала), електрична (у генераторима) итд. Механичка енергија се у одређеним процесима може претворити у хемијску енергију (енергију хемијских веза).

Свако тело које се креће или налази у гравитационом пољу, поседује механичку енергију. Механичку енергију поседују тела која су еластично деформисана, јер и у овом случају долази до складиштења потенцијалне енергије која може бити „ослобођена” када тело крене да се враћа у свој изворни облик (нпр. затегнута гумица или набијена опруга). Битно је напоменути да механичку енергију немају само чврста тела, већ и материје попут воде и ваздуха, које се могу механички кретати у гравитационом пољу. Иако механичку енергију теоретски могу поседовати и атоми и елементарне честице, класични механички концепти у овом случају нису увек директно применљиви, јер на овом нивоу владају посебни закони квантне механике. Због тога се појам механичке енергије обично користи за описивање макроскопских система, односно физичких тела.

Сведоци смо да се у природи тела и материје стално механички крећу, тј. мењају свој положај, што значи да је механичка енергија свеприсутна и има огроман значај, како за живу, тако и за неживу компоненту животне средине. Узроци ових кретања могу бити различите силе, као што се и различити облици енергије могу трансформисати у механичку енергију.

Један од главних разлога механичког кретања тела и материја на планети Земљи је гравитациона сила која делује на све што има масу, подразумевајући и неживу природу (стене, земљиште, воду, ваздух) и жива бића. Услед ње, долази до слегања тла, појаве клизишта и лавина, кретања воде у рекама, опадања плодова са биљака итд. Тектонски покрети и померање тектонских плоча проузроковано је комбинацијом гравитационе силе и топлотне енергије, која потиче из унутрашњости Земље. Разлика у количини примљене енергије Сунчевог зрачења, тј. неједнако загревање различитих делова копна или воде, изазива кретање материја у природи, првенствено ваздуха и воде. Тако долази до појаве ветрова, струја у морима и океанима и циркулације воде у језерима.

Механичка енергија се може преносити са једног тела на друго, тако да кретање једног тела или материје може проузроковати кретање другог тела или материје. Вода и ваздух, који се крећу, са собом могу носити материјал са којим долазе у контакт, тј. проузроковати кретања честица земљишта и камења. Ови процеси су значајни, јер

доводе до ерозије којом се обликује рељеф. Кретање ваздуха и воде је од велике важности за жива бића, нарочито она која немају способност активног кретања. На тај начин микроорганизми и ситни вишећелијски организми могу бити пасивно ношени ваздухом или водом. На овај начин се преносе полен и семена великог броја биљака, што омогућава њихово опрашивање и расејавање, као и полне ћелије (гамети) неких акватичних животиња, што омогућава спољашње оплођење.

Жива бића, а нарочито животиње, имају способност активног кретања, што значи да имају могућност трансформисања хемијске енергије у механичку. Мишићи животиња функционишу као нека врста „моторног” механизма, претварајући енергију која је складиштена у органским молекулима у механички рад, који се огледа у покретањима делова тела или кретању читавог организма. За ово су задужени процеси ћелијског дисања (респирације), који се одвијају у митохондријама, приликом чега се хемијска енергија из органских молекула користи за синтезу аденозин-трифосфата (АТФ), молекула чијим се распадањем ослобађа енергија, која омогућава мишићима да се контрахују. На тај начин, животиње имају способност да лове плен, беже од предатора, проналазе одговарајуће станиште и партнера за парење, као и да врше друге активности важне за њихов опстанак и функционисање у екосистему.

Механичка енергија може и негативно утицати на организме. Прекомерно директно деловање механичке енергије на жива бића доводи до повреда, оштећења ткива и смрти. Иако нежива природа може имати овакав ефекат по организме (нпр. обрушавање стена, клизишта, пад животиња са литица), у природи је чешћи случај да организми једни другима наносе механичке повреде, што је случај у односима предатора и плепа, хербивора и биљака, као и током борби за ресурсе, у којима могу учествовати како јединке различитих врста, тако и јединке исте врсте. Механичка енергија може посредно деловати на жива бића, трансформишући се у неки други облик, као што је топлотна или енергија звучних таласа (бука). Механичка кретања неживе природе могу деловати посредно на жива бића тако што доводе до уништавања њихових станишта, као што је случај са клизиштима. У данашње време, значајан покретач механичке енергије која делује негативно на живи свет јесте човек и његове активности, од уништавања станишта за потребе изградње насеља, саобраћајница или индустријских објеката, гажења вегетације, па све до директног убијања животиња или сакупљања биљака.

2.3.4. Топлотна енергија

Топлотна или термална енергија је облик унутрашње енергије неког тела, који представља последицу кретања честица (молекула, атома, јона или електрона) од којих то тело је изграђено. Притом се под овим кретањем честица не подразумева само транслаторно кретање, већ и њихове вибрације и ротације око сопствене осе. Због тога се често каже да топлотна енергија неког тела представља суму кинетичких енергија, које поседују честице тог тела. Пошто се ради о унутрашњој енергији, топлотну енергију неког тела не чини енергија његовог кретања и положаја као целине. Различита су тумачења топлотне енергије. Она се некада посматра као унутрашња енергија тела, која поред кинетичке енергије честица неког тела, укључује и потенцијалну енергију његових честица која се односи на њихове међусобне интеракције, попут електростатичких и привлачних сила између атома и молекула. Неки научници сматрају да би термин „топлотна енергија” било најбоље избегавати и уместо њега користити шири појам „унутрашња енергија”.

Топлотна енергија није исто што и **топлота**, иако се ова два појма често неправилно користе као синоними. Неко тело, систем или материја поседује одређену количину топлотне енергије, као своје унутрашње својство. Топлота представља пренос топлотне енергије из једног система у други систем или у окружење тог система, тј. пренос са тела са већом количином топлотне енергије на тело са мањом количином топлотне енергије. Док је топлотна енергија садржана унутар неког тела, као његово унутрашње својство, топлота представља ону количину енергије која то тело напушта. Оно што осетимо када приближимо руку неком врелом телу, није његова топлотна енергија, већ топлота коју одаје. Основна јединица топлоте и топлотне енергије је џул (J).

Термин који би требало разликовати од топлотне енергије и топлоте, јесте **температура**, односно физичка величина која представља меру интензитета кретања честица неког тела или материје. Температуром се изражава просечна количина кинетичке енергије честица тела или материје. Што се честице неког тела брже крећу, то је његова температура виша и обрнуто. Температура је величина коју поседује тело као целина, а не појединачне честице, те због тога представља колективно својство. Температура се може дефинисати и као величина која описује топлотно стање тела, као и његову способност да размењује топлоту са окружењем. Разлика између топлотне енергије и температуре може се објаснити на примеру два тела изграђена од исте супстанце, а различите величине. Уколико приме исту количину топлотне енергије, њихове температуре ће, ипак, бити различите, јер је већем телу потребна већа количина топлотне енергије како би се загрејало до исте температуре као мање тело. Топлота се може преносити са тела на тело, али температура не може. Последица преношења топлоте са топлијег на хладније тело јесте изједначавање њихове температуре, јер се у том процесу количина топлотне енергије првог тела смањује, док се количина топлотне енергије другог тела повећава. Основна јединица за температуру у Међународном систему јединица је келвин (K), али се у пракси користе степени Целзијусове или Фаренхајтове скале ($^{\circ}\text{C}$, односно $^{\circ}\text{F}$).

Процес примања топлоте од стране једног тела резултује у повећању његове температуре и обрнуто. До овога не долази у случајевима када материја прелази из једног у друго агрегатно стање. Топлота која проузрокује промену агрегатног стања неке материје, приликом чега не долази до промене температуре те материје, назива се **латентном топлотом**. На пример, температура воде која кључа (нагло прелази у гасовито стање) не расте, већ остаје 100°C . Ако лед прима топлоту, његова температура неће расти преко 0°C , све док се он потпуно не истопи. Ово се дешава зато што се енергија која се додаје материји троши на промену распореда честица у структури материје, тј. измену њеног агрегатног стања. Латентна топлота није само она коју нека материја прима, већ и она топлота коју одаје када прелази из гасовитог у течно, или из течног у чврсто стање. Процеси као што су кондензација водене паре или мржњење воде, праћени су емитовањем латентне топлоте. Ова појава је од великог значаја у природи, пре свега за метеоролошке процесе и хидролошки циклуса. Када се водена пара у облацима охлади, почеће да се кондензује у капљице воде, што ће бити праћено ослобађањем латентне топлоте која ће загревати атмосферу. С друге стране, када вода испарава из земљишта или са вегетације, латентна топлота се троши, чиме се ваздух хлади. Сличан принцип важи у случају знојења људи, што представља механизам одржавања стабилне телесне температуре, тј. спречавања прегревања организама када је спољашња температура висока.

Топлотна енергија, коју неко тело или материја поседују, може представљати резултат трансформације других облика енергије. Енергија Сунчевог зрачења претвара се у топлотну енергију, када електромагнетни зраци доспеју на неку површину, која их

апсорбује (активна површина). На тај начин се тела загревају, а Сунчево зрачење представља главни извор топлоте на површини Земље. Механичка кинетичка енергија претвара се у топлотну енергију када нпр. дође до удара тела које се креће у друго тело. У том случају, механичка кинетичка енергија тела које се креће претвара се у кинетичку енергију атома и молекула, јер се повећава интензитет њиховог кретања. Најочигледнији пример за ово је случај када долази до трења између два чврста тела, при чему ће доћи до њиховог загревања. Хемијска енергија претвара се у топлотну у процесима сагоревања, а део хемијске енергије се ослобађа у виду топлотне у метаболизму живих бића. И други облици енергије се могу трансформисати у топлотну, укључујући електричну (услед отпора у проводницима), нуклеарну (приликом нуклеарних реакција) и еластичну енергију (када услед истезања и сабијања материјала долази до његовог загревања).

Топлотна енергија се може преносити са тела на тело и са једног дела истог тела на други, што представља један од основних процеса у природи захваљујући коме долази до дистрибуције топлоте на планети Земљи, што је од суштинског значаја за одвијање климатских процеса и остваривање повољних услова за живот. Постоје три начина за одвијање овог процеса: кондукција, конвекција и топлотно зрачење.

Кондукција представља директан пренос кинетичке енергије од једне до друге честице, као резултат њиховог контакта. На овај начин се топлотна енергија преноси са топлијих на хладније делове истог тела или са топлијег тела на хладније тело, при чему та два тела морају бити у директном контакту. Када држимо металну кашичицу у шољи врућег чаја, топлотна енергија се преноси из течности на кашику, а затим на нашу руку, што осећамо као топлоту. Принцип оваквог преноса кинетичке енергије честица аналоган је преносу механичке кинетичке енергије тела – тело које се креће и удари о друго тело пренеће му део своје кинетичке енергије. Како је директан контакт честица предуслов за преношење њихове кинетичке енергије, то значи да је кондукција интензивнија у телима сачињеним од густо збијених честица, што је случај у чврстим материјама, нарочито металима, који су познати као добри проводници топлотне енергије. Кондукција је једини начин преноса топлотне енергије. С друге стране, у течностима, а нарочито гасовима, кондукција је слабије изражена јер су њихове честице удаљеније једне од других, те су њихови међусобни директни контакти ређи. У вакууму, због одсуства честица, кондукција није могућа. Иако је кондукција најинтензивнија унутар чврстих тела, односно између два чврста тела, на овај начин се топлотна енергија може преносити између материја других агрегатних стања, али у знатно мањој мери. У природи, кондукцијом се топлотна енергија преноси на дубље слојеве земљишта или стена.

Конвекција представља процес преноса топлоте до кога се долази као резултат струјања и мешања материје услед разлика у температури, а самим тим и у густини. Конвекција није могућа у чврстим телима, у којима је кретање честица сведено на вибрације, већ само у течностима и гасовима, тј. материјама које могу да струје и да се мешају. За разлику од кондукције, конвекција представља процес који укључује пренос топлоте кроз кретање материје, а не пренос кинетичке енергије са једне честице на другу. Када се течне и гасовите материје загревају, њима се густина смањује, те постају лакши и почињу вертикално да се померају ка горе, а хладнија течност, тј. хладнији гас се као тежи спушта. Овакав начин преноса топлоте од кључног је значаја за циркулацију атмосфере, настанак ветрова, струјање морске и океанске воде и циркулацију воде у језерима.

Топотно зрачење (термална радијација) представља процес преноса топлоте путем електромагнетних таласа. Овакав пренос топлоте истовремено подразумева претварање топлотне енергије у енергију електромагнетног зрачења, које се у контакту са површином која га апсорбује поново претвара у топлотну енергију. Што је тело топлије, то ће количина топлотног зрачења коју емитује бити већа, а електромагнетни таласи краћих таласних дужина и већих фреквенција. На овај начин топлотна енергија се преноси између удаљених тела и кроз вакуум, што значи да је овај начин преноса топлотне енергије доминантан у свемиру. Сунчевим зрачењем се загрева површина Земље, која потом емитује дуготаласно инфрацрвено зрачење, којим се загрева атмосфера.

Топлотна енергија игра веома значајну улогу у одвијању основних животних функција организама. Наиме, биохемијске реакције у њиховим ћелијама се одвијају у одређеном опсегу температура. Недостатак топлотне енергије, односно ниске температуре спољашње средине, могу негативно утицати на жива бића, као и прекомерна изложеност високим температурама спољашње средине. На ниским температурама долази до успоравања биохемијских реакција, а самим тим и метаболизма, док у екстремно хладним условима може доћи до стварања кристала леда у ћелијама, што изазива њихову смрт. Многи организми су развили посебне адаптације како би ово спречили, што им омогућава преживљавање у срединама где су температуре далеко испод нуле. Са повећањем температуре, биохемијске реакције се убрзавају, али само до одређених вредности. Са даљим повећањем температуре, долази до структурних промена молекула органских једињења, тј. до денатурације протеина и нуклеинских киселина. Како су ензими по својој природи протеини, то значи да ће у условима екстремно високих температура биохемијске реакције, које они каталишу бити заустављене. За све врсте живих бића постоји одређени опсег температура у оквиру којих је њихов живот могућ и који може бити ужи или шири у зависности од тога о којој врсти је реч.

Топлотна енергија коју организми поседују има различито порекло. Када су изложени Сунчевом зрачењу, површина њиховог тела се понаша као активна површина, тј. апсорбује енергију електромагнетног зрачења, која се притом претвара у топлотну енергију. Температура организма може зависити од температуре околне средине у којој се налазе, тј. воде, ваздуха или земљишта. На крају, организми у току својих метаболичких процеса могу производити топлоту, што представља процес трансформације хемијске енергије хране и складиштених органских једињења у топлотну енергију. Животиње се у том смислу деле на ектотермне („хладнокрвне“) и ендотермне („топлокрвне“). Телесна температура **ектотермних животиња** у великој мери зависи од температуре спољашње средине, што значи да не поседују механизме за њену регулацију. Због тога се ове животиње, као што су нпр. гмизавци, ослањају на спољашње изворе топлоте, а често се излажу директном Сунчевом зрачењу, како би се загрејали. С друге стране, **ендотермне животиње** имају способност регулације своје телесне температуре, коју могу одржавати у одређеним границама, без већег варирања. Њихова телесна температура је стална, без обзира на варијације спољашње температуре. У процесу одржања сталне телесне температуре, ендотермне животиње се ослањају на топлоту која се ослобађа у току њихових метаболичких процеса, што значи да ће им у хладнијим условима бити потребна већа количина хране. У ову групу животиња спадају птице и сисари.

ВАТРА КАО ИЗВОР ЕКСТРЕМНЕ ТОПЛОТЕ У ПРИРОДИ: ШУМСКИ ПОЖАРИ

Главни извор топлоте на земљиној површини јесте Сунчево зрачење. У знатно мањој мери, топлота може долазити и из унутрашњости Земље, као што је случај са изливањем лаве током вулканских ерупција или са извирањем воде из термалних извора (нпр. гејзера). У природи се повремено јавља још један извор топлоте који може бити погубан за живи свет, а то је ватра – процес трансформације хемијске енергије, складиштене у материји која сагорева, у топлотну и светлосну енергију. Сагоревање неке материје представља хемијску реакцију нагле оксидације материје, што је праћено одавањем топлоте и светлости. Материје које у природи горе углавном су органске природе, као нпр. биомаса биљака. За појаву ватре посредно је одговорно Сунчево зрачење, чија енергија је искоришћена од стране биљака за синтезу органске материје. Енергија зрачења је преведена у хемијску енергију у процесу фотосинтезе. У току сагоревања та хемијска енергија се преводи у топлотну и светлосну енергију.

Пожари који настају у природи обично се у нашем језику називају шумским пожарима (енг. *wildfires* – „дивљи” пожари), иако могу захватити било који други облик вегетације, укључујући и жбунасту и травну. Узроци настанка шумских пожара могу бити различити, чак и природног порекла, као што су удари грома. У данашње време, главни узрок појаве шумских пожара су човекове активности, док ефекти климатских промена попут пораста температуре и интензивирања суша додатно повећавају ризик од њиховог избијања. Температуре током шумских пожара могу достићи и преко 1.000°C, што је вредност са којом се жива бића не суочавају у уобичајеним околностима. Изложеност директној ватри доводи до делимичног или потпуног сагоревања биљака и до озбиљних опекотина и смрти животиња. Нису само високе температуре и директна изложеност пламену те која угрожавају животиње током шумских пожара, већ су то и токсични гасови, попут угљен-моноксида (CO), који доводе до њиховог гушења. Ипак, за поједина топла и сушна подручја, као што су Калифорнија у Северној Америци (слика 11 и 12) или јужни делови Аустралије, шумски пожари су уобичајена појава, те је овде заступљена вегетација коју чине врсте прилагођене на честу појаву ватре.



Слика 11. Сателитски снимак шумских пожара у Калифорнији из јануара 2025. године



Слика 12. Пожар надомак Лос Анђелеса у јануару 2025. године

2.3.5. Хемијска енергија

Хемијска енергија јесте енергија ускладиштена у хемијским везама између атома или молекула. Због тога се често назива енергијом хемијске везе. Док топлотна енергија представља енергију кретања честица, хемијска енергија је потенцијална енергија, која потиче од распореда и положаја тих честица у материји. Топлотна и хемијска енергија

представљају унутрашњу енергију неког тела или материје. Хемијска енергија се може дефинисати као енергија која се ослобађа или апсорбује током хемијских реакција, у којима се раскидају постојеће и формирају нове хемијске везе. Хемијска енергија се ослобађа у виду топлотне енергије, а може се претворити и у друге облике, као што је светлосна, електрична или механичка енергија. Уколико приликом неке хемијске реакције долази до ослобађања топлоте, та реакција се означава као егзотермна. С друге стране, уколико је при некој реакцији долази до потрошње енергије, ради се о ендотермној реакцији.

Свака материја поседује одређену хемијску енергију, која зависи од карактеристика саме супстанце, односно од веза које су успостављене између честица које ту супстанцу граде. Хемијске везе су силе, које држе атоме или молекуле на окупу и могу бити различитог типа, убрајајући јонске, ковалентне, металне или водоничне, а све оне се разликују по количини енергије коју складиште.

Хемијска енергија се може претварати у друге облике енергије, али и обрнуто – различити облици енергије могу се ускладиштити у облику хемијске енергије, што је од великог значаја за проток енергије у природи и живот уопште. У процесу фотосинтезе, фотоаутотрофни организми (биљке, алге и неке бактерије) способни су да енергију Сунчевог зрачења, тј. светлосну енергију, претворе у хемијску енергију, тј. у енергију хемијских веза, које се формирају у органским једињењима насталим у овом процесу. Ови организми се називају примарним продуцентима (произвођачима), јер су у стању да од неорганске материје, угљен-диоксида и воде, створе органску материју којом се могу хранити други организми, укључујући конзументе (потрошаче) и разлагаче (редуcente). У процесима респирације или ферментације органске материје се разлажу, при чему се ослобађа енергија коју организми користе за своје животне процесе.

Биомаса (нпр. дрво) и фосилна горива (угаљ, нафта, гас) представљају материје у којима ускладиштена хемијска енергија сагоревањем има могућност претварања у топлоту, коју човек може искористити у том облику (за грејање) или је може претворити у механичку и електричну енергију. Сагоревањем долази до ослобађања енергије у виду светлости, што је за човека било од великог значаја пре него што је за ове потребе почео да користи електричну енергију. Сагоревање је врста оксидативне хемијске реакције у којој кисеоник из ваздуха реагује са угљеником и водоником из материје која сагорева, при чему настају угљен-диоксид и вода. Ово је брза и егзотермна реакција. Количина енергије која се ослобађа током сагоревања неке супстанце назива се калоричност или енергетска вредност. Иако је цул међународна јединица за енергију, рачунајући и хемијску, када се говори о хемијској енергији хране или горива, често се користи **калорија (cal)**, која је еквивалентна оној количини топлоте која је потребна да се температура једне литре воде (велика калорија) или једног милилитра воде (мала калорија или грам-калорија) подигне за 1°C.

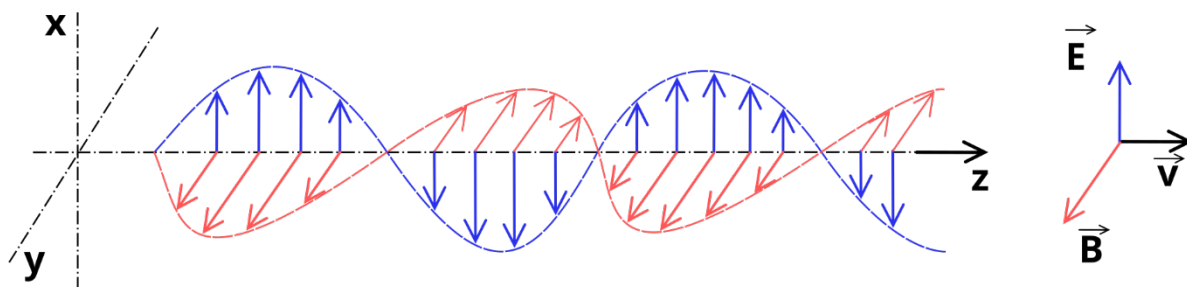
Хемијска енергија има могућност да се директно електрохемијским реакцијама трансформише у електричну енергију, и обрнуто, што је искоришћено од стране човека за прављење батерија и акумулатора. Хемијска енергија се у организмима претвара у електричну енергију, чиме настају нервни електрични импулси, којима се сигнали преносе кроз тело животиња.

2.3.6. Енергија зрачења

Енергија зрачења (радијациона енергија) представља енергију електромагнетног зрачења. Ово је облик кинетичке енергије, који се преноси електромагнетним таласима, што не захтева постојање медијума, тако да се може преносити и у вакууму и то на

велике удаљености, попут енергије Сунчевог зрачења, која путује кроз свемир. Овај облик енергије је од велике важности у еколошком смислу, с обзиром да у њега спада и енергија Сунчевог зрачења, која је главни покретач многих процеса на планети Земљи и без које на њој не би било живота.

Електромагнетно зрачење представља комбинацију електричног и магнетног поља, која синхронизовано осцилују и заједно се преносе кроз простор у виду таласа, који међусобно заклапају угао од 90° . Електромагнетно зрачење је носилац електромагнетне силе, једне од четири фундаменталне силе које постоје у природи. Брзина простирања електромагнетног зрачења у вакууму износи око 300.000 km/s , што представља брзину кретања светлости. Електромагнетно зрачење се састоји од електромагнетних таласа (слика 13). Карактеристике и вредности електромагнетног зрачења се изражавају на различите начине: фреквенцијама у херцима (Hz), таласним дужинама у метрима (m), количином енергије у џулима (J) или електронволтима (eV), као и снагом у ватима (W), најчешће по јединици површине (W/m^2).



Слика 13. Приказ простирања електромагнетног таласа у тродимензионалном простору (E и плаве стрелице – електрично поље, B и црвене стрелице – магнетно поље, V – правац и смер ширења таласа)

Електромагнетни таласи представљају самопропагирајуће и трансверзално осцилирајуће таласе електричног и магнетног поља. Као и сви таласи, одликују се одређеном таласном дужином и фреквенцијом. Што је таласна дужина краћа, а фреквенција већа, већа је енергија коју електромагнетно зрачење носи. Електромагнетно зрачење има двојну (дуалистичну) природу, јер поред особина таласа, поседује особине честица које се називају **фотонима**, елементарним честицама које у стању мировања немају масу. Фотон је квант електромагнетног зрачења, а често се описује као дискретан пакет енергије. Енергија фотона (E) одређена је Планковом једначином: $E = h \times \nu$, где је h Планкова константа, која износи око $6,63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$, а ν фреквенција таласа, која је једнака односу брзине светлости у вакууму ($c \approx 300.000 \text{ km/s}$) и таласне дужине (λ): $\nu = c/\lambda$.

На планети Земљи постоје различити извори електромагнетног зрачења, који се могу поделити на природне и вештачке. **Сунчево зрачење** представља главни и најважнији природни облик електромагнетног зрачења, а емитује се током термонуклеарних реакција на Сунцу. Састоји се од електромагнетних таласа различите таласне дужине, међу којима је и светлост. Енергија Сунчевог зрачења не само да представља основни извор топлоте на планети Земљи, већ и „извор живота”, јер је у процесу фотосинтезе примарни произвођачи користе како би синтетисали органску материју, која на тај начин постаје доступна осталим организмима у биосфери. Из удаљеног свемира на површину Земље допиру космички зраци, који свакако имају мањи значај. Вештачки облици електромагнетног зрачења, за чију емисију је одговоран

човек, нашли су широку примену у медицини (рендген уређаји), телекомуникацијама (радиоталаси), индустрији и у свакодневном животу (микроталасне пећнице).

Електромагнетни таласи се разликују у зависности од таласне дужине, а самим тим и по количини енергије коју носе. На основу тога, могу се разликовати следећи типови електромагнетног зрачења (радијације): гама (γ) зрачење, икс (X) зрачење, ултра-љубичасто (UV) зрачење, видљиво светлосно зрачење, инфра-црвено (IR) зрачење, микроталасно зрачење и радиоталасно зрачење. Сви типови зрачења заједно чине **електромагнетни спектар**. Сунчево зрачење садржи све наведене типове електромагнетних таласа, али у знатно различитим количинама.

Гама (γ) зраке чине електромагнетни таласи, чије су таласне дужине мање од 10 пикометара ($1 \text{ pm} = 1 \times 10^{-12} \text{ m}$), а фреквенције веће од 30 ексахерца ($1 \text{ EHz} = 1 \times 10^{18} \text{ Hz}$), што их чини најпродорнијим зрацима електромагнетног спектра, а њихови фотони носе највећу количину енергије у поређењу са свим осталим типовима електромагнетног зрачења. Гама зраци се емитују приликом анихилације до које долази услед контакта материје и антиматерије у удаљеним деловима свемира, тако да представљају саставни део космичког зрачења. До емисије ових зрака долази током радиоактивних распада и нуклеарних реакција, те се у том случају класификују као радиоактивно зрачење. Гама зраци имају веома мали удео у Сунчевом зрачењу, а приликом проласка кроз атмосферу бивају апсорбовани или расејани од стране гасова или честица, тако да не стижу до површине Земље.

X-зраци (рендгенски зраци) представљају краткоталасни и високоенергетски тип електромагнетног зрачења. Таласне дужине ових зрака крећу се у распону од 10 pm до 10 nm, а фреквенције од 30 петахерца ($1 \text{ PHz} = 1 \times 10^{15} \text{ Hz}$) до 30 EHz. По енергији коју носе, X-зраци се налазе између гама и ултраљубичастих зрака. Ови зраци се у малој количини налазе у Сунчевом зрачењу и у потпуности бивају апсорбовани у горњим слојевима атмосфере. Како продиру кроз многе чврсте супстанце, рачунајући и живо ткиво, рендгенски зраци се широко користе у медицинској дијагностици.

Гама и X-зрачење, заједно са деловима спектра ултраљубичастиг зрачења најкраћих таласних дужина, припадају **јонизујућем зрачењу**, које има способност да изазове јонизацију материје, тј. процес у ком атом или молекул губи један или више електрона, приликом чега настају јони. Поменути високоенергетски зраци пореклом са Сунца и из свемира изазивају јонизацију молекула гасова у горњим слојевима атмосфере, при чему настаје посебан слој под називом јоносфера. Јонизујуће зрачење је веома штетно за живу материју, јер јони који настају на овај начин ремете биохемијске процесе у ћелијама. Јонизујуће зрачење може нарушити структуру ДНК у ћелијама, због чега постоји могућност проузроковања мутације и настанка озбиљних болести, укључујући и карцином. Битно је напоменути да поред наведених типова зрачења у јонизујуће зрачење спадају радиоактивни алфа и бета зраци. Ови облици зрачења нису електромагнетни, већ честични.

Ултраљубичасти или ултравиолетни (UV) зраци су електромагнетни зраци таласних дужина од 10 до 390 nm, тако да се у електромагнетном спектру налазе између X-зрака и видљивог дела спектра. Ови зраци су невидљиви за човека, а њихов назив се односи на то што се по таласним дужинама налазе „иза” (лат. *ultra*) видљиве, љубичасте светлости. Енергија фотона UV зрачења већа је од енергије фотона видљиве светлости и може бити довољна да изазове јонизацију атома. Иако се UV зраци дужих таласних дужина не сматрају јонизујућим, они могу проузроковати хемијске реакције или флуоресценцију неких супстанци.

Око 10% Сунчевог зрачења чине UV зраци. Одређени део ових зрака апсорбује се у вишим слојевима атмосфере, понајвише у стратосфери, захваљујући озонском омотачу. У апсорпцији UV зрака учествују молекули кисеоника (O_2) и озона (O_3), при

чему се молекула кисеоника распада на два атома кисеоника ($O_2 \rightarrow O + O$), а молекула озона на један молекула кисеоника и један атом кисеоника ($O_3 \rightarrow O_2 + O$). Како су ове реакције повратне, то значи да ослобођени атоми кисеоника могу међусобно реаговати градећи молекула кисеоника ($O + O \rightarrow O_2$), а могу реаговати и са молекулама кисеоника, градећи озон ($O + O_2 \rightarrow O_3$). Под утицајем UV зрака молекули кисеоника и озона у вишим слојевима атмосфере се стално разлажу и обнављају, тако да је њихова количина углавном константна. Постојање озонског омотача, тј. слоја атмосфере са релативно вишом концентрацијом озона, од кључног је значаја за живи свет на планети Земљи јер UV зраци, а нарочито они краћих таласних дужина, могу веома негативно деловати на организме, зато што проузрокују тзв. фотохемијска оштећења молекула ДНК.

У зависности од таласне дужине и фреквенције и од количине енергије коју поседује, ултраљубичасто зрачење се може класификовати на различите начине. У еколошком контексту, уобичајено се издвајају краткоталасни или UV-C (100–280 nm), средњоталасни или UV-B (280–315 nm) и краткоталасни или UV-A (315–390 nm) зраци.

UV-C зрачење је најопасније за жива бића на планети Земљи, јер поседује довољну количину енергије да изазове јонизацију. Оно се готово у потпуности апсорбује од стране озонског омотача, тако да скоро и не допире до површине Земље. UV-B зрачење има довољно енергије да изазове хемијске промене у молекулама, али обично није довољно за јонизацију већине материја. Може бити штетно за живе организме, јер узрокује промене у ДНК, које могу довести до мутација. Највећи део овог зрачења се апсорбује у стратосфери, док само мањи део доспева до површине Земље.

UV-A зрачење се, углавном, не апсорбује у озонском омотачу, тако да чини највећи део зрачења UV спектра, који допире до површине Земље. Иако поседује најмању количину енергије, те је мање опасно по живи свет од UV-B и UV-C зрачења, UV-A зрачење може имати негативне здравствене ефекте код људи: утиче на оштећење колагена у кожи, може повећати ризик од развоја рака коже (меланома), као и оштећења очију и вида. Иако већина животиња поседује одређене адаптације које им омогућавају заштиту од овог зрачења, људи, а нарочито они са светлом кожом и плавим очима, могу бити угрожени уколико проводе дуже времена излажући се директном Сунчевом зрачењу.

Поред негативних ефеката, битно је напоменути да UV зрачење има битну еколошку улогу, нарочито уколико се говори о UV зрацима мањих таласних дужина. За поједине животиње, као што су неки инсекти и птице, рефлектовано UV зрачење је видљиво. На тај начин, инсекти су у могућности да опазе специфичне шаре на цветовима, што игра битну улогу у процесима опрашивања биљака. Захваљујући UV зрацима, птице могу да виде боје перја других птица које човек не види, што им помаже у препознавању припадника исте врсте и у проналаску и избору партнера. Постоје бактерије које могу користити зрачење одређених делова UV спектра у процесу фотосинтезе.

Светлост (бела светлост, видљива светлост) представља део електромагнетног зрачења, које је за човека видљиво. У електромагнетном спектру, светлост се налази између UV и инфрацрвеног зрачења, у оквирном распону таласних дужина од 390 до 760 nm (са извесним одступањима у зависности од извора). Иако по распону таласних дужина чини мали део електромагнетног спектра, светлост чини близу половине укупног Сунчевог зрачења, нарочито у нижим слојевима атмосфере. Овај део спектра не само да је битан за животиње, које светлост опажају чулом вида, већ је од кључног значаја за фотосинтетске организме, јер се распон таласних дужина тзв. фотосинтетски активног зрачења углавном поклапа са њим, иако постоје неки фотосинтетски

микроорганизми које могу користити електромагнетно зрачење у ширем опсегу таласних дужина у поређењу са биљкама.

Видљиви део спектра се у зависности од таласних дужина може поделити на делове који носе назив по боји какву људско око види. Постоје љубичаста (390–450), плава (450–495), зелена (495–570), жута (570–590), наранџаста (590–620) и црвена (620–760) светлост. Када су присутни електромагнетни таласи свих наведених таласних дужина, то људско око опажа као белу светлост. Супстанце у зависности од свог састава могу апсорбовати зраке одређених таласних дужина, док остатак рефлектују. Како су листови биљака углавном зелене боје, то значи да они у највећој мери рефлектују зраке, који по таласним дужинама одговарају зеленом делу спектра, док остатак апсорбују. Разлог за то лежи у чињеници да биљке у процесу фотосинтезе користе љубичасту, плаву и црвену светлост у много већој мери него зелену и жуту.

Величина која се користи као мера интензитета светлости, која доспева на одређену површину је осветљеност или илуминација (E_v). Мерна јединица за осветљеност је лукс (lx) и он је једнак односу количине светлости, тј. лумена (lm) и јединици површине на коју та светлост пада (m^2): $1 lx = 1 lm/m^2$.

Инфрацрвени зраци су електромагнетни зраци, чије се таласне дужине крећу у оквирном распону од 760 ηm до 1 mm . У електромагнетном спектру налазе се између видљивог дела спектра и микроталаса. По фреквенцијама и количини енергије, инфрацрвено зрачење долази након црвене светлости, по чему је добило назив (лат. *infra* – испод). Инфрацрвено зрачење чини око половине укупног Сунчевог зрачења, које доспева до Земље. Оно није видљиво, а његов значај огледа се у топлотном дејству. Инфрацрвено зрачење, нарочито дужих таласних дужина, материје углавном добро апсорбују, при чему долази до трансформације енергије електромагнетног зрачења у топлотну енергију. Овај спектар Сунчевог зрачења је у највећој мери одговоран за загревање површине планете Земље и њене атмосфере. Инфрацрвено зрачење не емитује само Сунце, већ свако тело које поседује одређену количину топлотне енергије, у виду већ поменутог топлотног зрачења, до кога долази кроз трансформацију у обрнутом смеру – топлотна енергија загрејаног тела трансформише се у енергију електромагнетног зрачења. Инфрацрвено зрачење које емитују загрејана тела на Земљи, одликује се већим таласним дужинама у поређењу са инфрацрвеним зрачењем које емитује Сунце. Важно је напоменути да топлотно зрачење представља шири појам, који обухвата зрачење у различитим деловима електромагнетног спектра, зависно од температуре тела које га емитује. Иако се при уобичајеним температурним условима на Земљи топлотно зрачење претежно састоји од инфрацрвених зрака, при вишим температурама тела оно прелази у видљиви део спектра (црвену, наранџасту и жуту светлост).

Микроталаси представљају део електромагнетног спектра, који обухвата таласне дужине од 1 mm до 30 cm или 1 m , а некада се сматрају и посебним делом у оквиру радиоталасног опсега електромагнетног спектра. У врло малим количинама су присутни у Сунчевом и космичком зрачењу, а у Земљиној атмосфери могу бити генерисани током одређених атмосферских процеса (нпр. грмљавине). У сваком случају, њихова количина није довољно велика да би имали значајан утицај на живи свет. Потенцијално дејство микроталаса на жива бића (нпр. у случају изложености током експеримената у лабораторијским условима) може довести до прегревања, температурног стреса и настанка опекотина, јер њихову енергију апсорбују молекули воде и претварају је у топлотну енергију. Микроталаси данас имају широку примену од стране човека, почев од микроталасних пећи, па до комуникационих система и сателитских уређаја.

Радиоталаси су електромагнетни таласи највећих таласних дужина (од 1 m до 100 km) и најмањих фреквенција (испод 300 MHz), уколико у њих нису урачунати микроталаси. Налазе се на крају електромагнетног спектра. У врло малом уделу се налазе у Сунчевом зрачењу, а њихови природни извори на Земљи подразумевају одређене атмосферске појаве. Ови таласи су нискоенергетски, тако да немају утицаја на жива бића. Данас се користе у области комуникација и навигације, јер омогућавају пренос информација на велике удаљености. Не постоје убедљиви докази да радио таласи из уобичајених вештачких извора имају утицаја на здравље људи и других организама, као ни на метеоролошке и климатске процесе.

HAARP: РАДИОТАЛАСИ КАО МОЋНО ОРУЖЈЕ ЗА УНИШТЕЊЕ ПЛАНЕТЕ?

HAARP (High-Frequency Active Auroral Research Program) је назив програма проучавања атмосферских процеса, посебно оних који се дешавају у горњим слојевима атмосфере, који за циљ имају боље разумевање и унапређење комуникацијских технологија. Програм користи технологију емитовања радиоталаса високих фреквенција, који могу утицати на јоносферу (део атмосфере изнад 60 km). Радна компонента овог система је велика антена, која емитује радиоталасе који се у налазе опсегу фреквенција изнад радиотелевизијских сигнала, али далеко испод микроталаса или инфрацрвеног зрачења (слика 14). Многи митови и теорије завере се доводе у везу са *HAARP*-ом, посебно у вези са наводним утицајем на климатске и метеоролошке процесе и штетним ефектима по здравље људи. Научни докази не подржавају ове тврдње.

Радиоталаси које користи *HAARP* веома су ниске снаге и не изазивају здравствене проблеме, јер не преносе довољно енергије да би имали директан утицај на људски организам. Нема ни научних доказа који потврђују да *HAARP* може изазвати промене у временским условима или атмосферским процесима. У контексту глобалних климатских промена и све учесталијих природних катастрофа, научна истраживања указују да одговорност лежи у људским активностима, као што су емисије гасова стаклене баште и уништавање шума, а не у истраживачким пројектима као што је *HAARP*.



Слика 14. Антене *HAARP*-а

2.3.7. Електрична енергија

Електрична енергија представља енергију кретања електричног набоја, тј. наелектрисаних честица, као што су електрони или јони, услед дејства електромагнетног поља. За разлику од електромагнетног зрачења, које се може преносити и у вакууму, за пренос електричне енергије неопходан је одговарајући проводник. Усмерено кретање наелектрисаних честица кроз проводник назива се електричном струјом. Проводником се назива свака супстанца кроз коју је могућ пренос електричне енергије. Поред метала, који су најбољи проводници, електричну енергију могу преносити и раствори. Чиста вода, сама по себи, није добар проводник. У води се увек налазе растворени јони, који учествују у преносу електричне енергије.

Насупрот проводницима постоје материје које не проводе електричну енергију, те се називају изолаторима (пластика, стакло, дрво, керамика). Иако је јединица за електричну енергију такође џул (J), у пракси се чешће користи јединица за електричну снагу, тј. стопа по којој се електрична енергија преноси, а то је ват ($1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$).

Електрична енергија у природи јавља се на различите начине. У атмосфери, електрична енергија се акумулира у облацима, услед трења међу честицама. Када се ова енергија ослободи, долази до атмосферског пражњења у виду грома, који представља кратак, али изузетно моћан електрични удар. Удар грома прате светлосни и звучни ефекат, тј. муња и грмљавина.

Као резултат специфичних биохемијских процеса, електрична енергија се производи у ћелијама и организмима, где игра веома битну улогу. Код животиња се промене распореда наелектрисања могу простирати путем нервног система, у виду електричних сигнала, односно нервних импулса. На овај начин је омогућен пренос информација у виду акционих потенцијала кроз нервни систем. Иако су нервне ћелије специјализоване за обављање ове функције, акциони потенцијал се може преносити путем осталих ћелија организма, нарочито мишићних и чулних. Поред животиња, електрична енергија игра важну улогу и у другим организмима, рачунајући и једноћелијске. Познато је да биљке користе различите, тзв. биоелектрохемијске сигнале за остваривање комуникације између ћелија, као и за одговоре на стимулусе из окружења. Принципи функционисања биоелектрохемијских сигнала код биљака и нервних импулса код животиња у основи су веома слични.

Електрична енергија данас представља један од најважнијих облика енергије, којом човек управља на ефикасан начин и користи је у различите сврхе. Разлози за то леже у чињеници да она на релативно једноставан начин може бити трансформисана у друге облике енергије, као и да се врло ефикасно може преносити на велике удаљености. Због тога, остале облике енергије човек често преводи у електричну енергију, како би је лакше дистрибуирао. Механичка енергија воде, која води порекло од гравитационе енергије, у хидроелектранама се трансформише у електричну, док се за трансформацију механичке енергије ветра користе ветротурбине. У термоелектранама, топлотна енергија која се ослобађа приликом сагоревања фосилних горива или биомасе (трансформација хемијске енергије у топлотну) најпре се преводи у механичку енергију водене паре, која покреће парну турбину повезану са генератором за производњу електричне енергије. Енергија Сунчевог електромагнетног зрачења (соларна енергија) може бити коришћена од стране човека, тако што се у соларним ћелијама трансформише у електричну енергију. У нуклеарним електранама се производи електрична енергија и то путем нуклеарних реакција. Електрична енергија произведена на све ове начине дистрибуира се до својих крајњих корисника, који је уз помоћ различитих уређаја трансформишу у одговарајуће облике енергије, као што су механичка (електрични мотори), светлосна (сијалице и лампе), топлотна (електрични грејачи) итд. Електрична енергија се може складиштити у батеријама или акумулаторима, тако што се трансформише у хемијску енергију, а затим поново ослободити као електрична енергија када је потребно.

2.3.8. Енергија звука

Енергија звука је облик енергије који се преноси путем вибрација честица у виду таласа кроз неки медијум, односно супстанцу (воду, ваздух или неку чврсту материју). Због тога, овај облик енергије се назива још и енергијом звучних таласа. За разлику од електромагнетних таласа, звучни таласи имају механичку природу. Механички талас

настаје када је неки систем изведен из равнотежног положаја и када се тај поремећај креће из једног дела система у други. Звук настаје када неки извор звука изазове осцилације честица материје, чиме се ствара талас који носи енергију. Енергија звука се шири кроз медијум тако што честице које су померене из равнотежног простора преносе своју кинетичку енергију осциловања на суседне честице. Због тога се енергија звука не може преносити у вакууму.

Постоје различите величине којима се звук карактерише, а неке од њих су период осциловања, фреквенција, таласна дужина, брзина простирања, јачина (интензитет) и ниво звука.

Период осциловања (T) представља време које је потребно једној честици медијума да изврши комплетан циклус вибрације или осцилације, тј. време које прође између два узастопна тренутка у којима честица постигне исти положај. Према томе, ова величина се изражава у секундама (s).

Фреквенција (ν) представља број осцилација честица медијума у току једне секунде. Период и фреквенција звука су обрнуто пропорционални. Што је већа фреквенција (број осцилација у секунди), то је период краћи ($\nu = 1/T$). Јединица за фреквенцију, као и у случају електромагнетних таласа, јесте херц ($1 \text{ Hz} = 1/s$).

Таласна дужина (λ) представља најкраћу удаљеност између две узастопне тачке које се налазе у истој фази осцилације, тј. растојање које звучни талас пређе током једне осцилације, тако да се изражава у метрима (m).

Брзина звучног таласа (v) представља величину која описује колико брзо талас путује кроз одређени медијум. То је растојање које талас пређе за јединицу времена и обично се изражава у метрима по секунди (m/s).

Јачина звука (I) представља количину енергије пренете звучним таласом по одређеној површини таласног фронта. Са повећањем удаљености од извора звука, јачина звука се смањује. Ова величина је векторска, јер описује смер протока енергије звука. Мерна јединица јачине звука је ват по квадратном метру (W/m^2). Поред јачине звука и њене апсолутне мерне јединице, у пракси се чешће користи величина под називом ниво звука и њена релативна мерна јединица.

Ниво звука (L) се односи на то како људско чуло слуха перципира јачину звука, те се назива још и субјективном јачином звука. Овде се ради о релативној величини која се одређује као логаритамски однос измерене вредности јачине звука (I) и референтне вредности јачине звука (I_0), тј. објективне јачине звука на прагу чујности за људско ухо, која износи 10^{-12} . Формула за израчунавање нивоа звука је: $L = 10 \times \log(I/I_0)$, где се множењем са 10 добија финија подела логаритамске скале. Мерна јединица нивоа звука је децибел (dB). Ниво звука и децибели се користе из практичних разлога. Опсег чујности јачине звука за људско ухо је од 10^{-12} до 1 W/m^2 , што изражено кроз ниво звука представља опсег од 0 до 120 dB . Применом нивоа звука и децибела избегава се коришћење великог броја цифара, које би биле потребне за изражавање јачине звука у ватима по квадратном метру. Користећи логаритамску скалу, ниво звука омогућава лакше приказивање широког опсега јачине звука.

Звук у природи може имати различите изворе, с обзиром да се други облици енергије могу трансформисати у енергију звучних таласа. Највећи број звукова у природи настаје као последица извршавања механичког рада, при чему се механичка енергија удара или трења претвара у звук. Могућ је и обрнут процес, тј. трансформација енергије звука у друге облике. Људи и животиње имају способност да региструју звук у животној средини тако што се уз помоћ чулних органа слуха енергија звука трансформише у механичке осцилације. Људско ухо може регистровати звучне таласе чије су фреквенције у опсегу од 20 Hz до 20 kHz . Таласи чије су фреквенције

више од наведених представљају ултразвук, док инфразвук карактеришу таласи фреквенција испод 20 Hz.

Слух код животиња има веома битну улогу, јер им првенствено омогућава опажање опасности у окружењу. Оне не само да имају способност да региструју звук, већ га могу и производити (вокализација), што им омогућава међусобну комуникацију. Вокализација има нарочити значај код птица и сисара који уз помоћ ње могу слати веома специфичне поруке различите природе. Ове поруке животиње могу упућивати припадницима своје врсте или припадницима других врста. Животиње које живе у групама (чопорима, јатима, крдима) могу уз помоћ вокализације упозоравати остале јединке на опасност у виду присуства неких предатора. Животиње користе вокализацију и за проналазак партнера за парење. С друге стране, животиње могу слати претеће поруке упућене конкурентима или предаторима од којих им прети опасност. Неке животиње, попут китова и слепих мишева, имају способност ехолокације, коју користе за потребе навигације и оријентације у простору. Ехолокација функционише тако што ове животиње емитују звук одређене фреквенције, који се потом одбија о различите објекте у простору и у виду еха враћа ка животињи која их је произвела. На основу регистровања одбијеног звука, ове животиње су у стању да „створе слику” простора кроз који се крећу.

Људи и животиње могу бити изложени прегласним звуцима или звуцима који предуго трају. Сваки нежељени звук у животној средини назива се **буком**. Природни извори буке су удари грома (грмљавина), ерупције вулкана, лавине, клизишта, одрони стена, удари таласа итд. Бука која долази из природних извора углавном не представља већи проблем људима и животињама јер није толико честа, а када до ње дође, обично не траје предуго. За проблем буке у животној средини данас је првенствено одговоран човек, јер се она генерише током различитих људских делатности. Најзначајнији вештачки извори буке су саобраћај и индустрија. У случајевима када је екстремно гласна, бука може проузроковати механичка оштећења бубне опне људи и животиња, те им озбиљно угрозити слух. У већини случајева, бука првенствено негативно утиче на нервни систем човека и животиња, проузрокујући стрес организма. Бука може довести до поремећаја у понашању и до дубљих здравствених проблема, рачунајући поремећаје метаболизма и физиолошке поремећаје у раду органа или читавог организма. Дивље животиње на буку најчешће реагују тако што напуштају станишта у којима су до тада живеле, тако да се њени негативни ефекти не одражавају само на појединачне јединке, већ за последицу могу имати ремећење читаве животне заједнице и екосистема.

2.3.9. Закон о очувању енергије

Закон о очувању енергије један је од основних закона физике. Он гласи: *У затвореном систему укупна количина енергије остаје константна, тј. не може се ни створити, ни уништити ($E = \text{const}$).* Енергија може само да се трансформише из једног облика у други или да се пренесе из једног дела система у други, али њена укупна количина се не мења. У вези са законом о очувању енергије је и први закон термодинамике, који гласи: *Повећање унутрашње енергије затвореног термодинамичког система (ΔU) једнака је топлотној енергији (Q) додатој систему минус извршен рад система на окружењу (W), што се може представити следећом једначином: $\Delta U = Q - W$.* Укупна енергија, која је додата неком систему, троши се на извршени рад система и на повећање унутрашње енергије система. Ова два физичка закона базирају се на истом принципу, с тим што је закон о очувању енергије општији,

док се први закон термодинамике односи на конкретне ситуације у термодинамичким системима и описује како се енергија мења у овим системима, уз узимање у обзир рада и топлоте.

Закон о очувању енергије има важну улогу у разумевању функционисања природних процеса. У еколошким системима, енергија пролази кроз различите облике. У процесу фотосинтезе светлосна енергија Сунца трансформише се у хемијску енергију, коју биљке складиште у својим ткивима (примарна продукција). Ову хемијску енергију касније кроз метаболичке процесе користе други организми који се хране биљкама, тј. биљоједи (хербивори). Ова енергија се не може у потпуности искористити за обављање животних функција организма, јер се добар део те енергије увек ослободи у виду топлоте. Енергија се може даље преносити кроз екосистем тако што ће се биљоједима хранити њихови предатори, који неће моћи да за своје животне процесе искористе сву енергију организма ког су појели, јер ће опет део енергије да се ослободи у виду топлоте. Проток енергије кроз екосистем, путем ланаца исхране, прати расипање енергије која се на нивоу сваке карике тог ланца ослобађа у виду топлоте. Енергија у овом процесу не нестаје, што је у складу са првим законом термодинамике, већ се губи из система одавањем топлоте, што је у складу са другим законом термодинамике према коме у сваком енергетском процесу долази до пораста ентропије (степен неуређености) у систему и окружењу. Када се нпр. неки хербивор храни биљкама, њихова енергија ће само делом бити искоришћена за његове животне процесе, док ће се већина те енергије ослободити као топлота, чиме се повећава ентропија хербивора и његовог окружења.

ПИТАЊА:

1. Шта је материја, а шта супстанца?
2. Које честице изграђују материју?
3. Шта су хемијски елементи, а шта хемијска једињења?
4. Шта карактерише материје у чврстом, течном и гасовитом стању?
5. Шта су то фазни прелази?
6. Шта нам говори закон о очувању масе?
7. Како се могу класификовати својства материје?
8. Шта су то физичка поља и која физичка поља постоје у природи?
9. Шта је енергија, а шта су рад, сила и снага?
10. Шта је потенцијална, а шта кинетичка енергија?
11. Шта је механичка енергија и какав је њен значај у природи?
12. Шта је топлотна енергија, а шта топлота и температура?
13. Који су начини преноса топлотне енергије и какав је њен значај у природи?
14. Шта је хемијска енергија и какав је њен значај у природи?
15. Шта је енергија зрачења, а шта су електромагнетно зрачење и електромагнетни таласи?
16. Шта је електромагнетни спектар?
17. Какав је значај различитих типова електромагнетног зрачења у природи?
18. Шта је енергија звука и од каквог је значаја за жива бића?
19. Шта нам говори закон о очувању енергије?
20. Опишите појаве материје и енергије на примеру једног одабраног екосистема. Какве материје су ту присутне, које су њихове карактеристике и каква су им агрегатна стања? Опишите кружење материје (нпр. воде и угљеника) у том екосистему. Који све облици енергије су присутни? Опишите процес протока енергије у датом екосистему. На који начин један облик енергије прелази у други?

3. ПЛАНЕТА ЗЕМЉА

Циљ: упознавање са основним карактеристикама Земље, једине до сада нама познате планете на којој је могућ живот. Савладавањем овог градива стичу се услови за боље разумевање карактеристика свих елемената животне средине и процеса који се у њој одвијају.

Резиме: Планета Земља је једна од осам планета Сунчевог система. Она има облик неправилног ротационог елипсоида (геоида). Просечна дужина пречника Земље је 12.742 km, укупна површина 510.072.000 km², запремина $1,0832 \times 10^{12}$ km³, док њена маса износи $5,972 \times 10^{24}$ kg. Земља се окреће око своје осе (ротација), али се заједно са Месецом, својим природним сателитом, креће око Сунца (револуција). Земља поседује своје гравитационо поље и на свако тело које се нађе у његовој зони деловаће гравитациона сила. Гравитација није исто што и Земљина тежа, која представља резултанту гравитационих и центрифугалних сила, које се јављају услед ротационог кретања Земље. Земља поседује магнетско поље, које настаје у њеном језгру, а простор око Земље у оквиру кога се осећа утицај овог поља назива се магнетосфера. Унутрашњост Земље чине језгро, омотач језгра и кора, која заједно са горњим слојевима омотача језгра изграђује литосферу.

3.1. ОБЛИК И ДИМЕНЗИЈЕ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ

Иако се за планету Земљу (слика 15) често каже да је округла, она има облик неправилног ротационог елипсоида, тј. геометријског тела под називом **геоид**. Елипсоидан облик представља последицу Земљиног ротационог кретања тј. окретања око њене сопствене осе. Услед ротационих центрифугалних сила створена су екваторијална испупчења Земље, тако да је њен пречник мерен у нивоу екватора дужи за 43 km у односу на пречник мерен од једног до другог пола. Просечна дужина пречника Земље износи 12.742 km, што је чини петом највећом планетом (после Јупитера, Сатурна, Урана и Нептуна) и највећом терестричном планетом (испред Венере, Марса и Меркура) у Сунчевом систему. Обим Земље је највећи на нивоу екватора, где износи 40.075 km (екваторијални обим), док обим мерен преко полова износи 40.008 km (меридијални обим). Укупна површина Земље је 510.072.000 km², запремина $1,0832 \times 10^{12}$ km³, а маса $5,972 \times 10^{24}$ kg. Са просечном густином од 5.515 kg/m³ Земља је најгушћа планета Сунчевог система.



Слика 15. Обрађена фотографија Планете Земље фотографисана од стране посаде мисије Apollo 17, 1972. године, са удаљености од око 29.400 km

Земља се одликује локалним топографским варијацијама, односно разликама у удаљености њене површине од осе, што додатно доприноси неправилностима у њеном облику. Другим речима, Земља се одликује специфичним рељефом у виду узвишења и удубљења у њеној кори. Највеће топографске варијације Земљине коре представљају планински врх Монт Еверест на Хималајима (8.849 m надморске висине) и Маријанска бразда испод северног дела Тихог океана (11.034 m испод нивоа површине мора и океана). Уколико ове варијације посматрамо по удаљености од средишта Земље, онда треба поменути врх планине Чимборазо у Еквадору. Иако је по надморској висини нижи од Монт Евереста (6.263 m надморске висине), његова удаљеност од Земљиног средишта је већа, јер се налази на екватору где је Земља најиспупченија.

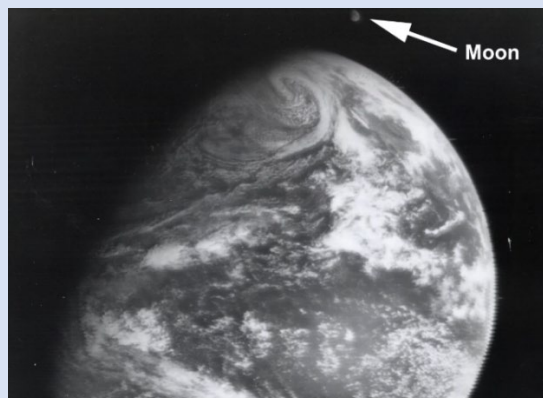
У географији и картографији за опис планете Земље и њених локација користи се конвенционална мрежа замишљених линија – меридијана и паралела. **Меридијани** су замишљене линије које спајају северни и јужни пол, те све имају исту дужину. За почетни меридијан конвенционално је изабран **гринич**, који дели планету на источну и западну хемисферу. Удаљеност неке тачке од гринича назива се **географска ширина** и она може бити источна (десно од гринича) и западна (лево од гринича). **Паралеле** (упоредници) су замишљене кружне линије које обавијају Земљу у правцу исток-запад, те су различите дужине. Најдужа паралела, која се због тога сматра почетном, јесте **екватор** који дели планету на северну и јужну хемисферу. Удаљеност неке тачке од екватора назива се **географска дужина** и она може бити северна (изнад екватора) и јужна (испод екватора). Географска ширина и дужина изражавају се у степенима, минутима и секундама, при чему су нулте вредности на гриничу, односно на екватору.

КАКО ЗНАМО ДА ЈЕ ЗЕМЉА „ОКРУГЛА”?

Да је Земља округла знали су још стари Грци. Током историје јављале су се и другачије тврдње – да је Земља равна плоча. Такве идеје биле су део митологије и поезије, али не и мишљење античких мислилаца и филозофа. Тврдње о Земљи као равној плочи током средњег века данас се углавном везују за ставове Римокатоличке цркве, што је погрешно, јер је у то време већина теолога и свештеника сматрала да је Земља округла. Упркос нивоу развијености науке и њених метода, у данашње време теорија равне Земље ипак има своје следбенике и то, углавном, у оквирима разних интернет заједница и појединаца који не прихватају научне доказе. Испоставља се да доказе о облику наше планете треба истицати у уџбеницима из различитих области, како би се стало на пут ширењу ненаучних теорија завере. Неки од њих су следећи:

- Фотографије планете Земље из свемира: иако теоретичари завере тврде да оне нису оригиналне, већ дигитално обрађене, на сајту свемирских агенција могу се пронаћи оригиналне верзије, укључујући и прву фотографију планете Земље, која је настала још 1966. године (слика 16);
- Земљина сенка на Месецу: када се Земља нађе између Сунца и Месеца, на површини Месеца се јасно може видети сенка која указује на облик Земље – да Земља није округлог облика, полумесец би изгледао сасвим другачије;
- Кретање бродова на пучини: када се брод приближава обали, прво што ће посматрачу са копна бити видљиво јесте јарбол и једро, тј. његов горњи део (деловаће као да брод израња из воде), што указује да површина Земље (самим тим и мора и океана) није равна, већ закривљена;
- Гравитација: да је Земља равна, гравитација не би на свим местима на њој деловала нормално на њену површину, већ под углом, јер небеска тела гравитационом силом привлаче објекте ка свом центру;
- Положај звезда и сазвежђа на небу: небо у току ноћи не изгледа исто на удаљеним местима на Земљи, зато што звезде и сазвежђа заузимају другачији положај на њему, што може бити могуће једино уколико Земља има сферичан облик;
- Смене годишњих доба: иако заговорници теорије о равној Земљи истичу да Сунце функционише као рефлектор, који се креће изнад Земљине површине, чиме објашњавају смену дана и ноћи, овај модел не може објаснити смену годишњих доба, као ни разлике у трајању дневне светлости током године, које су логична последица сферичног облика и нагиба Земље и њеног кретања око Сунца.

Већина наведених чињеница била је позната још старим Грцима који су, као што је већ речено, знали да је Земља сферичног облика и различитим математичким поступцима успели да оквирно израчунају њен обим. Зашто у 21. веку постоје људи који верују да је Земља равна плоча ипак представља питање које више спада у домен психологије и социологије, а не природних наука.



Слика 16. Прва оригинална фотографија Земље заједно са Месецем из 1966. године

3.2. ПОЛОЖАЈ И КРЕТАЊЕ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ

Планета Земља је једна од осам планета Сунчевог система који припада галаксији под називом Млечни пут. По средњој удаљености од Сунца, која износи око 150 милиона километара (око 8 светлосних минута), Земља је трећа планета по реду, након Меркура и Венере. Око Земље се окреће **Месец**, њен природни сателит, на просечној удаљености од око 384.401 km. Планета Земље је константно у покрету и креће се двојако – окреће се око своје осе и заједно са Месецом се креће око Сунца. Земља се заједно са целокупним Сунчевим системом креће и унутар галаксије Млечни пут, која се креће кроз свемир.

Земљина ротација представља окретање планете Земље око сопствене осе. **Земљина оса** је замишљена линија која пролази кроз центар Земље, а места где Земљина оса пресеца Земљину површину су северни и јужни пол. Брзина Земљине ротације на екватору износи 1.670 km/h, а због Земљиног сфероидног облика, та брзина се смањује према половима. Смер ротације је од запада према истоку, тј. супротно у односу на кретање казaljки на сату, посматрано из правца звезде Северњаче. Резултат Земљине ротације је смена обданице и ноћи, који заједно чине дан. У односу на Сунце, Земљи је потребно 24 часа да се окрене око своје осе, што представља трајање **соларног (синодичког) дана** – периода који протекне између два узастопна момента у којима Сунце достигне највишу тачку на небу. С друге стране, Земљи је у односу на звезде за једну ротацију потребно 23 часа, 56 минута и 4,091 секунде, што представља трајање **звезданог (сидеричког) дана**. Земљином ротацијом долази до појаве привидног кретања Сунца, које излази на истоку, а залази на западу. Због облика Земље и њене ротације, Сунце излази и залази у различито време у зависности од меридијана на коме се дато место налази. Због тога је читава територија Земље конвенционално подељена на 24 временске зоне.

Земљина револуција представља окретање планете Земље око Сунца. Земља се окреће око Сунца брзином од скоро 30 km/s, у смеру од запада према истоку, по путањи у облику елипсе која се назива **Земљина орбита**, тј. **еклиптика**. Оно што Земљу одржава на тој путањи јесте Сунчева гравитација. Време које је потребно Земљи да направи пун круг око Сунца износи 365 дана и 6 часова и назива се **година**. Сунце се не налази у центру Земљине орбите, тако да удаљеност Земље од Сунца варира у току године. Тачка у којој је Земља најближа Сунцу (на око 147 милиона километара) назива се **афел**, док се тачка у којој је Земља најудаљенија од Сунца (на око 152 милиона километара) назива **перихел**. Земља је најближа Сунцу у првој половини јануара, а најудаљенија од њега почетком јула, али тачно време и датум варирају из године у годину.

Угао између Земљине осе и осе орбиталне равни назива се **инклинација**. Земљина оса и раван Земљине орбите заклапају угао од 66,6°, што за 23,4° одступа од правог угла. Због овог нагиба Земљине осе у односу на орбиталну раван, изложеност јужне и северне хемисфере Сунцу се мења у току године, што за последицу има промену трајања обданице и ноћи, као и смену годишњих доба. Када је одређена хемисфера изложенија Сунцу, обданице на њој трају дуже и та хемисфера прима већу количину Сунчевог зрачења, те је и загревање веће. За то време, на супротној хемисфери ноћи су дуже од обданице, а загревање је мање. Када је на једној хемисфери

лето, на другој је зима и обратно. На северној хемисфери, обданица траје најдуже 21. јуна (**дугодневница**), а најкраће 22. децембра (**краткодневница**), док је на јужној хемисфери обрнуто. Два пута годишње, 21. марта и 23. септембра, обданица и ноћ трају једнако, по 12 часова (**равнодневница**).

Облик Земљине орбите, као и нагиб и оријентација Земљине осе, мењају се током времена. Те промене имају циклични карактер. Облик Земљине орбите се мења на сваких 100.000 година, током којих прелази из скоро потпуно округлог у благо елипсоидан, какав је данас. Нагиб Земљине осе се мења на око 41.000 година, тако да угао који Земљина оса заклапа са равни орбите одступа од правог угла у распону од $22,1^\circ$ до $24,5^\circ$. Што је овај угао већи, тј. што је Земљина оса нагнутија, веће су разлике у годишњим добима, поготово на већим географским ширинама. Поред самог угла, мења се оријентација Земљине осе и то на сваких 19.000 до 23.000 година. Ове промене називају се **прецесија**. Последице наведених промена јесу промене у клими до којих постепено долази у веома дугим временским интервалима. Цикличну појаву ледених доба услед комбинација ових промена први је описао 1920. године српски научник, Милутин Миланковић (1879-1958), те се по њему ови циклуси називају **Миланковићеви циклуси**.

3.3. ГРАВИТАЦИЈА ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ

Гравитациона сила представља једну од основних физичких сила у природи и под њом се подразумева међусобно привлачење тела, као последица масе коју та тела поседују. Део простора у ком се осећа дејство гравитационе силе назива се **гравитационо поље**. Гравитационо поље имају сва тела. Интензитет гравитационих сила зависи од масе тела, па су оне знатно мање у поређењу са гравитационим силама које поседују велика небеска тела, попут планета, а нарочито звезда. Гравитација зависи и од растојања између два тела, тј. јачина гравитационе силе је обрнуто пропорционална квадрату растојања између два тела. Захваљујући гравитацији коју поседују небеска тела, одржава се структура свемира. Сунце, захваљујући свом гравитационом пољу привлачи планете свог система, што проузрокује да оне круже око њега. Гравитационо поље Земље је знатно слабије од Сунчевог, али довољно снажно да привлачи Месец, који кружи око ње. Месец има своју гравитацију која, иако знатно слабија од Земљине има велики значај за њу. Месечева гравитација утиче на стабилизацију оријентације Земљине осе, која би иначе имала знатно већу прецесију, те би до промена климе долазило у краћим временским интервалима. Поред тога, Месечева гравитација на Земљи утиче на појаву плиме и осеке.

На свако тело које се нађе слободно у зони гравитационог поља Земље деловаће гравитациона сила, што ће проузроковати његово кретање ка средишту Земље. При том кретању тело ће имати равномерно убрзање. **Гравитационо убрзање** је физичка величина која показује за колико се брзина тела, које се креће под утицајем гравитације (у слободном паду и у вакууму) мења у времену и изражава се у метрима у секунди на квадрат (m/s^2). Гравитационо убрзање при Земљиној површини износи $9,81 \text{ m/s}^2$.

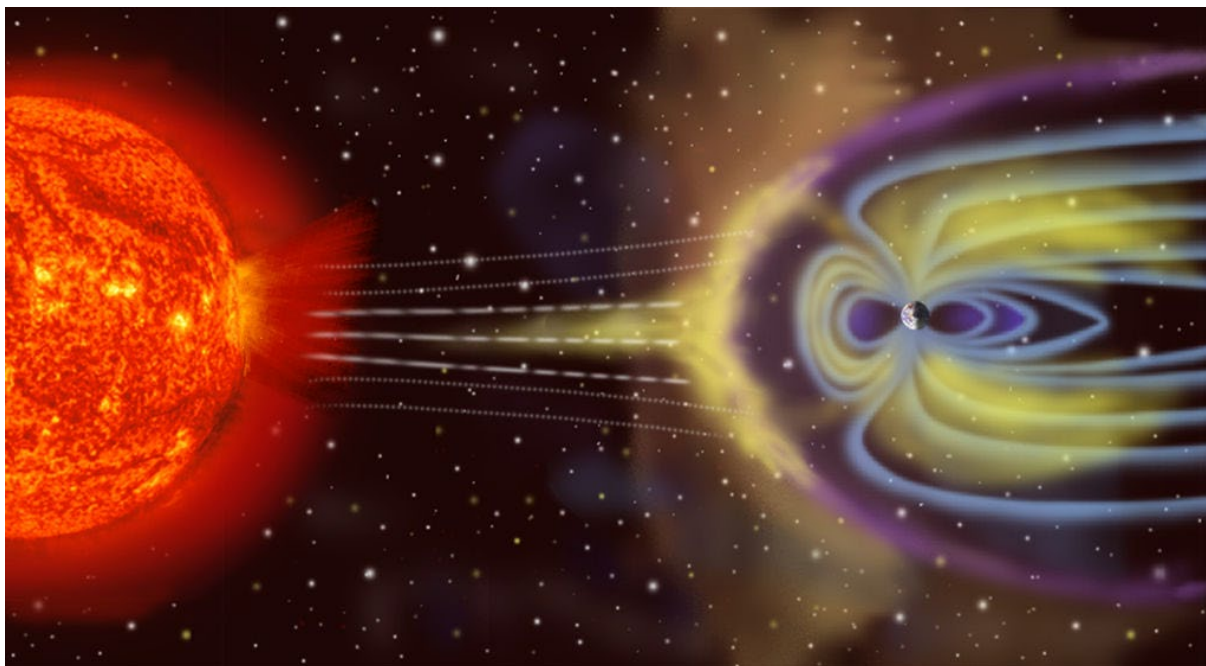
Пошто Земља ротира око своје осе, на њој се јављају центрифугалне силе, које имају супротан смер од гравитационих сила. Резултанта ове две силе представљају **Земљину тежу**. Пошто је центрифугална сила Земље најинтензивнија на екватору, Земљина тежа ће ту бити најмања. Гравитационо поље најинтензивније делује на половима, јер је на тим местима тело најближе Земљином центру. Гравитационо

убрзање зависи и од надморске висине, са којом је у обрнутој сразмери (обрнуто је пропорционално квадрату растојања од центра Земље до места мерења).

3.4. МАГНЕТИЗАМ ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ

Магнетизам представља појаву привлачења или одбијања одређених тела и материјала услед кретања електричног набоја, као што је кретање електрона у атомима. Услед овога, јављају се магнетске силе, а део простора у коме се ове силе осећају представља **магнетско поље**. Магнетско поље је повезано са сваким кретањем наелектрисања, као и са појавом електричног поља, те се ови феномени заједнички називају електромагнетско поље. Јединица за јачину магнетског поља је тесла (Т). Једна тесла једнака је једном њутн-секунду по кулон-метру (Ns/Cm), једном њутну по ампер-метру (N/Am) и једном веберу по квадратном метру (Wb/m²).

Земљино магнетско поље (геомагнетско поље) настаје у Земљином језгру у коме топлота проузрокује кретање материјала и усмерено кретање наелектрисања, чиме настаје електрична струја. Одатле, магнетско поље Земље се шири и допире до њене површине, где његова јачина износи од 25 до 65 μT (микротесли). Утицај магнетског поља Земље се ту не завршава, већ се оно простира до неколико десетина хиљада километара у свемир. Овај простор око Земље, у коме се осећа утицај њеног магнетског поља, назива се **магнетосфера** (слика 17). Услед утицаја соларних ветрова (струје наелектрисаних честица, тј. плазме коју емитује Сунце), магнетосфера поприма облик капи или сузе, па је спљоштена на оној страни Земље која је окренута ка Сунцу, а издужена на супротној. Магнетосфера има велики значај за Земљу, с обзиром да је штити од негативног утицаја соларних ветрова који се лучно савијају око Земље, док у интеракцији соларних ветрова и магнетосфере настаје поларна светлост (аураора бореалис на северном полу и аураора аустралис на јужном).



Слика 17. Графички приказ Земљине магнетосфере и соларних ветрова

Места на Земљи у којима се линије магнетских сила налазе под правим углом у односу на Земљину површину називају се **магнетски полови**. Магнетско поље Земље има два магнетска пола, јужни и северни и они се не налазе на потпуно истим местима где и географски полови. Њихова оса (замишљена права која их спаја) нагнута је у односу на Земљину осу ротације за око $11,3^\circ$. Магнетски полови се не налазе у једној тачки, већ заузимају већу површину, од неколико квадратних километара.

3.5. САСТАВ И СТРУКТУРА ЗЕМЉИНЕ УНУТРАШЊОСТИ

У изградњи Земље учествује 90 хемијских елемената, међу којима по својој заступљености доминирају гвожђе и кисеоник, а у нешто мањем проценту силицијум, магнезијум, сумпор, никл, калцијум и алуминијум. Састав Земље није хомоген по питању хемијског састава и физичких карактеристика и на основу тога се могу издвојити различити слојеви, тј. сфере или омотачи, који се традиционално деле на унутрашње и спољашње.

Унутрашњост Земље има концентричну структуру коју чине језгро, омотач језгра и кора. **Земљино језгро** се налази око Земљиног средишта и његов полупречник износи око 3.500 km. Изграђено је од мешавине никла и гвожђа. Језгро се може поделити на унутрашње (на дубини од око 2.890 km испод Земљине површине), које је у чврстом стању и спољашње (на дубини од око 2.260 km), које је у растопљеном стању.

Око језгра се налази **омотач језгра** (мантл или плашт) који чини 84% запремине Земље. Омотач изграђују силикатне стене са већим уделом магнезијума и гвожђа у себи. Иако је омотач у принципу чврсте конзистенције, током изузетно дугих временских периода понаша се као вискозна течност услед веома високих температура. Састоји од два дела: доњег омотача, на дубини 600–2.900 km и горњег омотача, на дубини од око 10 km испод океана, тј. око 35 km испод континената, па до дубине од 670 km. Упркос високим температурама, доњи омотач је крут, што представља последицу веома високог притиска. Унутрашњи слој горњег омотача (изнад доњег омотача) је **астеносфера**, која има релативно ниску густину и вискозност, тако да је у пластичном или полупластичном стању и налази се изнад доњег омотача. Спољашњи слојеви горњег омотача (изнад астеносфере) су у чврстом стању и заједно са Земљиног кором чине литосферу.

Око омотача Земљиног језгра налази се **Земљина кора** у виду танке љуске. Прелаз између Земљине коре и горњег омотача назива се **Мохоровичићев дисконтинуитет** (Мохо слој), који се карактерише значајном променом брзине простирања сеизмичких таласа. Температура Земљине коре расте са дубином, а највиша је на прелазу у омотач, где се креће око 600°C . Могу се разликовати два типа Земљине коре: **океанска кора** (дебљине 5–10 km) и **континентална кора** (дебљине 30–50 km). Земљина кора заједно са горњим слојевима омотача језгра (изнад астеносфере) чини литосферу.

ПИТАЊА:

1. Како се може описати облик планете Земље?
2. Које су димензије планете Земље?
3. Какав је положај Земље у Сунчевом систему у односу на остале планете?
4. Шта су то меридијани, а шта је гринич?
5. Шта су то паралеле (упоредници), а шта је екватор?
6. Шта су географска дужина и ширина?
7. Шта су последице Земљине ротације?
8. Шта је Земљина револуција и које су њене последице?
9. Шта је то инклинација Земљине осе и које су последице њеног постојања?
10. Шта је прецесија и које су њене последице?
11. Шта су то Миланковићеви циклуси?
12. Шта је гравитација, а шта Земљина тежа? У чему је разлика између ова два појма?
13. Како настаје магнетно поље Земље?
14. Шта је магнетосфера и у чему се огледа њен значај?
15. Од чега је изграђено Земљино језгро и у каквом стању се налази?
16. Од чега је изграђен омотач Земљиног језгра и у каквом стању се налази?
17. Шта је астеносфера и где се она налази?
18. Зашто се температура Земљине унутрашњости повећава са дубином?
19. У чему је разлика између појмова Земљина кора и литосфера?
20. На основу научног градива о облику, положају и кретању планете Земље објасните појаве са којима се срећемо у природи, као што су смена обданице и ноћи, смена годишњих доба, промена дужине трајања обданице и ноћи у току године и постојање различитих климатских зона. Да ли би ове појаве биле такве да је Земља другачијег облика?

4. ЛИТОСФЕРА

Циљ: упознавање са саставом и основним одликама литосфере. Савладавањем овог градива стичу се услови за разумевање значаја геолошке подлоге и рељефа у одређивању карактеристика животне средине, као и за схватање повезаности литосфере са хидросфером, атмосфером и биосфером.

Резиме: Литосфера представља спољашњи охлађени чврсти омотач планете Земље. Могу се разликовати континентална и океанска литосфера. Литосфера је издељена на тектонске плоче које се крећу. Изграђују је стене које према начину настанка могу бити: магматске, седиментне и метаморфне. Особине стена зависе од минерала који их изграђују, а особине минерала зависе од њиховог хемијског састава и структуре. Минерали се могу поделити према хемијском саставу, а групе које су најзаступљеније у литосфери су: силикатни, карбонатни, сулфатни, халидни, оксидни, хидроксидни, сулфидни, фосфатни, нитратни и боратни минерали и самородни елементи. Како се на стенама развија земљиште, њихов састав може имати великог утицаја на живи свет, нарочито на вегетацију.

Под рељефом се подразумева изглед површине литосфере, тј. терена одређеног подручја на планети Земљи. У формирању рељефа учествују унутрашњи, геолошки и спољашњи, геоморфолошки процеси (елувијални, колувијални, пролувијални, делувијални, флувијални, крашки, глацијални, марински и еолски). Карактеристике рељефа које су од највећег значаја за живи свет су: надморска висина, нагиб терена и експозиција.

Литосфера (од грч. *λίθος* – стеновит или каменит и *σφαίρα* – лопта, сфера) представља спољашњи охлађени, чврсти омотач планете Земље кога чине Земљина кора и горњи слојеви омотача језгра, заједно са Мохо слојем, који се налази између њих. Литосфера лежи на астеносфери која је вискознија и топлија од спољашњих слојева омотача, који улазе у састав литосфере. Око 71% литосфере, а самим тим и површине планете Земље, налази се под водом (мора и океани), док 29% чини копно, тј. суви део литосфере који није под водом већ у директном контакту са атмосфером. Наука која се бави проучавањем литосфере и Земљине коре је **геологија**.

4.1. САСТАВ ЛИТОСФЕРЕ

Литосфера је највећим делом изграђена од различитих типова стена, од којих у процесу дробљења и ситњења настаје камење, песак и прашина, а учешћем живих организама и других фактора од површинских слојева литосфере настаје земљиште. Састав матичне подлоге има великог значаја у одређивању карактеристика земљишта које се на њој развија, а посредно и на живи свет, првенствено биљни. Стене су израђене од једног или више типова минерала, па се могу поделити на мономинералне и полиминералне стене. Када је у питању елементарни састав литосфере, у њој су са највећим процентом

заступљени кисеоник (47,2%) и силицијум (27,6%). Алуминијум, гвожђе, калцијум, магнезијум, натријум и калијум чине испод 10% литосфере, док се остали елементи јављају са процентуалним учешћем испод 1%.

4.1.1. Минерали

Минерали су природни и хомогени кристали, који настају различитим геолошким процесима и представљају основну компоненту стена у литосфери. Особине минерала зависе од њиховог хемијског састава и од кристалне структуре. Неки минерали могу имати исти састав, али различиту структуру, па самим тим и другачија својства. Минерали се могу поделити према хемијском саставу, а групе које су најзаступљеније у литосфери су: силикатни, карбонатни, сулфатни, халидни, оксидни, хидроксидни, сулфидни, фосфатни, нитратни и боратни минерали, као и минерали израђени од само једног елемента (самородни елементи). Научна дисциплина која се у оквиру геологије бави проучавањем минерала, њиховог састава, структуре и особина, назива се минералологија.

Силикатни минерали су минерали у чијој изградњи учествују силикатни ањони. Ови минерали сачињавају око 90% стена Земљине коре. Изграђени су углавном од силицијума и кисеоника, а садрже и алуминијум, магнезијум, гвожђе, калцијум итд. У силикатне минерале спадају **кварц** (SiO_2) (слика 18а), **оливин** $((\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4)$, **топаз** $(\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F,OH})_2)$ и групе минерала попут **фелдспата**, **пироксена**, **амфибола**, **лискуна** итд. Фелдспати су веома значајна група алуминијум-тектосиликатних минерала, с обзиром да изграђују више од 60% Земљине коре. У оквиру фелдспата, посебно су значајни и **плагиокласи**, с обзиром да улазе у састав великог броја магматских стена, што важи и за пироксене. У састав лискуна улазе калијум, натријум, магнезијум, гвожђе, литијум, цезијум и рубидијум са ОН групом. Међу њима се издвајају **мусковит** $(\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2)$, **биотит** $(\text{K}(\text{Mg,Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F,OH})_2)$ (слика 18б) итд. У групу силикатних минерала спада и **јадарит**, хемијског назива натријум-литуријум-боросиликат-хидроксид $(\text{LiNaSiB}_3\text{O}_7\text{OH})$, редак минерал који је откривен 2004. године у долини реке Јадар у Србији.



Слика 18. Силикатни минерали: кварц (а) и биотит (б)

Карбонатни минерали садрже карбонатни ањон. Налазе се углавном на морском и океанском дну, јер настају услед таложења љуштура морских и океанских организама. Растварањем и таложењем карбонатних минерала настају сталактити и сталагмити. У карбонатне минерале спадају **калцит** (CaCO_3) (слика 19а), **магнезит** (MgCO_3) (слика 19б), **доломит** ($\text{CaCO}_3 \times \text{MgCO}_3$) (слика 19в), **арагонит** (CaCO_3), **сидерит** (FeCO_3) итд.



Слика 19. Карбонатни минерали: калцит (а), магнезит (б) и доломит (в)

Сулфатни минерали настају у евапоритима (седиментним наслагама насталим таложењем соли из водених раствора и испарвањем воде) приликом испаравања воде и кристализације сулфатних и халидних минерала. Могу се наћи и у хидротермалним жилама на местима где се јавља сулфидна руда. У сулфатне минерале спадају **барит** (BaSO_4), **гипс** ($\text{CaSO}_4 \times n\text{H}_2\text{O}$), **целестин** (SrSO_4), **анхидрит** (CaSO_4) итд.

Халидни минерали се јављају у евапоритима и у њихов састав улази неки од халидних анјона (F^- , Cl^- , Br^- и I^-). Меки су, одликују се релативно ниском густином и углавном су светле боје. У халидне минерале спадају **халит** (кухињска со, NaCl), **флуорит** (CaF_2), **силвит** (KCl) итд.

Оксидни минерали се јављају близу површине литосфере, могу настати оксидацијом других минерала и представљају значајну компоненту стена и земљишта. Оксидни минерали су веома разноврсни, што се може објаснити релативно великом заступљеношћу кисеоника у литосфери. У оксидне минерале спадају **хематит** (Fe_2O_3) (слика 20а), **магнетит** ($\text{FeO} \times \text{Fe}_2\text{O}_3$) (слика 20б), **корунд** (Al_2O_3) итд. Кварц (SiO_2) се може сврстати и у групу оксидних минерала.

Хидроксидни минерали су једињења различитих хемијских елемената и воде. Слично као и оксидни минерали чине важну компоненту многих стена и земљишта. У хидроксидне минерале спадају **боксит**, **лимонит** ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{H}_2\text{O}$) (слика 20в), **манганит** ($\text{MnO}(\text{OH})$) итд. Боксит се састоји од алуминијум-хидроксида и представља агрегат више минерала као што су **бемит** ($\text{AlO}(\text{OH})$), **дијаспор** ($\text{AlO}(\text{OH})$), **гипсит** ($\text{Al}(\text{OH})_3$) итд.



Слика 20. Оксидни минерали, хематит (а) и магнетит (б) и хидроксидни минерал, лимонит (в)

Сулфидни минерали су једињења различитих хемијских елемената и сумпора. Често се јављају у лежиштима подручја која су била изложена вулканским активностима. Углавном су непрозирни, имају метални сјај, велике су густине, али мале до средње тврдоће. У сулфидне минерале спадају **пирит** (FeS_2), **халкопирит** (CuFeS_2), **галенит** (PbS), **антимонит** (Sb_2S_3) итд.

Фосфатни минерали у својој структури садрже тетраедарски координисан фосфатни анјон (PO_4^{3-}), који је некада супституисан арсенатним (AsO_4^{3-}) или ванадатним (VO_4^{3-}) јоном, као и хлоридне (Cl^-), флуоридне (F^-) и хидроксидне (OH^-) анјоне, који се уклапају у кристалну структуру. Ови минерали су сјајни и јако обојени, средње густине и тврдоће. Значајни су за човека јер служе као сировина за производњу минералних ђубрива. У фосфатне минерале спадају **апатити** ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$), **тиркиз** ($\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \times 5\text{H}_2\text{O}$), **лазулит** ($(\text{Mg}, \text{Fe})\text{Al}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2$) итд.

Нитратни минерали су мала група релативно ретких минерала, који у свом саставу имају нитратну групу (NO_3^-). У нитратне минерале спадају: **чилеанска шалитра** или **нитратин** (натријум-нитрат, NaNO_3), **калијумска шалитра** (калијум-нитрат, KNO_3), **нитрамит** (NH_4NO_3), **нордијска (норвешка) шалитра** или **нитрокалцит** (калцијум-нитрат, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$) итд.

Боратни минерали су минерали који садрже боратни анјон (BO_3^{3-}), чији је настанак везан за испаравање, тј. евапорацију. Иако су у малој количини заступљени у Земљиној кори, ови минерали су веома разноврсни због великог броја могућих комбинација у њиховој структури. Боратни анјони се могу повезивати на више различитих начина. У структури неких боратних минерала се налазе хидроксидни или хлоридни анјони, што додатно доприноси њиховој разноврсности. У боратне минерале спадају: **боракс** ($\text{Na}_2\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_{17}$), **борацит** ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$), **кернит** ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_6(\text{OH})_2 \times 3\text{H}_2\text{O}$), **улексит** ($\text{NaCaB}_5\text{O}_6(\text{OH})_6 \times 5\text{H}_2\text{O}$) итд.

Самородни елементи су велика и разноврсна група минерала који су по свом хемијском саставу чисти хемијски елементи. Самородни елементи могу бити метали (злато, сребро, платина, бакар) и неметали (угљеник, сумпор). Неки од значајнијих минерала ове групе су **дијамант** и **графит** (једнородни угљеник) и **једнородни сумпор**. Битно је напоменути да у ову групу минерала спадају и неке природне легуре, попут **силицида**, **нитрида**, **фосфида**, **арсенида** и **карбида**.

Органски минерали су пореклом биогена једињења угљеника (потичу од живих организама) у чијем формирању су учествовали геолошки процеси. Ово је мала група слабо заступљених минерала у Земљиној кори. С обзиром да се ради о органским једињењима, често се не класификују као минерали. У органске минерале спадају: **оксалати**, **цитрати**, **ацетати** итд., који се понекад у Земљиној кори јављају у виду крупних кристала, попут неорганских минерала.

Поред минерала, у Земљиној кори се налазе **минералоиди**, тј. супстанце које подсећају на минерале, али немају кристалну структуру. У минералоиде се убрајају: **опсидијан** (вулканско стакло које настаје брзим хлађењем лаве, при чему кристали не стигну да се формирају), **гагат**, тј. **црни јантар** или **црни ћилибар** (врста лигнита настала фосилизацијом дрвне масе биљака при високом притиску), **опал** (хидратисани силицијум-диоксид) (слика 21) итд.



Слика 21. Минералоид опал

4.1.2. Стене

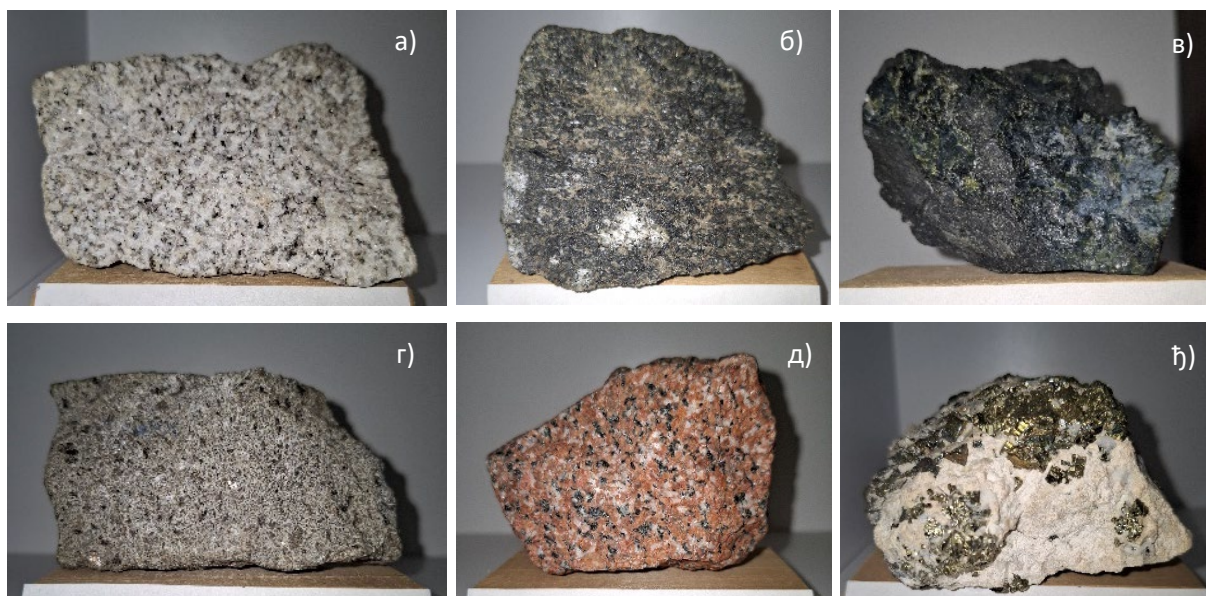
Стене представљају сваку чврсту масу у Земљиној кори која је скуп (агрегат) једног или више минерала и/или минералоида. У оквиру геологије, проучавањем стена, њиховог састава и структуре, као и начинима њиховог настанка, бави се научна дисциплина под називом петрологија.

Стене се уобичајено класификују у зависности од начина њиховог постанка на:

- магматске (еруптивне) стене;
- седиментне (таложне) стене и
- метаморфне стене.

Магматске стене су стене које су настале хлађењем, очвршћавањем и кристализацијом магме у унутрашњости Земље, односно лаве на површини Земље. Под магмом и лавом подразумева се растопљени или полурастопљени флуидни стенски материјал. Разлика је у томе што се магма налази у унутрашњости Земље, а настаје топљењем делова омотача или коре на температурама од 650 (некада и ниже) до 1.300°C, док лава настаје када се магма излије на површину Земље током вулканских ерупција. Магматске стене су примарне стене, с обзиром да од њих настају седиментне и метаморфне стене, тако да је првобитно Земљина кора била изграђена искључиво од њих. Магматске стене изграђују највећи део океанске Земљине коре и чине око 15% површине копна. Према начину постанка, магматске стене се могу поделити на интрузивне (дубинске) и екструзивне (површинске, изливне или вулканске).

Интрузивне магматске стене су знатно заступљеније од екструзивних и формирају се од магме, која се охладила и очврсла испод Земљине површине, тј. у самој Земљиној кори. У ову групу магматских стена спадају: **гранит** (највећим делом изграђен од кварца и фелдспата) (слика 22а), **габро** (изграђен од плагиокласа и пироксена) (слика 22б), **перидотит** (изграђен од оливина и пироксена) (слика 22в), **сијенит** (изграђен од алкалних фелдспата, бојених и споредних минерала) (слика 22д), **диорит** (изграђен од плагиокласа, бојених и споредних минерала) (слика 22г), **пегматит** (углавном од кварца и фелдспата) (слика 22ђ) итд.



Слика 22. Интрузивне магматске стене: гранит (а), габро (б), перидотит (в), диорит (г), сијенит (д) и пегматит (ђ)

Екструзивне магматске стене настају брзим хлађењем и очвршћавањем лаве, тј. магме избачене на површину Земље током вулканских ерупција. Најчешћа и најзначајнија површинска магматска стена је **базалт** (изграђен од плагиокласа, амфибола и пироксена), а у ову групу спадају и **трахит** (изграђен од алкалних фелдспата) (слика 23а), **дацит** (изграђен од кварца, плагиокласа и бојених минерала) (слика 23б) и **андезит** (изграђен од плагиокласа, пироксена и амфибола) (слика 23в). Уколико до очвршћавања магме дође током њеног пута према површини Земље при проласку кроз пукотине стена, настају **жичне магматске стене**, као прелазна група између интрузивних и екструзивних.

Магматске стене се могу поделити и на основу садржаја силицијум-диоксида и то на: **фелзичне** са преко 65% SiO_2 (гранит), **мафичне** са 45-55% SiO_2 (габро и базалт) и **ултрамафичне** са мање од 45% SiO_2 , а са већим уделом магнезијума и гвожђа (перидотит).



Слика 23. Екструзивне магматске стене: трахит (а), дацит (б) и андезит (в)

Седиментне стене су стене настале хемијским и физичким површинским распадањем постојећих магматских, метаморфних или старијих седиментних стена и потоњим таложењем тако насталог материјала. Стене које се налазе на површини Земље изложене су различитим атмосферским утицајима (залеђивање и одлеђивање воде која се налази у пукотинама стена, ветар...), биотичким утицајима (нпр. притисак који ствара корење биљака које се утискује у пукотине стена), као и утицајима таласа у обалним подручјима. Ово доводи до њиховог дробљења и уситњавања. Тако настали

материјал може бити транспортован, а потом наталожен на одређеним местима, те се седиментне стене јављају у виду слојева или плоча, тј. наслага. Према томе, у настанку седиментних стена учествују четири главна процеса: 1) површинско распадање; 2) транспорт; 3) седиментација (таложeње) и 4) очвршћавање (литофикација или дијагенеза). Ове стене су мање заступљене од магматских и метаморфних, чинећи свега око 5% Земљине коре. Седиментне стене покривају 75% површине копна. На основу састава и начина постанка (таложeња), седиментне стене се могу поделити на: кластичне (механичке), хемијске и биогене (органогене).

Кластичне седиментне стене настају таложењем чврстих фрагмената изграђених од материјала минералног порекла. У ову групу седиментних стена спадају **бреча** (слика 24а), **пешчар** (слика 24б), **лес** (слика 24в), **глина** (слика 24г) итд. **Хемијске седиментне стене** настају излучивањем и таложењем минералних материја из zasiћеног воденог раствора. Овде се убрајају стене као што су **сига (бигар)**, **мермерни оникс**, **травертин** итд. **Биогене седиментне стене** настају таложењем материјала пореклом од живих бића. Могу се поделити на зоогене седименте, настале таложењем животињских скелета или љуштура (слика 24д) и фитогене седименте, настале таложењем биљних делова и састојака. У зоогене седименте спадају **кречњак** (изграђен од калцита и арагонита), **креда** (меки и порозни облик кречњака изграђеног од калцита), **доломит** (изграђен од кристала калцијум-магнезијум-карбоната, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) итд. У фитогене седименте спада **угаљ** (изграђен од угљеника и угљоводоника) (слика 24ђ). Пошто се хемијске и биогене седиментне стене тешко разликују, често се сврставају у исту групу, те се нпр. кречњак и доломит некада могу навести као примери хемијских седиментних стена.

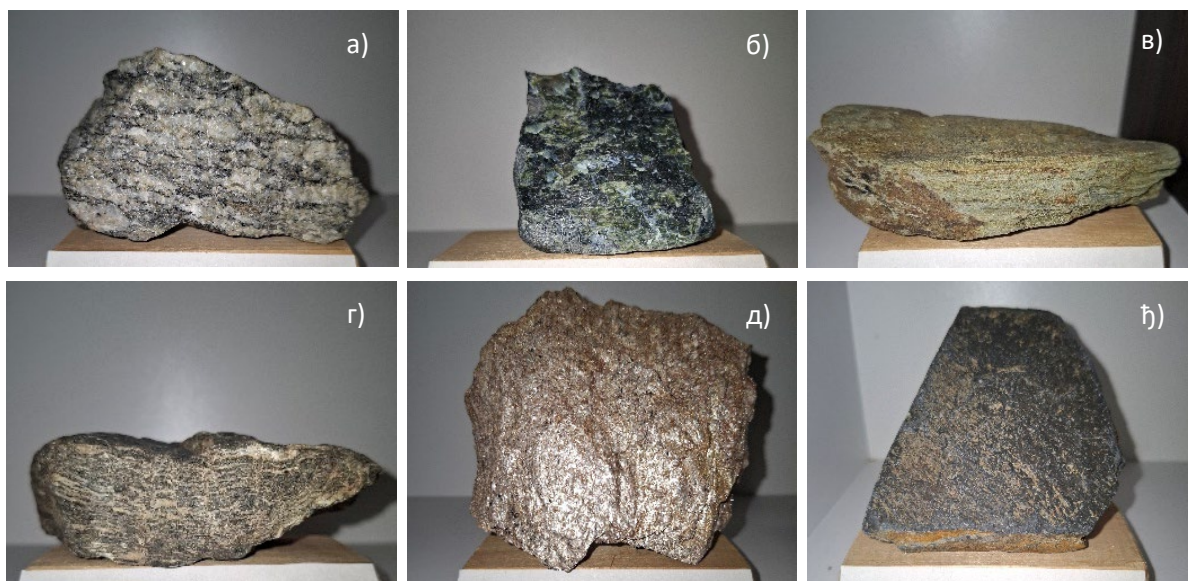


Слика 24. Седиментне стене: бреча (а), пешчар (б), лес (в), глина (г), зоогени седименти (д) и угаљ (ђ)

Метаморфне стене су стене настале у процесу метаморфозе, тј. трансформације услед различитих физичких и хемијских процеса у условима који се разликују од оних под којим је стена првобитно настала. Приликом утицаја различитих фактора, као што су

висока температура, висок притисак или утицај гасова и флуида, стене мењају свој хемијски и минерални састав, структуру и текстуру. Првобитна стена (магматска, седиментна или нека друга метаморфна стена), која подлеже метаморфози, назива се протолит. Метаморфне стене се формирају дубоко испод Земљине површине, у условима високе температуре и притиска који стварају слојеви стена изнад њих. Могу настати и услед тектонских процеса, као што су колизије континената и локално, у случајевима када се стена загреје продирањем магме из дубљих слојева Земље. Иако се формирају дубоко у Земљиној кори, метаморфне стене могу доћи до Земљине површине, услед њиховог подизања или услед ерозије стенског материјала, који се налазио изнад њих. Метаморфне стене су веома значајне јер чине добар део Земљине коре, али покривају само око 12% Земљине површине копна.

Метаморфне стене се могу поделити према протолиту од ког су настале, хемијском и минералном саставу и према текстури. На основу начина постанка, деле се на: динамо-метаморфне, контактнo-метаморфне и катакластично-метаморфне. **Динамо-метаморфне стене** настају дубоко у Земљиној кори под утицајем високе температуре и високог притиска. **Контактнo-метаморфне стене** настају продором вреле магме и њеним контактом са протолитом, који се на тај начин загрева. **Катакластично-метаморфне стене** настају под утицајем усмереног динамичког притиска, какав се нпр. јавља приликом смицања два блока. Метаморфне стене се могу поделити и према текстури на **стене шкриљаве текстуре** (кристаласти шкриљци), које настају када се у стенама јављају дисконтинуитети по равнима оријентације састојака, **стене масивне (хомогене) текстуре**, које настају услед деловања притиска у свим правцима и **стене планпаралелне текстуре**, које настају приликом деловања усмерених притисака и имају паралелну оријентацију састојака. Неке од метаморфних стена су **гнајс** (настаје метаморфозом гранита или пелита) (слика 25а), **мермер** (настаје метаморфозом кречњака или доломита), **серпентинит** (настаје метаморфозом перидотита) (слика 25б), **кварцит** (настаје метаморфозом пешчара), **филит** (настаје метаморфозом глиновитих стена) (слика 25в), **амфиболит** (настаје метаморфозом базичних магматских стена или нечистих кречњака и доломита) (слика 25г), **микашист** и **аргилошист** (настају метаморфозом шкриљаца) (слика 25д и 25ђ) итд.



Слика 25. Метаморфне стене: гнајс (а), серпентинит (б), филит (в), амфиболит (г), микашист (д) и аргилошист (ђ)

4.1.3. Значај састава стена за живи свет

Геолошка подлога представља основни супстрат на коме се развијају различити екосистеми. Њен састав утиче на услове живота биљака, животиња и микроорганизама. У првом реду, тип стене, њене карактеристике и минерални састав одређују физичко-хемијске карактеристике земљишта, које су кључне у развоју земљишне заједнице микроорганизама и вегетације одређеног подручја, што се одражава и на остале чланове животне заједнице, укључујући и животиње. Геолошка подлога је главни извор минералних материја које улазе у састав земљишта. Изнад различитих типова стена се могу формирати различити типови земљишта.

За биљке је од великог значаја рН вредност земљишта која може бити одређена типом геолошке подлоге (матичне подлоге). Тако се на карбонатним стенама развијају алкална земљишта, док силикатне стене попут гранита доводе до формирања киселих земљишта. Минерали у стенама одређују количину хранљивих елемената у земљишту, што утиче на раст биљака. Састав геолошке подлоге може проузроковати високе концентрације појединих елемената у земљишту и деловати штетно на биљке. Таква земљишта насељавају биљне врсте које су адаптиране на овакве специфичне услове. Геолошка подлога може утицати на структуру и порозност земљишта, што се одражава на водни режим станишта и на биљни свет. Тако се на пешчарима развијају пропусна тла, док глине доприносе формирању земљишта која задржавају воду.

Што је степен развоја земљишта мањи, то је утицај састава стена на биљке израженији, јер у добро развијеним дубоким земљиштима ефекат геолошке подлоге може бити у извесној мери неутрализован под утицајем других фактора. На местима где је присутно плитко земљиште или га уопште нема, биљке ће бити под директнијим утицајем стенског материјала. Због тога се у оваквим случајевима на одређеним типовима стена јављају специфичне биљне заједнице састављене од врста које су добро прилагођене минералном саставу подлоге.

Животињске заједнице могу бити под директним утицајем састава стена или се он на њих може одразити преко земљишта и вегетације. Често се састав геолошке подлоге на животиње може одразити кроз мањак или вишак одређених елемената у њиховој исхрани. Нека подручја се природно одликују мањом или већом заступљеношћу одређених елемената у земљишту или биомаси биљака, што представља последицу специфичности геолошке подлоге. Тако се недостатак есенцијалних елемената може одразити на раст животиња, састав костију или љуштура пужева, љуску птичјих јаја и на појаву специфичних ендемских болести. С друге стране, високе концентрације одређених елемената могу представљати проблем за животиње и имати токсично дејство.

4.2. ТИПОВИ ЛИТОСФЕРЕ

Постоје два типа литосфере, а то су океанска и континентална литосфера.

Океанска литосфера се налази испод океана. Гушћа је од континенталне литосфере и састоји се од мафичне (базалтне) коре и ултрамафичног омотача (перидотита). Доста је млађа од континенталне литосфере, а њени најстарији делови стари су око 170 милиона година.

Континентална литосфера изграђује континенте и приобалне делове морског дна (шелфове) и мање је густине од океанске, али је знатно дебља од ње. Континентална кора, која чини површински саставни део континенталне литосфере, изграђена је од магматских, седиментних и метаморфних стена. За разлику од мафичне (базалтне) океанске коре, континентална кора има фелзични (гранитни) састав. Континентална литосфера је знатно старија од океанске, тако да су њени поједини делови стари милијардама година.

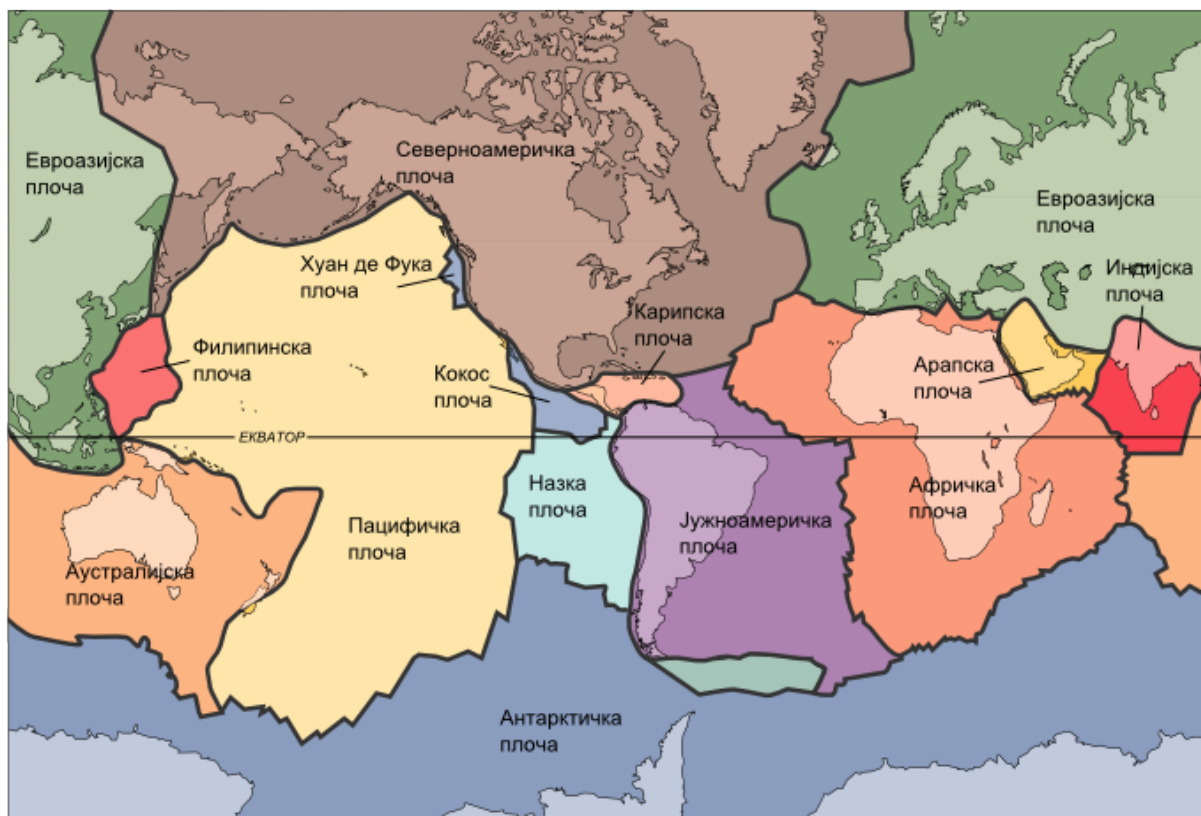
Велике копнене масе на планети Земљи које имају одређене границе представљају **континенте**. Пошто не постоји јединствена и прецизна дефиниција континента, њихов број варира од 4 до 7, у зависности од извора. Често се у детерминацији континената не користе само физичко-географски критеријуми, већ и културолошки и политички. Најшире прихваћена и најчешће коришћена листа континената је следећа: [Европа](#), [Азија](#), [Африка](#), [Северна Америка](#), [Јужна Америка](#), [Аустралија](#) и [Антарктик](#). Издвајање Европе и Азије као посебних континената првенствено је извршено из историјских и културолошких разлога. У строго физичко-географском смислу, Европа и Азија чине јединствен континент, под називом [Евроазија](#).

4.3. ТЕКТОНСКЕ ПЛОЧЕ

Литосфера је издељена на тектонске или литосферне плоче. Оне се тектонским покретима крећу плутајући по астеносфери која има карактеристике флуида, јер се одликује ниском вискозношћу. У састав тектонских плоча улази спољашњи слој горњег омотача језгра (изнад астеносфере) и Земљина кора, океанска и/или континентална. Све плоче које у свом саставу имају неки континент, тј. континенталну кору, називају се **континенталним тектонским плочама**. Те плоче поред самих континента чини и океанска кора, која се налази око њих. Плоче које су у потпуности изграђене од океанске коре, тј. оне које у свом саставу немају континенте и налазе се испод океана, називају се **океанским тектонским плочама**.

Неке од највећих тектонских плоча су [Евроазијска](#), [Северноамеричка](#), [Јужноамеричка](#), [Афричка](#), [Индо-аустралијска](#) (настала спајањем Индијске и Аустралијске плоче пре око 43 милиона година), [Антарктичка](#) и [Пацифичка](#), која је у потпуности океанска јер у њен састав не улазе континенти, већ се налази испод Тихог океана. Поред њих постоји извешан број мањих плоча, као што су Индијска, Арабијска, Карипска, Филипинска, Насканска итд. (слика 26).

У зависности од тога како се тектонске плоче померају једна у односу на другу, међу њима се могу разликовати конвергентне (деструктивне), дивергентне (конструктивне) и трансформне (конзервативне) границе. **Конвергентне границе** се јављају између тектонских плоча које се померају једна према другој, при чему може доћи до субдукције, тј. понирања једне плоче испод друге или до континенталне колизије, што за последицу има издизање планина. **Дивергентне границе** се јављају између тектонских плоча, које се међусобно удаљавају, при чему се формира расцеп који се потом попуњава магмом од које настаје нова кора. **Трансформне границе** се јављају између тектонских плоча које клизе једна поред друге дуж трансформног раседа. Вулканизам и земљотреси представљају последицу кретања тектонских плоча.



Слика 26. Тектонске плоче

4.4. РЕЉЕФ

Под рељефом се подразумева **изглед површине литосфере, тј. терена одређеног подручја на планети Земљи**. Оно што дефинише рељеф неког подручја је нагиб, удубљеност или издигнутост терена, али и међусобна повезаност и свеукупност свих тих облика. Рељеф представља морфолошки аспект терена и настаје као резултат дејства различитих сила. У првом реду, те силе потичу из Земљине унутрашњости и оне примарно одређују рељеф неког подручја. Површина литосфере је у контакту са атмосфером и хидросфером и константно је изложена дејству различитих спољашњих сила, које је додатно обликују. Рељеф има значајан утицај на друге елементе животне средине, као што су клима и земљиште. Његов утицај на жива бића је посредан. Проучавањем рељефа, тј. његових облика, али и фактора и процеса који учествују у његовом формирању, бави се посебна научна дисциплина под називом **геоморфологија**. Описивањем облика рељефа као што су брда, планине или висоравни, бави се **орографија**, која се сматра делом геоморфологије.

4.4.1. Геоморфолошки фактори

Под геоморфолошким факторима подразумева се све оно што условљава карактеристике рељефа одређеног подручја. Поред унутрашњих и спољашњих сила, рељеф је у великој мери условљен карактеристикама стена које изграђују литосферу датог подручја. На крају, битан фактор је и време, с обзиром да је површина литосфере константно изложена дејству различитих сила, због чега се рељеф мења у функцији

времена. Могу се издвојити три основна геоморфолошка фактора: енергетски, материјални и временски фактор.

Енергетски фактор чине различите врсте сила које својим дејством учествују у формирању рељефа. Пошто се ради о активном и динамичном фактору, ове силе се често у геоморфологији називају агенсима. Као што је речено, можемо разликовати унутрашње (ендогене) и спољашње (егзогене) силе. Ендогене силе доводе до формирања крупних регионалних облика рељефа, као што је формирање великих планинских венаца, док су егзогене силе заслужне за финије обликовање рељефа, што је уочљиво на мањим просторним размерама.

Ендогене силе потичу из Земљине коре и из дубљих слојева Земљине унутрашњости. Ове силе настају услед тектонских покрета, тј. померања тектонских плоча. До издизања великих планинских венаца може доћи услед континенталне колизије, када се две континенталне плоче крећу једна према другој (као што је био случај са Индијском плочом која се креће ка Евроазијској плочи, што је довело до издизања Хималаја). Ендогене силе могу бити последица кретања магме и вулканских процеса, који могу довести до издизања терена и настанка вулканских планина. Ендогене силе се називају геолошким агенсима, а процеси до којих доводе називају се геолошким процесима, те се њима више бави геологија него геоморфологија.

Егзогене силе представљају утицаје атмосфере, хидросфере и биосфере на површину литосфере, што доводи до формирања специфичних облика рељефа. Механичка енергија воде, снега, ледника или ветра може утицати на обликовање терена. Кључан чинилац деловања ових егзогених сила је гравитација, услед које се површинске воде или ледници крећу по површини терена, мењајући његову морфологију. Вода на стенски материјал не утиче само механички, већ може утицати хемијски, растварајући га, што доводи до настанка специфичних облика тзв. крашког рељефа. Температурне промене су битан егзогени фактор, који доводи до пуцања и уситњавања стенског материјала. Иако је његов значај мање приметан, биљни и животињски свет доприноси изгледу рељефа тако што вегетација спречава ерозију, а мртва биомаса учествује у процесима акумулације (нагомилавања) материјала. У данашње време, све је приметнији људски утицај на рељеф, који се огледа у рударским активностима, изградњи насипа, брана на рекама, канала, елемената инфраструктуре итд. За разлику од природних геоморфолошких фактора, за чије је дејство потребан веома дуг временски период, последице човековог утицаја на рељеф се манифестују веома брзо. Све наведене егзогене силе сматрају се геоморфолошким агенсима, а процеси до којих доводе називају се геоморфолошким процесима.

Материјални фактор чини стенски материјал који подлеже променама услед дејства енергетског фактора. Формирање рељефа не зависи само од карактеристика сила, тј. агенаса, већ и од карактеристика стенског материјала, који се због своје пасивне улоге у геоморфолошким процесима, назива пацијенс. Дејство исте силе на литосферу може резултовати формирањем различитог рељефа, у зависности од састава и типа стена датог подручја. Тако се разликује резултат утицаја текућих вода као егзогеног енергетског фактора на стене које су нерастворљиве у води (нпр. пешчар) и на стене које се у контакту са водом растварају (нпр. кречњак). У првом случају, текуће воде ће механички формирати јаруге или речне долине, док ће у другом случају настати крашки облици рељефа, као што су увале или вртаче. Поред типа и састава стена, материјални фактор одређен је њиховим склопом, слојевитошћу, присуством пукотина итд. Слојевит и хетероген стенски материјал са пукотинама брже ће подлегати

променама услед дејства енергетског фактора у поређењу са компактним и хомогеним стенама.

Временски фактор представља период трајања изложености стенског материјала одређеним силама. Иако нама не делује тако, рељеф се стално мења, јер на њега константно делују природне силе. Притом, тип и интензитет тих сила мења се током времена. Да би резултати њиховог утицаја били видљиви, потребно је да протекне веома дуг временски период, који је често знатно дужи од просечног животног века човека. У неким случајевима промене у рељефу могу бити веома брзе, а до њих може доћи услед одроњавања стена, појаве клизишта, вулканских ерупција, пешчаних олуја у пустињама итд. До посебно брзих промена у рељефу долази и услед утицаја човекових активности.

4.4.2. Геоморфолошки процеси

Геоморфолошки процеси су процеси који доводе до формирања рељефа. У њима учествују егзогене силе (геоморфолошки агенси) и стенска маса на коју те силе делују (пацијенс). Ендогене силе (геолошки агенси) су одговорне за формирање рељефа. Процеси у којима оне учествују су геолошке природе.

Елементи геоморфолошких процеса

У основи геоморфолошких процеса налазе се три основна елемента: ерозија, транспорт и акумулација материјала.

Ерозија представља разарање стенског материјала под дејством једног или више геоморфолошких агенаса, као што су вода, ледник или ветар и материјал који је њима ношен (песак, камење или крупнији делови одломљене стенске масе). Ово разарање може бити резултат дејства механичке силе или резултат хемијског процеса, па се могу разликовати механичка и хемијска ерозија.

Механичка ерозија је заступљенији облик ерозије који подразумева разарање стенске масе услед дејства кинетичке енергије геоморфолошких агенаса. Механичка ерозија некада може бити веома брза, као што је случај са појавом бујица које са собом могу носити земљиште, као површински слој литосфере. Процеси ерозије могу трајати милионима година. Тако су настали многи кањони и клисуре, које су текуће воде постепено дубиле у геолошкој подлози.

Хемијска ерозија подразумева растварање стенског материјала помоћу воде. Овај облик ерозије заступљен је у подручјима чију геолошку подлогу чине стене растворљиве у води, као што су кречњаци и доломити. Резултат ових процеса је формирање специфичних крашких облика рељефа: крашка поља, увале, вртаче, пећине итд.

Транспорт представља преношење материјала насталог разарањем стенске масе током ерозије. Ефекат који ерозија има на рељеф постаје видљив тек када дође до транспорта, па су ова два процеса уско повезана. Под ерозијом се често подразумевају процеси разарања и одношења материјала. У случају механичке ерозије, комадићи и честице настали дробљењем стенске масе се транспортују истим агенсом који је изазвао саму ерозију, тј. водом, ветром или ледницим и самостално, под утицајем гравитације. У случају хемијске ерозије, материјал се транспортује у облику раствора водом, која је

изазвала растварање стена. Материјал може бити транспортован на различите удаљености, као што и време транспорта може бити различито, а све у зависности од количине кинетичке енергије коју транспортни агенс поседује и величином и масом еродираних делова стене. Тако се велики блокови стена, који се одроне са литица, транспортују под утицајем гравитације на релативно мале удаљености и у кратком временском периоду. Ситне честице, настале ерозијом корита великих река, могу бити ношене водом на удаљеност од неколико хиљада километара, што може трајати месецима или годинама. Битно је напоменути да током транспорта материјал трпи извесне промене, па тако камење које се транспортује водом по дну речног корита постаје заобљено и углачано.

Акумулација представља нагомилавање материјала који је транспортован. Наравно, транспорт материјала се не може одвијати у недоглед, већ само док је кинетичка енергија довољна за његово покретање. Транспорт материјала у раствороном облику завршава се када дође до засићења раствора. У оба случаја, престанком транспорта долази до акумулације материјала на одређеном месту, при чему може доћи до формирања нових акумулационих облика рељефа. Начин акумулације и карактеристике новостворених облика рељефа зависе од типа и количине материјала који се акумулира, као и од начина транспорта и типа транспортног агенса.

Типови геоморфолошких процеса

Процеси који учествују у формирању рељефа најчешће се класификују на основу геоморфолошких агенаса који у њему учествују. Геоморфолошки процеси могу бити елувијални, колувијални, делувијални, пролувијални, флувијални, глацијални, марински и еолски. Посебну групу процеса чине крашки процеси у којима учествује вода и у њој растворљиви стенски материјал. Иако је речено да се ендегени процеси у којима учествују ендегени агенси уобичајено називају геолошким, а не геоморфолошким процесима, њихов значај у формирању рељефа је огroman.

Ендегени процеси су процеси у којима учествују ендегене силе, попут тектонских покрета или вулканских активности. Резултат ових сила је настанак иницијалног рељефа, тј. првобитних облика рељефа неvezано за њихово даље обликовање путем егзогених сила. Ендегени процеси су заслужни за формирање рељефа ширих просторних размера, тј. настанак великих узвишења или удубљења у литосфери, који потом бивају додатно обликовани геоморфолошким процесима. У зависности од ендегених процеса, који су довели до формирања рељефа, могу се разликовати тектоногени и вулканогени рељеф. У зависности од надморске висине, копно се обично дели на низије и висије, два основна облика рељефа за чији настанак су примарно заслужни ендегени процеси.

Низије су пространи заравњени делови литосфере чија надморска висина не прелази 200 m. Једна од најпознатијих низија у Европи је Панонска низија. Мање низије се обично називају **равницама**, а за њихово формирање често су одговорни и геоморфолошки процеси, тј. егзогене силе. Уколико се ради о површинама које су примарно настале ендегеним процесима, које нису много поремећене егзогеним силама, такве равнице се називају структурним равницама.

Висије су пространа узвишења литосфере чија је надморска висина већа од 200 m. До знатнијег издизања терена најчешће долази услед тектонских покрета или вулканских активности. Равне висије се називају **висоравнима**. Иако за само издизање терена могу бити одговорни ендегени процеси, у заравњивању терена могу учествовати

и различити геоморфолошки процеси, тј. егзогене силе. Највиша и најпространија висораван на свету је Тибетанска висораван, док је у нашој земљи најпознатија Пештерска.

Планине су висије, тј. узвишења литосфере чија је надморска висина већа од 500 m и која, за разлику од висоравни, нису заравњена. Планине се јасно истичу по својој висини у односу на околни терен. С обзиром да се ради о веома масивним облицима рељефа, за њихов настанак заслужни су ендегени, геолошки процеси, иако геоморфолошки процеси имају велики значај у њиховом обликовању. У зависности од типа геолошког процеса, могу се разликовати веначне, громадне и вулканске планине.

Веначне планине су настале набирањем Земљине коре услед хоризонталних тектонских покрета. Узрок настанка веначних планина најчешће представља сударање две тектонске плоче, које се крећу једна према другој. На овај начин су настали планински венци Хималаја и Алпа, као и Динарске и многе друге планине у нашој земљи и региону.

Громадне планине су настале раседањем, геолошким процесом до кога долази када се у Земљиној кори формира шав (расед) дуж кога се стене могу померати у вертикалном правцу независно једне од других. Када се стене са једне стране раседа довољно издигну у односу на стене са друге стране, настаје огромна планина. Громадне планине су старије у односу на веначне и обично су ниже од њих. Најпознатије громадне планине у свету су Уралске и Алтајске планине. У громадне планине Србије убрајају се Дукат, Кукавица и Јастребац (планине српско-македонске масе).

Вулканске планине настају услед вулканских активности и јављају се у виду купастих узвишења формираних од лаве (избачене магме), вулканског пепела и прашине. Познате вулканске планине у свету су Киламанџаро у Африци, Фици у Јапану, Мауна Лоа и Мауна Кеа на Хавајима, Везув и Етна у Италији итд. Неке од вулканских планина су и даље активни вулкани.

Узвишења чија је надморска висина између 200 и 500 m називају се брдима, док се узвишења висине до 200 m називају бреговима. Ови облици рељефа представљају последицу дејства егзогених сила, односно геоморфолошких, а не само ендегених, геолошких процеса. Брда могу настати ерозијом нижих планина, а брегови акумулацијом материјала у низијама.

Као посебан облик рељефа формиран ендегеним процесима издвајају се **тектонске котлине**. Котлина је општи назив за депресију (улегнуће), која је већим делом оивичена узвишњенима. Тектонске котлине настају спуштањем терена дуж раседа, што је изазвано тектонским покретима у Земљиној кори. У том смислу, настанак тектонских котлина повезан је са настанком громадних планина. У Србији постоји већи број тектонских котлина, као што су Пиротска, Нишка или Сврљишка котлина.

Елувијални процес представља површинску измену стенског материјала услед физичко-хемијског распадања изазваног различитим факторима, као што су промена температуре, атмосферска вода, биљке и животиње или антропогене активности. Стенски материјал се загревањем шири, док се хлађењем скупља. Уколико су температурне промене честе, брзе и нагле, то може резултовати пуцањем стена и њеним дробљењем. Настале пукотине у стенама могу се испунити водом. Ако се она у току ноћи заледи, димензије пукотине ће се повећати, јер се вода при преласку у чврсто стање шири. Промене температуре и атмосферска вода најчешће здружено делују у елувијалном процесу. Што се више пута понови циклус мржњења и отапања воде у пукотинама, то ће оне постајати све веће и дубље. Поред механичког дејства воде, још значајнији је њен хемијски ефекат у елувијалном процесу. Вода у контакту са стенским

материјалом може довести до његове хидролизе, хидратације, оксидације, карбонизације или каолинизације, чиме се смањује чврстина и повећава вероватноћа разарања стена. Корење дрвенастих врста биљака може продрети у постојеће пукотине стене, а са њиховим растом повећавају се димензије тих пукотина. Поред овог механичког дејства, живи свет може хемијски утицати на стене киселинама, које се ослобађају труљењем мртве биомасе или материјама, које се ослобађају од стране микроорганизама, лишајева или маховина. Површинске измене стенског материјала данас су често изазване активностима човека, попут спровођења грађевинских и рударских пројеката, примене тешке механизације, експлозива итд. Поред механичког утицаја, човекове активности могу довести и до хемијских измена стенског материјала. Загађујуће материје, као што су отпадне индустријске воде, које садрже агресивне киселине, вештачка ђубрива или киселе кише, могу продрети кроз земљиште до геолошке подлоге, која у контакту са њима губи своју механичку чврстину и постаје подложнија распадању.

Колувијални процес представља геоморфолошки процес до кога долази услед директног утицаја гравитације, без учешћа одређеног транспортног агенса попут текућих вода, ветра или ледника. Иако је гравитација посредно одговорна за многе геоморфолошке процесе, јер се услед ње речна вода и ледници крећу, код колувијалног процеса је специфично то што се гравитација јавља као самостални геоморфолошки агенс са непосредним утицајем на стенски материјал. Колувијални процес започиње када се стенски материјал на некој падини изведе из равнотежног стања, што може бити резултат дејства ендогених или егзогених сила. У ендогене силе које покрећу колувијални процес спадају земљотреси и вулканске активности, док у егзогене силе спадају врло разноврсне појаве, као што су поткопавање корита реке водом, растварање стенског материјала водом и људске активности попут неадекватне изградње објеката на косинама и падинама. Колувијални процеси могу бити спори, као у случајевима када материјал постепено клизи или се његове честице и ситнији комади постепено осипају. У колувијалне процесе спада и одроњавање стена, чије трајање се често мери секундама. У облике рељефа који се формирају колувијалним процесима се убрајају **клизишта**, која настају клижењем материјала и **сипари**, који настају осипањем материјала.

Делувијални процес представља геоморфолошки процес у коме повремени и дифузни водени токови утичу на стенски материјал, који није растворљив у води. Ови повремени и дифузни токови јављају се приликом обилнијих падавина или отапања снега и то у виду танког воденог филма. На тај начин долази до постепеног спирања честица са површинског слоја стенског материјала или земљишта. Транспорт тих честица обично не траје дуго и завршава се на месту са мањим нагибом или у подножју падине, где долази до акумулације материјала, који се назива **делувијум**.

Пролувијални процес представља геоморфолошки процес у коме повремени, линијски водени токови утичу на стенски материјал који није растворљив у води. До појаве повремених линијских токова долази након падавина или отапања снега, када у терену постоје линијска удубљења којима вода тече у већој количини у односу на остатак терена. Временом, ова удубљења услед ерозије постају све већа и већа. Екстремни пример повремених линијских токова чине бујице, које се јављају након интензивних падавина. Важно је напоменути да су делувијални и пролувијални процеси повезани, јер низ једну падину повремене воде најчешће теку дифузно и линијски. Приликом пролувијалних процеса долази до ерозије стенског материјала, његовог

транспорта на одређену удаљеност, након чега се он акумулира. Тако можемо разликовати ерозивне пролувијалне облике, као што су **јаруге**, **рђаве земље** и **земљане пирамиде**, и акумулационе пролувијалне облике, као што су **плавинске лепезе**.

ГЕОМОРФОЛОШКО ЧУДО СРБИЈЕ И СВЕТА: ЂАВОЉА ВАРОШ

Пролувијални процеси могу створити врло специфичне и неуобичајене облике рељефа, а један такав се налази у Србији. Реч је о Ђавољој вароши (слика 27), једном од наших најпознатијих споменика природе када је у питању геодиверзитет. Ђавоља варош спада у категорију земљаних пирамида које се формирају интензивним јаружањем у подлози изграђеној од растреситог материјала. На тај начин, стварају се бројне дубоке и међусобно изукрштане јаруге, док се између њих задржавају високи стубови стенског материјала на чијим врховима се налазе крупнији комади стена, који их штите од ерозије. Ови облици рељефа су веома ретки у свету, а Ђавоља варош се међу њима издваја својом постојаношћу и висином стубова.



Слика 27. Ђавоља варош – редак пример земљаних пирамида насталих пролувијалним процесима

Флувијални процес представља геоморфолошки процес који настаје услед дејства сталних водотокова на стенски материјал, који није растворљив у води. Како се под сталним водотоцима подразумевају реке, овај процес се назива и речним процесом. Флувијални процес је један од најзначајнијих и најзаступљенијих геоморфолошких процеса, јер је заслужан за формирање рељефа највећег дела копна. С обзиром да је везан за реке има изразито линеаран карактер. За разлику од делувијалног и пролувијалног процеса, одвија се непрекидно и дуготрајно, обухватајући врло велики простор, нарочито када су у питању велике реке.

Флувијална ерозија има ефекат продубљивања речног корита, тј. усмерена је првенствено у дубину, али и на бочне стране корита, чиме се могу формирати дубоке клисуре и кањони (слика 28). Флувијални транспорт је специфичан, јер је најчешће

дуготрајан и одвија се на великим растојањима. Када се кинетичка енергија тока речне воде смањи, материјал почиње да се таложи, тј. акумулира. Притом, овај процес је одређен величином и масом транспортованог материјала, тако да се крупнији делови стенског материјала, као што је камење, транспортују на мање удаљености у поређењу са ситнијим и финијим материјалом.



Слика 28. Велики кањон у Аризони формиран дуготрајном флувијалном ерозијом реке Колорадо

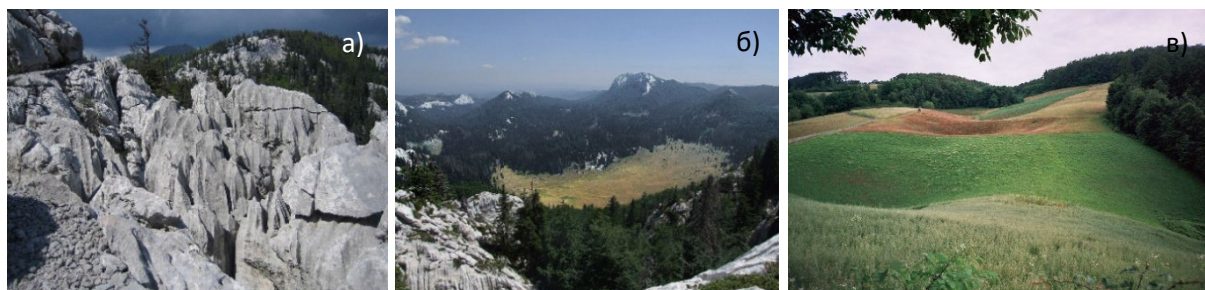
Како се дуж реке постепено смањује нагиб речног корита, тако се смањује и кинетичка енергија њеног тока. Због тога, дно речног корита у различитим деловима речног тока изгледа другачије. Тамо где је брзина тока велика, ерозија је израженија у односу на акумулацију и обрнуто, тамо где је брзина тока мала, акумулација је израженија у односу на ерозију. Због тога је дно горњих делова тока река и планинских река и потока изграђено од крупнијих комада стена. Затим следи шљунковито, па песковито дно, док је дно доњих делова тока река и равничарских река муљевито.

Флувијалном ерозијом формира се удубљење у геолошкој подлози којим се река креће и назива се **речним коритом**. Речно корито је само део већег геоморфолошког облика насталог флувијалним процесом, који се назива **речна долина**. Речна долина се може дефинисати као линеарно удубљење које се пружа у правцу речног тока. Речну долину чини дно са речним коритом и долинске стране, које могу бити различите морфологије. Равничарске реке формирају широке речне долине чије стране су под благим нагибом и јављају се у виду равничарског појаса са обе стране реке. Овакав тип речне долине се назива нормалним, а може се јавити у котлинама брдског и планинског подручја. Клисура представља уску речну долину, чије су стране под углом од око 45° . Овај тип речне долине се јавља у планинским подручјима. Кањони су веома дубоке речне долине чије се стране налазе под нагибом до 60° , а некада могу бити потпуно вертикалне.

Флувијални процес не учествује у формирању рељефа само ерозијом. Постоје флувијални акумулациони облици који настају на местима где долази до нагомилавања материјала транспортованог реком. Овде спадају **спрудови**, који настају акумулацијом финог материјала, као што су муљ и песак. Спрудови се могу јавити по средини речног тока, а када их има више, река се дели у рукавце. Спрудови се могу формирати уз обалу реке спајајући се са њом, при чему настају **плаже**. Израженијом акумулацијом материјала, укључујући крупнију фракцију, од спрудова могу настати речна острва, тзв. **аде**. Уколико до изражене акумулације материјала долази на местима где се велике реке уливају у море, формирају се делте које се састоје од великог броја спрудова, ада и речних рукаваца између њих. Повременим изливањем реке из корита или померањем самог корита долази до акумулирања наноса на дну речне долине, око корита. На тај начин настају **алувијалне равни**, које су нарочито заступљене дуж великих равничарских река.

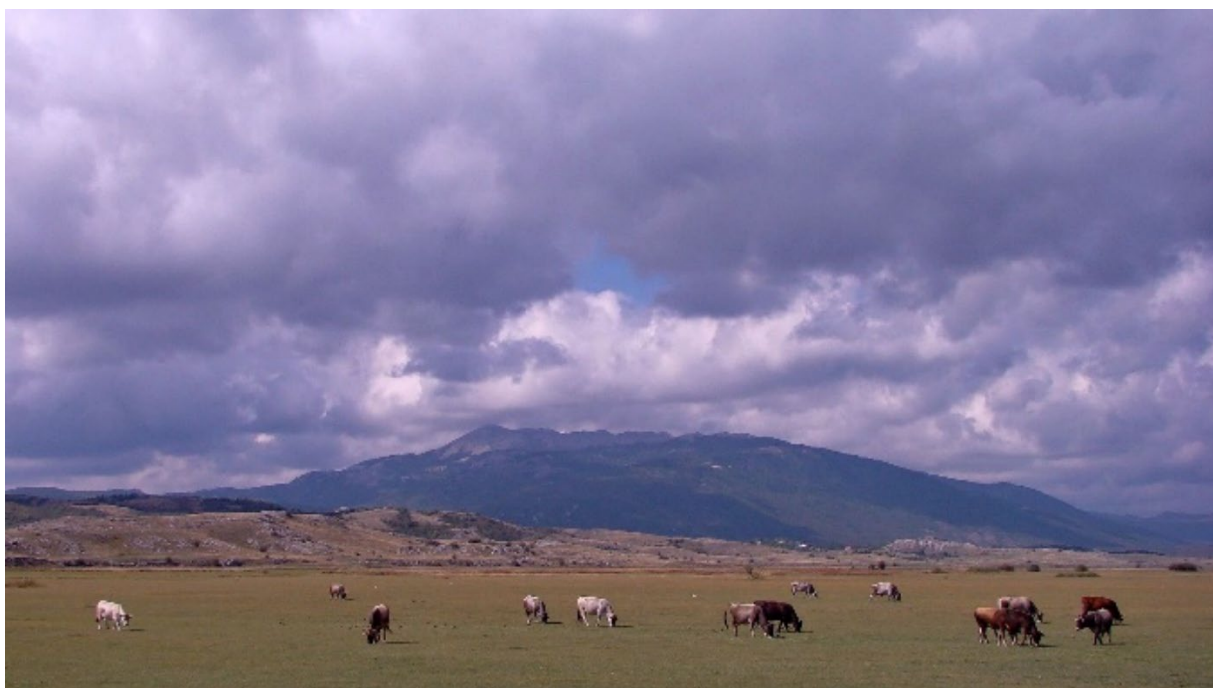
Крашки процес је геоморфолошки процес у коме вода као агенс раствара растворљив стенски материјал. Иако су и неке друге стене у одређеној мери растворљиве, крашки процес се претежно доводи у везу са кречњацима или доломитима. Док код осталих наведених геоморфолошких процеса (делувијални, пролувијални и флувијални процес) вода делује механички, у случају крашких процеса вода хемијски делује на стене. Ерозија се врши растварањем стене (корозија), материјал се транспортује у виду воденог раствора, а акумулација се врши излучивањем и таложењем материјала када раствор постане презасићен. Још једна специфичност крашког процеса је то што се он одвија по дубини, тј. преноси се са површине терена у дубину, за разлику од делувијалног, пролувијалног и флувијалног процеса који су површинског карактера. Због тога, крашки облици рељефа могу бити површински и подземни.

У површинске крашке облике спадају шкrape, вртаче и увале. **Шкrape** су бразде или жлебови који се формирају услед дејства воде на растворљиве стене. Између две шкrape налазе се преграде од стене која није подлегла растварању (слика 29а). **Вртаче** (поникве) су овална крашка удубљења чији се пречник и дубина крећу од неколико до десетине метара (слика 29в). Могу настати услед површинског растварања стена и услед урушавања таванице претходно формираних подземних крашких просторија. По облику могу бити тањирасте (плитке), левкасте и бунарасте (дубоке). Спајањем више вртача настају **увале**, већа удубљења дужине и ширине од стотину метара до неколико километара и дубине од неколико десетина до неколико стотина метара (слика 29б). Дно увале је најчешће равно и прекривено плодним земљиштем, док се на појединим местима могу запазити ниски гребени, тј. остаци некадашњих преграда између суседних вртача које су се спојиле.



Слика 29. Крашки облици рељефа: шкrape (а) и увала Велики Лубеновац (б) на Велебиту у Хрватској и вртаче Лелићког краса код Ваљева у Србији (в)

Крашка поља су велике депресије у крашком терену. Ширина и дужина крашких поља се креће од неколико километара до неколико десетина километара, а дубина им може износити неколико стотина метара. Иако је њихова појава везана за крашке терене, на шта им сам назив указује, битно је напоменути да крашка поља представљају облике рељефа за чије формирање су одговорне првенствено ендегене силе, тј. тектонско тоњење. Иако крашки процеси у великој мери учествују у обликовању дна и страна крашког поља, она представљају ендегени, тј. тектоногени облик рељефа, а не егзогени, тј. крашки. Нека од најпознатијих и највећих крашких поља у нашем региону су Гламочко, Ливањско (највеће на свету), Гатачко (слика 30) и Невесињско поље у Босни и Херцеговини, затим Никшићко, Цетињско, Граховско и Његушко поље у Црној Гори, као и Личко, Петрово и Крбавско поље у Хрватској. Највећа крашка поља Србије су Косово поље на Косову и Метохији, Пештерско и Коштам поље на Пештерској висоравни и Одоровско поље подно планине Видлич у источној Србији.



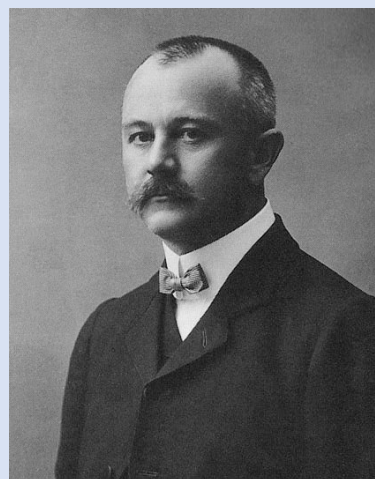
Слика 30. Гатачко поље у Херцеговини

Главни подземни облици крашког рељефа су јаме и пећине. **Јаме** представљају мање-више вертикалне подземне просторије, тј. шупљине у стенама које почињу мањим или већим отворима на површини терена. Ови облици крашког рељефа настају тако што кроз мање пукотине у стенама продире (увире) вода која их раствара, тако да пукотине постају све веће и веће. На тај начин настају понори, а када они пресуше, остају јаме. **Пећине** представљају мање-више хоризонталне подземне просторије, тј. шупљине у стенској маси. Пећине поседују отвор на површини терена. Њихово дужина може износити и неколико стотина метара. Пећине махом представљају остатке некадашњих понора, тако да кроз неке од њих и даље тече вода. Акумулацијом материјала у пећинама се формира тзв. пећински накит, тј. сталактити који висе са таванице пећине и сталагмити који се у виду стубића формирају на њеном поду. Спајањем сталактита и сталагмита настају пећински стубови. Србија је богата пећинама, а неке од најпознатијих су Ресавска пећина, Рисовача, Лазарева пећина, Церемошња, Стопића пећина итд.

ДИНАРСКИ КРШ: ПРИРОДНО БОГАТСТВО ЕВРОПЕ И СВЕТА

Крашки рељеф је заступљен у различитим деловима света, а једно од најимпозантнијих крашких подручја налази се на Балканском полуострву. Динарске планине, које се пружају од Словеније, преко Хрватске, Далмације, Босне, Херцеговине, Црне Горе, па све до западне Србије и северне Албаније, карактеристичне су због своје кречњачке геолошке подлоге, што је условило постојање великог броја специфичних крашких облика рељефа.

Сам термин, којим се описује овај облик рељефа (енг. *karst*), ушао је у светске језике из јужнословенских, преко немачке речи *Karst*, иако корен речи вероватно води порекло из старијих језика. У српском језику могу се срести различити облици, као што су крш, крас или карст. Прва научна истраживања краса спроведена су на подручју Динарида. У томе је велику улогу имао наш геолог, Јован Цвијић (1865–1927) (слика 31), који је својом докторском дисертацијом под називом „Карст” (нем. „*Das Karstphänomen*”) из 1893. године поставио темеље карстологије (науке о красу). Његова открића и класификације користе се и данас. Из тог разлога, многи научни називи крашких облика рељефа у енглеском језику воде порекло из српског, као што су термини *doline* (вртача), *polje* (крашко поље), *uvala* (увала) и *ponor* (понор).



Слика 31. Јован Цвијић

Динарске планине обилују разноврсним облицима крашког рељефа који због своје природне лепоте представљају праве туристичке атракције. Поред научног и туристичког значаја, крашки терени Динарида су од изузетне важности за флору и фауну, јер представљају дом великом броју ендемичних врста и специфичних заједница. Један од симбола овог подручја је човечја рибица (*Proteus anguinus*) (слика 32), ендемични репати водоземац који насељава пећине Динарског крша. Иако је ова врста присутна у пећинама Хрватске и Босне и Херцеговине, најчешће се повезује са Постојнском јамом (пећином) у Словенији, што је допринело изузетној туристичкој атрактивности овог локалитета. Редовни становници пећина су различите врсте слепих мишева, тако да се Балканско полуострво одликује њиховим великим богатством и разноврсношћу. Биоспелеолошким истраживањима неретко се откривају до сада непознате ендемичне врсте бескичмењака. Због свега тога, Динарски крш представља најбогатије подручје Европе, када је у питању пећинска фауна.



Слика 32. Човечје рибице у Постојнској јами

Крашки терени Динарида значајни су са аспекта биљног света, јер кречњак представља специфичну геолошку подлогу на којој се јављају ендемичне врсте и веома занимљиве биљне заједнице, што доприноси изузетном флористичком и вегетацијском богатству овог региона.

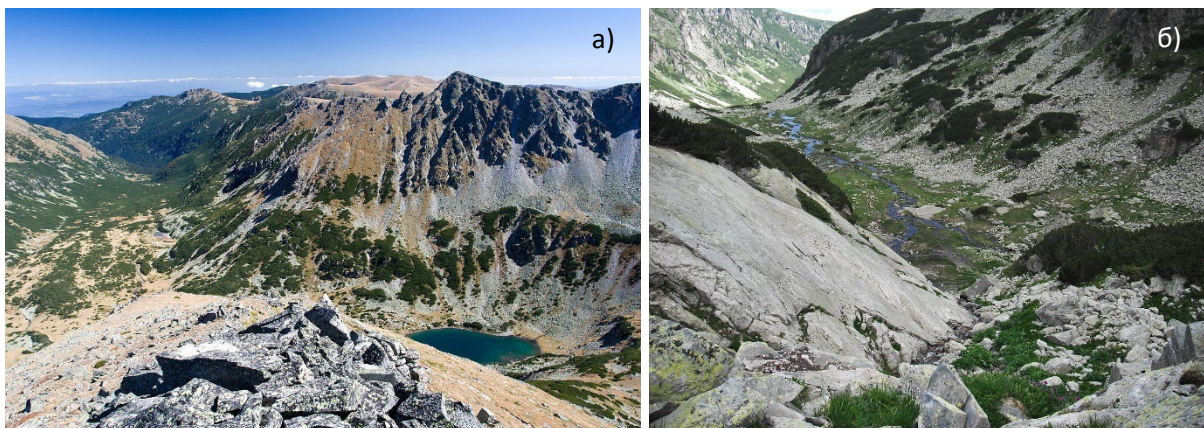
Упркос свему наведеном, природна ризница Динарског крша често остаје у сенци, како у научним круговима, тако и у очима људи који ту живе. Динарском кршу и његовом живом свету не посвећује се довољна пажња и заштита. Штавише, за црногорски, херцеговачки и далматински крш се често везују негативни стереотипи сажети у синтагмама попут „крш и камен”, „љути крш” или „камене пустиње”, чиме се алудира на неповољност овог подручја за живот људи и бављење пољопривредом, иако се на крашким пољима могу развити веома плодна земљишта. Овакве предрасуде често потичу од становника који живе у плодним равничарским крајевима. Због свега тога, неопходно је чешће наглашавати значај Динарског крша како би људи схватили о каквом природном богатству је реч.

Потребно је нагласити да у Србији, поред крашких терена који припадају динарском појасу, кречњак као геолошка подлога карактерише и Карпатско-балкански планински систем. Крашки облици рељефа се могу пронаћи како на западу, тако и на истоку наше земље.

Глацијални процес представља геоморфолошки процес до кога долази услед механичког дејства ледника на стенски материјал. Дејство ледника је удружено са дејством снега (нивациони процес) и дејством ниских температура, тј. мраза (криогени процес). Како су дејства ледника, снега и мраза међусобно неодвојива, јер се одвијају у исто време и на истом месту, сва три наведена процеса се подводе под глацијални процес у ширем смислу. Ледници или глечери представљају масу леда насталу таложењем снега, који се под притиском трансформише у леднички лед.

Ледници се под утицајем гравитације споро крећу, притом вршећи ерозију стенског материјала, што доводи до настанка ерозионих облика глацијалног рељефа у које спадају циркови и валови. **Цирк** представља амфитеатрално удубљење које је настало на местима где се ледник првобитно формирао и услед великог притиска еродирао стенску масу испод себе. **Валов** представља ледничку долину, тј. издужено удубљење у терену настало током кретања ледника. Циркови и валови су често испуњени водом, при чему се формирају ледничка (глацијална) језера. Акумулациони облици глацијалног рељефа називају се **моренама** и јављају се у виду нагомиланих стена, шљунка и песка који су претходно транспортовани ледником током његовог кретања. Морене могу бити активне, уколико је процес глацијације, тј. кретања ледника још увек у току или напуштене, уколико је процес глацијације завршен, тј. ако је ледник ишчезао.

Глацијални процеси су карактеристични за пределе са веома ниском температуром, које спречавају топљење снега, што доводи до његовог нагомиланања, тј. стварања ледника. Поред поларних области, до глацијалног процеса у мањој мери долази на веома високим планинама ван поларног круга. У току ледених доба, глацијални процеси су били заступљени на знатно већој површини него што је то данас случај. Резултат тих некадашњих глацијалних процеса је постојање бројних облика глацијалног рељефа на планинама у Европи и свету. Иако на планинама Балканског полуострва данас нема ледника, о њиховом некадашњем присуству током плеистоцена сведоче бројни глацијални облици на Проклетијама, Дурмитору, Орјену, Шар планини, Олимпу, Рили (слика 33) и другим високим планинама.



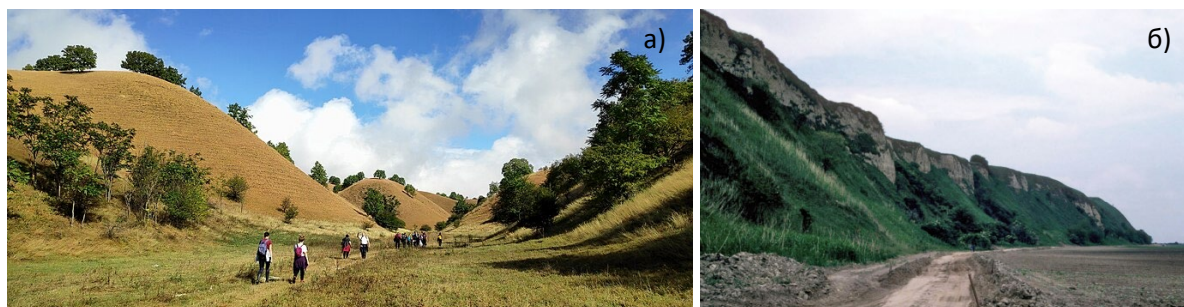
Слика 33. Ерозиони облици глацијалног рељефа: цирк реке Марице (а) и Маљовички валов (б) на Рили у Бугарској

Марински процес представља геоморфолошки процес до кога долази услед механичког дејства мора и океана на стенски материјал, при чему се формирају специфични облици рељефа. По механизму деловања, маринском процесу је сличан лимнички процес који подразумева дејство језерске воде. Под маринским процесом се у геоморфологији подразумева само утицај воде у приобалним деловима, док се њено дејство на дно мора и океана сврстава у домен океанографије. Марински процес има мањи значај у обликовању рељефа копна у поређењу са осталим. Треба имати у виду да се распоред копна и мора, као и океана и копна мењао током геолошке историје. Из тог разлога, марински облици рељефа се данас могу пронаћи на великој удаљености од обале, као што је случај са Панонском низијом која се некада налазила испод Панонског мора.

Иако се мора, океани и језера називају стајаћим водним телима, њихова вода се ипак креће, али не увек у одређеном смеру као што је случај са текућим. Морска вода се креће таласима, морским струјама, плимом и осеком. Ова кретања изазивају ерозију (абразију) стенског материјала у приобалној зони и његов транспорт. По престанку дејства кретања морске воде, транспортовани материјал се акумулира. На тај начин долази до формирања ерозионих и акумулационих облика маринског рељефа. Неки од ерозионих облика су **поткапине**, које се јављају у виду полупећина насталих абразивним дејством таласа и **клифови**, тј. стрми одсеци обала који се формирају када се стенски материјал изнад поткапина обруши. У акумулационе облике спадају **спрудови** (бедеми у приобалном подручју настали нагомилавањем песка и шљунка), **превлаке** (спрудови формирану између две обале), **жалови** (ниске песковите и шљунковите обале формиране на благим падинама где је море плитко), итд.

Еолски процес представља геоморфолошки процес до кога долази дејством ветра на стенски материјал. Ефекти еолског процеса су изражени на местима где се ветар јавља као снажнији агенс у поређењу са водом, тј. тамо где воде нема и где је стенски материјал довољно уситњен и растресит. Еолски процес је највећим делом заступљен у сушним, нарочито пустињским областима. Еолска ерозија се одвија на два начина. Дефлација је облик еолске ерозије. Она подразумева директно дејство ветра на ситне честице, које подиже и издувава. На овај начин настају **дефлационе депресије**. Знатно израженији ефекат има коразација, тј. облик непосредне еолске ерозије коју врше честице што их ветар носи са собом. На овај начин настају коразини облици попут **еолских поткапина** или **печуркастих стена**. Један од основних акумулационих еолских облика је ерг, тј. простор на коме се песак нагомилава у већим количинама. Дине представљају један од најпознатијих облика ергова.

У Србији, еолски процес је у одређеној мери допринео формирању рељефа на северу и западу земље, углавном под дејством кошаве на растресити уситњени материјал. Еолским процесом су настале Суботичка и Делиблатска пешчара, чије су дине данас умирене вегетацијом (слика 34а). Еолски процес је учествовао у формирању лесних заравни, које су изграђене од десетине метара ветром навејаног и наталоженог леса. Лесне заравни су честе у Војводини. Неке од најпознатијих су Тителски брег (Мошоринска висораван) (слика 34б), Бачка (Телечка) лесна зараван, Земунски лесни плато итд.

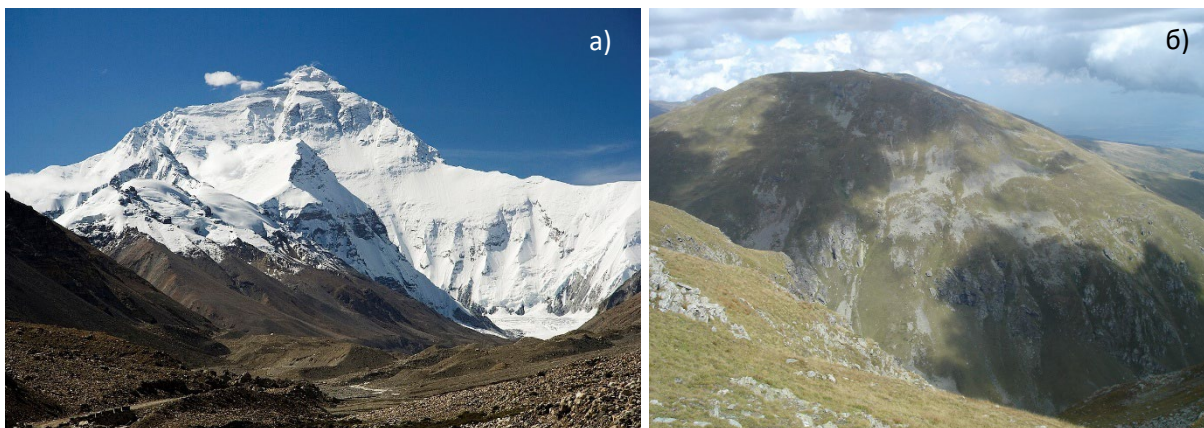


Слика 34. Акумулациони еолски облици рељефа у Војводини: Загајичка брда, вегетацијом умирене дине Делиблатске пешчаре (а) и Тителски брег, лесна зараван у Бачкој (б)

4.4.3. Карактеристике рељефа од значаја за жива бића

Површину литосфере која се одликује одређеним облицима рељефа насељавају жива бића. На развој земљишта, вегетације и формирање животних заједница утичу не само карактеристике геолошке подлоге, већ и карактеристике рељефа, од којих су најважнији надморска висина, нагиб терена и окренутост терена ка одређеној страни света (експозиција). У екологији, ове карактеристике рељефа се називају **орографским факторима**. Ови фактори не делују сами по себи директно на жива бића, већ посредно, тако што утичу на климатске и земљишне услове.

Надморска висина (апсолутна висина или алтитуда) представља вертикално растојање између одређене тачке и референтне површине, тј. средњег нивоа површине океана (0 метара надморске висине). Када се говори о рељефу, подразумева се да се надморска висина односи на тачку на површини литосфере (енг. *elevation*). Надморска висина је појам који има шире значење и може се односити на било коју тачку у простору, рачунајући и атмосферу изнад површине Земље (нпр. висина на којој лете авиони). За значајније издизање копна, тј. за постојање делова литосфере који досежу високе надморске висине одговорни су геолошки процеси (тектонски покрети и вулканизам). Највишу надморску висину на планети Земљи од чак 8.848 m има Монт Еверест (слика 35а), планински врх Хималаја, док је просечна надморска висина површине Земљиног копна око 800 m. Мала надморска висина карактеристична је за низије, а на неким местима површина копна може лежати испод нивоа мора. Такав је случај са обалом Мртвог мора, чија надморска висина износи -430 m. Највиши планински врх у Србији је Велика Рудока (2.658 m) (слика 35б) на Шар-планини (иако се раније као највиши врх наводила Ђеравица на Проклетијама), док се најнижа тачка налази код ушћа Тимока у Дунав (28 m).



Слика 35. Највиши врх света, Монт Еверест на Хималајима (а) и највиши врх Србије, Велика Рудока на Шар-планини (б)

Од надморске висине зависе бројни абиотички чиниоци животне средине, као што су атмосферски притисак, густина ваздуха, температура, влажност ваздуха, интензитет Сунчевог зрачења, количина падавина, ветар итд. Из тог разлога се планински врхови и низије или дубоке депресије одликују битно различитим срединским условима.

Са порастом надморске висине атмосферски притисак опада. Он представља последицу тежине ваздушног стуба, који се налази изнад сваке тачке у простору на Земљи. Што је надморска висина већа, висина овог стуба је мања. Атмосферски притисак не опада линеарно са порастом надморске висине, већ експоненцијално, тако да се отприлике на сваких 5,5 km висине притисак смањи за око 50%. На мањим надморским висинама, услед вишег атмосферског притиска, ваздух је сабијенији и гушћи, док се на већим надморским висинама шири и постаје ређи. Ређи ваздух подразумева мању количину кисеоника по јединици запремине, што може отежати дисање људи и животиња на великим надморским висинама. Из тог разлога су животиње које природно живе на високим планинама развиле адаптације у виду веће запремине плућа или крви богатије хемоглобином.

Температура се смањује са порастом надморске висине и то у просеку за $0,6^{\circ}\text{C}$ на сваких 100 метара, што представља последицу смањења атмосферског притиска и густине ваздуха. Како се топао ваздух загрејан од површине Земље подиже у висину, он се због смањења притиска шири, што проузрокује његово хлађење (адијабатско хлађење). Битно је напоменути да топлота у атмосфери потиче од реемитовања енергије са загрејане Земљине површине, а не директно од Сунчевог зрачења. Како се пењемо на већу висину, удаљавамо се од директног извора топлоте, тј. Земљине површине. Густо ваздух у нижим пределима садржи већу количину водене паре и због тога има већу способност задржавања топлоте у односу на ваздух на већим надморским висинама, који је сувљи јер се водена пара у већој мери кондензује због нижих температура. На високим планинама и на планинским врховима хладније је него у низијама, тако да на њима снег и лед могу да опстану знатно дужи временски период у току године.

За разлику од температуре, Сунчево зрачење је интензивније на већим надморским висинама јер се Сунчеви зраци пробијају кроз тањи слој ређе атмосфере. Самим тим је UV зрачење јаче, тако да биљке и животиње које живе на већим надморским висинама обично поседују адаптације које им пружају заштиту од овог неповољног фактора. Ваздушне масе које се подижу уз планинске падине хладе се и кондензују, што проузрокује да количина падавина буде већа у планинским подручјима. На већим надморским висинама ветрови су јачи и чешћи услед мањег трења са површином Земље и већих разлика у ваздушним притисцима. Јаки ветрови

утичу на биљке и животиње које живе на великим надморским висинама, што је условило постојање различитих адаптација (патуљаст раст биљака, густо крзно или перје животиња, као и специфичности њиховог понашања). Ветрови на планинским врховима утичу на земљиште проузрокујући еолску ерозију, што се одражава на вегетацију. Због свега наведеног, надморска висина представља један од кључних фактора који утиче на обликовање локалне климе и на формирање различитих екосистема који су у складу са њом.

Нагиб терена представља угао између површине литосфере и хоризонталне равни, а може се изражавати у степенима или процентима. Од нагиба терена зависе бројни геоморфолошки процеси, као што су колувијални, пролувијални, делувијални, флувијални или глацијални процес. Од нагиба терена у великој мери зависе услови животне средине, нарочито карактеристике земљишта, што значи да овај орографски фактор посредно утиче на живи свет. Терени са великим нагибом имају добру дренажу, па вода брзо отиче под утицајем гравитације. То може бити узрок недостатка влаге у земљишту и сушних услова станишта. Равни или терени са благим нагибом омогућавају задржавање воде јер она не отиче површински, што би могло условити формирање влажнијих станишта. На стрмим падинама, због саме гравитације, често је онемогућено формирање дебљег земљишног покривача. Када је нагиб превелики, стене ће остати без њега. Ерозија земљишта стрмих терена је знатно израженија. Равни терени омогућавају бољу акумулацију органске материје и развој плоднијег земљишта. Све ово се одражава на вегетацију, тако да стрме падине обично насељавају биљне врсте прилагођене на сува и сиромашна земљишта, које имају снажан коренов систем, којим су причвршћене за плитко земљиште и који најчешће продире у пукотине стена испод њега. Чак и потпуно вертикалне литице, на којима уопште не долази до формирања земљишног покривача, могу насељавати специфичне биљне врсте које се развијају у пукотинама стена.

Експозиција (енг. *aspect*) представља окренутост нагнутог терена одређеној страни света. Овај орографски фактор има велики утицај на осунчаност (у оригиналном значењу „експозиција” означава изложеност светлости), температурне услове и влажност станишта. На северној хемисфери, јужно експониране падине примају највише Сунчеве светлости, топлије су и сувље. Ово представља последицу положаја Сунца које се на северној хемисфери „креће” преко јужне половине неба, тако да су јужно експониране падине током читаве обданице осветљене. Падине окренуте ка северу су мање осветљене, хладније и влажније. Источно експонирани терени су осветљени у јутарњим часовима, што узрокује умеренију температуру, док су западно експонирани терени топлији јер Сунчево зрачење примају у поподневним часовима. Из наведених разлога, експозиција терена, заједно са његовим нагибом, има великог утицаја у одређивању локалних климатских карактеристика, што се одражава на животне заједнице. Те локалне разлике проузроковане експозицијом могу бити приметне на веома малом простору, као у случају јужне и северне падине једног планинског гребена где се на удаљености од свега неколико десетина метара могу формирати потпуно другачији типови екосистема.

ПИТАЊА:

1. Шта је литосфера?
2. Шта су минерали?
3. Које су главне групе минерала у литосфери?
4. Шта су стене и какве могу бити према начину настанка?
5. Шта су магматске стене и како се деле?
6. Шта су седиментне стене и како се деле?
7. Шта су метаморфне стене и како се деле?
8. Од каквог је значаја састав стена за живи свет?
9. Који типови литосфере постоје?
10. Шта су то тектонске плоче?
11. Шта је рељеф?
12. Који су геоморфолошки фактори?
13. Који су елементи геоморфолошких процеса?
14. Који су типови геоморфолошких процеса?
15. Шта су елувијални и колувијални процеси?
16. Шта су пролувијални, делувијални и флувијални процеси?
17. Шта је то крашки процес?
18. Наведите специфичне облике рељефа који настају као резултат различитих геоморфолошких процеса.
19. Од каквог су значаја карактеристике рељефа за живи свет?
20. Опишите рељеф свог краја. Да ли се Ваш крај одликује заступљеношћу неких специфичних облика рељефа? Који геоморфолошки процеси су доминантно учествовали у обликовању рељефа Вашег краја? Да ли и на који начин рељеф Вашег краја утиче на вегетацију и пољопривредну производњу? Пронађите на интернету и у стручној литератури податке о геолошким карактеристикама подручја из кога долазите.

5. ПЕДОСФЕРА

Циљ: упознавање са саставом, основним својствима, развојем и типовима земљишта. Савладавањем овог градива стичу се услови за разумевање значаја земљишта за живи свет и вегетацију, као и повезаности педосфере са другим сферама планете Земље.

Резиме: Педосферу чини земљиште, површински слој литосфере диференциран у посебан растресити, дисконтинуирани и танки слој који се одликује плодношћу. Земљиште чине минералне честице, вода, ваздух и органске материје. Физичка својства земљишта односе се на његову текстуру, структуру, порозност, дубину, присуство воде и ваздуха, температуру итд. Хемијска својства земљишта одређена су његовим хемијским саставом и реакцијом земљишног раствора. Саставни део земљишта чине жива бића и њихови делови (микроорганизми, земљишна фауна и коренови биљака), који одређују његова биолошка својства.

Развој земљишта се назива педогенеза, а она се одвија под утицајем педогенетских фактора у које спадају матични супстрат, клима, подземне и површинске воде, рељеф, жива бића, док се као посебан фактор издваја време, тј. старост земљишта. Земљишта су по дубини диференцирана на посебне слојеве, који се називају генетски хоризонти. У зависности од типа географске дистрибуције на планети Земљи, земљишта се деле на зонална, азонална и интразонална. У зависности од њихових својстава и начина педогенезе, земљишта се деле у редове (аутоморфна, хидроморфна, халоморфна и субаквална). Редови се деле на класе, а класе на типове земљишта.

Површински слој литосфере диференциран је у посебан растресити, дисконтинуирани и танки слој под називом педосфера, тј. земљиште или тло. Састав педосфере је веома специфичан и значајно се разликује од остатка литосфере. За разлику од стенске масе на којој се формира и која је стерилна, земљиште се одликује плодношћу. У његовом настанку учествују атмосферски, хидролошки и биолошки процеси. Земљиште се развија у зони интеракције литосфере са другим Земљиним омотачима – атмосфером, хидросфером и биосфером. Дебљина педосфере је различита на различитим местима, а најчешће се креће између 1,5 до 2 метра. Наука која се бави проучавањем земљишта назива се **педологија**.

5.1. САСТАВ ЗЕМЉИШТА

У састав земљишта улазе минералне честице, вода, ваздух и органске материје. Иако материје чврстог агрегатног стања доминирају у земљишту, присутне су и материје у течном (вода) и гасовитом (ваздух) стању, па се због тога често назива трофазним системом. Пошто у великој мери настаје од уситњене стенске масе, **минералне материје** чине значајну компоненту земљишта (40–45%). Минералне материје граде минералне честице које могу бити различите величине и могу се поделити у различите гранулометријске фракције. Састав минералних материја земљишта у значајној мери одређује његове карактеристике. Поред ових чврстих неорганских материја, у састав педосфере улазе гасовите материје, тј. **ваздух** (око 25%) и течне материје, тј. **вода** (око 25%), мада њихов садржај значајно варира у зависности од типа земљишта и тренутних метеоролошких услова. Значајну компоненту педосфере чине **органске материје** (5–10 %), које воде порекло од угинулих живих бића, њихових делова (лишће биљака) и екскремената (излучевина). Земљиште представља станиште за велики број врста организама, тако да они чине саставни део педосфере.

5.2. ФИЗИЧКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА

Под физичким својствима земљишта подразумевају се његова текстура (механички састав), структура (агрегатни састав), порозност, дубина, присуство воде и ваздуха, температура итд.

5.2.1. Текстура земљишта

Текстура земљишта представља састав честица различите фракције, изражен у процентима. Гранулометријске фракције земљишта, од најкрупнијих до најситнијих, јесу: камење (величине преко 1 cm), шљунак (2–10 mm), песак (0,02–2 mm), глина (мање од 0,02 mm). Ове честице називају се примарним честицама земљишта.

Камење и шљунак чине скелет земљишта. У већој количини су заступљени у младим, скелетним земљиштима, а могу бити присутни и у зрелим, шумским земљиштима. Земљишта са много скелета се одликују неповољним особинама за развој биљака, јер имају низак капацитет задржавања воде у себи.

Песак је најзаступљенија фракција у земљиштима. Земљишта са много песка у себи имају доста ваздуха и мало воде. Песак по свом саставу може бити кварцни или силикатни. Кварцни песак не доприноси плодности земљишта, јер је инертан и тешко се распада, док силикатни песак побољшава плодност будући да садржи различите минерале настале процесом распадања стена.

Глина у земљишту настаје хемијским (а не само физичким) распадањем стена и састоји се од глиненых минерала као што су каолинити и монтморионити. Земљишта која у себи садрже доста глинене фракције имају велики капацитет задржавања воде, али често и лоше карактеристике по питању ваздушног режима. Посебно ситне фракције

глине су муљ, чије су честице величине од 0,1 до 2 μm (0,0001–0,002 mm) и колоиди, који су још ситнији. **Прах** је фракција, која по величини представља прелаз између песка и глине, а често се издваја као посебна.

На основу текстуре, тј. заступљености ситнијих фракција честица, земљишта се могу поделити на **песковита** (10-20% честица глине и праха), **иловаста** (20-50% глине и праха) и **глиновита** (преко 50% глине и праха).

5.2.2. Структура земљишта

Честице земљишта су међусобно раздвојене само у беструктурним земљиштима. У већини земљишта долази до њиховог међусобног сједињавања, тј. агрегације у зрна, грудвице или плочице, тј. структурне агрегате или секундарне честице. Састав тих агрегата у земљишту одређује његову структуру. Поред минералних честица, у састав агрегата улазе и органске материје, које заједно са водом доприносе бољој агрегацији. Величина агрегата може бити различита, на основу чега се деле на **микроагрегате**, чији је пречник мањи од 0,25 mm и **макроагрегате**, са пречником од преко 0,25 mm. Према облику, агрегати се могу поделити на коцкасто-лопасте (кубоформне), паризматично-стубасте (призмформне), плочасте (ламиноформне или плоснате) и на агрегате неправилног облика (фрагментарне). У зависности од доминантних агрегата, структура земљишта може бити угаона, зрнаста (грануларна), плочаста, призматична итд. На формирање и заступљеност различитих агрегата у земљишту утичу бројни фактори, као што су састав земљишта, текстура, хемијске особине, али исто тако и клима и биолошки процеси који се одвијају у земљишту. У случају пољопривредних земљишта, битну улогу у формирању њихове структуре има човек.

5.2.3. Порозност земљишта

Порозност земљишта представља однос запремине пора у земљишту у односу на његову укупну запремину. Ове поре могу бити испуњене ваздухом или водом, кључне су за одржавање живота у земљишту и за процесе који се у њему одвијају. Према димензијама, земљишне поре се могу поделити на: **субкапиларне поре** (пречника мањег од 0,0002 mm), **капиларне поре** (пречника 0,0002–0,2 mm) и **надкапиларне поре** (пречника већег од 0,2 mm). Субкапиларне поре су толико мале да се у њима вода чврсто држи за земљишне честице посредством деловања адсорпционих сила, док се у капиларним порама вода задржава захваљујући капиларним силама. Надкапиларне поре могу бити испуњене водом, али се она у њима задржава кратко време, тј. само док се под утицајем гравитације не процеди у дубље слојеве земљишта. У одсуству падавина или неких других начина прилива воде (заливање, плављење), ове поре су испуњене ваздухом. Капиларне и надкапиларне поре су од великог значаја, јер одређују његове водно-ваздушне особине. Надкапиларне поре се још називају и порама за аерацију, јер омогућавају проветравање земљишта и представљају резервоаре ваздуха који је неопходан живим бићима у земљишту и кореновим системима биљака. Капиларне воде представљају резервоаре воде коју биљке својим кореновим системом могу апсорбовати. За разлику од њих, вода која испуњава субкапиларне поре везана је јачим адсорпционим силама за земљишне честице, и не може бити усвојена од стране биљака.

Величина и распоред пора у земљишту зависе од његовог састава, текстуре и структуре. Песковита земљишта поседују крупне поре које омогућавају брзо отицање воде, чиме је онемогућено задржавање влаге. Насупрот томе, глиновита земљишта

имају ситне поре које успоравају проток воде и често доводе до њеног прекомерног задржавања. Најповољнија земљишта за развој биљака су она чија укупна порозност износи између 50 и 65%, од чега надкапиларна порозност треба да чини 10%, а капиларна преко 40%, док субкапиларна порозност треба да буде што мања. На тај начин, омогућено је постојање оптималног односа ваздуха и воде коју биљке могу искористити.

5.2.4. Водна својства земљишта

Вода представља један од најважнијих састојака земљишта јер омогућава распадање стена и минерала, образовање нових минерала, затим синтезу и трансформацију органских материја, као и миграцију и акумулацију материја у земљишту. Вода је од великог значаја за биљни свет, јер од ње зависи плодност земљишта. Биљке могу усвајати минералне материје из земљишта једино уколико су растворене у води. На крају, вода сама по себи представља један од најважнијих ресурса не само за биљке, већ и за све остале организме који насељавају земљиште, рачунајући и бактерије, гљиве, алге, протозое и животиње. Садржај воде зависи од карактеристика земљишта, као што су његова порозност и од спољашњих фактора, као што је количина атмосферских падавина.

Влажност земљишта

Влажност земљишта представља укупну количину, тј. масу воде у земљишту у одређеном тренутку, изражену процентуално у односу на масу сувог земљишта. Земљиште се снабдева водом атмосферским падавинама, плавлеем или заливањем од стране човека, а даља судбина те воде може бити различита. У сваком случају, земљиште поседује одређену влажност, јер има способност задржавања воде. Влажност земљишта зависиће од прилива воде и од карактеристика самог земљишта, тј. његове способности да ту воду задржи у себи.

Да би се одредио масени садржај воде у земљишту, неопходно је узети узорак земљишта и измерити га. Узорак земљишта се потом суши, како би сва слободна вода из њега испарила и поново мери. Једначина која се користи приликом израчунавања влажности земљишта, тј. процентуалног масеног садржаја воде у земљишту (θ) је следећа: $\theta = ((m_2 - m_3) / (m_3 - m_1)) \times 100$. У овој формули m_1 представља масу празног суда у коме ће узорак земљишта бити смештен, m_2 је маса суда са узорком земљиштем пре сушења, а m_3 представља масу суда са узорком земљишта након сушења. Према томе, $m_3 - m_1$ представља масу узорка земљишта након сушења, док је $m_2 - m_3$ маса воде која се у земљишту налазила, а која је након сушења испарила. Како би се добила процентуална вредност, читав израз се множи са 100. Ово представља један од најједноставнијих начина мерења влажности земљишта. Данас постоје посебни уређаји, тзв. ирометри који се користе у ове сврхе и напредне технологије даљинског читавања.

Влажност земљишта представља тренутно стање заступљености воде у њему. Као таква, ова величина нам не говори много о самим водним карактеристикама земљишта. Због тога, неопходно је имати на уму да постоји више облика воде у земљишту који су у различитој мери доступни биљкама. Биљкама није довољно да земљиште буде само влажно, већ да ту влагу могу да искористе.

Облици земљишне воде

У зависности од њеног агрегатног стања, типа силе којом се држи и креће и типа везе са чврстом фазом, могу се издвојити следећи облици воде у земљишту: водена пара, хемијски везана вода, хигроскопна вода, опнена вода, капиларна вода, гравитациона вода, подземна вода и лед.

Водена пара испуњава поре које нису испуњене другим облицима воде. Иако је биљке не могу директно користити, делује позитивно на њихов коренов систем, а кондензацијом може прећи у облике који су доступни биљкама.

Хемијски везана вода је вода која улази у састав минералних или органских материја и као таква нема значаја за биљке.

Хигроскопна вода у виду веома танке опне обавија честице земљишта за које је везана јаким адсорпционим силама, те је коренови системи биљака не могу усвајати. Опнена вода обавија честице земљишта, али у дебљем слоју, преко слоја хигроскопне воде и може делимично бити доступна биљкама.

Капиларна вода испуњава капиларе у којима се држи и кроз које се креће под утицајем капиларних сила. С обзиром да су капиларне силе доста слабије у односу на адсорпционе, ову воду биљке могу користити и она за њих представља најважнији извор влаге у земљишту.

Гравитациона вода се јавља у земљишту након падавина, топљења снега и леда, плављења или заливања, а у њему се кратко задржава јер под утицајем гравитације понире у правцу подземних вода кроз крупније, надкапиларне поре. Иако је биљкама у овом облику доступна само краткотрајно, значајна је јер представља извор свих облика воде у земљишту, убрајајући и капиларну воду. Део гравитационе воде који се процеди до дубљих слојева прелази у подземну воду.

Подземна вода је вода која се задржава и акумулира изнад водонепропусних слојева. Води порекло од гравитационе воде која понире све док не наиђе на непропусни слој. Дубина на којој се подземна вода налази може бити различита, што зависи од положаја водонепропусног слоја. Постоје подземне воде које се образују на великим дубинама (преко 10 m) захваљујући постојању непропусне стенске подлоге. Подземне воде које држи непропусна стенска подлога могу се у неким случајевима наћи на мањим дубинама (3–4 m), те под утицајем капиларних сила доспети до земљишта и бити на располагању биљкама. Ове воде некада могу бити и неповољних карактеристика, нпр. заслањене, па као такве могу негативно утицати на биљке и микроорганизме у земљишту. У категорију подземних вода убраја се и **застојна вода** која се повремено образује изнад збијених и слабо пропусних земљишних слојева, на дубинама од свега неколико дециметара. Ова вода делује негативно на земљишне процесе и развој биљака.

Лед у земљишту се може јавити када температурни услови проузрокују прелазак земљишне воде из течног у чврсто стање. У условима умерено-континенталне климе наше земље, лед у земљишту се јавља само повремено, у току веома хладних дана и у одсуству снега. Формирање леда у земљишту некада може повољно утицати на његову структуру, јер проузрокује уситњавање крупних земљишних агрегата. Много је

познатије његово негативно дејство на биљке, нарочито гајене, јер може оштетити њихово корење и онемогућити снабдевање водом и минералним материјама. У хладним поларним областима и на веома високим планинама, лед у земљишту може бити константно присутан током дужег временског периода, при чему се формира дугорочно замрзнут слој земљишта под називом **пермафрост**.

Водни капацитет земљишта

Водни капацитет представља способност земљишта да захваљујући утицају различитих сила задржава воду. У зависности од тога о којим силама и облицима воде је реч, могу се разликовати различити типови водног капацитета земљишта, од којих се у екологији као најважнији често истиче пољски водни капацитет.

Пољски водни капацитет земљишта представља максималну количину воде која остаје у земљишту након његовог засићења водом и отицања гравитационе воде. То је количина воде у земљишту у моменту када су све капиларне поре испуњене водом, а надкапиларне ваздухом. Овакво стање у земљишту настаје извесно време након обилних падавина или заливања, када се земљиште добро натопа водом тако да му све поре буду попуњене. Затим се гравитациона вода у надкапиларним порама оцеди у дубље слојеве. Пољски капацитет представља меру вододржљивости земљишта. Изражава се у процентима у односу на укупну запремину земљишта и обично износи између 5 и 40%, зависно од типа земљишта. Песковита земљишта имају најмањи пољски капацитет, јер их одликује већа заступљеност надкапиларних пора у којима се вода не задржава, већ отиче у дубље слојеве. Глиновита и муљевита земљишта одликује велики пољски капацитет, због присуства ситних пора у којима се вода задржава и не подлеже утицају гравитације.

Водни режим земљишта

Водни режим земљишта представља скуп процеса примања, промета и губљења воде из земљишта, чиме је условљена његова влажност. Ови процеси су од пресудног значаја за развој биљака, живот микроорганизама и одржавање равнотеже у екосистемима. Водни режим зависи од климатских услова, типа земљишта, вегетације и хидрогеолошких карактеристика подручја.

Примање воде. Извори из којих земљиште прима воду могу бити различити, а један од најважнијих, нарочито у нашим крајевима и у условима умерено-континенталне климе, јесу атмосферске падавине у виду кише. Земљиште се може знатно натопити водом отапањем снежног покривача. Приликом изливања површинских вода долази до плављења околног земљишта, при чему земљиште може извесан период бити у потпуности под водом. У неким случајевима се подземна вода налази на малој дубини, те се капиларним силама може подићи чак до површинских слојева земљишта. У пољопривреди, земљишту се вода често обезбеђује вештачким путем, тј. заливањем и наводњавањем.

Сам процес продирања воде са површине у дубље слојеве земљишта назива се **инфилтрација**. Овај процес је веома битан јер одређује колико ће воде земљиште упити са своје површине. Два различита типа земљишта могу на своју површину примити исту количину воде. Са површине једног типа земљишта вода може већински површински да отекне, док друго земљиште може у већој количини инфилтрирати воду. Инфилтрација је процес који зависи од различитих фактора, укључујући и

текстуру и структуру земљишта. Пешчана земљишта имају велике поре, што омогућава брзу инфилтрацију, док је у случају глиновитих земљишта доста спорија због ситнијих пора и компактне структуре. Земљишта са добро развијеном структуром боље пропуштају воду, док сабијање земљишта (услед тешке механизације или интензивне обраде) отежава инфилтрацију. Већа количина хумуса побољшава порозност земљишта и омогућава бољу инфилтрацију воде. Вегетација представља веома значајан фактор који одређује инфилтрацију воде, јер биљке својим корењем побољшавају структуру земљишта, чиме се повећава њихова инфилтрациона способност. Добро развијен биљни покривач смањује површинско отицање воде. Нагиб терена представља један од кључних фактора инфилтрације воде, јер уколико је превелики, вода ће веома брзо отицати површински, а инфилтрација ће бити минимална. Количина инфилтриране воде зависи од тренутног стања засићености земљишта влагом, тако да ће сува земљишта брже упити воду у поређењу са влажним. Инфилтрација воде у земљиште је веома значајна, јер поред тога што доприноси очувању водних ресурса, овај процес спречава ерозију земљишта и позитивно утиче на његову плодност.

Промет воде. Када земљиште упије воду, она ће се кроз њега кретати под утицајем капиларних сила и гравитације. Која сила ће преовладати у свом утицају зависи од величине пора. Капиларно кретање воде је омогућено постојањем капиларних пора у којима се капиларним силама вода држи за чврсту фазу земљишта. Ово кретање је слично кретању воде кроз сунђер који је упија. На тај начин, вода се може кретати у свим смеровима, како вертикално, тако и хоризонтално, притом равномерно попуњавајући све капиларне поре. Тако настаје капиларна вода која се задржава у земљишту и коју биљке могу користити. Кретање воде под утицајем гравитације се одвија у вертикалном правцу и смеру њеног деловања. Резултат оваквог кретања воде јесте њено понирање у дубље слојеве земљишта, у правцу подземних вода и то све до тренутка док не наиђе на вододрживи слој.

Губљење воде. Земљиште може губити воду на различите начине: усвајањем од стране биљака, испаравањем преко његове површине и процеђивањем до подземних вода. Биљке су у стању да уз помоћ својих коренових система, тачније преко ризодермиса коренових длачица, осмозом усвајају воду из земљишта. Својим надземним делом, тј. преко листова, биљке одају воду у гасовитом стању, у процесу који се назива транспирација. На тај начин, ствара се негативни притисак у проводном ткиву (ксилему), што проузрокује кретање воде од корена, преко стабла, до листа. Када је влажност ваздуха ниска, вода ће из земљишта испаравати преко његове површине. Овај процес се назива евапорација и може бити појачан високим температурама и ветром. Транспирација и евапорација заједно чине евапотранспирацију. Ови начини губитка воде су изражени код земљишта која имају добру способност задржавања воде, услед одговарајуће капиларне порозности. Уколико земљиште има изражену надкапиларну порозност, тј. уколико поседује крупне поре, вода ће се у већој мери кретати гравитацијски до подземних вода због малог пољског капацитета. Због тога се у песковитим и шљунковитим земљиштима вода у највећој мери губи процеђивањем до подземних вода.

5.2.5. Ваздушна својства земљишта

Поред воде, поре у земљишту су испуњене ваздухом, а однос воде и ваздуха у земљишту је променљив у зависности од водног и ваздушног режима. Као и вода, ваздух у земљишту има веома значајну улогу за биљке, земљишне микроорганизме и животиње, а самим тим и за процесе који се у земљишту одвијају и доприносе његовој плодности. Од гасова који су нарочито значајни за земљишне организме могу се издвојити кисеоник, који се користи у респирационим процесима, али и азот, кога одређене бактерије у процесу азотофиксације могу преводити у нитратне облике, доступне биљкама.

Плодна земљишта у исто време садрже у себи капиларну воду и ваздух, што је у великој мери условљено заступљеношћу и величином земљишних пора. Ваздух у земљишту се по свом саставу разликује од атмосферског ваздуха због повећане концентрације угљен-диоксида, који се ослобађа у процесима респирације земљишних организама.

Ваздушни капацитет земљишта

Ваздушни капацитет земљишта представља капацитет земљишта да у себи задржи ваздух. Постоји више типова ваздушног капацитета земљишта, од којих се као најзначајнији истиче пољски (апсолутни) ваздушни капацитет.

Пољски ваздушни капацитет представља максималну количину ваздуха која се задржава у земљишту, након максималног засићења водом и отицања гравитацијске воде у дубље слојеве. Дакле, пољски ваздушни капацитет одговара оној количини ваздуха која је у земљишту присутна у моменту када је садржај воде у њему раван пољском водном капацитету. Како капиларне и ситније поре у себи задржавају воду, ваздух из атмосфере ће испунити само крупније поре и оне које је вода напустила под силом гравитације. Пољски ваздушни капацитет одговара укупној запремини надкапиларне порозности и варира између 0 до преко 40%, што зависи од типа земљишта. Висок пољски ваздушни капацитет поседују песковита земљишта, док су на другој страни спектра глиновита земљишта. Док песковита земљишта оскудевају у води, глиновита земљишта карактерише мала количина ваздуха, што представља значајан еколошки проблем за земљишне организме и биљке.

Исто као и у случају пољског водног капацитета, ни пољски ваздушни капацитет није показатељ тренутног стања у земљишту, које иначе може знатно варирати у складу са спољашњим факторима. Пољски водни и ваздушни капацитет су веома значајне величине јер нам указују на саме карактеристике земљишта, а не на количину влажности, односно ваздуха у земљишту, у било ком тренутку.

Ваздушни режим земљишта

Ваздушни режим земљишта обухвата скуп процеса уласка, промета и напуштања ваздуха из земљишта. Поред карактеристика самог земљишта, ваздушни режим је условљен спољашњим условима и уско повезан са водним режимом земљишта.

Између атмосфере и земљишта се константно врши размена гасова путем дифузије, што се назива аерацијом земљишта. Колико ће земљиште бити пропустљиво за ваздух, зависи од његове компактности, порозности и влажности. У сабијеним земљиштима, не само да је отежано примање воде, већ је отежана и аерација. Што се

тиче порозности, најизраженија аерација присутна је у земљиштима која имају крупније, надкапиларне поре, јер ситније поре могу бити заузете водом, што ограничава степен дифузије гасова. Како су вода и ваздух земљишних пора у конкурентском односу, јасно је да су аерација земљишта и његова пропустљивост за ваздух обрнуто пропорционални влажности земљишта.

Ваздушни гасови се не крећу заједно и на исти начин, приликом њихове размене између земљишта и атмосфере, што је најизраженије у случају кисеоника и угљен-диоксида. Процеси респирације у земљишту су веома интензивни, што значи да долази до ослобађања угљен-диоксида, те су његова концентрација и парцијални притисак виши у земљишном ваздуху него у атмосфери. Из тог разлога, дифузија овог гаса се одвија у смеру земљиште-атмосфера. Концентрација и парцијални притисак кисеоника су нижи у земљишном него у атмосферском ваздуху. До овога долази зато што се у самом земљишту не одвија процес фотосинтезе у коме се кисеоник ослобађа, док се у процесима респирације овај гас стално троши. Дифузија кисеоника има супротан смер у односу на дифузију угљен-диоксида, што значи да ће константно прелазити из приземне атмосфере у земљишни ваздух.

5.2.6. Топлотна својства земљишта

Температура представља један од најважнијих еколошких фактора уопште, па тако и у земљишту, где не само да директно утиче на жива бића, већ је веома значајна за многе карактеристике земљишта, рачунајући и његову плодност. Интензитет и брзина хемијских реакција разградње и трансформације материја, тј. минерализације и хумификације, у великој су зависности од температурних услова. Температура земљишта зависи од спољашњих, климатских фактора и од карактеристика самог земљишта. Скуп процеса примања топлоте, тј. загревања, преноса топлоте и губитка топлоте чини **топлотни режим земљишта**, док се под **температурним режимом земљишта** подразумева динамика (промена) његове температуре у току времена (дана, године или вишегодишњег периода).

Основни извор загревања земљишта је Сунчево зрачење. Његов интензитет, као и дужина трајања у току дана, зависе од макроклиматских карактеристика одређеног подручја, што локално може бити модификовано карактеристикама рељефа. Колико ће Сунчевог зрачења доспети до саме површине земљишта зависи од густине вегетације која га покрива. У истим локалним условима, земљиште без вегетације ће се загревати знатно брже и више него земљиште које се налази под шумском вегетацијом. Када Сунчево зрачење доспе до површине земљишта, оно делом може бити рефлектовано (одбијено), што се назива **алbedo**, док ће одређен део бити апсорбован и трансформисан у топлоту. Алbedo зависи од боје, механичких карактеристика и влажности земљишта. Највећи алbedo имају светла, сува и песковита земљишта, док тамна, глиновита и влажна земљишта најбоље апсорбују Сунчеву енергију. Поред директног Сунчевог зрачења, земљиште се у извесним околностима може загревати топлим приземним ваздухом који долази са другог места и биолошким процесима разградње мртве органске материје, током којих се ослобађа топлота.

Топлота, изражена у џулима (J), коју је потребно додати, односно одузети да би се 1 g или 1 cm³ земљишта загрејао, односно охладно за 1°C, представља **специфичну топлоту земљишта**. Пошто је земљиште комплекс материја различите природе, то значи да специфична топлота земљишта може варирати у зависности од његовог састава. Хумусне материје имају знатно већу специфичну топлоту од минералних материја, док је специфична топлота воде два пута већа од специфичне топлоте

хумусних материја. Влажна и хумусом богата земљишта одликују се великом специфичном топлотом, што значи да се споро греју, али се споро и хладе.

Још једно значајно топлотно својство земљишта је његова **топлопроводљивост**, тј. величина којом се описује способност земљишта да преноси топлоту кондукцијом, од молекула до молекула. Као и у случају специфичне топлоте, топлопроводљивост земљишта зависи од његовог састава, тј. удела ваздуха, воде и минералних материја. Ваздух има веома веома ниску топлопроводљивост, вода око 24 пута већу, а минералне материје 24 пута већу. Добру топлопроводљивост имају влажна и компактна земљишта, док су насупрот њима сува и растресита земљишта са крупним порама, које испуњава ваздух. Захваљујући топлопроводљивости, топлота се може са површине земљишта преносити у његове дубље слојеве. У земљиштима са добром топлопроводљивошћу температура ће постепено опадати са дубином, док ће у земљиштима лоше топлопроводљивости температурне разлике између слојева бити израженије.

Топлота се кроз земљиште преноси не само кондукцијом, већ и конвекцијом, захваљујући присуству воде и ваздуха. Загрејани молекули воде и ваздуха се могу механички премештати кроз земљишне поре, што доприноси уједначавању температуре различитих слојева земљишта. Чврста фаза земљишта не учествује у овом процесу, јер су њене честице фиксирани у простору.

Земљиште одаје топлоту у атмосферу топлотним излучивањем, тј. радијацијом. То је процес губитка топлоте, којим се земљиште хлади, а атмосфера загрева. Земљишта са великом топлопроводљивошћу ће брже излучивати топлоту, тако да она својства која утичу на топлопроводљивост земљишта утичу на ово његово својство. Вегетација има велики значај у овом процесу, јер може смањити количину топлоте које земљиште излучује. Поред излучивања, земљиште губи топлоту путем евапотранспирације, тј. директног испаравања воде из земљишта и транспирације биљака.

Температура земљишта и његових појединих слојева зависи од процеса примања, преноса и одавања топлоте. Како земљиште прима и губи топлоту преко своје површине, то значи да површински слојеви трпе највећа колебања температуре. Дубљи слојеви земљишта мање су зависни од спољашњих фактора, па су у њима температурна колебања у току дана мање изражена. Амплитуда колебања температуре опада са дубином земљишта, а на одређеној дубини температура је константна. За време директне изложености Сунчевом зрачењу, најтоплији су површински слојеви земљишта. У току ноћи, дубљи слојеви су топлији од површинског због топлотног излучивања.

5.3. ХЕМИЈСКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА

Хемијска својства земљишта односе се на његов хемијски састав, а са еколошког аспекта и по значају за биљке посебно се истиче рН вредност земљишта, као и садржај минералних и органских материја.

5.3.1. Хемијски састав земљишта

Хемијски састав земљишта представља садржај хемијских елемената (елементарни хемијски састав) и хемијских једињења. Хемијски елементи су у земљишту заступљени као саставни део једињења, али и у самосталном, елементарном стању.

Елементарни хемијски састав

По значају и количини у којој се јављају у земљишту, могу се издвојити органогени елементи (угљеник, водоник, кисеоник и азот), неметали (сумпор, фосфор, силицијум и хлор) и метали (натријум, калијум, калцијум, магнезијум, гвожђе, алуминијум и манган. У највећем проценту у земљишту су заступљени кисеоник (49%) и силицијум (33%), затим алуминијум (7,1), гвожђе (3,8), угљеник (2), калцијум (1,4), калијум (1,4), магнезијум (0,6), натријум (0,6), азот (0,1) и фосфор (0,08). У њему се јављају и други хемијски елементи периодног система, али су њихова количина и улога од мањег значаја.

Кисеоник (О) се у земљишту јавља у елементарном и везаном облику. У елементарном облику (O_2) улази у састав земљишног ваздуха, али у мањем проценту него што је случај са ваздухом атмосфере. Молекулски кисеоник у земљишту игра веома важну улогу, јер је неопходан свим аеробним организмима у процесу респирације. У везаном облику кисеоник представља саставни део многих једињења, као што су вода и различити оксиди, хидрати, киселине, соли и органске материје.

Силицијум (Si) у земљишту изграђује силикатна једињења и силицијум-диоксид (SiO_2), односно кварц. Силицијум је заступљен у виду јона, као и у аморфном елементарном облику. Биљкама силицијум у земљишту најчешће није неопходан, али се значај овог елемента испољава посредно. Јони силицијума могу повољно утицати на усвајање других елемената од стране биљака, чиме се повећава плодност земљишта.

Алуминијум (Al) у земљишту представља саставни део алумосиликата, глина и хидрата. У малим количинама, јони овог елемента имају позитиван утицај на развој неких биљака, док при већим концентрацијама делују негативно, што је нарочито изражено у киселим земљиштима. Јони алуминијума имају потенцијал да се везују са фосфатним јонима градећи тешко растворљиво једињење, чиме се доступност фосфата за биљке смањује.

Гвожђе (Fe) у земљишту улази у састав соли (ферисиликата) и хидрата. Овај елемент је у малим количинама веома неопходан биљкама. Када се нађе у вишим концентрацијама, гвожђе смањује плодност земљишта, што може бити нарочито изражено у киселим земљиштима.

Угљеник (C) улази у састав свих органских материја у земљишту, убрајајући и сама жива бића, као и мртву органску материју. Ова мртва органска материја у земљишту највећим делом води порекло од биљака, које у процесу фотосинтезе везују угљендиоксид из атмосфере, превodeћи угљеник из неорганског у органски облик. Земљишни организми (бактерије, гљиве, животиње...) представљају извор мртве органске материје. У процесима микробиолошке разградње мртвих остатака биљака и других организама настаје хумус, тако да се угљеник у већим количинама налази у оним слојевима земљишта где се ова материја акумулира. Угљеник изграђује гас угљендиоксид, који се ослобађа током респирације организама, али и различите соли и минерале (калцит и доломит). Угљеник има велики значај у формирању земљишта, као и у одређивању његове плодности, управо преко хумусних материја које изграђује.

Калцијум (Ca) се у земљишту јавља у виду соли различитих киселина, силиката и карбоната. Највише га има у карбонатним земљиштима. Калцијумови јони (Ca^{2+}) могу повољно утицати на физичке, хемијске и биолошке особине земљишта, а самим тим и на његову плодност. Недостатак калцијумових јона карактеристичан је за кисела земљишта. Заједно са јонима калцијума и магнезијума, калцијумови јони представљају један од најважнијих елемената у исхрани биљака. Ипак, када се нађу у већим концентрацијама, могу утицати неповољно на њихов развој.

Калијум (K) представља саставни део соли различитих киселина у земљишту и јавља се у јонском облику (K^+). Овај елемент је од великог значаја у исхрани биљака, које га усвајају у великим количинама.

Магнезијум (Mg) се у земљишту јавља у различитим облицима: као саставни део минерала, органских материја, соли и јона (Mg^{2+}), који су доступни биљкама. Иако је неопходан за њихов развој, превелика количина ових јона може негативно деловати на биљке. Магнезијумом су посебно богата земљишта која се развијају на ултрамафитима.

Натријум (Na) у земљишту представља саставни део соли. Значајан извор натријума у земљишту су силикати, чијим распадањем се овај елемент ослобађа у виду јона (Na^+) који се слабо везују у земљишту и брзо испирају из њега. Због тога се натријумови јони у земљишту налазе у ниским концентрацијама, са изузетком оних која су заслањена. Већини биљака натријум није потребан, док га одређене врсте користе у малим количинама. Превелике концентрације овог елемента у земљишту се могу негативно одразити на његове карактеристике и развој биљака.

Азот (N) је у земљишту заступљен у различитим облицима и то као саставни део органских једињења (амино-киселина, протеина итд.), амонијака (NH_3) и амонијум јона (NH_4^+), као и у виду соли азотне и азотасте киселине, тј. нитрата (NO_3^-) и нитрита (NO_2^-). Азот је присутан и у елементарном облику у виду гаса (N_2), као саставни део земљишног ваздуха који испуњава земљишне поре. Азот је у земљишту од огромног значаја за биљке. Оне га усвајају у великим количинама и то углавном у виду нитрата и амонијум јона. Висока заступљеност азота у земљишту представља последицу

биолошких процеса. Земљиште је много богатије укупним азотом него стена на којој се развија. Азот у земљишту није пореклом из литосфере, већ из биосфере и атмосфере.

Како азот улази у састав органских материја које изграђују жива бића, земљиште се њиме снабдева преко њихове мртве биомасе и екскремената. Под утицајем разлагача, азот се из органског преводи у неоргански облик и на тај начин постаје доступан биљкама. Најпре бактерије и гљиве врше минерализацију азотних органских материја попут аминокиселина, протеина, нуклеинских киселина и карбамида (уреа), при чему настаје амонијак, који у контакту са водом даје амонијумове јоне. Овај процес се назива **амонификација**, а микроорганизми који у њему учествују су амонификатори. Након тога, амонијак се помоћу одређених бактерија, нитрификатора, у процесу под називом **нитрификација** преводи у нитрини и нитратни облик. Земљишта се обогаћују азотом захваљујући посебној групи микроорганизма који имају способност да везују атмосферски азот, тј. да врше **азотофиксацију**. Ови микроорганизми, тзв. азотофиксатори, могу да користе атмосферски елементарни азот и да га преводе у облике који су досупни биљкама. У земљишту се одвија редукција нитрата у гасовити елементарни азот. Овај процес је **денитрификација** и у њему учествују бактерије које се називају денитрификаторима. Денитрификација за последицу има губљење азота из земљишта. Наведени процеси су кључни за кружење азота у природи.

Фосфор (P) је у земљишту заступљен у облику соли фосфорне киселине, тј. фосфата (PO_4^{3-}) и у облику различитих органских једињења. Литосферни и примарни извор фосфора у земљишту су одређени минерали, а секундарни извор је мртва биомаса организама. Фосфор је веома значајан у исхрани биљака које га усвајају у виду фосфата. У земљишту постоје различите врсте фосфата, што важи и за оне које су слабо растворљиве и недоступне биљкама. Ово је нарочито случај у киселим земљиштима, јер се у њима фосфати везују за алуминијум и гвожђе и у превише алкалним земљиштима, где се везују за калцијум.

Сумпор (S) је у земљишту присутан у виду соли сумпорне киселине, тј. сулфата (SO_4^{2+}), у гасовитим облицима као што су сумпор-водоник (H_2S) и сумпорни оксиди (SO_x), али и у склопу органских материја. Биљкама су у исхрани потребне мале количине сулфата, које у вишим концентрацијама могу деловати токсично на биљке, што је посебно изражено у заслањеним земљиштима.

Поред елемената које биљке усвајају у већим количинама и који се називају **макроелементима**, у земљишту су присутне мање концентрације одређених елемената који су од великог значаја за биљке, иако их оне усвајају у веома малим количинама. Ови елементи се називају **микроелементима** и у њих спадају манган (Mn), бор (B), бакар (Cu), цинк (Zn), кобалт (Co) и молибден (Mo). Са аспекта екологије биљака и биљне пољопривредне производње, од великог је значаја да у земљишту постоји оптималан садржај макро- и микроелемената, јер њихова равнотежа директно утиче на раст, развој и продуктивност биљака. Недостатак или вишак одређених елемената може довести до поремећаја у физиолошким процесима, смањене доступности хранљивих материја и слабијег приноса.

Минералне материје

Хемијски елементи у земљишту великим делом изграђују минерална једињења чврсте фазе земљишта. У земљиштима нашег региона, преко 95% чврсте фазе земљишта чине минерали. Иако су минерали у земљишту веома разноврсни, само

одређен број њихових врста јавља се у већој количини, чинећи тако основну масу минералног дела чврсте фазе земљишта. Минерали у земљишту се могу поделити на примарне (стенског порекла) и секундарне (настале распадањем примарних минерала). У најзначајније групе земљишних минерала спадају примарни силикати, кварц и опал, минерали глине (секундарни хидратисани силикати), минерали простих соли, минерали хидроксида и оксида алуминијума, гвожђа и мангана.

Примарни силикати обухватају фелдспате, фелдспатоиде, лискуне, пироксене, оливине и амфиболе, затим калцијумове, магнезијумове, натријумове и калијумове силикате, као и силикате гвожђа итд. Примарни силикати воде порекло из матичне подлоге, те су у већим количинама заступљени у земљиштима која се развијају изнад силикатних стена, али и на колувијалним, делувијалним и лесним наносима. Временом, примарни силикати се распадају на секундарне минерале, као што су минерали глине и простих соли. Због тога примарних силиката има више у слабо развијеним и плитким земљиштима крупнијих фракција.

Кварц у земљишту већим делом води порекло од магматских стена. Поред овог примарног извора, може се и секундарно јавити услед кристализације опала. Кварц је обично добро заступљен у фракцијама праха и песка. **Опал** је аморфни минерал који се у земљишту јавља услед процеса распадања силикатних минерала или процеса минерализације биљних остатака одређених врста.

Минерали глине у земљишту могу водити порекло из стенског материјала на коме се земљиште развија, али и секундарно настати на два начина: трансформацијом силикатних минерала (лискуна) и синтезом од продуката распадања силиката и минерализације органске материје. Минерали глине су веома разноврсни и уобичајено се деле на следеће групе: илити, вермикулити, смектити, хлорити и кандити (каолинити и халојзити). Заступљеност минерала глине зависи од типа матичне подлоге и од степена развоја земљишта.

Минерали простих соли се у земљишту претежно јављају као продукти распадања примарних и других сложенијих секундарних минерала, али и као резултат минерализације органске материје. Минерали простих соли могу водити порекло директно од стенске масе, нпр. од седимената или карбонатних шкриљаца на којима се земљиште развија. У ову групу минерала спадају карбонати (калцит и доломит), фосфати (фосфорит и анатит), сулфати (гипс и мирабилит), нитрати (нитратин) и хлориди (халит). Од наведених минерала простих соли, уобичајено се у већим количинама на одређеним типовима земљишта јављају калцит и доломит, док су остали углавном карактеристични за заслањена земљишта.

Минерали хидроксида и оксида алуминијума, гвожђа и мангана представљају збирну групу минерала који могу бити примарног и секундарног порекла, тј. могу бити наслеђени из стенске подлоге или настају процесима распадања силикатних минерала. У најважније хидроксиде алуминијума спадају гипсит и бемит. Лимонит и гетит су најзаступљенији хидроксида гвожђа, док се међу хидроксидима мангана издвајају манганит и псиломелан. Дехитратацијом хидроксида настају оксиди гвожђа (хематит) и мангана (пиролузит и хаусманит). Минерали ове групе су у већим количинама заступљени у добро развијеним, неутралним, до слабо киселим земљиштима.

Хумусне материје

Поред минералних, чврсту фазу земљишта чине хумусне материје. Оне представљају најважнији производ процеса, који се одвија у земљишту. Хумусне материје чине хумус, чији садржај означава једно од основних својстава сваког земљишта. Стварање хумуса у земљишту заснива се на **хумификацији**, процесу који се одвија посредством микробиолошких хумификатора, тј. разлагача (редуцената или декомпозитора). Разлагачи у земљишту су бактерије и гљиве. Оне у околну средину излучују ензими, којима врше разлагање (декомпозицију) органских материја. Овако настају једноставнија органска једињења, која се могу међусобно комбиновати, при чему настају стабилна и специфична хумусна једињења. Хумификација обухвата процесе разлагања органских једињења на једноставнија и синтезе нових органских једињења од продуката тог разлагања. Треба напоменути да у процесу стварања хумуса велику улогу имају фаунистички хумификатори, тј. детритивори (нпр. кишне глисте), који органску материју уститњавају, делимично разлажу и мешају са земљиштем. На тај начин, ови животињски организми припремају органску материју за микробиолошку хумификацију.

Хумус представља смешу разноврсних једињења. Само један део ових једињења настаје у процесу микробиолошке хумификације и то су праве (специфичне) хумусне материје. У састав хумуса улазе **неспецифичне хумусне материје**, тј. органска једињења, која још увек нису подлегла процесу хумификације. У групу неспецифичних хумусних материја спадају угљени хидрати, масне киселине, аминокиселине, ензими, витамини итд. Међу њима се налазе оне материје које се тешко разлажу, попут целулозе, лигнина, смола или воскова.

Праве хумусне материје настају хумификацијом. Представљене су хумусним киселинама и њиховим солима. Хумусне киселине су стабилна, комплексна и високомолекуларна азотна органска једињења. Разликују се два типа ових киселина: хуминске киселине и фулвокиселине. **Хуминске киселине** су веома сложене материје тамне боје, велике реакционе способности и високог капацитета адсорпције катјона. Хуминске киселине и њене соли су заступљене у сваком хумусу, али их највише има у хумусу карбонатних земљишта неутралне до слабо алкалне реакције. **Фулвокиселине** су сложене материје, али су њихови молекули простије грађе од молекула хуминских киселина. То се одражава на њихову боју, која је светло жута или жуто-смеђа. Као и хуминске киселине, фулвокиселине представљају саставни део сваког хумуса, с тим што се у највећим количинама јављају у хумусу веома киселих земљишта.

Хумусне материје се под утицајем одеђених бактерија и гљива минерализују, тј. разлажу на једноставна неорганска једињења попут угљен-диоксида, воде, амонијака, нитрата, фосфата, сулфата итд. Овај процес се назива **дехумификација**, а њен резултат је смањење количине хумуса у земљишту. Микроорганизми који учествују у дехумификацији се називају дехумификаторима. Процес дехумификације је веома значајан, јер подразумева ослобађање минералних материја, које су потребне биљкама. Уколико је овај процес превише интензиван, то за последицу може имати драстично смањење количине хумуса у земљишту и губитак његове плодности. Због тога је веома значајно да у земљишту постоји уравнотежен однос између процеса хумификације и дехумификације.

Хумус је од великог значаја за земљиште, јер утиче на све процесе који се у њему одвијају и на тај начин у великој мери одређује особине земљишта и његову плодност. Побољшава структуру земљишта и повећава његову способност задржавања воде. Захваљујући хумусу, земљиште постаје растресито и порозно, што омогућава

оптималну аерацију. Хумус смањује ерозију, јер везује честице земљишта и спречава њихово испирање и одношење површинским водама или ветром. Хумус представља резервоар хранљивих материја у земљишту, с обзиром да у себи садржи елементе који су неопходни за живот биљака. Он везује минерале и спречава њихово испирање, чиме их задржава у земљишту. Процесом дехумификације хранљиве материје се постепено ослобађају и тиме се биљкама обезбеђује континуирана исхрана. Хумус је значајан јер делује као природни пуфер, спречавајући екстремне промене рН вредности, а утиче и тако што ублажава негативан утицај метала и металоида, као и токсичних једињења у земљишту.

5.3.2. Реакција земљишта

Када се говори о реакцији земљишта, мисли се на рН вредност земљишног раствора, тј. течне фазе земљишта, коју чине вода и све растворене материје и колоидне дисперзије у њој. У зависности од односа концентрације водоникових и хидроксилних јона (H^+ и OH^-), земљишни раствор може имати киселу ($pH < 7$), неутралну ($pH = 7$) и базну, тј. алкалну реакцију ($pH > 7$). Поред садржаја минералних материја и хумуса, хемијска реакција земљишта представља треће најважније својство земљишта од кога у крајњој линији зависи његова плодност.

Вредност рН земљишног раствора варира у зависности од типа земљишта, али може варирати и од слоја до слоја истог земљишта. Такође, рН вредност једног земљишта је променљива у времену, нарочито у складу са годишњим добима. У земљиштима нашег подручја, рН вредност земљишта се креће од 3 до преко 10. На основу рН вредности земљишта се деле на различите начине. У екологији је уобичајена подела на **јако кисела** (3–4), **кисела** (4–5), **слабо кисела** (5–6), **неутрална** (6–7), **слабо базична** (7–8), **базична** (8–9) и **ултрабазична** земљишта (преко 9).

Са аспекта екологије биљака и биљне пољопривредне производње, реакција земљишта је веома значајан фактор који има изузетан утицај. Највећем броју биљних врста одговарају неутрална, слабо кисела и слабо базична земљишта. Оне које живе на киселим и јако киселим, односно базичним и ултрабазичним земљиштима, развиле су низ адаптација којима успешно превазилазе проблеме са којима се овде сусрећу.

Ниске и високе рН вредности утичу неповољно на низ особина земљишта јер онемогућавају одвијање бројних процеса у које су укључени земљишни микроорганизми, попут нитрификације, азотофиксације, хумификације, дехумификације итд. У киселим земљиштима се често као проблем јавља недостатак биљкама доступних облика елемената, тј. њихових соли и јона. Калцијумови јони су при ниским рН вредностима фиксирани у нерастворљивим солима, што их чини недоступним за биљке. У киселим земљиштима се истовремено повећава концентрација биодоступних јона метала и металоида, који у вишим концентрацијама за биљке имају токсичан ефекат. При високим рН вредностима земљишта јони калцијума су адсорбовани за земљишне честице или остају слободни у земљишном раствору и на тај начин лако доступни биљкама. У алкалним земљиштима се као проблем може јавити недоступност других елемената, као што су гвожђе, манган, бор, цинк, фосфор итд.

Кисела земљишта су највише заступљена у влажним тропским, суптропским пределима, хладним северним и планинским областима, а развијају се и на силикатној геолошкој подлози. Муљевита и тресетна земљишта се одликују ниском рН вредношћу. Некада повећана киселост може бити последица људских активности и неадекватне

примене вештачких ђубрива. Базична земљишта се доминантно јављају у аридним и семиаридним подручјима и тамо где је матична подлога кречњак.

5.4. БИОЛОШКА СВОЈСТВА ЗЕМЉИШТА

За земљиште се често каже да представља „живи систем”, што значи да њега поред неживе неорганске и органске материје сачињава и жива материја. Сва жива бића која живе у земљишту и делови живих бића (корење биљака) који се у њему налазе, представљају његов неодвојиви саставни део. Земљиште се поред физичких и хемијских својстава одликује биолошким својствима, која су представљена разноврсношћу земљишних организама и њиховим активностима, тј. процесима у којима учествују. Својом активносћу земљишни организми утичу на физичка и хемијска својства земљишта. Истовремено, разноврсност земљишних организама и њихове активности у великој мери су одређене абиотичким карактеристикама земљишта, попут његове структуре, порозности, садржаја воде и ваздуха, хемијског састава, рН вредности итд. Између неживог и живог дела земљишта постоји веома изражена међусобна условљеност и зависност. Физичка, хемијска и биолошка својства земљишта су међусобно уско повезана. Заједно доприносе одржавању квалитетног и плодног земљишта, неопходног за развој природних животних заједница, али и за одрживост пољопривредних активности.

У земљишту и на његовој површини, живе бројни организми који припадају свим постојећим царствима живог света, рачунајући бактерије, архее, гљиве, протисте, биљке и животиње. Што је већа разноврсност живих бића у земљишту, то су процеси који доприносе његовој плодности интензивнији и бржи. Иако је највећи број земљишних организама микроскопских димензија, попут бактерија и гљива, у њих спадају и крупније животиње које имају веома значајне улоге. Према величини, земљишни организми се могу поделити у следеће групе: **микрофлора** и **микрофауна**, величине од 1 до 100 μm (бактерије, гљиве, алге, протозе, нематодe), **мезофауна**, величине од 100 μm до 2 mm (ротифере, гриње, бескрилни инсекти) и **макрофауна** и **мегафауна**, величине преко 2 mm (мекушци, чланковити црви, стоноге, инсекти и сисари).

Од микроорганизама у земљишту живе бактерије, гљиве, алге (аутоτροφни протисти) и протозое (хетеротрофни протисти). Микроорганизми имају великог значаја у формирању земљишта и одржавању његове плодности, јер се међу њима налазе они који разлажу органске материје до простијих једињења од којих се формира хумус, као и до неорганских једињења које биљке могу апсорбовати кореновим системима. Њихова заступљеност се може разликовати у зависности од типа физичких и хемијских својстава земљишта. Уобичајено, њихова бројност износи између неколико десетина до неколико милиона по само једном граму сувог земљишта. Највећа бројност и разноврсност микроорганизама карактерише површинске слојеве земљишта. На заступљеност, бројност и разноврсност микроорганизама у земљишту утичу бројни фактори: тип земљишта, вегетација која покрива земљиште, начин коришћења земљишта од стране човека итд.

Бактерије у земљишту су најбројније од свих микроорганизама и несумњиво имају огроман значај, не само у одржавању земљишта, већ и у одвијању основних процеса у природи. Поред хетеротрофних бактерија, које користе већ постојеће органске материје, у земљишту су присутне аутоτροφне бактерије, које могу саме себи стварати

органску материју од неорганске. Бактерија има у свим земљиштима, јер се међу њима налазе оне које су адаптиране на специфичне и екстремне услове. Ипак, највећу бројност и разноврсност имају у топлим и умерено влажним земљиштима неутралне реакције. Земљишне бактерије су главни разлагачи органских материја, тако да имају незаменљиву улогу у кружењу материје у природи. Оне су одговорне за незаобилазне процесе у кружењу азота, тј. амонификацију, нитрификацију, денитрификацију и азотофиксацију. Неке азотофиксирајуће бактерије ступају у симбиотске односе са кореном биљака из породице лептирњача (махунарке), обезбеђујући им довољне количине нитрата. Процеси хумификације и дехумификације се претежно одвијају захваљујући активностима бактерија. Као разлагачи хумусних материја, земљишне бактерије чине потребне елементе доступним биљкама.

Актиномицете представљају посебну групу бактерија које се због својих морфолошких карактеристика и еколошког значаја често посебно издвајају. Најбоље се развијају у добро аерисаним површинским слојевима неутралних, базичних и слабо базичних земљишта са великим садржајем хумуса, при умереним температурама и умереној влажности, иако добро подносе смањење садржаја воде. Актиномицете су хетероторфи и већином сапротрофи, што значи да се хране мртвом органском материјом, те су значајне у процесима хумификације и минерализације. Њихов посебан значај огледа се у томе што могу разлагати тешко разградиве органске материје, попут пектина и лигнина. Међу актиномицетама постоје азотофиксатори који земљиште обогаћују азотом, а неке од њих ступају у симбиотске односе са одређеним дрвенастим биљкама (нпр. јовом).

Гљиве највећу бројност и разноврсност достижу у добро аерисаним површинским слојевима киселих земљишта са високим садржајем органске материје, при умереним температурама. Искључиво су хетеротрофни и већински сапротрофни организми, који заједно са бактеријама имају значајну улогу у земљишту, јер учествују у процесима стварања хумуса и минерализације органских материја. Махом учествују у почетним фазама процеса разградње органских материја, који се даље наставља уз помоћ бактерија. Значајне су јер могу разлагати целулозу и лигнин мртве биљне масе и друга једињења попут шећера, скроба и хемицелулозе, при чему се ослобађа више угљен-диоксида него што је то случај при разлагању које врше бактерије. Гљиве позитивно утичу на структуру земљишта, а неке од њих ступају у симбиотске односе са кореном биљака (микориза), обезбеђујући им ефикаснију апсорпцију минералних материја.

Бактерије, актиномицете и гљиве у земљишту су углавном сапротрофи, што значи да се хране мртвом органском материјом. Међу свим овим групама постоје врсте које су паразитске и хране се живом материјом других организама, изазивајући болести код биљака и животиња. Иако су ове врсте често непожељне са аспекта човекових потреба и пољопривредне производње, неопходно је напоменути да оне имају значајну улогу у одржавању еколошке равнотеже, не само у земљишту, већ и у природи уопште.

Алге насељавају и земљиште, иако су углавном акватични организми. С обзиром да се ради о фотоаутоτροφним организмима, јављају се у површинском слоју земљишта, јер им је за процес фотосинтезе потребна Сунчева светлост. За њихов развој неопходна је одређена влажност. Значај алги у земљишту се огледа у томе што самим својим присуством повећавају садржај органске материје у њему. Нарочито су важне јер учествују у раним фазама формирања земљишта. Наиме, као аутоτροφни организми алге могу насељавати површине без органске материје, укључујући и површину стена.

Алге позитивно утичу на структуру земљишта, јер луче велике количине слузи која омогућава слепљивање ситних честица и формирање агрегата. Као и биљке, алге усвајају минералне материје и на тај начин спречавају брзо испирање појединих елемената из земљишта. У неким случајевима овај процес може бити толико изражен да штетно делује на биљке услед њиховог конкурентског односа према минералним материјама.

Лишајеви представљају симбиотску заједницу алге и гљиве. Гљива у овом односу има улогу снабдевања водом, минералним материјама и угљен-диоксидом, док алга обезбеђује органске материје, које ствара у процесу фотосинтезе. Лишајеви се повремено јављају на земљишту. Често насељавају стене чију површину постепено разарају и обогаћују органским материјама, тако да су, као и алге, веома значајни у почетним фазама формирања земљишта.

Протозое су хетеротрофни протисти, тј. једноћелијски микроорганизми који се хране на сличан начин као и животиње, тј. холозојски, што значи да захватају чврсте партикуле органских материја које уносе у себе. Међу њима постоје оне које осмотским путем усвајају хранљиве материје у раствареном стању и оне које врше фотосинтезу (зелени бичари, тј. еуглена). Најбоље се развијају у површинским слојевима влажних земљишта неутралне реакције са високим садржајем органске материје. Већина протозоа се храни бактеријама, тако да на земљиште и његове карактеристике могу деловати на различите начине, у зависности од тога којом групом бактерија се хране. Њихов значај огледа се у томе што бројност патогених бактерија могу држати под контролом, доприносећи очувању еколошке равнотеже. У неким случајевима могу негативно деловати на земљиште, уколико доведу до смањења бројности неких неопходних бактерија (нпр. азотофиксатора). Као и сви остали организми у земљишту, протозое самим својим присуством повећавају садржај органске материје у њему, а њихова биомаса подлеже процесу хумификације, чиме се побољшава плодност земљишта.

Нематодe (ваљкасти црви) у земљишту насељавају водом испуњене земљишне поре или слој воде око честица земљишта. Према начину живота и исхране, као и према еколошкој улози коју имају у земљишту, могу се поделити у три групе. Прву групу чине нематодe које се хране мртвом органском материјом. Најзаступљеније су у земљишту, а њихов значај огледа се у томе што као фаунистички хумификатори доприносе процесу разлагања органских материја. Другу групу чине предаторске нематодe које се хране ситнијим организмима, подразумевајући бактерије, гљиве, протозое и друге ситније нематодe. У трећу групу спадају нематодe, које продиру у корен биљака у којима паразитирају (фитопаразитне нематодe).

Кишне глисте су малочекињасте чланковите црви (анелиде, тј. олигохете) који се у појединим плодним земљиштима могу наћи у великом броју. Највише их има у неутралним и слабо базичним земљиштима са високим садржајем органске материје. Њихова улога у земљишту је двојака и огледа се у њиховом механичком и биохемијском деловању. Кишне глисте праве у земљишту вертикалне канале, чиме се побољшава његова структура, дренажност и аерисаност. Својим активностима, кишне глисте мешају земљиште тако што са његове површине преносе неразложене органске материје у дубље слојеве. Кишне глисте су детритивори, који се хране мртвом органском материјом помешаном са честицама земљишта. На тај начин у својим дигестивним органима прерађују велику количину земљишта и имају улогу примарних

хумификатора. Екскременти, тј. излучени продукти њиховог варења (тзв. глистењак) веома су богати нутријентима, чиме се повећава плодност земљишта.

Зглавкари насељавају површинске слојеве земљишта. Најзаступљенији зглавкари у земљишту су гриње, пауци, стоноге, бескрилни инсекти (колемболе и сребрне рибице), инсекти и њихове ларве. Ови организми учествују у различитим процесима у земљишту, рачунајући премештање органске материје и њено разлагање (као фаунистички хумификатори), што доприноси кружењу материје, побољшавању структуре земљишта и регулацији његовог водног и ваздушног режима.

Сисари могу насељавати земљиште и у њему проводити скоро цео живот или само одређени период времена. У праве земљишне сисаре спадају слепо куче и кртица, који воде фосоријски начин живота, тј. копају јазбине и тунеле у земљишту у коме живе и кроз које се крећу. Поред њих, канале у земљишту праве текунице, хрчци и бројни други глодари. Ове животиње и њихове активности имају позитиван ефекат на својства земљишта јер им побољшавају аерисаност, разбијају збијено земљиште и доприносе мешању хранљивих материја. Својим начином исхране утичу на друге земљишне организме, што се може одразити на укупне карактеристике земљишта. Кртице су месоједи који се хране глистама, инсектима и њиховим ларвама, али копајући тунеле често уништавају корење биљака. Слепо куче је биљојед и храни се корењем биљака. Ова врста није склона пренамножавању (каламитету) и насељава травна станишта. Због тога не представља проблем ни за гајене биљке, нити за природну вегетацију.

Биљке, тј. њихови подземни органи, представљају саставни део земљишта. Својим кореновим системима побољшавају физичка својства земљишта, што се повољно одражава на хемијска и биолошка својства. Коренови биљака стабилизују земљиште и спречавају ерозију. У исто време њиховим одумирањем ствара се велика количина органске материје од које настаје хумус.

5.5. ПЕДОГЕНЕЗА

Процес стварања и развоја земљишта, тј. педосфере, назива се педогенеза. Основу за формирање земљишта чини матична стена, тј. геолошка подлога, која је стерилна. Да би земљиште настало, није довољно учешће само литосфере, већ и атмосфере, хидросфере и биосфере.

5.5.1. Процес настанка и развоја земљишта

Педогенеза је сложен, дуготрајан процес који се одвија током хиљада и милиона година. Оно што претходи формирању земљишта је механичко распадање и хемијско разлагање стена. Температурне промене, наизменично замрзавање и одмрзавање воде у пукотинама стена узрокују њихово даље пуцање и дробљење. Површину компактних стена могу населити различити микроорганизми, попут бактерија и алги, као и вишећелијски организми (лишајеви и маховине), који својом биолошком активношћу доприносе њеном распадању.

Распаднути стенски материјал настао услед дејства физичких фактора и даље може имати исте хемијске одлике као и сама стена од које је настао. За разлику од компактне стене, у њега може продрети вода. Она брзо отиче гравитацијски, пошто још увек не постоје капиларне поре у којима би се могла задржати. Ипак, растресити стенски материјал је сада много већом површином изложен дејству воде и ваздуха, те подлеже различитим хемијским процесима, као што су хидролиза, оксидација, редукција или карбонификација. То значи да различите материје, рачунајући и киселине, реагују са самим минералима стене (примарни минерали), што доводи до њиховог распадања и разградње, али и до формирања нових минералних једињења (секундарни минерали).

Веома значајан процес у формирању иницијалних (првобитних) земљишта јесте формирање капиларних пора, до чега долази услед даљег уситњавања стенског материјала и формирања ситних, финих честица које се таложе између крупнијих. На овај начин, земљиште поприма капиларна својства, што омогућава задржавање воде и њено кретање кроз капиларе из влажнијих у сувље зоне, независно од гравитације. У овим почетним фазама развоја земљишта долази до формирања колоида услед акумулације ситних честица насталих хемијском разградњом стенских минерала. Колоиди имају способност адсорпције молекула, што омогућава њихово задржавање. На тај начин, долази до акумулације различитих хемијских једињења. Растресити стенски материјал постаје иницијално земљиште када поприми капиларна и адсорптивна својства, којима се омогућава задржавање воде и разноврсних једињења.

Нагомилавање органске материје неопходан је предуслов за развој земљишта. У почетним фазама, извор ових органских материја представљају аутотрофни микроорганизми који користе растворене минерале, а органску материју стварају у процесу фотосинтезе. Присуство органске материје у виду поменутих микроорганизама и њихових мртвих остатака представља предуслов за настањивање хетеротрофних организама. Присуством сапротрофних микроорганизама обезбеђује се разградња мртве органске материје, што је кључан процес за формирање хумуса.

Иако поједине више биљке могу насељавати пукотине стена и распаднути стенски материјал, за формирање вегетације са већом покровношћу неопходно је да иницијално земљиште задобије одговарајућа физичка, хемијска и биолошка својства. Биљке својим кореновим системима додатно уситњавају стенски материјал и повезују иницијално земљиште, спречавајући ерозију. Како мртви остаци биљака представљају главни извор хумуса, њихова улога у развоју земљишта је незаменљива. Са акумулацијом хумуса побољшава се способност земљишта да задржава влагу и хранљиве материје, што условљава боље услове за раст биљака.

Процес развоја земљишта праћен је повећањем његове дубине. Временом долази до развоја хоризоната, тј. диференцијације различитих слојева земљишта специфичног састава и својстава. У зависности од фазе развоја у коме се налазе, могу се разликовати млада или иницијална и зрела земљишта, са низом прелазних типова. Битно је напоменути да се зрела земљишта константно мењају под утицајем различитих фактора. Ти фактори могу бити и неповољни, као што су неке антропогене активности, што доводи до деградације земљишта, тј. нарушавања његових физичких, хемијских и биолошких својстава и смањења плодности.

5.5.2. Педогенетски фактори

Процес педогенезе се одвија под утицајем педогенетских фактора, који се могу груписати у следеће: геолошки фактори (матична стена, тј. геолошки супстрат изнад које се педосфера формира), климатски фактори (утицај климатских и метеоролошких процеса, топлоте, падавина, ветра...), биолошки фактори (присуство живих бића у земљишту или на њему и њихове активности), орографски фактори (утицај карактеристика рељефа) и време. Додатни, али некада веома значајни педогенетски фактори су хидролошки и хидрогеолошки фактори (утицај површинских и плитких подземних вода) и антропогени фактори (утицаји човека и његових активности).

Геолошки педогенетски фактори

Геолошки педогенетски фактори представљени су утицајем матичне стене, тј. геолошког супстрата на коме се земљиште формира. Значај овог фактора огледа се у чињеници да до 90% масе земљишног материјала потиче из геолошке подлоге. Геолошке карактеристике терена често имају пресудну улогу у одређивању физичких, хемијских и биолошких својстава земљишта.

Геолошка подлога може знатно утицати на рН вредност земљишта, па се на силикатним стенама уобичајено развијају кисела земљишта, на кречњачким базична, док су земљишта развијена на ултрамафитима (и серпентинитима као најпознатијем типу) ултрабазична. Снажан утицај матичне стене посебно је изражен у случају слабо развијених и плитких земљишта, док у зрелим земљиштима овај ефекат може бити замаскиран утицајима других педогенетских фактора, у првом реду климатских.

Климатски педогенетски фактори

Климатски педогенетски фактори представљају утицаје климатских услова на процес развоја земљишта и његових карактеристика. Најзначајнији климатски педогенетски фактори представљени су утицајима температуре, падавина и ветра.

Температурне осцилације, нарочито ако су честе и нагле, проузрокују физичко распадање стена, што је од великог значаја у предфази развоја земљишта. Високе температуре убрзавају одвијање хемијских реакција, као што су хидролиза, оксидација, редукција или карбонификација. Процес развоја земљишта је много бржи у топлим него у хладним регионима света, где је због ниских температура хемијска разградња минерала успорена. Температура утиче на микробиолошку активност у земљишту. У топлим условима, уколико у земљишту има довољно влаге, органска материја се брзо разлаже, због чега је садржај хумуса често низак, као што је случај у земљиштима тропских региона. Ниске температуре успоравају разградњу органске материје, што доводи до њеног нагомилавања у земљишту.

Од количине падавина најчешће зависи влажност земљишта, што се одражава на педогенетске процесе. У влажним (хумидним) климатима, под условом да су температурни услови умерени, процеси распадања примарних минерала се одвијају брзо. Због веће количине падавина, из земљишта се испирају базни катјони. У оваквим условима обично се образују добро развијена, дубока и кисела земљишта. У сушним (аридним) климатима разлагање примарних минерала је успорено, као и испирање продуката тог разлагања у дубље хоризонте. Услед појачаног испаравања које проузрокује узлазно кретање воде у земљишним капиларима може доћи до нагомилавања соли у површинским слојевима и формирања заслањених земљишта. У сушним условима је често микробиолошко разлагање органске материје отежано. Због

свега тога, у аридним областима се често формирају слабо развијена и плитка земљишта богата базама.

Ветар као педогенетски фактор проузрокује еолску ерозију, тј. дефлацију која подразумева одношење ситних честица са површине земљишта и акумулацију, тј. њихово таложење на неком другом месту. Уколико су ветрови превише снажни и учестали, то може отежати процес развоја земљишта. Ветар на земљиште делује посредно тако што утиче на његов топлотни и водно-ваздушни режим.

Хидролошки и хидрогеолошки педогенетски фактори

Хидролошки и хидрогеолошки педогенетски фактори представљани су утицајем подземних и површинских вода на развој и својства земљишта. Утицај плитких подземних вода некада је снажно изражен у депресијама, јер доводи до подбаривања земљишта, а некада и до замочваривања терена. Њихов утицај на земљиште може бити различит. Плитке подземне воде у сушним пределима или током сушних сезона могу представљати значајан извор влаге за вегетацију. Оне су некада богате солима које се заједно са водом капиларно могу кретати ка површини земљишта. Испаравањем воде долази до повећања концентрације соли у површинским слојевима земљишта, тј. до њиховог заслањавања.

У одређеним пределима велики утицај на земљиште и његов развој имају површинске воде, тј. плављење терена. Ово је нарочито изражено у долинама река које су склоне изливању. На тај начин земљиште се може обогатити различитим врстама материја, убрајајући соли, органске материје и честице глине, праха, песка или шљунка. Муљ који из река њиховим изливањем доспева на земљиште може повољно утицати на његову плодност. Уколико се поплавне воде предуго задрже, то може имати низ неповољних ефеката, нарочито ако су оне сиромашне кисеоником, а богате штетним материјама. У земљиштима која се дужи временски период нађу под водом услед немогућности аерације долази до појаве анаеробних услова праћених редукционим процесима током којих долази до ослобађања за биљке штетних једињења, попут метана или сумпор-водоника. У анаеробним условима развијају се поједине денитрификујуће бактерије које нитрате преводе у гасовити азот, чиме се овај елемент губи из земљишта.

Биолошки педогенетски фактори

Биолошки педогенетски фактори представљају утицај живих бића на процес развоја земљишта и његових својстава. При овоме се не мисли само на организме који живе у земљишту и представљају његов саставни део, већ и на животиње које живе ван земљишта и надземне делове биљака. Организми могу утицати на земљиште својим животним активностима и процесима у којима учествују (хумификација, минерализација органске материје, нитрификација, денитрификација, азотофиксација или стварање одређених материја које луче у земљиште). Велики утицај на земљиште има мртва биомаса, која остаје иза живих бића, након завршетка њиховог животног циклуса.

Значај **микроорганизама** у развоју земљишта је огроман још од почетних фаза педогенезе, током којих доприносе хемијском разлагању стенске масе и омогућавају обогаћивање иницијалног земљишта органским материјама у одсуству виших биљака. Највећи број микроорганизама чине хетеротрофне сапротрофне бактерије и гљиве, односно разлагачи који су неизбежна карика у биогеохемијским процесима. Микроорганизми представљају саставни део земљишта без којег не би били могући

кључни процеси у земљишту, као што су разлагање органских материја и стварање хумуса. Колики је њихов значај за плодност земљишта говори чињеница да се пољопривредним земљиштима често додају микорбиолошка ђубрива, како би се обогатио и поправио састав земљишне „микрофлоре”.

Улога **земљишне фауне** је вишеструка, а првенствено се огледа у процесима разлагања органске материје. Фаунистички хумификатори, попут кишних глиста и осталих детритивора, одговорни су за уситњавање свежих органских остатака живих бића, што омогућава даљу микробиолошку хумификацију. Кишне глисте, ларве инсеката, кртице и многи други животињски организми рију земљиште, чиме се побољшава његова структура, аерација, способност упијања и задржавања воде. Ове животиње доприносе мешању земљишних честица. Самим својим присуством у земљишту, животиње доприносе задржавању органских материја у њему, а њихови мртви остаци и екскременти подлежу хумификацији и минерализацији. На земљиште имају утицај и надземне животиње, чији фецес представља природно органско ђубриво. Интензивним гажењем од стране великог броја крупних хербивора долази до сабијања земљишта, чиме се нарушава његова структура, смањује порозност, аерисаност и могућност апсорбовања воде.

Значај **виших биљака** у педогенези је огроман, пре свега због тога што имају улогу главних примарних произвођача органске материје. Њихови мртви остаци, убрајајући надземне и подземне делове, по својој маси далеко превазилазе остатке других организама. Мртва биљна маса представља најзначајнији извор органске материје за формирање хумуса. У зависности од врсте биљака, хемијски састав биљних остатака може значајно варирати. Из тог разлога, тип вегетације понекад може бити пресудан у одређивању карактеристика хумуса и целокупног земљишта.

УТИЦАЈ ВЕГЕТАЦИЈЕ НА СВОЈСТВА И ПЛОДНОСТ ЗЕМЉИШТА

Између земљишта и вегетације постоји нераскидива веза и међусобна условљеност. Јасно је да земљиште снабдева биљке водом и неопходним елементима, али исто тако биљке снабдевају земљиште својом мртвом биомасом од које настаје хумус, утичући на тај начин на његове карактеристике. Колико је овај утицај значајан може се видети поређењем особина земљишта на којима се развијају различити типови вегетације, тј. различите животне заједнице.

Један од најупечатљивијих примера за ово представљају земљишта на којима се развија четинарска и листопадна шумска вегетација. Четинари, попут борова, смрче или јеле, испуштају киселе смоле и за собом остављају одбачене четине богате лигнином, који значајно успорава њихово разлагање од стране микроорганизама. Земљишта под четинарском вегетацијом су често кисела и сиромашна хумусом. Листопадне шуме, попут храстових и букових, доприносе стварању плоднијег земљишта, јер се њихови одбачени листови брже разлажу и утичу на стварање неутралне или благо киселе средине, идеалне за развој микроорганизама.

Посебно значајну улогу у одређивању хемијског састава земљишта и удела појединих елемената у њему имају биљке из фамилије Fabaceae (легуминозе, тј. махунарке), попут детелине, луцерке, грашка или соје. Захваљујући симбиози са азотофиксирajuћим бактеријама, ове биљке обогаћују земљиште азотом, једним од најважнијих елемената за раст биљака. Због тога се махунарке често користе у пољопривреди за побољшање плодности земљишта. Житарице попут пшенице и кукуруза троше азот из земљишта, па га је потребно надокнађивати ђубрењем. Еколошки прихватљивији начин од коришћења вештачких ђубрива је метода под називом плодored (плодосмена), која подразумева гајење различитих култура, подразумевајући и махунарке, на истом пољу у различитим годинама.

Биљке својим кореновим системима прожимају земљиште побољшавајући његову структуру и порозност. У раним фазама педогенезе коренови биљака продире у пукотине стене, доводећи до њиховог распадања и уситњавања. Биљке својим кореновима повећавају стабилност земљишта, чиме се спречава ерозија. Апсорбујући минералне материје из дубљих слојева земљишта и уграђујући их у своју биомасу која по изумирању њихових делова остаје на површини, биљке омогућавају вертикалну миграцију елемената. Својим надземним деловима формирају специфичну микроклиму (фитоклиму), нарочито у приземним слојевима атмосфере. Значај овога се највише огледа у спречавању појаве екстремних услова, тј. претераног загревања или хлађења земљишта и претераног испаравања воде.

Орографски педогенетски фактори

Релјеф као педогенетски фактор утиче на педогенезу на различите начине. Нагиб терена утиче на расподелу масе земљишта. Најдубља земљишта формирају се на равним теренима и подножјима брда и планина. Када је нагиб терена велики, процес ерозије и одношења земљишних честица је израженији. Из тог разлога, на стрмим падинама је земљиште плиће, богатије крупним фракцијама попут шљунка и камења, па је сувље јер има мањи капацитет задржавања воде. Све ово значајно утиче на плодност, тако да су земљишта у равницама и подножјима нагиба плоднија у поређењу са земљиштима развијеним на теренима под нагибом. Уколико је нагиб превелики (близу 90°), формирање земљишта је потпуно онемогућено.

Релјеф модификује климатске услове, тј. на земљиште делује на посредан начин, преко климатских педогенетских фактора. На великим надморским висинама температуре су ниже, а количина падавина већа. Окренутост ка одређеној страни света (експозиција) у великој мери условљава карактеристике топлотног режима земљишта. Све ово се у великој мери одражава на његова својства и плодност, тако да релјеф представља један од врло значајних педогенетских фактора.

Антропогени педогенетски фактори

У данашње време, човек и људска цивилизација представљају једну од најзначајнијих сила која има потенцијал да модификује многе елементе животне средине и земљиште. Велики проценат читаве површине земљишта на планети Земљи налази се под директним или индиректним утицајем човека који га користи у пољопривредне сврхе, али и као површину на којој гради своја насеља, индустријске објекте, саобраћајну инфраструктуру, одлагање отпада итд. Иако се често наводи да човек може на земљиште деловати позитивно и негативно, значајно је напоменути да се позитиван учинак односи најчешће само на пољопривредно земљиште као ресурс од којег имамо директну корист, што представља изразито антропоцентрични приступ. У контексту заштите животне средине и заштите природе, неопходно је нагласити да земљиште не представљају само пољопривредне површине и да оно није важно само са аспекта задовољавања човекових потреба, већ и за нормално функционисање природних процеса уопште.

Пољопривредне површине су под директним утицајем човека, а карактеристике њиховог земљишта човек прилагођава својим потребама, тј. потребама биљних култура које узгаја. Ово се постиже на различите начине: механичком обрадом, мелиорационим активностима, адекватном применом органских и минералних ђубрива, калцификацијом итд. На тај начин се побољшава структура земљишта, његов водно-ваздушни режим и плодност. У циљу очувања природе и заштите животне средине,

човек може позитивно деловати на непољопривредна земљишта. Примери овога су формирање вегетације на падинама у циљу спречавања ерозије земљишта, рекултивација земљишта на којима је вегетација претходно уклоњена, ремедијација земљишта контаминираних штетним материјама итд. Ипак, треба имати у виду да у већини ових случајева човек само решава проблеме које је претходно сам направио.

Негативан утицај човека на земљиште је вишеструк и представља један од највећих проблема са којим се сусрећемо, када је у питању заштита животне средине. Човек не само да негативно утиче на процесе педогенезе (успоравајући је или спречавајући), већ својим активностима може изазвати деградацију, тј. нарушавање физичких, хемијских и биолошких својстава добро развијених, зрелих и плодних земљишта, како пољопривредних, тако и оних који се не користе у те сврхе. Неки од најизраженијих начина негативног утицаја човека на земљиште су:

- уништавање и уклањање природне вегетације, рачунајући и шумски покривач (дефорестација), чиме се појачава ерозија земљишта;
- интензивна пољопривредна производња уз недовољно ђубрење, што доводи до осиромашивања земљишта хранљивим материјама;
- прекомерна и неадекватна примена пољопривредне механизације, чиме се услед сабијања погоршавају физичка својства земљишта;
- прекомерна употреба минералних ђубрива у пољопривреди и хемијских средстава за заштиту биља (пестицида), којима се нарушавају хемијска својства земљишта и проузрокује његово загађење;
- хемијско загађивање земљишта штетним материјама из индустрије, саобраћаја, рударства и одлагањем отпада или рударске јаловине;
- неадекватна мелиорација у виду наводњавања пољопривредних земљишта великим количинама воде или водом која у себи садржи штетне материје;
- дезертификација, тј. потпуни губитак плодности земљишта до којег долази комбинацијом различитих негативних ефеката;
- урбанизација и индустријализација које доводе до бетонирања, асфалтирања и поплочавања великих површина земљишта.

Како је у природи све повезано, човек у великој мери и посредно негативно утиче на земљиште. Климатске промене и смањење разноврсности живог света представљају последицу људских активности и одражавају се на све елементе животне средине, подразумевајући и земљиште.

Време као педогенетски фактор

За развој зрелог земљишта неопходан је дуг период, тако да се време у смислу старости терена често сматра посебним педогенетским фактором. Време потребно за развој земљишта може бити различито, у зависности од карактеристика осталих педогенетских фактора. Време се често означава као пасивни педогенетски фактор, јер само по себи не представља извор материја нити дејства сила у процесу педогенезе. Значај времена као педогенетског фактора је огроман, а да бисмо ово схватили потребно је само да замислимо два хипотетичка земљишта, која су се током целог процеса своје генезе налазила под идентичним утицајима педогенетских фактора (нпр. иста матична подлога, исти климатски услови, исти нагиб терена итд). Пресудан фактор у овом случају може бити време, тј. период који је протекао од почетка педогенезе и који ће одредити степен развијености земљишта.

Када се говори о времену као педогенетском фактору, битно је напоменути да се могу разликовати апсолутна и релативна старост земљишта. **Апсолутна старост земљишта** представља време изражено у годинама, које је протекло од почетка педогенезе до данас. У том смислу, можемо разликовати апсолутно млада земљишта чија педогенеза је отпочела у недавној прошлости, као што је случај са алувијалним наносима и апсолутно стара или реликтна земљишта (чернозем и црвеница). **Релативна старост земљишта** не представља протекло време изражено у годинама, већ број фаза педогенезе кроз које је то земљиште прошло, што се може установити на основу развијености његових хоризоната. На тај начин, једно исто земљиште може бити велике апсолутне старости, а мале релативне старости, што представља последицу карактера утицаја осталих педогенетских фактора.

5.6. ЗЕМЉИШНИ ХОРИЗОНТИ

Својства једног земљишта најчешће варирају у зависности од дубине, што представља последицу различитих процеса у њему и различите изложености педогенетским факторима. Ове разлике се могу огледати у физичким својствима (структури, текстури, порозности, боји), хемијском и минералошком саставу, реакцији, биолошким особинама и у плодности. Земљишта су по дубини диференцирана на посебне слојеве, који се називају генетски хоризонти. Разлог постојања разлика између хоризоната у првом реду представља миграција материја у вертикалном правцу до које долази услед кретања воде кроз земљишне капиларе. Вода проласком кроз одређене слојеве земљишта може вршити испирање честица, које у раствореном облику носи са собом до других слојева где се врши њихово акумулирање.

Број диференцираних хоризоната у једном земљишту може бити различит и зависи од његове релативне старости. Нека слабо развијена земљишта састоје се од само једног хоризонта, а у већини случајева број хоризоната је око 3–4. Генетски хоризонти се код нас у педологији означавају посебним абecedним словним ознакама и обично носе назив по доминантном процесу, који је довео до њиховог формирања. Сами хоризонти нису увек исти по читавој својој дубини, тако да се они диференцирају на подхоризонте.

Главни хоризонти који у земљиштима могу бити изражени су:

- **О – органогени хоризонт** – површински слој сачињен од неразложене или делимично разложене органске материје (шумска стеља);
- **(А) – иницијални хоризонт** – површински, слабо развијени, биолошки активан слој младих земљишта у коме још увек није дошло до формирања и акумулације хумуса;
- **А – акумулативни хоризонт** – најплоднији хоризонт земљишта у коме је дошло до акумулације хумуса;
- **Е – елувијални хоризонт** – избледели и хемијски најсиромашнији хоризонт услед интензивних процеса испирања;
- **В – илувијални хоризонт** – хоризонт у коме је дошло до акумулације материја испраних из елувијалног слоја, тако да је обogaћен материјама различите природе (минерали глине, хумусне материје, соли);
- **(В) – камбични хоризонт** – хоризонт смеђе или црвене боје обogaћен глином, али не услед испирања из елувијалног слоја, већ због израженијег образовања и накупљања минерала глине у њему;

- **G – глејни хоризонт** – хоризонт који се формира због слабе аерације или њеног потпуног одсуства услед дуготрајније испуњености земљишних пора водом;
- **T – тресетни хоризонт** – хоризонт слабо разложене материје која се акумулира услед појаве анаеробних услова;
- **C – раздробљена матична стена** – геолошка подлога у распаднутом стању;
- **R – компактна матична стена** – чврста, целовита и нераспаднута геолошка подлога.

Наведени хоризонти се не јављају у сваком типу земљишта, тј. различити типови земљишта се одликују специфичним комбинацијом и распоредом хоризоната, што представља један од битних критеријума при класификацији земљишта.

5.7. КЛАСИФИКАЦИЈА ЗЕМЉИШТА

Класификација земљишта подразумева груписање и разврставање земљишта у посебне категорије на основу заједничких својстава. Основна и најгрубља подела земљишта извршена је према типу њихове географске дистрибуције на планети Земљи. На основу тога можемо разликовати три групе земљишта: зонална, азонална и интразонална земљишта.

Зонална земљишта су зрела климатогена земљишта, што значи да су развијена у складу са макроклиматским условима региона. Распрострањена су на великим површинама, које се поклапају са макроклиматским зонама. На њима је природно заступљен одређени тип зоналне вегетације. Основни типови зоналних земљишта су:

- **латерит** (у зони тропских кишних шума) – образује се у условима топле и влажне тропске климе у процесу латеризације, који подразумева растварања силикатних минерала под утицајем топлих киша и ослобађање тровалентног гвожђа;
- **пустињско земљиште** (у зони суптропских пустиња) – иницијално земљиште у условима сурове веома сушне и топле суптропске климе;
- **сирозем** (у зони континенталних пустиња) – иницијално земљиште у условима сушне континенталне климе у унутрашњости азијског континента;
- **црвеница** (у зони тврдолисне вечнозелене медитеранске вегетације) – образује се у условима медитеранске климе коју карактеришу сушна, топла лета, благе и влажне зиме, у процесу;
- **смеђе шумско земљиште** (у зони широколисних листопадних шума) – земљиште са добро развијеним хумусним слојем, које се образује у условима умерено топле и влажне климе умерене зоне;
- **подзол** (у зони тајге) – образује се у условима умерено хладне и влажне климе, на силикатима, у процесу подзолизације који подразумева испирање растворљивих соли и глина и нагомилавања силицијум-диоксида;
- **глеј** (у зони тундре) – образује се у условима хладније и влажне климе у процесу глеизације, који подразумева акумулацију редукованих једињења гвожђа под утицајем велике влажности и подземних вода, као и услед појаве анаеробних услова;

- **чернозем** (у зони степске вегетације) – најплоднији тип зоналних земљишта који се образује у условима сушне континенталне климе, коју одликују изражена температурна колебања у зависности од годишњег доба.

Азонална земљишта се јављају у различитим климатским зонама на местима где неки одређени геоморфолошки фактор не дозвољава развој климатогеног зоналног земљишта. Процес педогенезе ових земљишта налази се под снажним утицајем ерозије или акумулације транспортованог материјала. Ти процеси ерозије, транспорта и акумулације материјала могу бити проузроковани нагибом терена и гравитацијом, кретањем површинских вода (речни наноси), ветром, вулканским активностима (вулкански пепео), итд. Ова земљишта се не могу максимално развити у складу са макроклиматским условима региона, јер се процеси ерозије и акумулације стално понављају. Из тог разлога, генетски хоризонти у њима су слабо изражени.

Интразонална земљишта се развијају под утицајем специфичних локалних фактора у оквиру одређене климатске зоне. Најчешће је њихово образовање повезано са утицајем подземних вода или специфичног минералног састава матичног супстрата. У овом случају, локални педогенетски фактори имају доминантнији утицај од климатских фактора. Овде спадају хидроморфна земљишта, која се образују у условима повећане влажности услед дужег задржавања атмосферских вода због постојања непропусног слоја. Халоморфна земљишта, која се образују под утицајем сланих подземних вода спадају у интразонална земљишта.

Главна разлика између азоналних и интразоналних земљишта је у томе што се азонална земљишта могу јавити у различитим климатским зонама, док се интразонална везана за одређену климатску зону. У случају интразоналних хидроморфних земљишта, неопходна је довољна количина падавина, барем у једном периоду године, што значи да се не могу образовати у условима сушне климе. С друге стране, један од предуслова за формирање интразоналних халоморфних земљишта је сушна клима и појачана евапорација, што омогућава повећање концентрације растворених соли у њима.

Постоје различити начини класификације земљишта. Код нас је најприхваћенија класификација према Шкорићу и сарадницима из 1985. године, која се заснива на сличностима и разликама у својствима земљишта и њиховој педогенези. Према овом систему класификације, земљишта се деле у категорије које се називају **редови**. Критеријуми за издвајање редова су карактер влажења земљишта и хемијски састав воде која учествује у том влажењу. У том смислу, постоји четири реда земљишта: ред аутоморфних земљишта, ред хидроморфних земљишта, ред халоморфних земљишта и ред субаквалних земљишта. Сваки ред се дели на **класе**, тј. групе земљишта у оквиру једног реда које имају исти распоред генетских хоризоната. Класе се деле на **типове**, који се сматрају основним јединицама класификације земљишта. Сва земљишта једног типа имају исти редослед хоризоната и иста, или веома слична својства сваког хоризонта. Типови се даље могу поделити на **подтипове** (у зависности од фазе педогенезе у којој се земљиште налази), а подтипови на **варијетете** и **форме** (према различитим критеријумима, а најчешће на основу производних карактеристика). У наставку је дат преглед редова, класа и типова земљишта заступљених на подручју Србије.

5.7.1. Аутоморфна земљишта

Аутоморфна земљишта су земљишта која се развијају без значајнијег утицаја подземних или површинских вода. У овим земљиштима не долази до прекомерног влажења, док је водни режим условљен климатским факторима, тј. падавинама и евапорацијом, а не подземним и површинским водама. Овај ред земљишта дели се на неразвијена, хумусно-акумулативна, камбична земљишта, елувијално-илувијална, антропогена и техногена земљишта.

Неразвијена земљишта

У неразвијеним земљиштима синтеза хумуса је у почетној фази, тако да се састоје само од иницијалног хоризонта ((А)) и матичне стене (С). У зависности од механичког састава и начина миграције материја, неразвијена земљишта се деле на следеће типове: камењари (литосоли), сироземи (регосоли), колувијални наноси (колувијуми) и еолски пескови (ареносоли).

Камењари (литосоли) се образују на падинама под нагибом у брдским и планинским пределима и на теренима са мањим нагибом, али на тврдим стеновитим масивима. У овом типу земљишта камење представља доминантну фракцију, што за последицу има одсуство могућности задржавања воде, те се ради о веома сувим стаништима склоним прегревању. Неутралне су реакције и сиромашни хранљивим материјама. Камењари могу бити обрасли вегетацијом мале покривности, која нема већег утицаја на њихово образовање.

Сироземи (регосоли) се образују иницијалним педогенетским процесима тамо где је процес развоја земљишта отежан због ерозије, утицаја човека или неких других неповољних фактора. Могу настати и ерозијом претходно развијених земљишта. Физичка својства ових земљишта углавном су условљена доминантном фракцијом која их изграђује, док хемијска својства зависе од типа и минералног састава матичне стене.

Колувијални наноси (колувијуми) су заступљени у подножју падина које су изложене ерозији, а образују се акумулацијом колувијалног материјала. Њихова физичка и хемијска својства примарно су одређена физичким и хемијским својствима колувијалног материјала.

Еолски пескови (ареносоли) су изразито песковита земљишта настала акумулационим еолским процесом, тј. нагомилавањем песка ношеног ветром. Ова земљишта могу бити у покрету, а вегетација доводи до њиховог смиривања. Доминантна фракција ових земљишта је песак, па имају мали водни капацитет, изразито су сува и добро аерисана. Сиромашна су хумусом и ниске производне вредности. Ареносоли се у Србији јављају на подручју Делиблатске и Суботичке пешчаре у Војводини и Рамске, Голубачке и Градиштанске пешчаре у источној Србији.

Хумусно-акумулативна земљишта

У хумусно-акумулативним земљиштима процес хумификације је интензивнији, што резултује акумулацијом хумуса и образовања акумулативног хоризонта (А) који лежи на матичној стени (С). Типови ове класе земљишта су: черноземи, смонице

(вертисоли), кречњачко-доломитне црнице (калкомеланосоли), рендзине и хумусно-силикатна земљишта (ранкери).

Черноземи су веома плодна и растресита земљишта изразито тамне боје и дубоког акумулационог слоја са великим садржајем хумусних материја. Углавном су развијени на лесу као матичној подлози, равничарским или благо заталасаним пределима и под утицајем континенталне климе, коју карактеришу хладне зиме и сушна лета. Степе представљају карактеристичан тип природне вегетације која расте на овим земљиштима. Када су у питању земљишни процеси, главне одлике чернозема су интензивна хумификација и постепена минерализација хумуса. Ова земљишта имају повољна физичка својства и повољан водно-ваздушни и топлотни режим. Типични черноземи су углавном благо базична земљишта. Код нас су највећим делом заступљени у Војводини.

ШАМПИОН У ПЛОДНОСТИ: ЧЕРНОЗЕМ

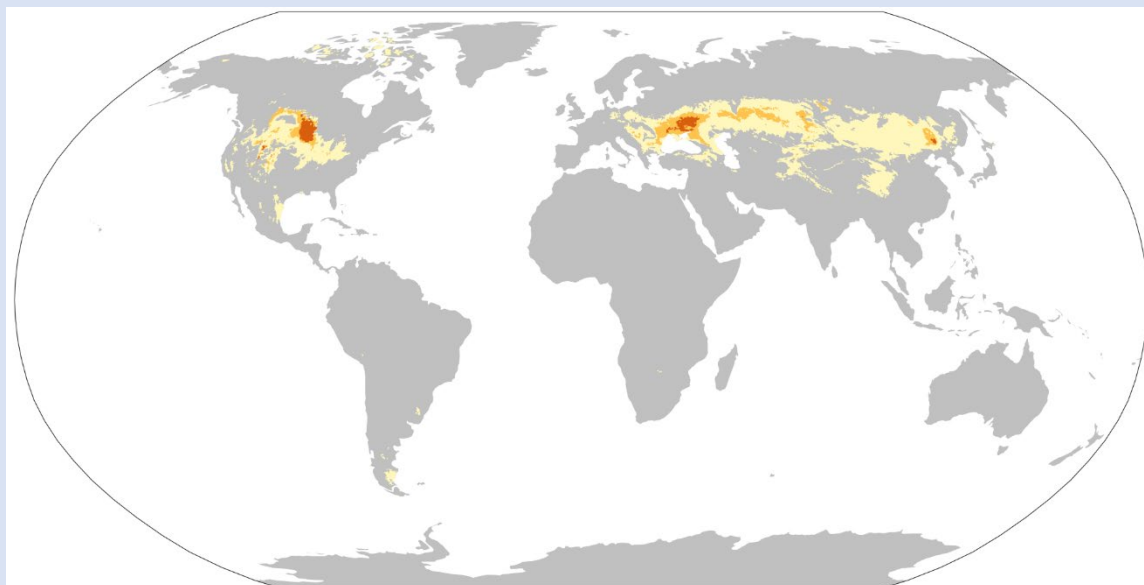
Чернозем (слика 36) је најплодније и најпродуктивније земљиште на свету које се развија под утицајем специфичних климатских и биолошких услова. Његова црна боја указује на висок садржај хумуса, што се повољно одражава на водно-ваздушна својства и на хемијски састав, који је идеалан за раст биљака и бујан развој вегетације. Природно се на овим земљиштима не развијају шуме, већ травна вегетација – степе. Тајна развоја и плодности чернозема и развоја степске вегетације на њима, крије се у узајамној повезаности и условљености која постоји између климе, земљишта и вегетације, а која се на овом примеру може јасно сагледати.



Слика 36. Профил чернозема

Чернозем се развија у условима континенталне климе коју карактерише постојање велике температурне разлике између топлог и хладног дела године. У подручјима са оваквом климом вегетација мирује два пута годишње – једном у току сушних и веома топлх лета и једном у току умерено влажних, али хладних зима. Дрвенасте врсте у оваквим климатским условима теже успевају, насупрот травним, што представља разлог развоја степске вегетације. Постојање два периода мировања вегетације у току године утиче на земљиште тако што обезбеђује нагомилавање хумуса. Земљиште се два пута у години снабдева већом количином органске материје (мртва биомаса биљака), уз истовремено успоравање микробиолошких процеса, чиме се спречава брза минерализација хумуса.

Черноземи се, као и степе, најчешће доводе у везу са непрегледним равницама Русије и Украјине. Овакав тип земљишта заступљен је и на другим местима на свету. Код нас се черноземи јављају у Војводини, под утицајем континенталне климе која допире са истока Европе, преко Панонске низије (слика 37).



Слика 37. Распрострањеност чернозема у свету према Светској референтној бази земљишних ресурса (*World Reference Base for Soil Resources*)

Због своје велике плодности, чернозем представља једно од најзначајнијих земљишта у пољопривредној производњи. На њему успевају житарице попут пшенице и кукуруза, сунцокрет, шећерна репа и многе друге културе. Управо зато су степе, некада доминантна природна вегетација источне Европе, данас у великој мери нестале – преоране су и претворене у плодна поља. Иако је чернозем благослов за пољопривреду, он истовремено представља изазов за екологију. Степе су дом многим специфичним врстама биљака и животиња, те њихов губитак значи и губитак биолошке разноврсности. Због тога је веома битно пронаћи равнотежу између искоришћавања чернозема и његовог очувања, као и очувања степских станишта.

Смонице (вертисоли) су црна, дубока, глиновита, лепљива и хумусом богата земљишта, образована на супстратима који у себи садрже висок проценат глине у равничарским или благо заталасаним областима. Ова земљишта се одликују лошим водно-ваздушним својствима због великог садржаја глине, док су им хемијске особине добре. Смонице се код нас најчешће јављају у Шумадији, источној и јужној Србији.

Кречњачко-доломитне црнице (калкомеланосоли) су земљишта богата хумусом и образована на компактним кречњачким и доломитским стенама, које нису подлегле физичком распадању, већ само хемијском разлагању. Због тога код њих одсуствује хоризонт распаднутог стенског материјала (C), тако да акумулативни хоризонт (A) лежи директно на хоризонту компактне геолошке подлоге (R). Реч је о сувим, топлим и добро аерисаним земљиштима ниског водног капацитета. Иако се развијају на карбонатним стенама, ова земљишта су претежно неутралне до киселе реакције, услед интензивног испирања карбоната.

Рендзине су земљишта која се образују на растреситим карбонатним седиментима или меким кречњацима. Најчешће настају од сирозема, а даљом педогенезом од њих могу настати смеђа земљишта. Реакција ових земљишта зависи од количине карбоната и најчешће се креће од неутралне до слабо базичне.

Хумусно-силикатна земљишта (ранкери) су хумусом богата земљишта образована на силикатним или кварцним стенама и на другим некарбонатним супстратима, претежно на вишим надморским висинама. Ова земљишта су плитка и са малим садржајем глине, тако да упркос високом садржају хумуса имају низак водни капацитет. Углавном су киселе реакције.

Камбична земљишта

Камбична земљишта настају од хумусно-акумулативних земљишта формирањем камбичног хоризонта (В). Типови земљишта у оквиру ове класе су: гајњаче (еутрични камбисоли), кисела смеђа земљишта (дистрични камбисоли), рудо земљишта на кречњаку и доломиту (калкокамбисоли) и црвенице.

Гајњаче (еутрични камбисоли) су плодна земљишта која се развијају под утицајем полусушне умерено-континенталне климе и мешовитих листопадних шума, углавном храстових. Ова земљишта имају добру текстуру и структуру, што условљава повољан водно-ваздушни режим. Гајњаче су умерено богате хумусом који се брзо минерализује. Најчешће су неутралне до слабо киселе реакције, а по плодности се налазе иза чернозема и смоница. Ова земљишта су код нас заступљена у Поморављу, Посавини, Мачви, Срему, Банату и источној Србији.

Кисела смеђа земљишта (дистрични камбисоли), познати и као смеђа шумска земљишта, образују се на силикатним стенама и претежно већим надморским висинама, на падинама северне експозиције, у условима хладне и влажне варијанте умерено-континенталне климе. У природи се претежно налазе под буковим, четинарским и мешовитим листопадно-четинарским шумама, али и под ливадском и пашњачком вегетацијом. Настају даљим педогенетским развојем ранкера. Добро су аерисана и слабо вододржива. Киселе су реакције, а садржај хумуса може варирати, у зависности од надморске висине и типа вегетације под којом се налази.

Рудо земљишта на кречњаку и доломиту (калкокамбисоли) се развијају на тврдим кречњацима и доломитима, на већим надморским висинама крашких подручја. Настају од кречњачко-доломитне црнице. Добро пропуштају воду и ваздух, тако да су махом топла и сува. Садржај хумуса у овим земљиштима зависи од надморске висине и типа вегетације под којом се налазе. Највећим делом су слабо киселе реакције. Код нас су ова земљишта заступљена на Динарским и Карпатско-балканским планинама.

Црвенице су глиновита земљишта образована на тврдим и чистим кречњачким стенама на надморским висинама од преко 500 m, превасходно у условима медитеранске климе, коју карактеришу топле и влажне зиме и веома топла и сушна лета. Црвенице се развијају и у условима специфичне варијанте умерено-континенталне климе. Средње су порозности, добро су аерисана и имају средњи водни капацитет. Веома су сиромашне фосфором, а плодност им зависи од дубине. Уколико су довољно дубоке, црвенице су идеалне за узгајање винове лозе. У Србији је овај тип земљишта заступљен у Шумадији и Рашкој, на Сувој планини, Кучајским планинама итд.

Елувијално-илувијална земљишта

Елувијално-илувијална земљишта карактерише изражена миграција материја у вертикалном правцу под утицајем кретања воде (елувијално-илувијални процеси), тако да долази до формирања елувијалног (Е) и илувијалног (В) хоризонта. У ову класу спадају илимеризована земљишта (лувисол), подзоли и смеђа подзоласта земљишта (бруниподзоли).

Илимеризована земљишта (лувисоли) се образују у условима влажније умерено-континенталне климе, на надморској висини између 500 и 600 m, на различитим геолошким подлогама, изузев глинених. Природно се налазе под шумском вегетацијом (храстовим, грабовим, буковим, листопадно-четинарским и ређе четинарским шумама). Претежно настају од камбичних земљишта у процесу под називом илимеризација или лесивирање. Лувисоле карактерише средњи водни капацитет и добра аерација акумулативног (А) хоризонта. Под природном вегетацијом, ова земљишта имају велики садржај хумуса. Реакција им је слабо кисела, а у илувијалном хоризонту може бити и неутрална. Лувисоли су код нас заступљени у западној Србији, а делом и на Косову и Метохији.

Подзоли се развијају на великим надморским висинама, при ниским температурама и великом количином падавина. На њима се развијају четинарске шуме смрче, јеле и белог бора. Могу настати од ранкера или подзолизацијом киселих смеђих земљишта. Подзолизација представља крајњу фазу у педогенези аутоморфних земљишта. Подзоли су песковита и водопрпусна земљишта. Имају велики садржај сировог хумуса, јер је биолошка активност микроорганизама због ниских температура слаба, те је и минерализација успорена. Подзоли су изразито кисела земљишта.

Смеђа подзоласта земљишта (бруниподзоли) су слична подзолима, али у њима одсуствује елувијални (Е) хоризонт. Развијају се на киселим стенама, на већим надморским висинама у условима хладне и влажне климе и под четинарском шумском вегетацијом (углавном под смрчевим шумама). Специфичност ових земљишта је присуство комбинованог хумусно-подзоласог (А/Е) хоризонта у коме истовремено долази до испирања различитих материја и акумулације хумуса. Бруниподзоли су добро аерисана земљишта, релативно малог водног капацитета. Богати су хумусом и изразито су киселе реакције. Код нас се овај тип земљишта јавља на високим планинама, на надморским висинама између 1400 и 1900 m.

Антропогена земљишта

Антропогена земљишта настају под утицајем човека, тј. механичком обрадом земљишта, при чему често долази до измена природног распореда хоризоната и педогенетских процеса. У овим земљиштима постоји посебан тзв. оранични хоризонт (Р). Риголована земљишта (ригосоли) и баштенска земљишта (хортисоли) су типови у оквиру ове класе. **Ригосоли** настају дубоким орањем (риголовањем) земљишта за потребе пољопривредне производње, при чему долази до мешања већег броја природних генетских хоризоната. **Хортисоли** су земљишта која настају након дугогодишњег узгајања поврћа или украсних биљака, уз дубоку обраду, интензивно ђубрење органским ђубривима, интензивно наводњавање и при интензивним активности земљишних животиња, као што су кишне глисте.

Техногена земљишта

Техногена земљишта настају под утицајем индустрије и урбанизације, тј. одлагањем и наношењем различитих материјала, попут јаловине или отпада. Веома су лоших физичких, хемијских и биолошких својстава. Овде спадају земљишта депонија (депосоли), наноси из отпадних вода (флотисоли) и наноси из ваздуха (аеропреципитати).

5.7.2. Хидроморфна земљишта

Хидроморфна земљишта се образују под изразитим утицајем подземних или надземних поплавних вода, тј. у условима прекомерног влажења. Због засићености водом, у појединим хоризонтима ових земљиштима често долази до појаве анаеробних услова који проузрокују оглејавање и развој глејних (G) и псеудоглејних (g) хоризоната. Овом реду припадају следеће класе земљишта: псеудоглејна, флувијативна, флувијативно-глејна (полуглејна) и глејна земљишта.

Псеудоглејна земљишта

Псеудоглејна земљишта се образују под утицајем задржавања атмосферских вода изнад непропусног слоја земљишта, у одређеном делу године. У ову класу спада тип земљишта под називом **псеудоглеј**. За његово формирање неопходни су специфични климатски и орографски услови: годишња количина падавина преко 700 mm, неравномерна расподела падавина током године у виду постојања кишне и сушне сезоне и раван или благо заталасан терен (без већих нагиба који проузрокују површинско отицање падавинских вода). Псеудоглеј се формира првенствено на нижим надморским висинама (до 600 m), на геолошкој подлози представљеној дубоким и растреситим седиментима, који су сиромашни базама и под листопадним шумама. Одликује се неповољним физичким својствима, што проузрокује брзо исушивање након завршетка влажне фазе током које се као проблем јавља недостатак ваздуха. Садржај хумуса у псеудоглеју је мали или средњи, а реакција им је најчешће слабо кисела. Овај тип земљишта је код нас заступљен у Посавини, западној Србији, Поцерини, Мачви, Метохији итд.

Флувијативна земљишта

Флувијативна земљишта се образују поред река, језера или мора, под утицајем поплавних вода чиме је онемогућено формирање акумулативног (A) хоризонта. Тако се на њиховој површини развија само иницијални ((A)) хоризонт који лежи на алувијалним седиментима (C).

Типично земљиште ове класе које се јавља код нас је **алувијално земљиште (флувисол)**. Алувијална земљишта су често обрасла тополовим или врбовим шумама. Клима узима мањи утицај на развој овог земљишта, јер пресудну улогу има поплавна вода и рељеф, тако да се флувисоли јављају у различитим климатским зонама. Физичка својства им могу варирати у зависности од карактеристика алувијалних наноса. Најчешће их одликује песковита, иловаста текстура и одсуство изражене структуре. Имају мали садржај хумуса, а након изградње насипа којима се спречава плављење, могу се користити као пољопривредна земљишта повољних физичких и хемијских својстава. Алувијална земљишта су заступљена у долинама свих већих река Србије.

Флувијативно-глејна (семиглејна) земљишта

Флувијативно-глејна земљишта се образују под утицајем дубљих подземних вода. Према томе, подземне воде утичу само на дубље слојеве земљишта. Услед одсуства аерације већим дубинама, глејни (G) хоризонт се развија испод супстрата (C).

Ливадска црница (хумофлувисол) спада у ову класу земљишта. Обично се образује у плавним речним долинама, на нижим надморским висинама и на равном терену. Ливадска црница може настати од флувисола, а даљим развојем од ње може настати чернозем или неки други тип земљишта у зависности од климатских услова. Ово земљиште се одликује великом дубином, добро развијеним акумулативним хоризонтом, повољним водно-ваздушним особинама и високом плодношћу. Ливадска црница се у Србији јавља у долинама већих река.

Глејна земљишта

Глејна земљишта настају под утицајем подземних вода. За разлику од семиглејних, у глејним земљиштима се подземна вода некада издиже до саме њихове површине, тако да њеном утицају нису изложени само дубоки слојеви, већ и они на малој дубини. Типови глејних земљишта су ритска црница (хумоглеј) и мочварно глејно земљиште (еуглеј).

Ритска црница (хумоглеј) се образује у долинама великих река, на местима где ниво подземне воде варира у зависности од водостаја реке. На ритским црницама се развијају топове и врбове шуме или влажне ливаде. Најчешће имају висок садржај глине, што проузрокује неповољан водно-ваздушни режим. Са аспекта хемијских својстава, ова земљишта су веома повољна и плодна, па се често користе у пољопривредне сврхе. Код нас се ритска црница јавља у долинама већих река, нарочито у Војводини.

Мочварно глејно земљиште (еуглеј) је земљиште које се развија у депресијама под утицајем подземних вода које имају висок ниво током целе године. У овим земљиштима долази до оглејавања, а због одсуства ваздуха изражени су анаеробни процеси трансформације органских материја. Физичка својства еуглеја су неповољна, док хемијска могу знатно варирати. Обично су неутралне до слабо базичне реакције, мада некада могу бити и киселе. Услед анаеробних процеса долази до настанка токсичних редукованих једињења, попут метана и водоник-сулфида. У природи на овим земљиштима расту биљке које добро подносе недостатак кисеоника у земљишту. Хидромелиоративним радовима мочварна глејна земљишта се претварају у пољопривредна. Код нас су ова земљишта претежно заступљена у Војводини.

Тресетна земљишта

Тресетна земљишта се развијају у превлаженим и анаеробним условима који онемогућавају разградњу органске материје, што доводи до њеног нагомилавања и формирања тресета и тресетног (Т) хоризонта, чија дубина некада може износити и неколико метера. Могу се разликовати ниски тресет (планохистосол), издигнути тресет (акрохистосол) и прелазни тресет.

Ниски тресет настаје у депресијама у којима се вода током целе године налази изнад површине земљишта и где расте бујна вегетација сачињена од трске, рогоза, шаши итд. Код нас се јавља у Војводини.

Издигнути тресет се формира на великим надморским висинама, при ниским температурама, у условима велике влажности ваздуха и велике количине падавина. Од биљака у овако специфичним условима, претежно успевају само сфагнумске маховине, чији се остаци отежано разлажу услед ниских температура, анаеробних услова и ниских рН вредности. Њиховим нагомилавањем формира се сфагнумски или прави тресет. Издигнути тресет се може наћи на већим надморским висинама на Копаонику, Голији, Гочу, Власини итд.

Прелазни тресет по својим одликама представља комбинацију ниског и издигнутог тресета.

Антропогена хидроморфна земљишта

Антропогена хидроморфна земљишта настају као последица примене хидротехничких радова. У овој класи земљишта постоје следећи типови: хидромелиорисана земљишта која настају или одбраном од поплава и одводњавањем или наводњавањем, затим риголована тресетна земљишта која настају претварањем тресетних земљишта у обрадива и земљишта пиринчаних поља која настају намерним плављењем.

5.7.3. Халоморфна земљишта

Халоморфна земљишта или слатине настају под утицајем вода у којима су растворене соли. У овај ред земљишта спадају солончак, солоњец и солој. У Србији су халоморфна земљишта претежно заступљена у Војводини.

Солончак је стално заслањено земљиште богато растворљивим солима (претежно хлоридима и сулфатима) и слободним натријумовим јонима у земљишном раствору. Овај тип земљишта настаје у процесу салинизације (заслањивања). Да би дошло до његовог образовања, неопходан је висок ниво подземне воде, која се обогаћује солима проласком кроз слани супстрат (морски седимент или продукти распадања магматских стена). Ова вода испарава преко површине земљишта, док соли остају у њему, тако да се њихова концентрација временом повећава. Солончаци се образују у условима сушне климе у којима је узлазно кретање воде кроз земљиште израженије од инфилтрације воде атмосферског порекла, која би иначе онемогућила или ублажила процес салинизације. Углавном су обрасли вегетацијом мале покривности, коју сачињавају биљне врсте прилагођене на висок садржај соли. Ова земљишта су сиромашна хумусом, богата калцијум-карбонатом и неутралне су реакције.

Солоњец је халоморфно земљиште сиромашно растворљивим солима у коме су натријумови јони везани за адсорптивни комплекс честица. Ова земљишта настају као резултат два истовремена процеса – десалинизације и алкализације. Десалинизација (одсољавање) представља процес испирања лако растворљивих соли из заслањеног земљишта услед повећања количине падавина и количине инфилтриране воде атмосферског порекла, уз истовремено спуштање нивоа слане подземне воде, чиме је

процес салинизације онемогућен. Алкализација представља процес повећања рН вредности земљишта услед адсорпције натријумових јона за адсорптивни комплекс земљишних честица. Према томе, ова земљишта су базична, а некада чак и ултрабазична. У случајевима интензивне алкализације може доћи до хидролизе минерала глине и испирања хумуса.

Солођ је халоморфно земљиште сиромашно растворљивим солима и адсорптивно везаним натријумовим јонима који су замењени јонима водоника. Ово земљиште настаје деалкализацијом и ацидификацијом солоњеца, до чега долази губитком натријумових јона и повећањем концентрације водоникових јона. Према томе, солођ представља кисело земљиште, а пошто су натријумови јони из њега испрани, повољнији је за развој биљака.

5.7.4. Субаквална земљишта

Субаквална (субхидрична или подводна) земљишта се образују под водом, тј. испод плитке језерске, барске и морске воде. У оваквим условима, процеси педогенезе се одвијају заједно са процесима седиментације материјала, који вода доноси. Типови ових земљишта су протопедон, гитја, дај и сапрогел. Одводњавањем и исушивањем ова земљишта даље еволуирају у аутоморфна.

ПИТАЊА:

1. Шта је педосфера и која је главна разлика између земљишта и стенског материјала?
2. Шта се подразумева под физичким својствима земљишта?
3. Шта је текстура, а шта структура земљишта?
4. Шта представља порозност земљишта и због чега је значајна?
5. Како се одређује влажност земљишта?
6. Који све облици воде постоје у земљишту?
7. Шта је то водни капацитет земљишта?
8. Од чега се састоји водни режим земљишта?
9. Шта се подразумева под ваздушним својствима земљишта?
10. Шта су топлотни и температурни режим земљишта?
11. Који елементи улазе у састав земљишта?
12. Које су најзначајније групе земљишних минерала?
13. Шта је хумус и како настаје?
14. Како се земљишта деле у зависности од реакције земљишног раствора?
15. Шта се подразумева под биолошким својствима земљишта?
16. Шта је то педогенезе и који су педогенетски фактори?
17. Шта су то генетски хоризонти земљишта и зашто се образују?
18. Каква земљишта могу бити у зависности од типа дистрибуције на планети?
19. Који су основни редови, класе и типови земљишта у Србији?
20. На основу педолошке карте, литературних извора и интернета утврдите који тип земљишта је доминантно заступљен у Вашем крају. Који педогенетски фактори и процеси играју кључну улогу у образовању тог типа земљишта? Какве су његове карактеристике? Која природна вегетација се на њима јавља? Које биљне културе се гаје у Вашем крају и да ли на то има утицај тип земљишта?

6. ХИДРОСФЕРА

Циљ: упознавање са својствима воде и њеном дистрибуцијом на планети Земљи. Савладавањем овог градива стичу се услови за разумевање значаја воде као еколошког фактора и значаја стајаћих и површинских вода као животних станишта.

Резиме: Хидросфера је водени омотач планете Земље који се налази на Земљиној површини и испод ње. Вода представља неорганско једињење које је по много чему специфично. У природи се налази у сва три агрегатна стања. У молекулу воде два атома водоника су повезана са једним атомом кисеоника ковалентним везама. Највећи проценат воде на Земљи налази се у морима и океанима који заједно чине светско море. Океани су делови светског мора који су мање или више ограничени континентима, док су мора делови океана који су у одређеној мери ограничени копном или узвишењима у рељефу испод воде. Копнене воде могу бити подземне и површинске. Подземне воде су воде које се налазе у унутрашњости Земљине коре, тј. испод Земљине површине. Површинске воде могу бити текуће (реке), које се крећу у једном смеру одређеном брзином у зависности од нагиба терена и под утицајем Земљине гравитације и стајаће (језера и баре), које мирују у смислу да немају свој ток одређеног смера.

Хидросфера (од грч. *ὕδωρ* – вода и *σφαῖρα* – лопта, сфера) представља **водени омотач планете Земље, тј. дисконтинуирани слој воде који се налази на Земљиној површини и испод ње (подземне воде)**. Такође, водена пара у атмосфери истовремено припада и хидросфери. Вода која чини хидросферу налази се у сва три агрегатна стања. Воду као хемијско једињење чини један молекул кисеоника и два атома водоника (H_2O). Важно је напоменути да све воде на Земљи у себи садрже мању или већу количину растворених материја и гасове. Процењена запремина хидросфере износи око 1,36 милијарди кубних километара, а процењена маса око $1,4 \times 10^{18}$ тона. Водом у течном стању је прекривено око 71% површине Земље, што чини 361 милион квадратних километара, те се Земља из тог разлога често назива Плавом планетом.

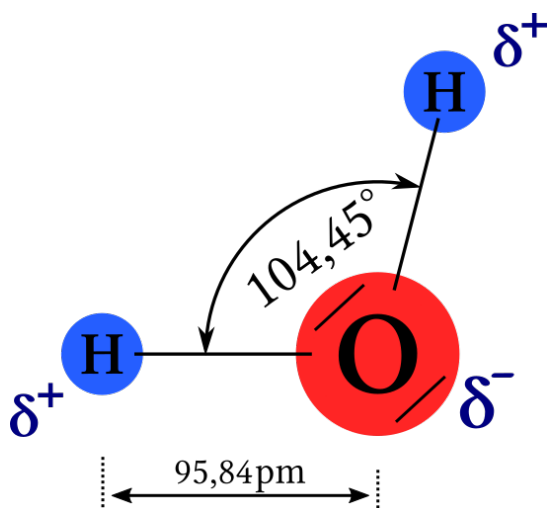
6.1. ВОДА И ЊЕНА СВОЈСТВА

Вода представља неорганско једињење које је по много чему специфично, због чега се често понаша другачије од других једињења. У великом распону температуре (0–100°C), вода је течност. У природи је присутна у чврстом (лед) и гасовитом (водена пара) агрегатном стању. Разлог за многобројна специфична својства воде леже у њеном саставу и структури молекула. Постоје и други називи за ово једињење, као што су водоник-оксид или водоник-хидроксид, али је једноставан термин „вода” општеприхваћен у науци. Према *IUPAC*-у (енг. *International Union of Pure and Applied Chemistry* – Међународна унија за чисту и примењену хемију), вода (енг. *water*) је исправан термин за ово једињење, али се као њен систематски назив наводи *oxydane*.

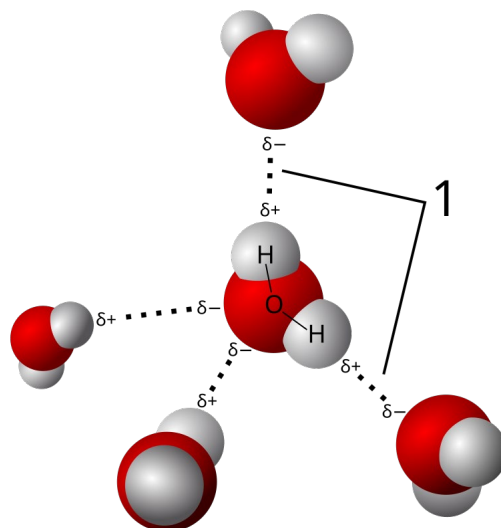
6.1.1. Структура молекула воде

У молекулу воде два атома водоника су повезана са једним атомом кисеоника ковалентним везама. Молекул воде има облик тетраедра у чијем центру се налази језгро атома кисеоника док се у његова два угла налазе језгра два атома водоника и два пара електрона. Замишљене дужи које повезују центар атома кисеоника са центрима два атома водоника формирају угао од $104,45^\circ$ (слика 38). Језгра атома водоника и кисеоника имају позитивно наелектрисање, док се око њих крећу негативно наелектрисани електрони образујући електронски облак.

Једна од важних одлика воде као хемијског једињења јесте **поларност**, што значи да молекул воде има диполни карактер. Структура молекула воде је таква да је са једне стране мало негативнији него са друге. Разлог за је што је кисеоник електронегативнији од водоника. Иако је молекул воде као целина неутралан, његова кисеонична страна има благо негативно наелектрисање, док водонична страна има благо позитивно наелектрисање. Због тога се између два суседна молекула воде успостављају слабе водоничне везе (слика 39), које проузрокују да се вода понаша као течност на температурама од 0 до 100° . Поларни карактер воде омогућава одвијање различитих реакција са другим супстанцама и њен растварачки капацитет.



Слика 38. Шематски приказ молекула воде



Слика 39. Модел водоничних веза (1) успостављених између појединачних молекула воде

6.1.2. Агрегатна стања воде

Вода се на планети Земљи налази у свим агрегатним стањима, а највише је заступљена вода у течном стању. Термин „вода” у српском језику може означавати воду као хемијско једињење независно од агрегатног стања, али исто тако се под њим може подразумевати само вода у течном стању, док за воду у чврстом и гасовитом стању постоје посебни термини – лед и водена пара. Ово важи и у енглеском језику (енг. *water* – вода уопште или вода у течном стању; *ice* – лед; *water vapour*, *steam* – водена пара), као и у многим другим језицима.

Агрегатно стање воде на планети Земљи зависи од растојања између молекула воде, као и од јачине и сталности веза које се између њих успостављају. Фактори који на то утичу су температура и притисак. С обзиром да је колебање атмосферског притиска знатно мање изражено од колебања температуре, сматра се да топлотна енергија коју вода прима има пресудну улогу.

Вода у течном стању се састоји од молекула између којих су успостављене водоничне везе које им не дозвољавају да се удаљавају једни од других. Како су у питању слабе хемијске везе, оне се могу раскидати, али се истовремено и непрестано формирају нове, што условљава течно агрегатно стање воде. У води која је у течном агрегатном стању доминирају дихидроли ($(\text{H}_2\text{O})_2$), што значи да су водоничним везама повезана по два молекула воде. Овакво стање влада при температурама од 0 до 100°C и при притиску од 1 атмосфере. У води су тада истовремено присутни и појединачни молекули воде, тј. монохидроли (H_2O) и трихидроли ($(\text{H}_2\text{O})_3$), али у мањем проценту. Довођењем или губитком енергије, тј. повећањем или снижавањем температуре воде, мења се процентуална заступљеност монохидрола, дихидрола и трихидрола у њој, што коначно доводи до промене њеног агрегатног стања из течног у гасовито, односно чврсто.

При довођењу топлотне енергије и повећању температуре воде у њој расте процентуална заступљеност монохидрола, тј. долази до раскидања водоничних веза између њених молекула. Монохидроли, тј. појединачни молекули воде, крећу се независно једни од других, при чему су довољно удаљени тако да не долази до њиховог сударања у већој мери. Са површине константно долази до процеса ослобађања монохидрола, тј. до преласка воде из течног у гасовито стање – **водену пару**, а овај процес се назива **испаривање** или **евапорација**. Овај процес је праћен утрошком топлотне енергије. Степен испаравања је зависан од температуре и атмосферског притиска и од zasiћености ваздуха воденом паром. Уколико се у ваздуху већ налази велика количина водене паре, испаравање ће бити отежано. Капацитет ваздуха да прими водену пару зависи од температуре. Према томе, топао ваздух може у себи садржати већу количину водене паре у поређењу са хладним.

Иако су испаравање и његова брзина зависи од топлотне енергије, битно је знати да се овај процес стално одвија чак и при релативно нижим температурама само у мањим количинама, што је веома значајно за кружење воде у природи. Иако се некада може чути да вода прелази у гасовито стање на 100°C , то није тачно. Оно што се дешава при овој температури је **кључање** воде, тј. процес при коме вода знатно брже прелази у гасовито стање унутар читаве своје запремине (не само са површине као у случају испаравања), што је праћено формирањем мехурића у њеној унутрашњости и њиховим избацивањем у ваздух. Температура при којој вода кључа на нивоу мора износи 100°C и назива се тачком кључања. Заједно, тачка кључања и тачка мржњења воде послужиле су као референтне вредности за формирање Целзијусове скале за температуру. Тачна температура на којој ће вода кључати зависи од атмосферског притиска. Са порастом надморске висине, атмосферски притисак се смањује, тако да нпр. на Монт Евересту вода кључа већ на око 70°C .

Процес који је супротан евапорацији, тј. фазни прелаз водене паре у (течну) воду, назива се **кондензација** и до њега долази хлађењем. За разлику од испаравања, приликом кондензације долази до ослобађања топлотне енергије. Вода настала кондензацијом водене паре назива се кондензат. Поред температуре, битан фактор од кога кондензација зависи јесу атмосферски притисак и zasiћеност ваздуха воденом паром. Оно што је неопходно да би до овог процеса дошло јесте присуство ситних честица у ваздуху око којих ће се формирати ситне капи воде у течном стању. Ове честице се називају језгра кондензације и у њих спадају честице прашине, распршена

морска со, одређени молекули и јони, микроорганизми, али и загађујуће материје, оксиди сумпора и азота итд. Кондензација се може одвијати и у контакту водене паре из ваздуха са неком чврстом површином или са водом у течном стању.

Прелазак воде из течног у чврсто стање, односно **лед**, назива се **мржњење** и до њега долази хлађењем воде, односно снижавањем температуре до 0°C . Присуство одређених материја растворених у води може променити тачку мржњења, тако да се морска вода због растворених соли у себи мрзне тек на око $-1,9^{\circ}\text{C}$. Вода се може охладити до још нижих температура, а да при том не дође до њеног преласка у чврсто стање. Овај процес се назива потхлађивање воде и да би до њега дошло потребно је да вода не садржи језгра кристализације, тј. да буде изузетно чиста и да је у потпуном стању мировања, што је ретко случај у природи.

Процес мржњења је праћен ослобађањем топлотне енергије. Приликом мржњења воде, водоничне везе између њених молекула постају јаче и стабилне, тако да су молекули у леду фиксирани. На тај начин се формира правилна хексагонална кристална решетка, због чега се лед може сматрати минералом, јер представља чврсту неорганску супстанцу уређене структуре. Снег представља воду у чврстом стању, јер снежне пахуље изграђују ледени кристали.

Обрнут процес од мржњења воде је **топљење** леда, тј. прелазак из чврстог у течност стање и до њега долази на температурама вишим од 0°C или на нешто нижим температурама, у зависности од концентрације растворених материја у води.

Важно је напоменути да поред испаравања и кондензације, односно мржњења и топљења, постоје процеси који подразумевају директан прелаз воде из чврстог у гасовито стање и обрнуто. Водена пара може директно прећи у лед и тај процес се назива **депозиција**. Овај процес се дешава воденој пари на температурама испод 0°C , при чему не долази до њеног претходног кондензовања у воду. На тај начин у природи настају мраз, иње или слана, као и снег. Обрнут процес, тј. „испаравање леда” и његов директан прелаз у водену пару назива се **сублимација**. Овај процес се одвија при температурама нижим од 0°C , што значи да се са површине леда директно могу ослобађати монохидроли. Снежни покривач се може смањити не само топљењем, већ и директним испаравањем под утицајем Сунчевих зрака.

Густина воде зависи од агрегатног стања и температуре. Код осталих супстанци у природи густина се смањује са порастом температуре и агрегатног стања, из чврстог у течност и из течност у гасовито. Са водом то није случај, јер лед као облик воде у чврстом агрегатном стању има мању густину од воде у течном агрегатном стању. У кристалној решетки леда међусобна удаљеност молекула је већа него у води. Разлог за то лежи у карактеристикама самих молекула воде и водоничних веза, које се између њих успостављају. Молекули су компактније распоређени у води него у леду, што значи да вода приликом преласка у лед повећава своју запремину за око 9% (шири се), чиме се густина смањује. Највећу густину (1 g/cm^3) вода има на око 4°C . На овој температури заступљеност диоксида у води достиже свој максимум, а међусобна растојања између молекула воде су најмања. Повећањем температуре изнад ове вредности, у њој се повећава заступљеност монохидрола на рачун диоксида, самим тим и просечна међусобна удаљеност молекула, што за последицу има смањење густине. Снижавањем температуре испод 4°C долази до смањења њене густине, јер у води почињу да се стварају стабилне водоничне везе и структуре, које заузимају више простора. Овакав однос температуре воде и њене густине, као и чињеница да је лед мање густ и лакши од воде, представља **физичку аномалију воде**.

„НЕВЕРОВАТНА ЛАКОЋА ЛЕДА”

Физичке аномалије воде су од великог значаја за природу уопште. Како лед има мању густину од воде у течном стању, то значи да је лакши од ње. Због тога се лед формира на површини неког воденог екосистема (слика 40), а да је тежи од воде, падао би на дно. У том случају, мржњење воде би се одвијало од дна према горе, што би последично довело до потенцијалног потпуног замрзавања и до смрти свих организама који ту живе.



Слика 40. Лед плута на површини воде

Како лед плута на површини воде, истовремено изолује воду од хладног ваздуха и тиме редукује даљи губитак топлотне енергије. Пошто може бити мање-више провидан, кроз лед могу пролазити Сунчеви зраци, што омогућава одвијање фотосинтезе и загревање воде. На тај начин, у току најхладнијих периода године, површинске воде се замрзну само својим горњим слојевима, а живот у њима наставља да се одвија.

ВОДА ЈАЧА ОД СТЕНА

Особина воде да се шири приликом мржњења је веома значајна у распадању стена. Мразно разарање је најснажнији вид физичког разарања стена и њиховог уситњавања. Када се пукотина у стени испуни водом, у случају мржњења воде, лед који се при томе ствара се шири и доводи до повећања пукотине. Када се лед поново отопи, вода испуњава новонастали простор пукотине, а када поново дође до мржњења процес се понавља. Наизменичним мржњењем и топљењем пукотине у стенама постају све веће. Овакав начин дробљења стенске масе је посебно интензиван у периодима када температура ноћу падне испод нуле, а током дана пређе у плус, што је у умереној зони доста чест случај током зиме. По истом принципу, наизменично мржњење воде и топљење леда доводи до оштећења инфраструктуре, путева, темеља зграда и сл., а мржњење воде у водоводним цевима може проузроковати њихово пуцање.

6.1.3. Вода као растварач

Вода је један од најзначајнијих и најуниверзалнијих растварача у природи, што представља последицу поларности њених молекула. Поред тога што се између молекула воде успостављају водоничне везе, њихова поларност им омогућава интеракцију са другим поларним молекулима и јонима. Због изражене поларности њених молекула, у води долази до јонизације, тј. електричне дисоцијације киселина, база и соли, тј. њиховог распадања на јоне или молекуле од којих су састављени.

Растварање у води је физички процес, јер се под њим подразумева распадање одређених супстанци на јоне, не узимајући у обзир потенцијално формирање нових хемијских једињења, нити интеракција насталих јона са водом. Под **хидратацијом** се подразумева процес интеракције воде са јонима или молекулима, при чему долази до формирања комплексних хидратисаних структура. Процесу хидратације подлежу поларне кристалне супстанце, при чему привлачне силе између молекула воде и јона кристала постају доминантније од привлачних сила између честица, које чине

кристалну решетку. У том случају, јони напуштају кристалну решетку и бивају окружени молекулима воде, тј. хидратисани, те се називају **хидратима**. Хидратација представља посебан облик солватације (уопштени назив окруживања јона или молекула молекулима било ког растварача) у којој улогу растварача има вода. Све ове процесе треба разликовати од хидролизе, тј. хемијске реакције растворене материје са водом.

Вода не раствара подједнако добро сва једињења, тј. супстанце се међусобно разликују по својој растворљивости у њој. Најбоље се растварају поларна и јонска једињења, а најслабије неполарна једињења чији молекули немају изражене електричне диполе (немају позитивно и негативно наелектрисане стране). Када се натријум-хлорид (NaCl) раствори у води, молекули воде окружују јоне натријума (Na^+) и јоне хлорида (Cl^-), одвајајући их једне од других, при чему се међу њима смањује електростатичко привлачење. Поред хлорида, у природним водама се често у раствореном стању налазе соли сулфата, хидрогенкарбоната итд. Растворљивост соли у води зависи од њихових хемијских карактеристика и физичких својстава воде, као што су температура и притисак. Добру растворљивост у води имају хлориди калцијума (CaCl_2), магнезијума (MgCl_2) и натријума (NaCl), док се карбонати калцијума (CaCO_3) и магнезијума (MgCO_3) релативно слабије растварају. Растворљивост већине соли углавном расте са повећањем температуре воде до одређене вредности, док је у случају мањег броја соли, попут сулфата литијума (LiSO_4) и калцијума (CaSO_4), обрнута ситуација – растворљивост им се смањује са повећањем температуре воде. Присуство јона растворених соли у води представља њену **минерализацију**. Вода може растворити многа органска једињења (шећере, аминокиселине), нарочито она која имају поларне молекуле или хидрофилне групе.

Поред чврстих супстанци, у води се добро растварају гасови, који у природне воде доспевају директно из ваздуха или захваљујући физиолошким процесима живих бића у води, као што су респирација (при чему се ослобађа угљен-диоксид), фотосинтеза (при чему се ослобађа кисеоник) итд. Као и у случају чврстих материја, растворљивост гасова зависи од њихових хемијских карактеристика, температуре и притиска. Добру растворљивост у води имају поларни гасови (угљен-диоксид, амонијак, хлороводоник), док се неполарни гасови (кисеоник, водоник, азот) слабије растварају. **Са повећањем температуре воде смањује се растворљивост гасова у њој.** Због тога су хладне воде планинских потока или језера богатије кисеоником од топлих вода у низијама или тропским областима. Треба имати у виду да количина гасова у неком воденом екосистему зависи од односа респирације и фотосинтезе у њему. Према Хенријевом закону, **количина гаса која је растворена у некој течности директно је пропорционална парцијалном притиску тог гаса над течношћу, при датој температури**, што значи да се са повећањем притиска одређеног гаса у ваздуху (тј. повећањем његове концентрације у ваздуху) повећава могућност његовог растварања у води.

6.1.4. Хемијски састав природних вода

У хемијском смислу, вода је неорганско једињење које настаје сагоревањем водоника у кисеонику, при чему се ослобађа знатна количина енергије. Воду чине две запремине водоника и једна запремина кисеоника, док је у масеном смислу 11,11% чини водоник, а 88,89% кисеоник. Молекули који су изграђени од атома кисеоника молекуларне масе 16 (^{16}O) и молекула водоника молекуларне масе 1 (^1H) чине обичну воду молекуларне масе 18. У природи су присутни изотопи кисеоника и водоника са другачијим молекуларним масама (^{17}O и ^{18}O , ^2H – деутеријум и ^3H – трицијум).

Молекуларна маса молекула воде не мора увек бити 18, већ може бити и 19, 20, 21 и 22. Молекули воде са већом молекуларном масом од 18 чине тешку воду, која има нешто другачија својства од обичне воде. Заступљеност тешке воде у природи је неупоредиво мања од заступљености обичне воде, која чини чак 98,8% свих природних вода на Земљи.

У природи се вода никада не налази у хемијски чистом стању, јер је веома добар растварач у коме се врло брзо растварају гасови и друге материје са којима дође у контакт. Због тога се под саставом природних вода не подразумева само састав чисте воде као хемијског једињења. Треба разликовати воду као хемијско једињење (хемијски чиста вода) и воду која у себи садржи низ других једињења, растворених материја и као таква се налази у природи (природне воде). У састав природних вода поред хемијски чисте воде улазе растворени гасови (кисеник, азот, угљен-диоксид, амонијак...), растворене соли (карбонати, сулфати, хлориди, нитрати...), суспендоване честице (песак, глина, алумосиликати...), органски састојци (продукти разградње мртве биомасе, органске киселине, шећери, алкохоли, хумусне и тресетне материје) и микроорганизми.

Састав природних вода може варирати у зависности од тога да ли се ради о површинској, подземној или атмосферској води. Када су у питању површинске воде, њихов састав зависи од подлоге на којој леже или преко које теку и од карактеристика животних заједница које их насељавају, продуктивности екосистема и сл. На састав подземних вода живи свет има доста мањи утицај (иако се и у њима могу наћи микроорганизми), тако да је одређен карактеристикама стена са којим је подземна вода у контакту. Састав атмосферске воде, убрајајући различите падавине (киша, снег, град, магла), зависи од присуства различитих гасова присутних у ваздуху, посебно загађујућих (сумпор-диоксид може лако реаговати са атмосферском водом при чему настаје сумпорна киселина, те може доћи до појаве киселих киша).

6.1.5. Реакција воде

Молекули воде константно дисосују на водоников јон (катјон H^+) и хидроксилни јон (анјон OH^-), али се они поново сједињују у молекул воде ($H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$). Процес дисоцијације хемијски чисте воде је веома слабо изражен. У хемијски чистој води број катјона и анјона увек је једнак, што значи је њена реакција неутрална ($pH = 7$). Растворене материје у природним водама могу значајно утицати на њихову реакцију. Према томе, pH вредност природних вода може значајно варирати у зависности од садржаја различитих материја у њима. Подземне и површинске копнене воде се карактеришу pH вредношћу између 6 и 8, што може бити условљено присуством одређених минерала (пореклом од стенске масе, са којом ове воде долазе у контакт) и органских супстанци (пореклом од различитих биолошких процеса који се у њима одвијају). Бикарбонати (HCO_3^-), карбонати (CO_3^{2-}) и други растворени минерали у морској води повећавају pH вредност, тако да је она благо алкалне реакције ($pH \approx 8$). Кишница је благо киселе реакције (pH између 5,5 и 6,5), што представља последицу присуства карбонатне киселине која настаје растварањем угљен-диоксида у атмосферским водама. Загађујући гасови, попут сумпор-диоксида или азот-диоксида, могу додатно снижити pH вредност кишнице јер при њиховој реакцији са водом настаје сумпорна или азотна киселина. На тај начин настају „киселе кише”, чија pH вредност износи око 4, а некада и ниже од тога. Када је у питању вода за пиће, њена pH вредност се најчешће креће између 6,5 и 8,5.

6.1.6. Електрична својства воде

Као што је речено, молекули воде су у природи веома постојани, што значи да веома слабо дисосују. У води има веома мало H^+ и OH^- јона. Хемијски чиста вода је слаб проводник електричне енергије и понаша се као изолатор. У природним водама су увек присутне различите растворене материје које дисосују на јоне, што у највећој мери доприноси **електропроводљивости** воде, чинећи је добрим проводником електричне енергије. Супстанце које се приликом растварања у води (или неком другом растварачу) разлажу на јоне називају се **електролитима** и у њих спадају различите соли, киселине и базе. Због већег садржаја растворених соли, морска вода се понаша као добар проводник електричне енергије. Поред салинитета, електропроводљивост воде зависи од њене температуре, тако да је топлија вода бољи проводник од хладне, јер се при вишим температурама повећава покретљивост јона.

6.1.7. Оптичка својства воде

Под оптичким својствима воде подразумева се начин на који вода прелама, апсорбује, расипа и рефлектује светлост. Ова својства су од великог значаја за живот у води, с обзиром да у зависности од њих зависи количина расположиве светлости за обављање фотосинтезе у акватичним екосистемима. Оптичка својства природних вода варирају у зависности од других физичких својстава воде, њеног састава, мутноће итд.

Када светлост доспе до површине воде, један њен део се одбија, а други део продире у воду. **Рефлексија светлости** представља процес одбијања (рефлектовања) светлости о водену површину назад у атмосферу. Мера у којој се светлост одбија од водену површину зависи од много фактора, а највише од упадног угла светлости. Светлост се највише рефлектује када на водену површину пада под малим угловима, док је одбијање минимално у случајевима када светлост пада под правим углом.

При преласку светлости из ваздушне у водену средину долази до њеног **преламања (рефракције)**, што представља последицу разлике у густини између ваздуха и воде. Рефрактивни индекс воде при температури од $20^{\circ}C$ износи 1,33 за видљиву светлост, док је у случају леда нешто нижи (1,31). Одређене таласне дужине светлости вода апсорбује.

Под **апсорпцијом светлости** од стране воде подразумева се процес при коме вода упија светлост одређених таласних дужина при чему долази до трансформације светлосне енергије у друге облике енергије као што је топлотна. Вода не апсорбује подједнако светлост различитих дужина, тако да се квалитативна својства светлости мењају приликом проласка кроз њу. Највише се у води апсорбује црвена светлост, а знатно мање плава.

У води долази до **расипања светлости**, тј. процеса у којем се светлост распршује у различитим правцима услед њене интеракције са ситним честицама, које су растворене у води. Овај процес проузрокује смањену видљивост, јер се расипањем светлост може усмеравати у више различитих праваца.

Како ће се светлост понашати у природним водама највише зависи од њене **мутноће (турбидитета)** која потиче од присуства различитих материја као што су суспендоване честице глине, муља, песка, органских материја и од присуства планктонских алги и других претежно микроскопских организама. Управо ове честице повећавају степен расипања светлости, а уједно спречавају и њен продор до већих дубина. Са повећањем мутноће воде смањује се њена **провидност**, особина која указује на то до које дубине је вода провидна, тј. до које дубине продире видљива светлост.

Провидност варира у зависности од других фактора, као што су количина светлости која продире у воду, степен рефлексије, упадни угао светлости, доба дана, временски услови итд. Провидност природних вода може бити различита. Највећа је на пучини океана у тропским областима (до 66,5 m у Саргаском мору, делу Атлантског океана), као и у неким бистрим језерима, док је најнижа у мутним рекама где може износити свега неколико центиметара.

Што се тиче **боје**, хемијски чиста вода је у танком слоју безбојна. Када би се нашла у већој количини и хемијски чиста вода би имала плавкасту нијансу. Разлог за ово лежи у чињеници да се црвена, наранџаста и жута светлост апсорбују више него плава, која доминантно допире до нашег ока. Боја природних вода у великој мери зависи од различитих растворених и суспендованих материја. Повећана количина гвожђа може дати води жуту или црвену нијансу, док присуство органских материја које труле може проузроковати жуту или браонкасту обојеност. С обзиром да су планктонске алге углавном зелене боје због хлорофила који поседују, многе природне воде су зеленкасте. Зелена светлост се као и плава мање апсорбује у поређењу са црвеном, наранџастом и жутом. Боја површинских вода може у знатној мери бити одређена временским приликама. Плава боја ведрога неба може утицати да површина воде буде израженије плава, а облачно време допринети да вода делује сивкасто. Приликом заласка или изласка Сунца, услед појачане рефлексије због мањег упадног угла светлости, површина воде може попримити топлије нијансе попут црвене, наранџасте и жуте.

6.1.8. Топлотна својства воде

Температура већине вода у природи зависи од количине апсорбованог Сунчевог зрачења и степена размене топлотне енергије са другим материјама у природи, чврстим (стене), гасовитим (ваздух) или течним (магма или лава).

Оно по чему је вода специфична када су њена топлотна својства у питању јесте изузетно велики **топлотни капацитет**. Он представља количину топлоте у џулима (J), која је потребна да се 1 g неке супстанце загреје за 1°C. Да би се вода загрејала до одређене температуре, потребно је да прими много више топлоте у поређењу са неким другим материјама у природи. Вода је специфична зато што се њен топлотни капацитет мења у зависности од температуре на другачији начин у односу на друге материје. Топлотни капацитет свих чврстих и течних материја у природи се повећава са порастом температуре, што значи да су топлотни капацитет и температура у позитивној корелацији. Топлотни капацитет воде опада са порастом температуре, али само до 30°C. Са даљим порастом температуре воде (изнад 30°C), расте њен топлотни капацитет. Лед има мањи топлотни капацитет од воде у течном стању. Ова специфичност у вези са топлотним капацитетом представља једну од физичких аномалија воде, које је чине посебном материјом у природи.

Због великог топлотног капацитета, вода на планети Земљи (нарочито мора и океани) има знатан утицај на климу. Вода мора, океана и великих језера има капацитет да апсорбује огромну количину топлотне енергије. Топлотни капацитет копна је око четири пута мањи, што значе да се копно знатно брже загрева од воде, али брже и хлади. Мора и океани у току хладног периода године имају велики значај у загревању копна и ваздуха.

Топлопроводљивост воде је релативно ниска, што значи да би се у одсуству мешања воде, топлота кроз њу преносила веома споро, од топлијег ка хладнијем додирном

слоју. Због тога се загревање воде у природи врши најчешће њеним мешањем, до кога долази услед разлике у температурама и густинама њених слојева или под утицајем ветра. Теплопроводљивост леда је још мања од теплопроводљивости воде у течном стању, што је од великог еколошког значаја. Лед који се формира на површини водене масе, услед своје мале топлопроводљивости, функционише као добар термоизолатор који спречава хлађење дубљих слојева воде и повећање дебљине леденог покривача. Још мању теплопроводљивост има снег који, када се нађе преко леда, додано спречава губитак топлоте из водене масе. Снежни покривач због тога може послужити и као заштита биљкама од мраза.

6.2. ДИСТРИБУЦИЈА ВОДЕ НА ЗЕМЉИ

Воде на планети Земљи се могу поделити на различите начине. У зависности од агрегатног стања разликујемо воду у течном стању (или само воду), воду у чврстом стању (лед) и воду у гасовитом стању (пара). Температура на планети Земљи је таква да је највећа количине воде у течном стању. У зависности од концентрације растворених соли, могу се разликовати слане, слатке и бракичне воде. Воде се уобичајено деле на воде Светског мора (кога чине сва мора и океани), које су слане и воде на копну, које могу бити слатке и слане (слана језера). Воде на копну се даље могу поделити на површинске (реке, језера, мочваре, ледници), подземне, биолошке (у саставу живих бића), а овде спада и атмосферска вода (водена пара у ваздуху изнад копна или Светског мора), која у исто време припада хидросфери и атмосфери.

Чак око 96,5% хидросфере на Земљи представљају слане воде у склопу Светског мора, које чине сви океани и мора. Додатно, око 0,9% отпада на друге слане воде које се нису део Светског мора (слана језера), што значи да слатке воде чине свега око 2,5% хидросфере. Од укупне количине слатке воде, око 68,7% је „заробљено” у ледницима и леду (леденим капама на половима), док око 30,1% чине подземне воде. Површинске слатке воде и атмосферска вода чине само око 1,2% укупне слатке воде на планети Земљи. Највећи део те воде (око 69%) се налази у залеђеном стању, у подземном леду и пермафросту (залеђеном земљишту). Затим, око 20,9% слатке воде се налази у језерима. Остали облици слатке воде чине знатно мањи удео и ту спадају вода у земљишту (3,8%), атмосферска вода (3%), мочваре (2,6%), реке (0,49%) и вода у живим бићима (0,26%).

6.3. СВЕТСКО МОРЕ

Највећи део Земљине површине (70,8%) чине мора и океани, што има великог утицаја на климатске карактеристике наше Земље. Већи део Светског мора се налази на јужној хемисфери и чини чак 80,9% њене површине, док проценат површине северне хемисфере, која је под морима и океанима, износи око 60,7%. Сва мора и океани су међусобно повезани у јединствену целину под називом Светско море, које је копном (континентима и острвима) подељено на мање целине, односно мора и океане.

6.3.1. Океани

Океани су делови Светског мора који су мање или више ограничени континентима. На Земљи постоји четири океана: Тихи океан или Пацифик (понекад се назива Велики тихи океан), Атлантски океан, Индијски океан и Северни ледени океан. Некада се као посебан издвајао Јужни океан, али су по новијим класификацијама његови делови припојени осталим океанима (Тихом, Атлантском и Индијском). Океани чине око 88% Светског мора.

Највећи океан је **Тихи океан**, који чини скоро половину Светског мора (49,8%) и покрива трећину Земљине површине. Овај океан се у правцу север-југ протеже од Беринговог мора до Антарктика, а у правцу запад-исток налази се између источних обала Азије, Аустралије и западних обала Северне и Јужне Америке. Најшири је између Индонезије и Колумбије (19.800 km). Највећа дубина Тихог океана, а уједно и целокупног Светског мора, износи око 11.000 m испод површине мора, а реч је о Маријанској бразди (рову). У Тихом океану се налази око 25.000 острва, што је више него у свим осталим океанима заједно.

Други по величини је **Атлантски океан**, који чини око петине Земљине површине. Пружа се од Северног леденог океана на северу (са којим је повезан) до Антарктика на југу и од источних обала Северне и Јужне Америке на западу до западних обала Европе и Африке на истоку. Атлантски океан је повезан са Тихим океаном преко Дрејковог пролаза који се налази између најјужнијег дела Јужне Америке и Јужних Шетландских острва Антарктика. Воде Атлантског и Тихог океана су повезане и путем Панамског канала, који је изграђен 1914. године. Са Индијским океаном Атлантски је у директном контакту, а као граница између њих одређен је меридијан на 20° источне географске ширине. Место са највећом дужином Атлантског океана од 8.376 m испод нивоа мора је Порториканска бразда.

Трећи по величини је **Индијски океан**, који чини око 20% водене површине Земље. Пружа се од јужних обала Азије на северу до Антарктика на југу и од источних обала Африке на западу до западних обала Аустралије и Малајског архипелага на истоку. Највећа дубина Индијског океана се процењује на око 7.290 m у Сундској (Јаванској) бразди.

Најмањи и најплићи од свих океана је **Северни ледени океан**, који се налази око северног пола. Некада се не убраја у океане, већ се назива Арктичким морем. Добрим делом је ограничен северним обалама Северне Америке и Евроазије, а повезан је са Тихим океаном преко Беринговог мореуза и Атлантским океаном, преко Лабрадорског и Гренландског мора. Због свог положаја око северног пола овај океан је зими скоро потпуно, а лети једним својим делом прекривен ледом.

6.3.2. Мора

Мора представљају делове океана који су у одређеној мери ограничени копном или узвишењима у рељефу испод воде. У зависности од тога колико су одвојена од океана, могу се разликовати средоземна (унутрашња), ивична и међуострвска мора.

Средоземна мора су са свих страна ограничена копном, а са океаном и другим морима су повезана преко уских делова, тј. мореуза. Међу средоземним морима разликују се интерконтинентална, уколико су ограничена копном два или више континента (Средоземно море, између Европе, Азије и Африке) и интраконтинентална, уколико су ограничена копном једног континента (Јадранско и Балтичко море).

Ивична мора се налазе уз руб неког континента. Ова мора су са океаном повезана ширим појасевима воде, док с друге стране њихову границу чини копно неког континента. Од океана могу бити делимично одвојена полуострвима, острвима или подводним узвишењима. У ивична мора спадају Баренцово и Јапанско море.

Међуострвска мора су од океана одвојена низом острва, тј. архипелагом. Због велике повезаности са океаном, воде ових мора су по својим карактеристикама блиске океанским водама. Примери међуострвских мора су она која делимично ограничавају острва Малајског архипелага, попут Целебеског и Јаванског мора.

6.3.3. Дно Светског мора

Океанско и морско дно се одликује специфичним рељефом, који је настао као последица различитих геолошких процеса, као што су тектонски покрети (кретања тектонских плоча), земљотреси, ерупције вулкана, акумулације наноса, ерозија итд. Дубина мора и океана није уједначена, али се по правилу повећава идући од обала ка њиховој средини. На основу тога, могуће је разликовати следеће зоне морског и океанског дна: литорална (приобална), неритска, батијална и абисална зона.

Литорална зона је приобална зона океана и мора. У овој зони долази до појаве плиме и осеке, тј. подизања и спуштања нивоа мора и океана под утицајем силе гравитације Месеца. Највећа дубина литоралне зоне износи око 20 m.

Неритска зона је зона континенталног шелфа, тј. дела континента, који је прекривен водом мора или океана. Континентални шелф се постепено спушта идући од обале ка пучини. Ова зона се одликује добро развијеним животним заједницама. Дубина мора и океана у неритској зони износи од 20 до 200 m.

Батијална зона је зона континенталног одсека који се јавља на самом ободу континента и карактерише се великим нагибом, тако да се дубина мора и океана нагло повећава према пучини. Дубина мора и океана у батијалној зони износи од 200 до 2.000 m.

Абисална зона је најдубља зона океана у којој дубина износи преко 2.000 m. У овој зони налази се 75% читавог Светског мора.

6.3.4. Својства морске воде

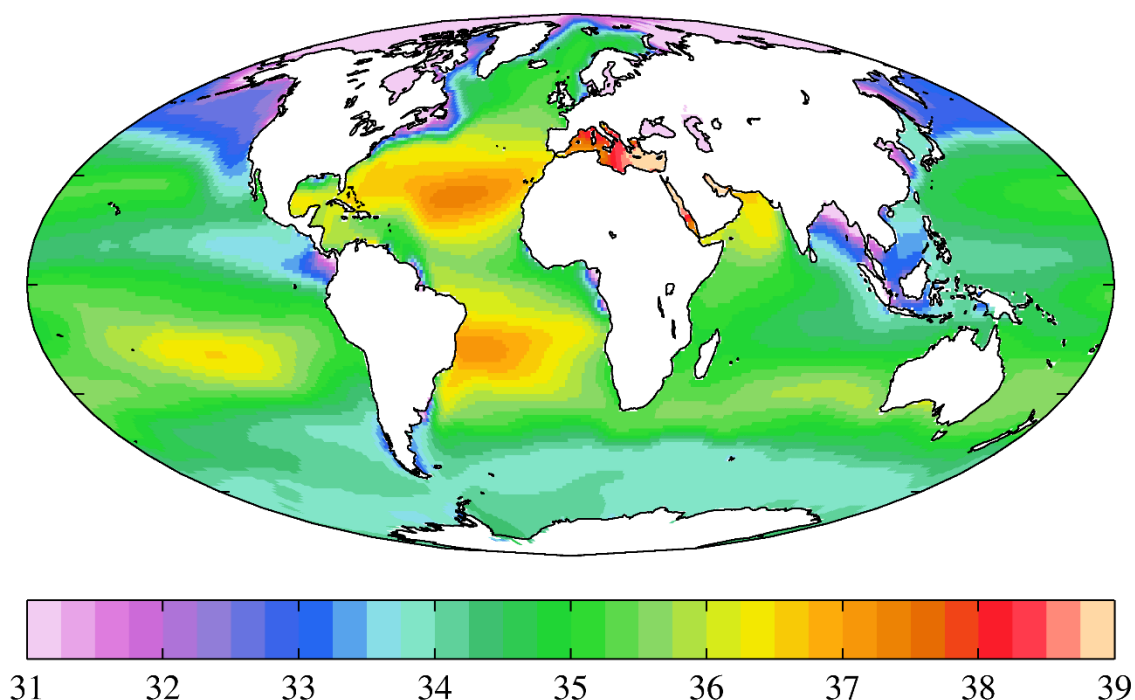
Вода Светског мора (морска вода, рачунајући и океанску воду) се од копнених вода разликује по вишем салинитету, односно по већој концентрацији растворених соли, првенствено хлорида и сулфида. Због тога је морска вода горко-слана и не може се користити за пиће од стране човека, нити других копнених животиња. Услови живота у морској води су другачији од услова који постоје у копненим слатким водама, те је мали број водених организама прилагођен на живот у сланој и слаткој води и то тако што једна јединка у својим различитим фазама развића насељава ове две средине (европска јегуља, атлантски лосос).

Салинитет морске воде је проузрокован присуством растворених соли. Више од 99% соли у морској води чине позитивно и негативно наелектрисани јони хлора (Cl^-), натријума (Na^+), магнезијума (Mg^{2+}), калцијума (Ca^{2+}), калијума (K^+), као и сулфат јони (SO_4^{2-}). Поред разлике у самој количини растворених соли, морска и речна вода се разликују по њиховом процентуалном односу. У речној води доминирају карбонати, којих у морској има знатно мање. Салинитет се изражава у промилима (1:1.000, ‰), тј. у грамима растворених соли у једном килограму воде. Просечан салинитет Светског мора износи 35‰, што значи да се у 1 kg морске воде просечно налази 35 g растворених соли.

Соли у морску воду у највећој количини доспевају са копна, тачније доносе их реке које се у мора и океане уливају. На свом току реке обогаћују се солима тако што њихова вода раствара стене са којима долази у контакт. Речна вода није слана као морска. Разлог за то лежи у томе што је процес растварања стена речном водом веома спор, па је и концентрација соли у рекама ниска. Речне воде на послетку завршавају у морима и океанима. Иако су количине соли које рекама доспевају у морску воду релативно ниске у поређењу са постојећим салинитетом мора и океана, треба имати у виду да морска вода константно испарава, док соли остају у њој. Соли у морску воду константно пристижу, док морска вода непрестано испарава. Резултат тога је повећани салинитет. Треба имати у виду да соли у морску воду могу доспети и на друге начине, нпр. ерупцијама подводних вулкана, из морског дна, или реакцијама воде са седиментом. Соли из морске воде се губе на различите начине: распршавањем воде, усвајањем од стране морских организама, различитим хемијским реакцијама итд. Због тога је просечан салинитет Светског мора константан, јер се процеси доспевања и губљења соли у међусобној равнотежи.

Иако је просечна вредност салинитета морске воде веома мало варира током дугог временског периода. Светско море има одређене географске варијације када је у питању концентрација растворених соли (хоризонтална дистрибуција салинитета; слика 41). Највиши салинитет присутан је у суптропском појасу због веома интензивног испаравања морске воде. Највиши салинитет има Суецки залив (41‰). Јадранско море одликује се салинитетом који је изнад просека Светског мора (38,3‰). На већим географским ширинама количина падавина је већа од количине воде која испари, те је и салинитет нижи. Низак салинитет имају она мора у која се улива велика количина речне воде која их разблажује, као што су Бело и Црно море, нарочито на местима у близини ушћа река.

Салинитет варира у зависности од дубине мора и океана (вертикална дистрибуција салинитета) и то по комплексним обрасцима у зависности од географске ширине, величине мора, морских струја итд. На већим географским ширинама, а нарочито на половима, салинитет расте са дубином, јер је вода у површинским слојевима разблажена слатким водама река и падавинама. На мањим географским ширинама, а нарочито у суптропском појасу, салинитет је највиши у површинским слојевима због изразитог испаравања воде. Са порастом дубине се смањује. Због велике количине падавина, стопа опадања салинитета са порастом дубине на екватору није толико изражена као у суптропском појасу. Иако вредност салинитета варира од мора до мора (океана или дела океана), као и по дубини, концентрације растворених соли се налазе у константној размери.



Слика 41. Хоризонтална дистрибуција средњег годишњег салинитета површинске морске воде израженог у промилима, према подацима Светског океанског атласа (*World Ocean Atlas*) из 2009. године

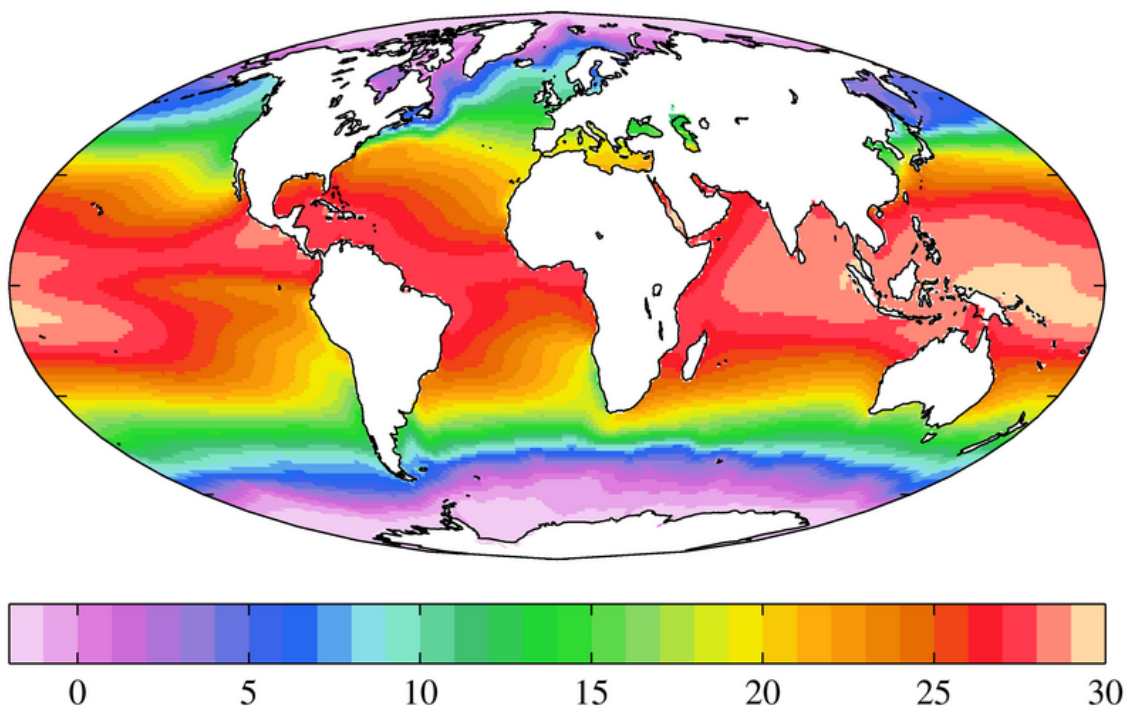
Оптичка својства морске воде су таква да део Сунчевог зрачења одбије од њеног површину, а део се прелама и продире у њу до одређене дубине. Приликом проласка кроз први метар морске воде апсорбује се око 60% светлости, а око 80% светлости буде апсорбовано у првих 10 m дубине, тако да на дубинама од преко 150 m преостаје свега око 1% укупне светлости која продре кроз површину морске воде. На дубинама већим од 1.000 m нема светлости уопште. Делови воде при површини мора и океана у којој има довољно светлости за одвијање процеса фотосинтезе (до око 200 m дубине) представљају **фотичну зону**, док се дубљи делови мора и океана у којима фотосинтеза није могућа због мањка Сунчеве светлости називају **афотичном зоном**.

Дубина до које светлост продире кроз морску воду зависи од њене провидности која варира од дела до дела Светског мора. Највећу провидност имају тропска и суптропска мора, а најнижу мора која се налазе у близини полова. Разлог за ово лежи у чињеници да су тропска и суптропска мора дубља, због чега је доспевање минералних материја са дна до фотичне зоне сведено на минимум. То онемогућава развој планктона. Субполарна мора су плића, те су њихове фотичне зоне богате нутријентима, што омогућава знатно обилнији развој планктона, чије присуство смањује провидност воде. Вода литоралне зоне се одликује нижом провидношћу у поређењу са водом отвореног океана, где светлост најдубље продире. Разлог за ово лежи у чињеници да близина копна и морског дна у литоралној зони доприноси већој количини растворених и суспендованих материја, а самим тим и обилнијем развоју планктона, што смањује провидност воде.

Приликом проласка Сунчевих зрака кроз воду, најпре од стране молекула воде буду апсорбовани црвени зраци и ултраљубичасти зраци. Зелени, а нарочито плави зраци продиру до знатно већих дубина. Како се у води ови зраци најмање апсорбују и највише рефлектују и расипају, мора и океани се често карактеришу плавом или плаво-зеленом бојом.

Температура морске воде. Светско море се загрева Сунчевим зрачењем, а у мањој мери топлотом која потиче из Земљине унутрашњости, као и одређеним хемијским реакцијама које се одвијају у води. Пошто Сунчево зрачење продире само до одређене дубине мора и океана, то значи да се на овај начин директно загревају само површински слојеви воде, тако да температура опада са дубином. Ово није случај са поларним и субполарним морима где температура расте са дубином све до око 350 m, а почиње постепено да опада тек на већим дубинама. На највећим дубинама мора и океана њихова вода се у извесној мери загрева топлотом која потиче из унутрашњости Земље.

Температура воде Светског мора зависи од географске ширине, јер од ње зависи количина Сунчевог зрачења коју Светско море прима. Због тога температура Светског мора опада са повећањем географске ширине, те у екваторијалном појасу износи око 29°C, док се у близини полова спушта до -1,9°C, што иначе представља тачку мржњења слане воде. Ова правилност у хоризонталном распореду температуре Светског мора је често нарушена под утицајем морских струја, ветрова и континената (слика 42). У зависности од температуре, мора се могу поделити на **поларна** (са температуром воде нижом од 5°C), **субполарна** (температура воде 5–10, најчешће 8°C), **умерена** (температура воде 8–23°C) и **тропска мора** (температура воде преко 23°C).



Слика 42. Хоризонтална дистрибуција температуре површинске морске воде изражене у степенима Целзијусовим, према подацима Светског океанског атласа (*World Ocean Atlas*) из 2009. године

Око 3–4% Светског мора је прекривено ледом (слика 43), који има специфична својства у односу на лед који настаје мржњењем слатке воде (формира се на температурама нижим од 0°C, има мању чврстину итд). Само у току једне сезоне у поларним регионима лед на морима и океанима може да достигне дебљину од 2 m, а на појединим местима на Арктику његова дебљина износи око 5 m. За разлику од морског леда, који се формира на површини мора и океана, ледени брегови представљају одломљене комаде ледника или леда, који са копна допевају у мора и океане, у којима

плутају (слика 44). Занимљиво је да се свега око 11% леденог брега налази изнад површине воде, док се већи део налази под водом.



Слика 43. Морски ледени покривач у близини обале Лабрадора (Канада)



Слика 44. Ивица циновског плочастог леденог брега у Росовом мору у близини Антарктика

6.3.5. Кретање морске воде

Морска вода је у сталном покрету, што представља последицу дувања ветрова, разлика у температури (самим тим и у густини) морске воде услед неравномерног загревања, затим појединих процеса у океанској литосфери (подморске вулканске ерупције или подморски потреси) и дејства гравитационе силе Месеца. Постоје различити видови кретања морске воде: таласи, морске струје, плима и осека.

Таласи представљају кретање површинских слојева морске воде до ког махом долази под утицајем ветрова. У том случају, величина таласа зависиће од брзине ветра и његовог трајања, као и од морске површине преко које дува. Океански таласи изазвани ветром могу достизати висину од 20 и дужину од 400 m, а забележени су и екстремнији случајеви, док су таласи на морима мањих димензија. У обалној зони, таласи имају велику улогу у обликовању морског дна, као и у обликовању стена и камења који се под њиховим утицајем заобљавају. Поред ветра, таласе могу изазвати подморски потреси или ерупције подморских вулкана. Талас настао на овај начин назива се **цунами**. За разлику од ветровних таласа који су константни, цунамији се јављају ретко у случајевима веома снажних потреса (преко 8 степени Меркалијеве скале). Могу бити високи до 20 m. С обзиром да достижу брзину до 800 km/h њихов ефекат на копну може бити веома деструктиван. Цунамији се најчешће јављају у Тихом океану, али су забележени и у Атлантском и Медитеранском мору.

Морске струје представљају посебан начин кретања површинских слојева морске воде у појасевима, у одређеном смеру. Узроци настанка морских струја могу бити ветрови, разлике у густини морске воде, разлике у атмосферском притиску, разлике у интензитету испаравања морске воде и нагомилавање морске воде у појединим деловима Светског мора, као последица морских струја изазваних претходно наведеним узроцима. Ветрови су главни узрок настанка морских струја. Стални ветрови проузрокују морске струје које се називају **дрифтови**, док сезонски и повремени ветрови изазивају **ветровне морске струје**. Морске струје се означавају у

зависности од стране света ка којој се вода креће, а не у зависности са које стране света вода долази (уколико морска струја долази са запада и креће се ка истоку, биће означена као источна), што је обрнут случај у односу на означавање ветрова. У Светском мору постоји мање-више устаљена глобална шема главних морских струја које су изазване сталним глобалним ветровима, а модификоване распоредом копна, локалним условима и ротацијом планете Земље. Једна од најпознатијих морских струја је **Голфска струја**. С обзиром да је чини већи број посебних морских струја, Голфска струја се означава као систем морских струја. Ова струја настаје у Мексичком заливу и креће се преко северног дела Атлантског океана ка обалама северне Европе.

Плима и осека представљају наизменично подизање (плима) и спуштање (осека) нивоа мора и океана под утицајем гравитационе силе Месеца. До плиме и осеке, долази два пута дневно, тј. тачније два пута у току 24 часа и 50 минута. Разлике у максималним и минималним нивоима морске воде током плиме и осеке могу варирати од свега 10–15 cm, до преко 20 m, у зависности од локације. Плима и осека се називају морским добима или морским менама. Нужно је напоменути да одређену улогу у настанку плиме и осеке има гравитациона сила Сунца.

6.4. ПОДЗЕМНЕ ВОДЕ

Подземне воде су воде које се налазе у унутрашњости Земљине коре, тј. испод Земљине површине. Оне могу бити различитог агрегатног стања, тј. јављају се у течном стању, у виду леда и водене паре. Подземне воде могу бити везане или слободне. Везане воде се чврстим силама адхезије у танком слоју држе уз честице у литосфери, тј. не крећу се под утицајем гравитације. Слободне воде се могу кретати кроз пукотине и шупљине у литосфери под утицајем Земљине теже и често се под подземним водама мисли управо на њих. Подземне воде се могу налазити у пукотинама стена (пукотинска вода), ситним цевчицама, тј. капиларима (капиларна вода). Када у потпуности или већим делом испуне све шупљине у растреситом геолошком слоју, настаје издан. С обзиром да се често користе за водоснабдевање становништва, подземне воде су од изузетног значаја за човека. Наука која се бави проучавањем подземних вода назива се **хидрогеологија**.

6.4.1. Својства подземних вода

Састав подземних вода може бити у великој мери условљен присуством различитих минерала, који потичу од стена са којима долазе у контакт. Растварањем стена у подземним водама долази до њихове минерализације. Степен минерализације подземних вода и њихов састав зависи од контактне површине воде са стенама, брзине кретања воде и састава самих стена. Уколико је површина контакта између воде и стена већа, стене ће се више растварати и минерализација воде ће бити интензивнија. Брзина протока воде је обрнуто пропорционална степену минерализације, тако да су воде које се спорије крећу дуже у контакту са стеном и њихово растварање је израженије. Минерали седиментних стена се много лакше растварају у води у поређењу са магматским и метаморфним. Подземне воде које су у контакту са њима се обично одликују јаком минерализацијом. Поред кисеоника и водоника, у елементарни хемијски састав подземних вода улазе: хлор, сумпор, угљеник, азот, калијум, натријум, магнезијум, калцијум, гвожђе, алуминијум, силицијум итд. У подземним водама су од

јона обично најзаступљенији карбонати калцијума и магнезијума, чија концентрација представља степен тврдоће воде.

Уколико подземне воде у себи садрже више од 0,1% растворених материја, називају се **минералним водама**. Ове воде некада имају благотворно дејство по људско здравље, због чега се називају лековитим водама. У њих спадају киселаци (садрже растворен гас угљен-диоксид), алкалне воде (садрже алкалне хидрокарбонате), горке воде (садрже соли натријум-сулфата и магнезијум-сулфата), гвожђевите воде (садрже фери и феро јоне), сумпоровите воде (садрже сумпорна једињења, претежно сумпор-водоник) итд.

Температура подземних вода значајно варира и зависи од температуре средине у којој се налазе. У високопланинским пределима и пределима са стално замрзнутим земљиштем подземне воде могу бити веома хладне и потхлађене (температура им може бити и испод 0°C, а да притом остају у течном стању). Температура подземних вода често може бити условљена количином топлотне енергије коју примају из Земљиног језгра. Према томе, температура подземних вода је виша у дубљим слојевима литосфере. Подземне воде које се загревају на овај начин могу бити веома топле и називају се **геотермалним водама**. Уколико дођу у контакт са магмом, њихова температура може износити преко 120°C. Овако вреле подземне воде се могу наћи у литосфери вулканских или гејзерских подручја. Геотермалне воде имају велики значај за човека, јер се могу користити за грејање стамбених или пословних објеката и пластеника или стакленика у пољопривреди, за развој бањског туризма, као и за добијање електричне енергије (хидрогеотермална енергија). У бањском туризму су нарочито значајне оне геотермалне воде које су уједно и минералне.

6.4.2. Издани

Подземне воде најчешће воде порекло од атмосферских вода, тј. падавина, које по доспевању на тло пониру и процеђују се (филтрирају) кроз земљиште и дубље водопрпусне слојеве литосфере под утицајем Земљине теже. Оне се зато називају **гравитационим водама**. Крећући се на тај начин, гравитационе воде на одређеној дубини наилазе на непропусни слој стена (вододрживог хоризонта) изнад којег долази до акумулирања воде, која испуни све шупљине у стенама и земљишту до одређене висине. На тај начин настају **фреатске (нормалне) издани**. Уколико се испод и изнад подземне воде налази непропусни слој, тада настају **артешке (укљештене) издани** који се снабдевају водом са површине терена (падавинама) само преко одређених места која су водопрпусна. За експлоатацију издани изграђују се бунари. У случају артешких бунара, вода избија у водоскоцима, с обзиром да се артешки издани налазе под одређеним хидростатичким притиском.

Поред атмосферских падавина, којима се издани снабдевају филтрацијом воде преко водопрпусних слојева, подземне воде могу потицати од површинских вода, нарочито текућих, које се филтрирају кроз обале и на тај начин снабдевају издан. Током високих водостаја реке, вода из речног корита прелази у издан, а током ниских водостаја креће се из издани у речно корито. Овакав начин снабдевања издани је нарочито значајан у равницама дуж великих река, па су ова подручја углавном богата подземним водама. Издани се могу снабдевати и подземним водама из дубљих слојева литосфере.

Елементе режима издани чине ниво, издашност, температура, хемијски састав и састав гасова. На режим издани утичу различити фактори, као што су **климатски** (количина падавина, температура, степен испаравања воде), **геолошки** (састав литосфере, тектонски и сеизмички процеси), **хидролошки** (режим површинских вода, река, језера и мора), **биолошки** (покривеност вегетацијом) и **антропогени** (хидротехнички објекти).

Уколико непропусни слој има облик удубљења, издани се не крећу, тј. мирују и понашају се као подземна језера. Изданске воде се претежно крећу услед постојања нагиба непропусног слоја. Треба имати у виду да нагиб непропусног слоја може бити другачији и супротан у односу на нагиб терена, тј. површине литосфере. Чак и када непропусни слој нема нагиб, изданска вода ће се кретати у зависности од нивоа површинских вода са којима је подземна вода у контакту. Подземне воде са једне стране могу бити повезане са једним површинским водним телом, а са друге стране са другим. Уколико постоје разлике у висини водостаја та два водна тела, смер кретања подземних вода ће бити од површинске воде са вишим водостајем ка површинској води са нижим водостајем.

Крашки терени (карст) у чијим геолошким подлогама доминирају карбонатне стене (кречњаци), одликују се специфичним карактеристикама подземних вода и издани. Ови терени су сиромашни површинским, а богати подземним водама, јер већина падавина понире кроз јаме и пукотине у кречњачким стенама. У красу су присутни многобројни подземни каналски системи, који могу бити веома разгранати и који се испуњавају подземним водама. Карактеристика краса јесте заступљеност бројних спелеоплошких објеката испуњених водом и присуство река понорница. У крашким теренима могу се разликовати три хидрографске зоне: **сува зона** (налази се одмах испод површине и кроз њу вода брзо понире), **прелазна зона** (налази се испод суве и карактерише је стално сливање воде (понегде се јављају и подземни водотокови) и **зона којом вода стално отиче** (налази се испод прелазне зоне и у њој највећи део воде отиче према водонепропусном слоју).

6.4.3. Извори

Места на којима подземне воде природно избијају на површину Земљине коре називају се изворима. Уколико вода избија на површину на једном одређеном месту у виду млазева, такви извори се називају **млазни извори**. У одређеним случајевима, вода може избијати на већој површини при чему се формира мочварно тло („пиштолина”). Такви извори називају се **дифузни извори**.

Извори који су константно активни током целе године називају се **сталним изворима**. Поред њих постоје **периодични извори**, који су активни током одређеног периода у години, што је условљено сезонски повећаном количином падавина. **Повремени извори** су они који се јављају само у одређеним условима, најчешће након обилнијих падавина, након чега пресушују.

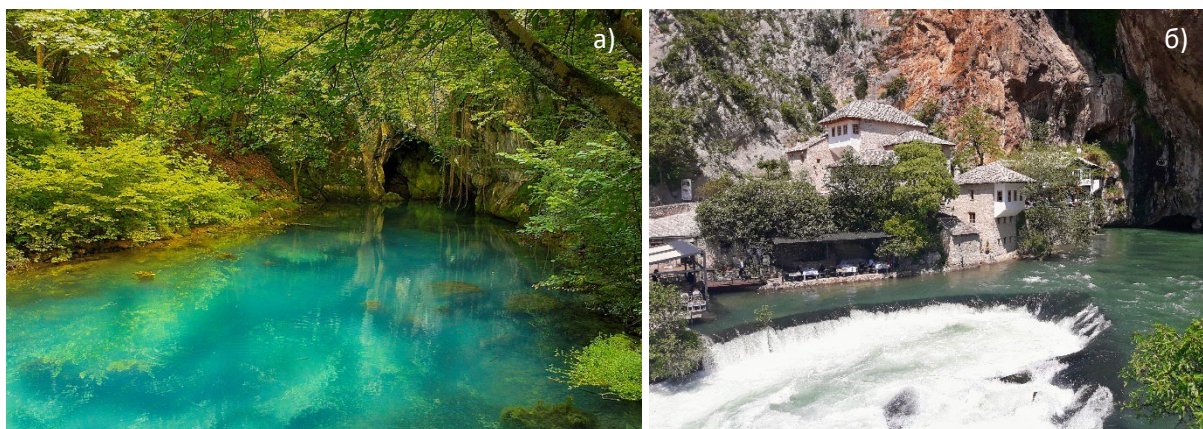
Извори се могу јављати у виду тзв. **изданског ока**, што представља појаву изданске воде у депресијама чије је дно порозно и налази се на нижем нивоу од горње површине издани. Изданска ока изгледају слично барама и језерима. Његова вода је повезана са подземном водом, док водни режим директно зависи од режима издани.

У зависности од начина кретања воде у односу на површину Земљине коре, извори се могу поделити на гравитационе (силазне) изворе и узлазне изворе. Примери **силазних извора** су оцедни, преливни и контактни извори. **Оцедни извори** се јављају на местима где је ерозијом откривена издан. **Преливни извори** настају на местима где се

водонепропусна баријера испречи кретању подземне воде, што условљава њено преливање и изливање на површину. **Контактни извори** настају на местима контакта водопрпусних (кречњака) и водонепропусних стена (пешчара).

У **узлазне изворе** спадају артешки, пукотински, гасни извори и гејзери. **Артешки извори** се јављају на местима где су ерозијом откривене артешке издани. **Пукотински извори** настају на местима где подземна вода из велике дубине под притиском избија на површину. **Гасни извори** представљају оне изворе из којих вода избија уз помоћ притиска који стварају гасови, који се у тој води налазе. **Гејзери** су специфична појава термалних извора из којих вода избија у једнаким интервалима када дође до наглог преласка прегрејане воде у водену пару.

Због особености крашких терена јављају посебни се типови извора – **крашки извори** (слика 45), који представљају места на којима понорнице избијају на површину терена. Ови извори се често одликују великом издашношћу и израженим варирањем те издашности. Вода са крашких извора је веома богата каменцем (тврда вода) и не користи за пиће. Постоје бројни типови крашких извора који се одликују сопственим специфичностима, као што су воклиски извори, потајнице, мукавице, еставеле, вруље итд. Чест назив за крашки извор је **врело**.



Слика 45. Примери крашких извора: Крупајско врело у источној Србији (а) и Врело Буне у Херцеговини (б)

6.5. РЕКЕ

За разлику од подземних вода, површинске воде се налазе на топографској површини, а не у унутрашњости литосфере. Могу се поделити на **текуће воде** које се крећу у једном смеру одређеном брзином у зависности од нагиба терена и под утицајем Земљине гравитације и **стајаће воде** које мирују у смислу да немају ток одређеног смера. Иако се површинске текуће воде на основу величине уобичајено деле на цурце, поточиће, потоке, речице и реке, у хидрологији се све сматрају рекама, те ће се у наставку књиге под овим појмом подразумевати сви површински водотоци. Поред саме воде, реку чини речно корито, тј. водом усечен жлеб у литосфери којим се речна вода креће. Рекама у мора и океане доспева око 38.200 km^3 воде годишње, док у басене са унутрашњим одводњавањем годишње доспева свега 800 km^3 . Наука која се бави проучавањем површинских текућих вода, тј. рекама, назива се **потамологија**.

6.5.1. Својства речне воде

Састав речне воде. Као ни већина вода у природи, ни речна вода није хемијски чиста, већ у себи садржи различите примесе, тј. растворене материје различитог порекла. У води се могу наћи различити елементи у виду јона. Од катјона (позитивно наелектрисаних јона), најчешћи су јони натријума (Na^+), калцијума (Ca^{2+}), магнезијума (Mg^{2+}) и калијума (K^+), док су од анијона (негативно наелектрисани јони) најзаступљенији хлоридни (Cl^-), сулфатни (SO_4^{2-}), хидрокарбонатни (HCO_3^-) и карбонатни (CO_3^{2-}) јони. Од јона у речној води формирају се различите соли – хлориди, сулфати и карбонати, као што су натријум-хлорид (NaCl), калцијум-хлорид (KCl), калцијум-сулфат (CaSO_4), магнезијум-карбонат (MgCO_3), калцијум-карбонат (CaCO_3) итд. У води се налазе и гасови у виду растворених молекула, као што су кисеоник (O_2), угљен-диоксид (CO_2) и водоник (H^+).

Порекло растворених материја у речној води може бити различито:

- **геолошко порекло** – материје из стена и седимената речног корита са којима је речна вода на свом току у контакту;
- **топографско порекло** – материје са површине речних долина, спирањем кишницом у реке или након изливања река и враћања воде у речно корито;
- **атмосферско порекло** – растварањем гасова из ваздуха у речној води, падавинама или доспевањем чврстих честица ношених ваздухом;
- **биолошко порекло** – материје које стварају и луче жива бића, као и продукти распадања биомасе угинулих организама;
- **антропогено порекло** – различите загађујуће материје које у реке доспевају директним изливањем отпадних вода или на друге начине, подразумевајући спирање загађујућих материја са површине долина река (спирање пестицида или минералних ђубрива са обрадивих површина).

Провидност речне воде зависи од њеног састава, тј. од количине материја које су у њој растворене. Ова особине речне воде знатно варира у зависности од типа водотока. Највећу провидност имају планински потоци, док најмању имају равничарске реке. Замућеност воде, која смањује њену провидност, најчешће потиче од седимената које речна вода подиже током свог кретања. Замућеност може бити повећана услед масовнијег развоја планктонских алги и испуштања отпадних вода. Иако се замућеност и смањена провидност речне воде повезују са загађењем, треба нагласити да ово не мора нужно бити последица негативног утицаја човека, јер се неке реке, нарочито равничарске, природно одликују мутном водом, нпр. услед подизања муљевитог седимента. Повећана заступљеност алги у рекама може представљати последицу загађења минералним материјама (нитратним и фосфатним ђубривима), које проузрокују њихово бујање („цветање”). Некада и друге појаве, као што су повећана температура воде, могу довести до њиховог пренамножавања.

Провидност речне воде варира сезонски, нарочито у умереној климатској зони, где су реке најбистрије у зимском периоду, када је због снежног покривача смањено спирање честица са долинских површина. У нашем региону, реке су бистре у току пролећа, када почиње вегетативна сезона акватичних биљака, које имају потенцијал да усвајају растворене минералне материје из воде. Провидност је смањена током сезона са великом количином падавина, које проузрокују веће сливање честица и током летњег периода, када високе температуре проузрокују пренамножавање алги и последично нагомилавање њихове мртве биомасе.

Боја речне воде зависи од њеног састава. У зависности од боје, реке могу бити безбојне и плавичасте у дубљим слојевима (реке које воду примају из кристалистих или магматских стена), зеленкасто-плаве (реке крашких терена), жуто-мрке (равничарске реке и реке лесних терена), мрке (реке екваторијалних области, услед присуства суспендованих материја латерита), беличасте (ледничке реке) итд. Поједине реке имају врло специфичну обојеност (плаву или црвену) услед повећаног присуства одређених растворених соли или присуства одређених загађујућих материја.

ЦРВЕНА РЕКА

У југозападној Шпанији налази се река Рио Тинто веома необичног изгледа због своје упадљиво црвене и наранџасте боје, што представља последицу њених специфичних хемијских својстава. Њена вода је изузетно кисела, са рН вредношћу 2 и због тога је изразито неповољна за живот већине организама. У њој су присутне високе концентрације металних сулфида. Све то, ипак, одговара одређеним сумпор-оксидујућим бактеријама које добро подносе ниске рН вредности, док им метални сулфиди служе као извор енергије. Ове бактерије врше њихову оксидацију, при чему се ослобађају фери јони од којих потиче црвена боја реке. Сумпор-оксидујуће бактерије су одговорне за веома ниску рН вредност, јер током својих метаболичких процеса врше ацидификацију воде. Вода ове реке одликује се неуобичајено високим концентрацијама злата, сребра и бакра, јер протиче кроз подручје богато лежиштима ових метала, а ниска рН вредност повећава њихову доступност (слика 46).



Слика 46. Црвена вода реке Рио Тинто у Шпанији

Температура речне воде варира на дневном, сезонском и годишњем нивоу и зависна је од Сунчевог зрачења. Речна вода се загрева при проласку Сунчевог зрачења кроз њу, при чему се директно загревају честице које се налазе у њој. Оне потом одају топлоту која се преноси на молекуле воде. Код бистрих река, вода се добрим делом загрева од самог дна, које је претходно загрејано Сунчевим зрачењем. На температуру речне воде

утичу температура подземне воде којом се река снабдева и температура ваздуха изнад ње, као и падавине.

Због свог турбулентног кретања, речна вода има приближно уједначену температуру у свим тачкама свог профила, што представља последицу њеног мешања. Речна вода најчешће има вишу температуру на већој удаљености од извора, јер је на свом путу дуже време била изложена Сунчевом зрачењу и више је загрејана.

С обзиром да температура речне воде у највећој мери зависи од изложености Сунчевом зрачењу, јасно је да ће бити изражена и њена дневна динамика, па су јој најниже вредности у јутарњим часовима, а највише око 3 часа после подне. У условима умерене климе наше земље, речна вода има минималне средње месечне температуре у оном месецу када је ваздух најхладнији, док су максималне средње месечне температуре забележене месец дана касније у односу на период у коме је ваздух најтоплији. На рекама се услед ниских зимских температура у условима умерене климе наше земље некада јавља лед, који у неким случајевима може прекрити читаву њихову површину. Поред температуре, на формирање леденог покривача утиче брзина речног тока и зато је већа вероватноћа стварања леда на рекама које су споротекуће.

6.5.2. Речни ток

Под речним током се подразумева кретање речне воде речним коритом у одређеном смеру, од извора ка ушћу у другу реку, језеро, море или океан. Место на коме речни ток настаје избијањем подземних вода на површину назива се **извор** или **глава реке**. Поред извирања подземних вода или врела, реке могу настати и на друге начине, нпр. отицањем из језера (као у случају реке Бојане која отиче из Скадарског језера или реке Црни Дрим која отиче из Охридског језера) или од ледника (гледера).

Речна вода има различито порекло, тј. реке се на свом току на различите начине снабдевају водом. Површинске текуће воде могу бити представљене веома малим и несталним млазевима (цурци), који се формирају након обилнијих падавина. Ове површинске текуће воде немају свој извор, тј. њихова вода нема подземно порекло и њена количина зависи искључиво од падавина. Цурци отичу површински све док се не улију у неки већи водоток. Одређени водотоци настају извирањем подземне воде. На свом току они се хране водом која потиче од атмосферских падавина и од других водотока који се уливају у њега, тј. притока. Због тога се количина воде коју реке носе повећава са удаљеношћу од извора. Извирањем подземних вода најпре настају мали водотоци. Крашка врела због своје издашности могу формирати веће водотоке, тј. реке у ужем смислу значења.

Поједине реке настају спајањем две реке саставнице, а место њиховог спајања (суток, саставци или става) узима се као место њеног настанка. У потамологији све реке имају свој извор, а у случају настанка река на претходно описан начин њиховим извором сматра се извор којим настаје њихова дужа саставница. Пример за реку која настаје спајањем две реке саставнице у нашој земљи јесте Велика Морава. Њу формирају Јужна и Западна Морава. Јужна Морава настаје спајањем Биначке Мораве и Прешевске Моравице, док Западна Морава настаје спајањем Ђетиње и Голијске Моравице. Према поменутом правилу дуже саставнице, извором Велике Мораве се у потамологији сматра извор Биначке Мораве – дуже саставнице Јужне Мораве, која је дужа саставница Велике Мораве.

Да ли се две реке спајају или уливају једна у другу зависи од количине воде коју свака од те две реке носи са собом на месту спајања, односно ушћа. Када је једна река знатно мања од друге, каже се да се она улива у њу. У случајевима када не постоји

значајнија разлика у количини воде, обично се каже да се две реке спајају. Називи река који су настали у народу често не прате ово правило, што се може уочити на поменутом примеру Јужне и Западне Мораве. Како је Јужна Морава богатија водом од Западне Мораве, у строго потамолошком смислу би било правилно рећи да се Западна Морава улива у Јужну. Међутим, након њиховог „спајања”, ова река се више не зове Јужном Моравом, већ Великом. С обзиром да су народни називи река добро устаљени, они су прихваћени у потамологији, иако не осликавају поменуто правило.

НАСТАНАК РЕКЕ САВЕ

Различити начини настанка речног тока могу бити сагледани на примеру реке Саве, коју у северозападној Словенији (у близини насеља Радовљица) формирају две реке саставнице: Сава Долинка и Сава Бохињка, које имају занимљив начин настанка.

Сава Долинка настаје на извору Зеленци (слика 47), код Крањске Горе. Ово је место где на површину избија вода подземног дела тока реке Надиже, која извире на Јулијским Алпима, а потом понире.

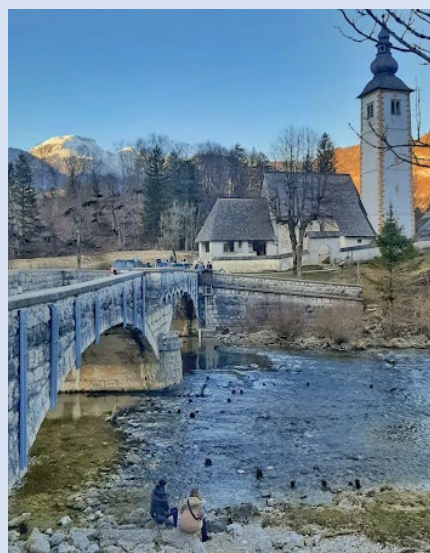
Сава Бохињка настаје од Језернице која отиче из Бохињског језера и након свега стотинак метара се спаја са Мостницом, формирајући Саву Бохињку (слика 48).

Река Сава протиче кроз Словенију, Хрватску и Србију. Мањим делом свог тока (свега 4 km) Сава представља пограничну реку између Словеније и Хрватске, а знатно већим пограничну реку између Хрватске и Босне и Херцеговине. Свој ток завршава у Дунав, у Београду.

Иако се за Саву често каже да настаје спајањем Саве Долинке и Саве Бохињке, у потамологији се дужина тока ове реке не рачуна од места спајања њених саставница, већ од места на коме извире дужа саставница. У овом случају, то је Сава Долинка. Због тога, дужина реке Саве износи 990 km, у шта је урачунато и 45 km тока Саве Долинке.



Слика 47. Крашки извор Зеленци – место настанка Саве Долинке



Слика 48. Место на коме из Бохињског језера отиче Језерница, која након 100 m са Мостницом формира Саву Бохињку

Од места формирања до места на коме се река улива у другу реку, језеро, море и океан, речна вода се стално креће одређеном брзином која зависи првенствено од нагиба терена и проузрокована је силом Земљине теже. Брзина тока може бити различита. Највећа је у случају планинских потока, а најмања у случају равничарских река, тј. равничарских делова тока једне реке. Поред Земљине теже, кретање речне воде је под утицајем других сила, као што су силе инерције, трења и Кориолисове силе, која настаје услед Земљине ротације око своје осе.

Ток једне реке се на основу својих карактеристика може грубо поделити на горњи, средњи и доњи. Разлике између делова речног тока се огледају у брзини

кретања воде, што последично проузрокује разлике у другим карактеристикама речног тока, придружујући томе и карактеристике живог света у њему.

Горњи ток је део реке у подручју у коме она извире, најчешће на високим планинама, те се због великог нагиба терена који овде постоји уобичајено одликује великом брзином кретања речне воде. Горњи ток се одликује релативно ниском, постојаном температуром воде и већом количином кисеоника у њој. Речна вода у горњем току има веће ерозионе моћи због њене релативно велике брзине кретања. Процес седиментације у овом делу тока је слабо изражен, због чега је дно најчешће каменито.

Средњи ток је део реке у подручју са мањим нагибом терена, те је и брзина кретања воде нижа у поређењу са брзином у горњем току. Температура воде у средњем току показује већа колебања у поређењу са водом горњег тока, мањом концентрацијом раствореног кисеоника и већом концентрацијом раствореног угљен-диоксида. У овом делу тока подједнако су изражени процеси ерозије и седиментације, што погодује формирању шљунковитог и песковитог дна реке.

Доњи ток је део реке у равници, који се налази ближе њеном ушћу. Брзина кретања воде је мала, услед малог нагиба терена. Колебање температуре воде у току године у доњем току је веома изражено, као и концентрација раствореног кисеоника, која је најнижа у топлијем делу године када је температура воде највиша. Због мале брзине кретања воде у овом делу тока ерозија је минимална. Процеси седиментације преовлађују, па је дно реке муљевито. По својим карактеристикама речна вода доњег тока показује велике сличности са стајаћим водама.

На појединим деловима речног тока долази до формирања специфичних сектора реке што је проузроковано специфичностима терена кроз који се река креће. У горњем току реке може доћи до формирања посебних, краћих сектора као што су брзаци, водопади и слапови. На местима са великим нагибом терена, где речна вода тече великом брзином, између и преко стена настају **брзаци**. При нижим водостајима стене обично штрче изнад површине воде брзака. На местима где постоје вертикални одсеци у терену долази до наглог пада речне воде, тј. њеног сурвавања са одређене висине. На тај начин настају **водопади**. Они делови реке који се карактеришу великом брзином кретања воде и састављени су од низа брзака и мањих водопада, називају се **слапови**.

За разлику од планинских водотокова и горњих токова река за равничарске реке карактеристична је појава другачијих специфичних сектора. У случају равничарских река, услед мањег нагиба терена и значаја силе Земљине теже у кретању речне воде, долази до израженијег испољавања дејства сила инерције и то проузрокује настанак вијугавих делова токова. Долази до постепене ерозије једне од бочних страна корита, док се, истовремено, на супротној страни на том месту дешава повећана акумулација наноса. На тај начин настају речне оуке које се називају **меандри**. У неким случајевима равничарске реке могу пробити преграду која се ствара меандрирањем, а меандар може остати одвојен од речног тока. Тако настају одсечени меандри који су испуњени стајаћим водама, које се називају мртвајама.

На одређеним местима речног тока може доћи до одвајања мањег водотока од већег, који након тога независно тече у односу на главни ток. На тај начин настају **рукавци** (отоке или растоке), који се у одређеним случајевима могу поново спојити са главним током реке.

Место на коме се река улива у другу реку, језеро, море или океан представља **ушће**. У случајевима када је уливање реке у језеро, море или океан праћено израженим нагомилавањем велике количине речног наноса долази до разливања речне воде у више мањих рукаваца, који се кроз тај нанос пробијају. На тај начин настаје посебан тип ушћа који се називају **делте** (слика 49). Посебан тип ушћа река у мора и океане представљају и **естуари**, који су левкасто проширени услед велике разлике између плиме и осеке. На ушћима река у мора, океане и слана језера долази до мешања слатке речне воде са сланом водом, при чему настају бракичне (бочатне) воде чији се салинитет креће од 0,5 до 30‰.



Слика 49. Сателитски снимци делте Дунава (а) и Волге (б)

6.5.3. Речно корито и речна долина

Речно корито представља усечени жлеб у терену којим се река креће на свом току од извора до ушћа. До усецања речног корита долази услед ерозионих процеса и одношења материјала речном водом. Дно речног корита назива се раван корита, а са обе стране дна уздижу се стране корита, лева и десна. Линија у којој се додирују вода и копно представља обалу, мада се под њом чешће подразумева део стране корита који није потопљен. Обале, као и стране корита, могу бити леве и десне. Велике реке се често изливају из речног корита, али се то може повремено десити и у случају мањих водотока.

Речна долина представља уско (али шире од корита) удубљење у терену којим се река креће. Речно корито представља део речне долине. На профилу речне долине могу се разликовати њене стране и дно (раван). **Долинске стране** су равни које се пружају од речног корита и могу бити косе (када је усецање речног корита уједначено током времена, што је редак случај), конкавне (када је спирање и одношење материјала са долинских страна израженије него усецања у долиноско дно) или конвексне (када је усецање у долиноско дно израженије него спирање и одношење материјала са долинских страна). Долинске стране некада могу бити издељене на површине које су благо нагнуте ка реци и у правцу речног тока. Ове површине се називају **речним терасама** и представљају остатке некадашњег долиноског дна којим је текла речна вода.

Долинска раван представља дно долине изнад кога се пружају долинске стране, тј. најпре њихове најниже речне терасе. **Алувијална раван** (инундациона раван или полој) представља најнижи део долинске равни, који редовно плаве велике воде приликом изливања из речног корита и на коме долази до таложења речног наноса. Широке алувијалне равни су карактеристичне за велике равничарске реке. Некада могу бити широке и до 500 km, као што је случај у појединим деловима долине Амазона, док је ширина алувијалне равни реке Саве код Шапца око 25 km.

Типови речних долина. Према морфологији, тј. у зависности од дубине речног корита, облика и положаја долинских страна и долинске равни, речне долине се могу поделити на теснаце (кланце), кањоне, клисуре и нормалне долине. **Теснаци** су уске речне долине које су формиране вертикалном ерозијом стена. Долинске стране су им мање-више окомите, па је њихова ширина при врху практично једнака или нешто већа од ширине речног тока. **Кањони** су дубоко усечене речне долине веома стрмих и скоро вертикалних страна које директно прелазе у речно корито, што значи да долинско дно није изражено. **Клисуре** су дубоке речне долине стрмих (али не вертикалних) страна, које поседују уско долинско дно. **Нормалне долине** нису дубоко усечене, стране им нису стрме већ под малим нагибом, а долинско дно им је широко.

6.5.4. Речни систем, речна мрежа и речни слив

Речни систем чини река која се улива у језеро, море или океан (главна река) и све њене притоке, што је дефиниција речног система у најширем смислу. Може се говорити и о речним (под)системима који су део неког ширег речног система. Постоји речни систем Дрине као део ширег речног система Саве. Он припада речном систему Дунава, који је као такав засебан, јер се ова река не улива у друге реке, већ у Црно море.

Постоје различити начини класификације река у оквиру речног система. Према једној од њих, главна река је река првог реда, њене притоке су реке другог реда, реке које се уливају у притоке главне реке су реке трећег реда итд. Према другим класификацијама, реке које немају притоке (обично мањи водотоци) означене су као реке првог реда, реке у које се уливају само реке првог реда су реке другог реда, реке у које се уливају реке првог и другог реда су реке трећег реда итд. Поред ова два наведена начина постоје и други начини класификације водотока у оквиру једног речног система.

Речну мрежу чине све реке (тј. сви водотоци, од најмањих до највећих) једног подручја, односно дела копна. Речна мрежа представља део укупне хидрографске мреже коју поред текућих вода чине и стајаће воде, попут бара и језера, као и ледници на датом подручју. Подручје (део копна) које се приликом разматрања речне мреже узима у обзир може бити различите величине и подразумевати једну мању географску област или чак цео континент, као и територије чије границе нису природно дефинисане, попут држава и њихових административних јединица. Према томе, може се говорити о речној мрежи Мачве, Војводине, Србије, Балканског полуострва, Европе итд.

Док су у оквиру једног речног система све реке које га чине повезане, то не мора бити случај са рекама једне речне мреже. У Србији већина река припада Дунавском речном систему. Њену речну мрежу чине сви њени водотоци, укључујући и реке које нису део Дунавског речног система, као што су Бели Дрим (у Албанији се спаја са Црним Дримом формирајући Дрим који се улива у Јадранско море) или Пчиња (у

Македонији се улива у Вардар који одлази у Егејско море). Богатство неке територије рекама се изражава густином речне мреже, која представља однос између укупног броја река и површине те територије.

Слив (дренажни систем) представља подручје (део копна) са кога све воде отичу ка одређеној реци, језеру, мору или океану. Граница између два слива назива се **вододелница** (развође). Све падавинске воде се по доспевању на површину копна (или након отапања у случају снега) крећу под утицајем гравитације у одређеном смеру, у зависности од смера нагиба површине терена, тј. првог водонепропусног слоја стена. Могу се разликовати **топографски слив**, односно топографске вододелнице и **хидрогеолошки слив**, илити хидрогеолошке вододелнице. Када је терен изграђен од водонепропусних стена, топографски и хидрогеолошки слив и њихове вододелнице се просторно поклапају. У крашким теренима, услед водопропустљивости кречњачке геолошке подлоге, обично долази до њиховог неподударања. Падавинске воде могу делом отицати по површини терена ка једној реци (топографски слив). Истом сливу у хидрогеолошком смислу могу припадати подземне воде и падавинске воде које пониру до њих кроз водопропустљиве слојеве стена, ван граница топографског слива. Топографске вододелнице су одређене рељефом, тј. највећим узвишењима терена, док су хидрогеолошке вододелнице условљене саставом геолошке подлоге и правцем пружања водонепропусних слојева.

Речни слив је у вези са речним системом, а разлика између њих је у томе што се под речним системом подразумевају само водотоци, док се под сливом подразумева географско подручје са којег падавинске воде доспевају у један одређени речни систем. Слично као што се може говорити о речним системима различитог нивоа (дрински систем, савски систем, дунавски систем), тако се може говорити и о сливу Дрине, који је део слива Саве, а припада сливу Дунава. Слив Дунава припада ширем црноморском сливу, односно територији која обухвата знатан део Европе и који поред дунавског слива у себе укључује сливове других река, које се уливају у Црно море.

Територија Србије највећим делом припада Црноморском сливу, што значи да највећи број наших река и највећа количина падавинских вода, преко Дунава доспева у Црно море. Знатно мањи део територије Србије припада Јадранском сливу (део Косова и Метохије, са реком Бели Дрим) и Егејском сливу (крајњи југоисток земље, са Пчињом и Драговиштицом, као и мањи део Косова и Метохије са реком Лепенац). Сва три наведена слива су преко Медитеранског мора повезана са водама Атлантског океана и припадају атлантском сливу. Читаво копно планете Земље је подељено главним развођима на слив Атлантског океана, слив Тихог и Индијског океана и слив Северног леденог океана.

6.5.5. Водни режим река

Речни режим обухвата све хидролошке карактеристике реке, њихове промене у функцији времена и факторе тих промена. Један од најважнијих параметара речног режима јесте водни режим. Поред њега овде спадају: термички режим, режим наноса и хидрохемијски режим река. Водни режим река се односи на количину воде једне реке, варирање количине воде током времена и на факторе који узрокују то варирање. Показатељ стања водног режима река је **водостај**, тј. висина нивоа воде у реци, у односу на референтну раван, у одређеном тренутку. Варирање водостаја током одређеног временског периода назива се **водостање**. Један од најважнијих елемената

водног режима јесте **протицај** под којим се подразумева количина воде која протекне кроз профил реке у јединици времена (изражава се у m^3/s).

На водни режим река и његове промене могу утицати различити фактори, а у првом реду климатски (падавине и испаравање), који зависе од географског поднебља и надморске висине, тј. рељефа. Поред тога, на водни режим река утичу карактеристике слива које одређују начин отицања падавина, тј. његова геолошка грађа, земљиште и вегетација. У данашње време све је израженији утицај човека и његових активности на карактеристике водног режима река (антропогени фактор).

Утицај климатских фактора. Климатски фактори најчешће имају пресудну улогу у одређивању водног режима река. Међу њима се истичу **падавине**, тј. атмосферске воде којима се реке хране. Један од најважнијих фактора у вези са падавинама је годишња висина падавина, тј. укупна количина падавина излучена у току године, изражена у mm. За водни режим река није битна само проста сума падавина, већ и начин на који су те падавине расподељене у току године, по месецима или годишњим добима (плувиометријски режим). Док је количина падавина у позитивној корелацији са висином водостаја река, **испаривање** има супротан ефекат јер проузрокује смањење количине воде у рекама.

Утицај орографских фактора. Рељеф утиче индиректно на водни режим река, модификацијом макроклиматских карактеристика. Повећањем надморске висине повећава се количина падавина. Истовремено се снижава температура, чиме се смањује интензитет испаравања воде, како из самих река, тако и вода које површински отичу према реци на површини слива.

Утицај геолошких фактора. Водопропустљивост геолошке подлоге на подручју слива, као и положај и дубина водонепропусних слојева може знатно утицати на карактеристике водног режима река. Присутност карста на подручју слива реке може изменити водни режим читавог терена. Кречњачка геолошка подлога проузрокује веома брзо понирање падавинских вода у дубље слојеве, где се формирају подземни водотоци, који на одређеним местима избијају на површину терена у виду крашких врела велике издашности. Због брзог понирања падавинских вода у дубље слојеве, испаравање је занемарљиво. Крашки терени се одликују водом богатим подземним водотоковима и веома малим бројем надземних водотокова. У случају растресите геолошке подлоге (алувијалних наноса), долази до понирања падавинских вода. Оне овде не отичу у виду подземних водотока, већ се акумулирају и мешају са подземном водом, процеђеном из река преко речних обала.

Утицај едафских фактора. Земљиште може имати велики утицај на водни режим река, у чему пресудан значај имају његова инфилтрациона способност и способност задржавања воде. **Инфилтрациона способност** представља способност земљишта да упија воду са своје површине (падавинске воде), при чему оне пониру (инфилтрирају се) у дубље слојеве. Уколико је ова способност земљишта мала, падавинске воде ће отицати већим делом по површини слива. У том случају ће већа количина воде доспевати до река површински, док ће храњење река подземним водама бити мање изражено. **Способност задржавања воде** представља способност земљишта, не само да прими воду у себе, већ и да је задржи да не понире у дубље слојеве литосфере. Уколико је ова способност земљишта слабо изражена, отицање падавинских вода до река ће бити велико, али у овом случају воде ће подземним путевима хранити реку. Земљишта са великом инфилтрационом способношћу и великом способношћу задржавања воде

могу представљати кључан фактор у спречавању наглог пораста водостаја и евентуалног изливања река из корита након интензивних падавина.

Утицај вегетацијских фактора. Вегетација слива представља један од кључних фактора водних режима река. Одређени део падавинских вода се задржава на надземним деловима биљака, одакле испарава. Вегетација представља баријеру површинском отицању падавинских вода, те је оно отежано и успорено. Што се вода дуже задржава на површини земљишта, већа количина те воде ће испарити. Вегетација повећава инфилтрациону способност земљишта, што смањује количину воде која ће површински отицати према реци. Реке сливова, који су обрасли бујном вегетацијом, биће мање подложне изливању из корита, појави бујица и поплава. Највећи потенцијал у смањењу и успоравању површинског отицања падавинских вода и спречавању последичног изливања водотокова има шумска вегетација из следећих разлога:

- крошње дрвећа имају велики капацитет задржавања воде на себи;
- шумска стеља спречава површинско отицање падавинских вода;
- дубоко корење дрвенастих врста побољшава инфилтрациону способност земљишта.

Утицај антропогених фактора. У данашње време, човек и његове активности могу у знатној мери пореметити природан режим река. Најочигледнији и директни антропогени утицај огледа се у изградњи брана, којима се формирају вештачка језера. Са њих испарава велика количина воде, чиме се смањује количина воде у рекама. Човек смањује количину воде у рекама и када воду из ње каналима или тунелима преусмерава у слив друге реке или када се то чини за потребе наводњавања земљишта. Непосредан утицај на водни режим река човек врши тако што превасходно утиче на карактеристике земљишта и вегетације, на подручју слива. Деградацијом земљишта и уништавањем природне вегетације смањује се инфилтрациона способност земљишта, тако да је површинско отицање падавинских вода знатно израженије и брже. Због тога су појаве поплава и бујичних токова честе на теренима који су на овај начин деградирани. Делатности које највише доприносе деградацији терена у овом правцу јесу пољопривреда (уклањање природне вегетације, интензивне агротехничке мере) и урбанизација, рударство, итд. Како су човек и његове активности одговорни за климатске промене, њихови ефекти попут поремећаја падавинског режима (појава суша и интензивних пљускова) и пораст температуре (чиме се повећава испаравање воде) могу се убројати у антропогене факторе водног режима река.

6.6. СТАЈАЊЕ КОПНЕНЕ ВОДЕ

Поред површинских текућих копнених вода, постоје и површинске **стајаће копнене воде**. Иако сам назив ових вода не значи да оне у потпуности мирују, њихово кретање је другачијег карактера од кретања текућих вода. Због тога се често каже да се стајаће воде „привидно не крећу”, што значи да не постоји уједначено кретање воде у једном смеру. Кретање воде у стајаћим водним телима је присутно, у виду таласа, струја и вертикалног кретања воде као последице разлике у температури између њених слојева. **Језера** су највећа копнена стајаћа водна тела која се састоје од удубљења у терену, тј. **језерског басена** и воде које то удубљење испуњава. Поред језера која су настала природним процесима, постоје и она која је створио човек (вештачка језера). Наука која се бави проучавањем језера назива се **лимнологија**.

У стајаће воде убрајају се и баре, локве и мочваре. **Баре** су плитке и мале стајаће воде, а уколико су периодичног карактера, називају се **локвама**. Мочваре су посебна категорија плитких стајаћих вода, које током целе или већи део године покривају тло или је оно веома засићено водом. Мочваре се издвајају у посебну групу стајаћих вода због специфичности вегетације и биљног света који их насељава.

6.6.1. Настанак језера

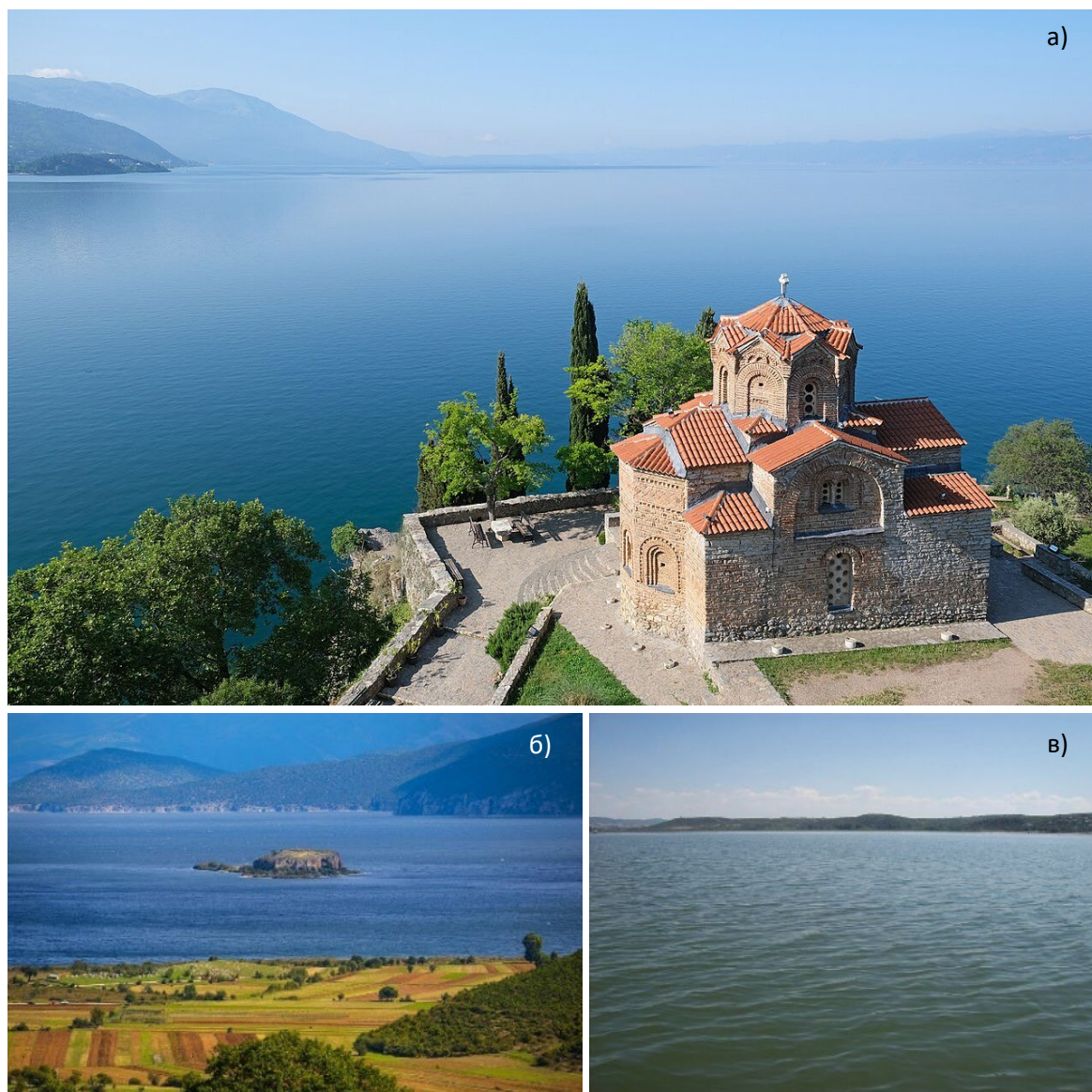
Настанак језера обухвата два процеса – настанак удубљења (депресије) у литосфери, као резултат различитих геоморфолошких процеса и испуњавање тог удубљења (језерског басена) водом која може бити различитог порекла. Геоморфолошки процеси који проузрокују формирање депресије могу бити тектонски покрети, ерозија и акумулација наноса. Удубљење у литосфери може настати и радом човека, чиме се формирају вештачка језера. На основу начина настанка језера се деле на тектонска, ерозивна и акумулациона, док посебну категорију чине вештачка језера.

Тектонска језера настају деформацијом Земљине коре услед тектонских издизања или спуштања, при чему долази до формирања депресије која се испуни водом. Овако настају **котлинска језера** или тектонска језера у ужем смислу. У ову групу спадају Охридско, Преспанско и Дорјанско језеро у Македонији (слика 50) и Бајкалско језеро у Русији, које је најдубље на свету.

Посебну групу тектонских језера у ширем смислу чине **реликтна језера**, која настају у случајевима када дође до издизања Земљине коре на месту где је постојао мореуз или залив. На тај начин некадашња мора или заливи остају одвојени од мора или океана са којим су претходно били повезани. Примери за оваква језера су Каспијско (по површини највеће језеро у свету) и Аралско језеро.

Када до формирања језерског басена дође услед вулканских активности, настају **вулканска језера**. Ова језера могу настати у кратерима некада активних вулкана (Кратерско језеро у САД) или на местима где је лава преградила речни ток (Викторијино језеро у Африци).

У тектонска језера спадају и **метеоритска језера**, чији су басени некадашњи кратери настали падом метеорита. Једно од највећих језера насталих на овај начин је језеро Маникуаган у Канади.



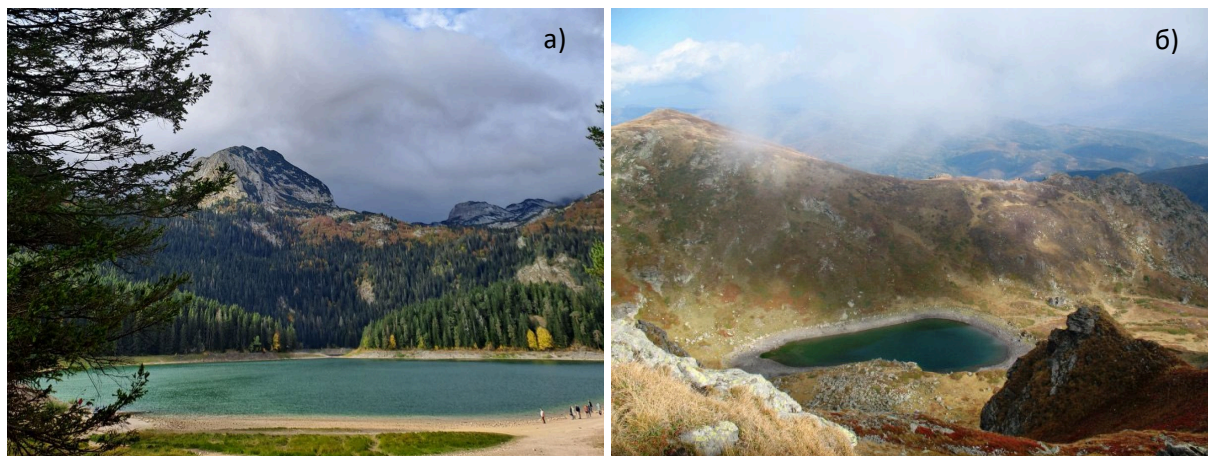
Слика 50. Тектонска језера Балкана: Охридско (а), Преспанско (б) и Дорјанско (в)

Иако се басени **урнинских језера** не формирају тектонским покретима, она се такође убрајају у ову групу, јер је узрок њиховог настанка геолошке природе. Када услед земљотреса или неког другог фактора дође до обрушавања (одрона) веће количине земљишта и стена у речно корито, речни ток постаје преграђен и последично долази до ујезеривања воде. Најчешћи узрок настанка ових језера су клизишта. Завојско језеро код Пирота је делом настало на овај начин, када је услед клизишта формирана природна брана на реци Височици. Будући да је ова брана касније надвишена изградњом вештачке бране ово језеро се убраја у вештачка језера.

Ерозивна језера настају када нека спољашња сила ерозивним процесима формира удубљење у Земљиној кори које се након тога испуни водом.

Уколико је удубљење настало услед ерозивног рада ледника (гледера), таква језера се називају **ледничким (гласијалним) ерозивним језерима**. С обзиром да се удубљења формирана ерозијом ледника називају цирковима, други назив за ова језера су циркна језера, док су у нашем народу позната под називом „горске очи”. Ова језера се могу наћи на високим планинама, као што су Дурмитор (Црно језеро) (слика 51а) и

Шар-планина („шарске очи”, Штрбачко језеро) (слика 51б), на местима где су се током ледених доба налазили ледници.



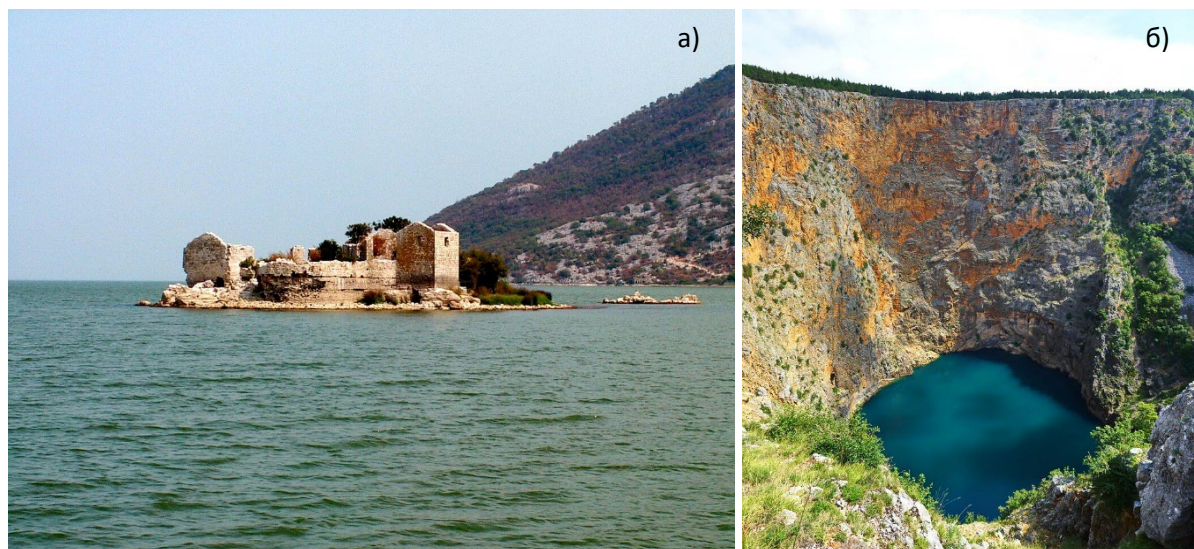
Слика 51. Циркна ледничка језера: Црно језеро на Дурмитору (а) и Штрбачко језеро на Шар-планини (б)

Ерозијом коју врши речна вода у алувијалној равни (флувијална ерозија) настају **речна ерозивна језера**. Међу њима се могу разликовати проточна језера, која остају повезана са главним током реке и мртваје, које се формирају у меандрима одвојеним од речног тока. Ова језера су честа око равничарских река које услед малог нагиба терена доста меандрирају. Пример за ово језеро је Обедска бара у Срему, која лежи у меандру, који је остатак некадашњег тока реке Саве (слика 52).



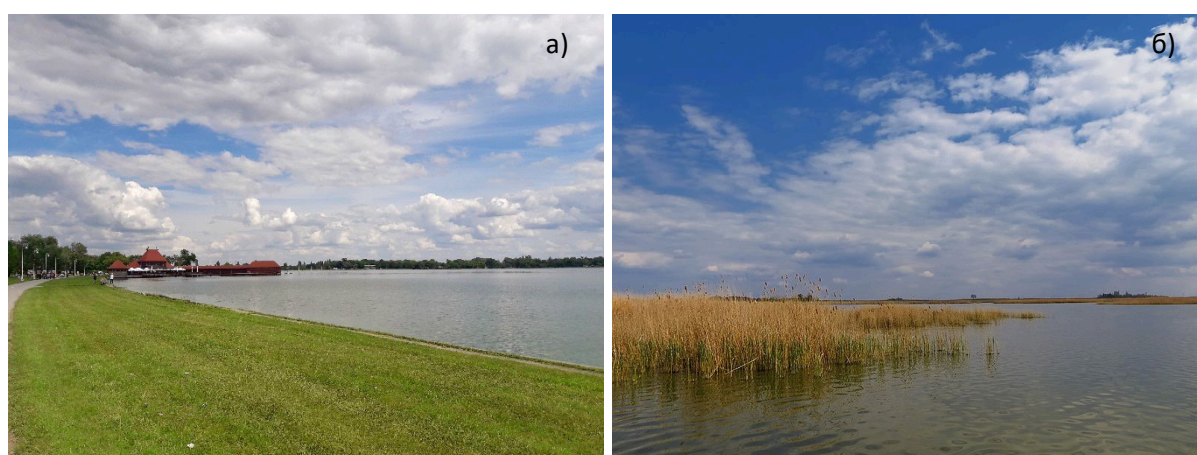
Слика 52. Обедска бара – остатак некадашњег тока реке Саве у Срему

У крашким теренима, ерозијом кречњака настају различити облици крашког рељефа у виду удубљења, као што су крашка поља, увале и вртаче. Уколико се ова удубљења испуне водом, настају **крашка ерозивна језера**. Примери за овај тип ерозивних језера су Скадарско језеро у Црној Гори (потопљено крашко поље) или Црвено језеро у Далмацији (вртача испуњена водом) (слика 53).



Слика 53. Крашка ерозивна језера: Скадарско језеро у Црној Гори (а) и Црвено језеро у Далмацији, Хрватска (б)

Ерозивна језера чији је басен формиран ерозијом ветра називају се **еолским језерима**. У ову групу ерозивних језера спадају она која настају у међудинским улегнућима. Еолска језера су карактеристична за пустињске, полупустињске области и пределе са лесом или песком као матичном подлогом, на које ветар може имати велики утицај, за разлику од чврстих стена. Овако настале депресије се најчешће испуњавају водом подземног порекла када еолским ерозивним процесима дође до оголићења издани. Код нас су еолска језера заступљена у Војводини (Палићко и Лудошко језеро) (слика 54).

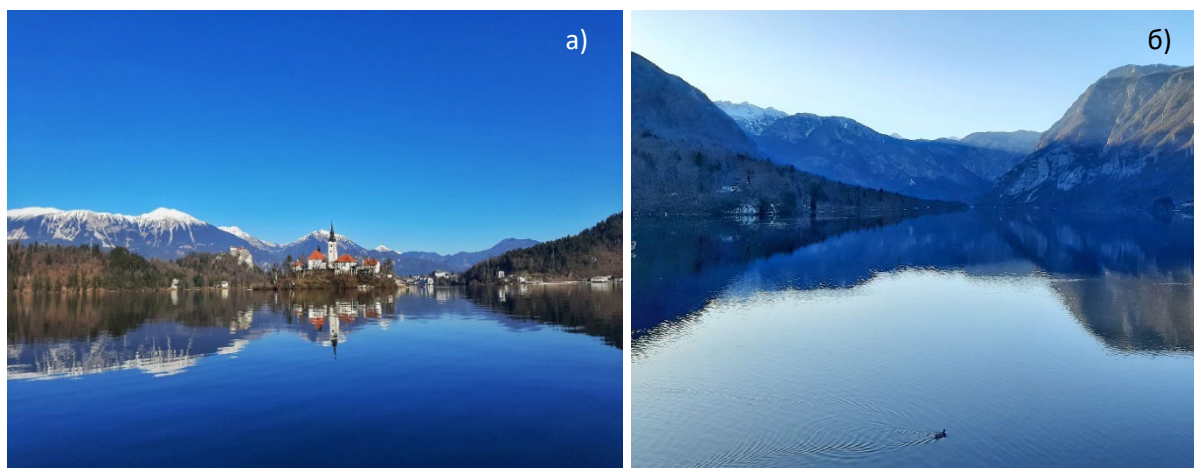


Слика 54. Еолска језера Војводине: Палићко (а) и Лудошко (б) језеро

Акумулациона језера настају радом спољашњих сила, али за разлику од ерозивних, код којих је удубљење настало ерозијом, код акумулационих до формирања удубљења долази услед нагомилавања (акумулације) наноса. Ови наноси могу бити ледничког,

речног, морског или органског порекла, па се у складу са тим могу разликовати ледничка, речна, приморска и зоогена акумулациона језера.

За разлику од ледничких ерозивних језера која се формирају у цирковима, **ледничка (гласијална) акумулациона језера** настају у терминалним басенима који су са доње стране ограничени чеоним моренама – наносима раздробљених стена, које ледник гура испред себе. Због тога се ова језера називају моренским језерима. Као и ледничка ерозивна и ова језера су карактеристична за пределе на високој надморској висини. Бледско и Бохињско језеро у Словенији (слика 55), као и Плавско и Биоградско језеро у Црној Гори припадају групи ледничких акумулационих језера.



Слика 55. Ледничка моренска језера Словеније: Бледско (а) и Бохињско језеро (б)

Када на одређеним деловима тока реке дође до таложења (акумулације) калцијум-карбоната, формирају се преграде којима се брзина тока реке успорава, те долази до ујезеривања воде. На овај начин настају **речна акумулациона језера**, позната под називом бигрена језера. Најпознатији пример речних акумулационих језера на Балкану су Плитвичка језера у Лици, која су формирана на реци Корани (слика 56).

Језера формирана у непосредној близини мора, најчешће од морских залива или од левкастих ушћа река, називају се **приморским акумулационим језерима**. Ова језера настају поред ниских пешчаних обала када морски или речни наноси формирају преграде које потпуно или делимично одвоје некадашњи залив или ушће од мора. Међу овим језерима могу се разликовати лагуне, које настају када се приобални делови мора од остатка мора одвоје пешчаним наносима под називом лидо и лимане, који настају када се између левкастих ушћа река и мора формира делимична преграда од морских или речних наноса.

Преграде којима су акумулациона језера одвојена од реке, мора или океана могу бити биотичког, тј. органског порекла. На овај начин настају **зоогена језера**. Најчешћи пример зоогених језера су језера која настају када поред или око коралних острва (атола) корални гребени формирају преграду и на тај начин зоогено језеро остаје одвојено од океана. У ову групу се могу сврстати језера која настају када даброви својим бранама преграде ток реке, што проузрокује ујезеривање воде.

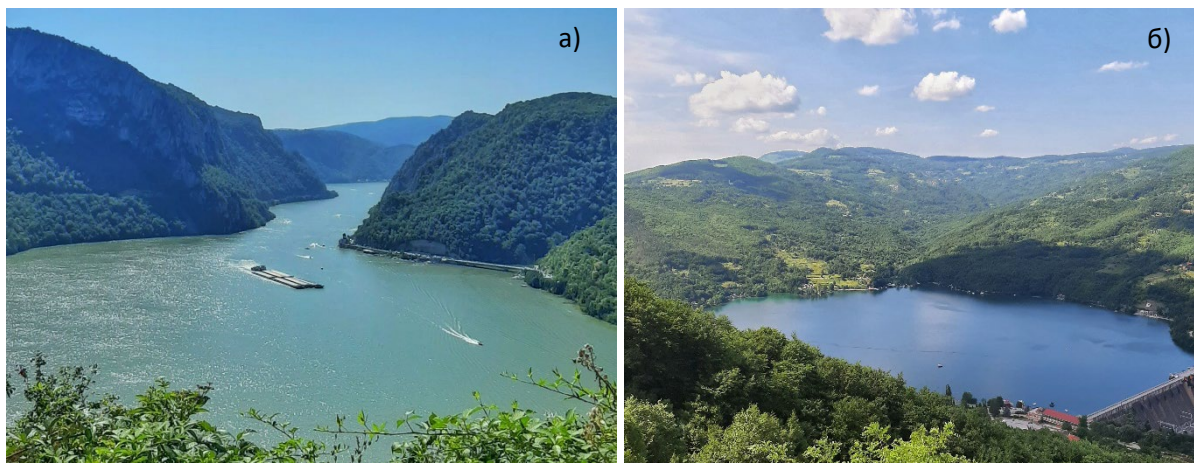


Слика 56. Плитвичка језера – бигрена језера на реци Корани у Лици, Хрватска

Вештачка језера су језера која је формирао човек. Разлози за формирање вештачких језера могу бити различити, као што су наводњавање пољопривредних површина, узгој рибе, снабдевање људи пијаћом водом, изградња хидроелектрана за производњу електричне енергије или з

аштита од поплава. Вештачка језера представљају туристичке атракције и могу бити намењена за рекреацију. Најчешће се формирају изградњом брана, којима се преграђује речни ток, услед чега узводно од бране долази до ујезеривања воде. На овај начин дешавају се значајне промена у животној средини, с обзиром да се претходни речни екосистем замењује знатно другачијим језерским екосистемом, а изградњом брана може бити онемогућена миграција риба, што посебно негативно утиче на миграторне врсте, као што су јегуље које из река мигрирају у мора, зарад парења и мрешћења. Напуштени рударски, површински копови испуњени водом припадају групи вештачких језера, будући да је у формирању њиховог басена учествовао човек.

У Србији су најбројнија језера настала вештачким путем, а међу њима су најпознатије Ђердапско (слика 57а), настало изградњом бране на Дунаву и Перућачко језеро (слика 57б), које је формирано преграђивањем тока Дрине. У Војводини, а нарочито на Фрушкој гори, постоји већи број вештачких језера насталих на местима некадашњих површинских копова.



Слика 57. Вештачка акум улациона језера у Србији: Ђердапско (а) и Перућачко (б) језеро

6.6.2. Језерски басен

Језерски басен је удубљење (депресија) која је испуњена језерском водом. Језерски басен може настати на различите начине: тектонским, ерозивним или акумулационим процесима. Карактеристике језерског басена, као што су његов облик, димензије и рељеф, могу знатно утицати на особености самог језера и живог света који га насељава. Неопходно је напоменути да се у иностраној литератури под језерским басеном (енг. *lake basin*) некада подразумева читаво дренажно подручје неког језера, тј. подручје са кога површинске воде отичу у одређено језеро.

Рељеф језерског басена се формира као последица деловања различитих процеса. У ове процесе се убрајају они који доводе до самог настанка језерског басена (тектонски, ерозивни и акумулациони процеси). Временом долази до испољавања ефеката процеса у којима учествује сама језерска вода, чиме рељеф језерског басена добија свој, условно речено, коначан изглед. Кретање језерске воде, а посебно рад таласа, временом доводи до механичког разарања одређених делова језерског басена. Распаднути материјал бива ношен и премештан језерском водом. Седиментација, тј. таложење материјала различитог порекла из језерске воде на језерско дно представља битан процес којим се обликује језерски басен.

Језерски басен се састоји од прибрежне области и дна. **Прибрежну област језерског басена** чине стране језерске котлине, литорални појас и сублиторални појас. **Стране језерске котлине** представљају део копна око језера и налазе изнад водене површине, што значи да нису под водом ни при највишим водостајима језера. **Литорални појас** представља обалу језера коју чине три дела: сува обала, која је под водом само током највиших језерских таласа, плављени појас, који је под водом само током највиших водостаја и подводни појас, који је под водом током најнижих водостаја језера. Дубина литоралног појаса се креће до око 20 m. **Сублиторални појас** налази се на прелазу прибрежне области у језерско дно и састоји се од појаса разарања, у коме се водом односе шљунак и песак и прибрежне терасе, где се шљунак и песак акумулирају. Прибрежна тераса се завршава језерским одсеком, иза кога се налази дно. Вода која се налази изнад прибрежне области језерског басена представља **литоралну зону језера**.

Дно језерског басена (централна језерска равна) представља највећи и заравњени део језерског басена. На дну језерског басена местимично могу постојати мања или већа удубљења, што је нарочито изражено у случају крашких језера. Оно је прекривено језерским седиментима различитог порекла и хемијског састава. Код неких језера диференцирано је на профундал и абисал. **Профундал** представља дубинску зону језера до кога не допире светлост и чија подлога је изграђена од финог седимента и муља. **Абисал** представља делове дна језера на дубини од преко 300 m, што значи да ову зону имају само веома дубока језера. Вода која се налази изнад дна назива се **лимнетичком зоном језера**.

6.6.3. Својства језерске воде

Састав језерске воде. Воде у језерима су веома разноврсне по свом хемијском саставу, минерализацији, салинитету итд. За разлику од морске воде, у језерским водама концентрације растворених соли се не налазе увек у константној размери. На састав језерске воде утиче много фактора, као што су географски положај и климатске карактеристике области у којој се језеро налази, начин храњења језера водом, морфолошких карактеристика језерског басена, живог света које насељава језеро итд. У значајне компоненте језерске воде, које одређују њене карактеристике спадају: растворени јони, микроелементи, растворени гасови, биогене и органске материје.

Минерализација језерске воде зависи од количине и односа најзаступљенијих **растворених јона** у које се убрајају бикарбонати (HCO_3^-), карбонати (CO_3^{2-}), сулфати (SO_4^{2-}), хлориди (Cl^-) итд. У зависности од концентрације растворених соли, језера се могу грубо поделити на слатка (до 1‰) и слана (преко 1‰). Нека језера се одликују много већим салинитетом од оног који је карактеристичан за морску воду. Тако нпр. салинитет Мртвог мора на Блиском истоку, најпознатијег сланог језера на свету, износи до 342‰. Изузетно је слано и језеро Туз у Турској, са око 324‰ растворених соли. Каспијско језеро је највеће језеро на свету по површини, има благо повишен салинитет (највише до 13‰ у појединим деловима) и може се убројати у слана језера.

У појединим језерима се могу пронаћи **микроелементи** у виду метала, што представља последицу специфичности геолошке грађе стена испод језера или на подручју слива језера. Због тога се истраживањем концентрације метала у језерској води може установити присуство лежишта руда метала на одређеној локацији.

Биогене материје су у језерској води представљене различитим неорганским једињењима азота и фосфора. Њихово присуство представља последицу активности живих бића и процеса кружења материја. **Органске материје** у језерској води се јављају у виду живих организама (микроорганизми, алге, биљке и животиње) и мртве биомасе која подлеже процесу разлагања.

У језерској води су присутни различити **растворени гасови**. Ови гасови могу настати у самом језеру током различитих биолошких процеса (аутохтони гасови: водоник-сулфид, метан, водоник, амонијак) или могу водити порекло из атмосфере (алохтони гасови). Кисеоник и угљен-диоксид у језерској води могу бити аутохтоног и алохтоног порекла. Наиме, они могу потицати од биолошких процеса у самом језеру, као што су фотосинтеза, односно респирација. У језерској води се кисеоник и угљен-диоксид растварају из ваздуха који се налази изнад ње. Ова два гаса су од суштинског значаја за живот акватичних организама у језеру – угљен-диоксид за аутотрофне организме (алге и акватичне биљке), а кисеоник за све аеробне организме који врше респирацију.

Вертикални распоред кисеоника и угљен-диоксида у језерској води показује извесне правилности, те је језерска вода по овом критеријуму стратификована. Алохтони кисеоник и угљен-диоксид доспевају у језерску воду на исти начин, растварањем у површинским слојевима језерске воде, која је у контакту са ваздухом. Начин и место настанка аутохтоног кисеоника и аутохтоног угљен-диоксида су потпуно другачији. У површинској зони језерске воде, услед одговарајућих светлосних услова, развијају се аутотрофни организми (фотосинтетички фитопланктон, тј. планктонске алге), који у процесу фотосинтезе усвајају угљен-диоксид, а ослобађају кисеоник. Због тога у површинској зони има доста кисеоника, а мање угљен-диоксида. У језерској води на већим дубинама, до којих не допире довољна количина светлости, процеси респирације су интензивнији од процеса фотосинтезе. Због тога се овде кисеоник интензивно троши, а угљен-диоксид ослобађа, нарочито у процесима разлагања мртве органске материје од стране микроорганизама. Стратификација вертикалног распореда растворених гасова у језерима умерене зоне најизраженија је током лета, када су у дубљим слојевима, због погодних температурних услова и великог прилива органске материје из виших слојева, процеси разлагања толико интензивни да може доћи до потпуне потрошње кисеоника. Са хлађењем воде у току јесени долази до њеног мешања (циркулације), чиме се губи стратификовани распоред растворених гасова, јер се дубински слојеви обогаћују кисеоником, а површински угљен-диоксидом.

Оптичка својства језерске воде. Оптичка својства језерске воде, као што су њена провидност, количина светлости и боја, зависе од састава и заступљености планктонских организама. Количина расположиве светлосне енергије у води и боја воде зависи од спољашњих фактора, као што је интензитет Сунчевог зрачења и угао под којим светлост пада на површину језера. Како сви ови чиниоци варирају на дневном и сезонском нивоу, тако су оптичке особине воде променљиве у зависности од доба дана или годишњег доба.

Провидност језерске воде је у директној негативној корелацији са замућеношћу (турбидитетом) воде. Што је више суспендованих честица и микроорганизама у језерској води, то је њена провидност мања. Планинска језера и бистра језера велике дубине (Бајкалско језеро) обично имају велику провидност (и до 40 m). На Балканском полуострву, великом провидношћу се одликују бистра, планинска, ледничка језера (језера на Дурмитору и Проклетијама) и велика, тектонска језера (Охридско језеро). Равничарска језера мале дубине, која се хране водом из мочвара и која се карактеришу великом продуктивношћу, па самим тим и великом количином фитопланктона и суспендованих материја, неретко су веома замућена и жуте или мрке боје, па им је и провидност ниска.

У зависности од количине доступне светлости, језерска вода се може поделити у две зоне: фотичну и афотичну. **Фотична зона језера** је зона светлости, тј. горњи слој воде у којој има довољно светлости која омогућава процес фотосинтезе и назива се трофогеном зоном. Овај слој представља зону примарне продукције и станиште је бројним фотосинтетским организмима, тј. алгама и цијанобактеријама које чине фитопланктон, као и акватичним биљкама. Фотична зона језера је обично обогаћена биогеним (аутохтоним) кисеоником, који се ослобађа у процесу фотосинтезе. Дубина до које се простире ова зона зависи од карактеристика језера, тј. замућености његове воде и степена развоја флотантне вегетације (нпр. локвања) и фитопланктона, који могу отежати продор светлости. **Афотична зона језера** је зона таме, тј. дубљи слој до кога светлост не допире. У њој нису присутни аутотрофни фотосинтетички организми, већ искључиво хетеротрофни. Они користе органску материју која доспева из фотичне зоне

и назива се још и трофолитичком зоном. Због одсуства фотоаутотрофних организама ова зона је често сиромашна кисеоником. Он некада потпуно одсуствује, најчешће на самом дну језера. Како се у афотичној зони одвијају процеси респирације и разлагања органске материје од стране аеробних микроорганизама, кисеоник се може потпуно потрошити. У таквим случајевима, развијају се анаеробни микроорганизми. Битно је напоменути да у афотичној зони поред хетеротрофних организама може бити присутна посебна група аутотрофних микроорганизама – хемотрофи, који за синтезу органске материје користе енергију ослобођену у процесима хемијских реакција оксидације органских или неорганских једињења.

Боја језерске воде зависи од осветљености и угла под којим светлост пада на површину језера, тј. од положаја Сунца на хоризонту, што значи да се мења у зависности од доба дана и године. Боја језерске воде зависи од њеног састава, тј. концентрације различитих материја и заступљености живих организама (планктона) у њој. С обзиром да се плави зраци најмање апсорбују у води и због тога најдубље продиру у њу, бистра вода има плавичасту нијансу. Плаву боју имају планинска и дубока, бистра језера. Већа количина суспендованих органских материја, као и већа заступљеност честица песка и муља у језеру дају води жућкасту и мрку обојеност. У случајевима када дође до обилнијег развоја фитопланктона, језера попримају зеленкасту боју. Мрку, жућкасту и зеленкасту боју најчешће имају високопродуктивна, плитка, равничарска језера. Поједини микроорганизми могу језерској води дати веома специфичну обојеност, као што је црвена, ружичаста или љубичаста. Најпознатији примери су слана језера Аустралије, чија специфична ружичаста боја потиче од присуства алге под називом *Dunaliella salina* у комбинацији са одређеним бактеријама и археама (слика 58а). У одређеним случајевима боја језерске воде може бити доминантно условљена присуством специфичних минералних материја у њој. Плаву боју језера Пукаки на Новом Зеланду даје леднички прах специфичног минералног састава (слика 58б).



Слика 58. Језера неуобичајених боја: језеро Хилер у Аустралији (а) и језеро Пукаки на Новом Зеланду (б)

Температура језерске воде. Температура језерске воде зависи од количине Сунчевог зрачења (радијације) коју апсорбује, као и од топлотне размене између воде, атмосфере и језерског дна. На температуру језерске воде утиче температура воде којом се језеро храни, а то могу бити подземне воде, притоке и падавине. Биолошки и биохемијски процеси у језеру представљају један од извора топлотне енергије. У неким случајевима, људске активности као што су испуштање у језеро загрејане воде која се користи за расхлађивање индустријских погона (термално загађење), може врло негативно утицати на животне заједнице језера.

Главни извор топлотне енергије језерске воде јесте Сунчево зрачење и то дуготаласно, инфрацрвено зрачење, које се најинтензивније апсорбује. На овај начин директно се загревају површински слојеви воде. Ова топлота се делимично распоређује и на дубље слојеве језера. У овоме највећу улогу има кретање језерске воде, док је директан трансфер топлотне енергије од молекула до молекула веома слабо изражен, услед ниске топлопроводљивости воде. Таласи изазвани струјањем ваздуха изнад водене површине проузрокују мешање језерске воде и дистрибуцију топлоте. Кључну улогу у трансферу топлотне енергије до дубљих слојева језера има конвективно мешање воде, под којим се подразумева вертикално кретање воде услед разлика у густини, што је најчешће проузроковано разликом у њеној температури. Када се површинска вода загреје или охлади до температуре од 4°C на којој ће јој густина бити највећа, она ће тонати у дубину, а на површину ће долазити вода која је или хладнија или топлија, тј. она која има мању густину. Разлике у температури представљају главни узрок циркулације језерске воде. Као последица специфичне зависности између густине воде и њене температуре долази до стратификације језерске воде, тј. одсуства циркулације и појаве правилности у вертикалној дистрибуцији топлоте у језеру.

6.6.4. Стратификација и циркулација језерске воде

Под стратификацијом језерске воде подразумева се формирање слојева воде у језеру који се карактеришу различитом температуром и густином. Под циркулацијом језерске воде подразумева се њено вертикално мешање до чега долази услед разлика у температури и густини одређених слојева воде. Да ли ће језерска вода бити стратификована или ће циркулисати, зависи од њеног загревања, годишњег доба и климатских карактеристика подручја у коме се језеро налази.

Стратификација воде је карактеристична за језера умерене климатске зоне у току лета и зиме, као и за језера тропских и поларних региона у којима је вода стратификована током читаве године. Када је реч о језерима умереног климата, у току лета долази до пораста температуре површинских слојева воде. Загрејана и мање густа вода се у том случају задржава на површини, док доњи слојеви остају хладнији и температура им се креће око 4°C (највећа густина воде). Услед одсуства мешања воде у току лета, у језерима умерене климатске зоне долази до формирања три слоја која се разликују по својој температури, густини и по начину промене температуре са повећањем дубине. У оквиру појединачних слојева може доћи до мешања воде. Оно што је битно за стабилност стратификације јесте да нема мешања воде између слојева. Слојеви који се формирају током **летње стратификације** језера умерене зоне (као и у језерима тропских крајева током целе године) називају се епилимнион, металимнион и хиполимнион.

Епилимнион је површински и најтоплији слој језерске воде кога директно загревају Сунчеви зраци. Дебљина овог слоја може се кретати од неколико центиметара до неколико метара, тако да плитке стајаће воде умерене зоне имају само овај слој у току лета. Температура воде у епилимниону је уједначена. То представља резултат мешања воде у оквиру овог слоја, до кога долази првенствено услед утицаја ветрова. Како се одликује повољним температурним и светлосним условима, овај слој је богат фитопланктоном.

Металимнион се налази испод епилимниона и представља слој језерске воде у коме долази до наглог пада температуре са повећањем дубине (за око 10°C са 1 m дубине). Према томе, овај слој се одликује тзв. термоклином. За разлику од

епилимниона, металимнион није директно изложен утицају ветра нити Сунчевог зрачења, тако да је мешање воде у оквиру овог слоја слабо изражено или потпуно изостаје, што представља разлог постојања стабилне термоклизе. Дебљина слоја креће се од неколико дециметара до неколико метара.

Хиполимнион се налази испод металимниона и представља најдубљи и најхладнији слој језера умерених језера у току лета. Температура у овом слоју благо опада са порастом дубине и креће се око 4°C. У овом слоју не долази до мешања воде. До хиполимниона не допире Сунчева светлост, тако да у њему нема ни услова за развој фотоаутотрофних организама. Вода која се у површинским слојевима обогати кисеоником кроз процес фотосинтезе планктонских алги и растварањем из ваздуха не понире у дубље слојеве. Због тога се хиполимнион одликује малом количином раствореног кисеоника.

Поред описане летње стратификације, у језерима умереног климата током зимских месеци долази до **зимске стратификације**. У току хладног периода године површинска вода језера се охлади до температуре ниже од 4°C, а често дође и до формирања леденог покривача. До овог пада долази услед размене топлоте између површинске језерске воде и хладног ваздуха, који се налази изнад ње. Испод овог слоја хладне воде налазе се дубљи слојеви чија температура се задржава на око 4°C. У зимском периоду долази до одсуства циркулације воде, јер се хладна вода задржава на површини и не понире у дубље слојеве, који су гушћи с обзиром на то да им се температура креће око 4°C. Будући да је ситуација што се тиче дистрибуције температуре језерске воде сада обрнута у односу на летњу стратификацију, при којој се топла вода налази изнад хладне воде, зимска стратификација се назива још и инверзном или обрнутом стратификацијом, јер је током ње температура воде најнижа у површинским слојевима, док су дубљи слојеви топлији. Са порастом дубине током летње стратификације постоји неравномерно снижавање температуре, док за време зимске стратификације са повећањем дубине температура воде расте (до 4°C). Зимском стратификацијом одликују се хладна, поларна језера прекривена ледом и то најчешће током целе године.

Циркулација воде се у језерима умерене климатске зоне јавља у току јесени и пролећа, па тако можемо разликовати јесењу и пролећну циркулацију. Са наступањем јесени и захлађењем ваздуха, топла површинска вода епилимниона почиње да се хлади јер се акумулирана топлота одаје у атмосферу. Расхлађеној површинској води се на тај начин повећава густина и она тоне у дубље слојеве, док вода која је била у дубљим слојевима испливава на површину. На тај начин конвективним кретањем долази до потпуног мешања језерске воде у току јесени. Резултат тога је да сви слојеви воде имају температуру око 4°C, што значи да нема стратификације. Даљим хлађењем површинске воде (испод 4°C) прекида се јесења циркулација и успоставља зимска стратификација, јер ће се вода хладнија од 4°C као лакша задржавати на површини.

Са пролећним порастом температуре ваздуха и већом изложеношћу интензивнијем Сунчевом зрачењу, површинска охлађена вода почиње да се загрева до температуре од 4°C. Са тим загревањем у овом распону температура вода постаје гушћа и креће да тоне, док честице воде дубљих слојева као лакше испливавају на површину. Пролећна циркулација воде се прекида када се температура површинске воде загреје изнад 4°C чиме њена густина почиње да се смањује, те као лакша остаје на површини чиме се успоставља летња стратификација. Јесења и пролећна циркулација језерске воде је од велике важности за животне услове акватичних организама, пошто се захваљујући њој омогућава циркулација нутријената и обогаћивање дубљих слојева воде кисеоником.

У зависности од режима стратификације и циркулације воде у току године, језера се могу поделити на холомиктична, меромиктична, полимиктична и амиктична. **Холомиктична језера** су она код којих у току године долази до потпуног мешања воде. Језера умерене климатске зоне спадају у ову групу. С обзиром на то да два пута годишње долази до мешања воде (јесења и пролећна циркулација) издвајају се у посебну подгрупу, под називом димиктична језера. **Меромиктична језера** се одликују тиме што циркулацијом нису захваћени дубљи слојеви воде, па је мешање непотпуно. **Полимиктична језера** су језера тропских области у којима често долази до потпуног мешања воде, што представља последицу интензивног загревања површинске воде током дана и њеног хлађења у току ноћи. **Амиктична језера** су језера поларних области у којима циркулације изостаје током целе године, премда је температура површинског слоја константно испод температуре од 4°C, што је чини лакшом од дубљих слојева чија температура се креће око 4°C. Пад испод ове температуре у дубљим слојевима онемогућен је одсуством конвективног мешања воде и формирањем леда на површини језера, који има улогу термоизолатора.

6.6.5. Водни режим језера

Под водним режимом језера подразумева се количина воде у њему и промене количине воде у функцији времена, до којих долази услед различитих фактора. За разумевање водног режима језера неопходно је познавати два супротна процеса који га дефинишу: храњење језера и губитак воде из језера.

Храњење језера водом. Језера се хране (снабдевају) водом на различите начине: подземним водама, падавинама и рекама које се уливају у њих. Количина подземне воде која доспева у језеро зависи од геолошких и хидрогеолошких карактеристика терена и нарочито је изражена у крашким теренима. Када је реч о снабдевању језера водом падавинама, потребно је разликовати два различита начина овог процеса. Језера се могу хранити кишницом и другим падавинама које директно падају на површину језера, али и сливањем падавина у језеро са околне територије. У други начин храњења падавинама може се у ширем смислу укључити укупно снабдевање падавинским водама које отичу са читаве површине слива језера, укључујући оне воде које најпре доспеју до река које се уливају у језеро. Поред наведених начина, језера се хране водом и путем кондензације водене паре из ваздуха, који се налази изнад површине језера. Количина воде која на овај начин доспе у језеро занемарљива је у поређењу са другим начинима храњења водом.

Губитак воде из језера представља супротан процес од процеса храњења језера водом. Може бити проузрокован испаравањем воде, као и површинским и подземним отицањем воде. Губитак воде испаравањем је процес који зависи од температуре површинске воде језера и карактеристика ваздуха изнад површине језера – од његове температуре, zasiћености воденом паром и струјањем (ветром). Овај начин губитка воде из језера посебно је изражен у топлим и сувим регионима света. Језера која на тај начин доминантно губе воду називају се уворним. Површинско отицање воде из језера је битан фактор у случају оних језера из којих отичу реке. Адекватан пример за поменуто свакако је Скадарско језеро из кога отиче Бојана и Охридско језеро из кога отиче Црни Дрим (оточна језера). Подземно отицање воде подразумева губитак воде кроз порозне слојеве и пукотине на језерском дну или обалама и представља чест случај у крашким језерима. Поред описаних природних начина, губитак воде из језера

може представљати и последицу антропогеног фактора у случајевима када се језерска вода користи од стране човека за различите потребе: водоснабдевање становништва, наводњавање у пољопривреди или за потребе индустријских објеката или термоелектрана.

Водни биланс језера представља резултат процеса храњења водом и процеса којим се вода губи из језера, тј. квантитативну разлику између укупне количине воде која доспе у језеро и укупне количине воде која је изгубљена из језера у току одређеног временског периода. Водни биланс језера може варирати у зависности од тога да ли је доток воде у језеро већи или мањи од расхода воде. Водни биланс одређује количину воде у језеру и ниво воде у њему, тј. **водостај**.

Водостање језера. Слично као и у случају река, код језера можемо од водостаја разликовати водостање, под којим се подразумевају промене у водостају језера у току одређеног времена. Поред водног биланса, водостање зависи од карактеристика језерског басена, облика и величине акваторије (водене површине) језера, утицаја ветрова итд. Најизразитији утицај на карактеристике водостања језера и промене водостаја у току године имају климатске карактеристике подручја у коме се језеро налази, тј. плувиометријски и термички режим. Максимални водостаји језера могу се јавити током различитих периода године у зависности од дистрибуције падавина током године и доминантног начина храњења језера водом – кишницом или топљењем снега. У случају вештачких језера и акумулација које се користе за водоснабдевање, водостај је регулисан од стране човека и некада може знатно варирати у складу са људским потребама и захтевима.

Поред сезонских промена водостаја, на неким језерима долази и до вишегодишњих цикличних промена које могу бити проузроковане променама климатских фактора, као што су количина падавина и температура ваздуха. Ове цикличне промене водостаја могу бити посредно узроковане тзв. Брикнеровим циклусима под којима се подразумева циклично повећање и смањење Сунчевих пега, тј. интензитета Сунчеве радијације. Нека језера, као што су Каспијско и Аралско, суочавају се са дугогодишњим трендом континуираног смањења водостаја. Поред природних фактора, иреверзибилан губитак воде језера може бити проузрокован или интензивирањем негативним антропогеним активностима као што су прекомерна експлоатација водних ресурса или хидротехнички радови, који подразумевају неадекватну регулацију речних токова чијом водом се језеро храни, попут изградње брана и канала.

АРАЛСКО МОРЕ – ЈЕЗЕРО КОЈЕГ НЕМА

Аралско море је слано језеро, смештено у Азији, између Казахстана и Узбекистана. Некада једно од највећих језера на свету, данас је готово у потпуности претворено у пустињу, тако да представља један од симбола уништавања природе од стране човека. Током 20. века, водостај овог језера је драстично опао, а његова површина се смањила за више од 70%. Узрок ове катастрофалне промене лежи у неодрживом и неефикасном иригационом систему пројектованом од стране совјетских инжењера током 60-их година прошлог века који је довео до прекомерног искоришћавања вода из Аму Дарје и Сир Дарје, река које су водом храниле језеро током читавог његовог постојања. Уместо да снабдевају језеро водом, воде ових река су преусмераване у канале за наводњавање пољопривредних површина, нарочито плантажа памука, што се драстично одразило на само језеро. Научници су 2014. године саопштили да је Аралско море потпуно пресушило (слика 59а). Да је овде некада било језеро, данас указују само

олупине бродова и чамаца који су некада њиме пловили (слика 59б). Ова еколошка катастрофа довела је до бројних проблема за привреду Приаралске области и локално становништво, које се бавило риболовом. Последице су биле драстичне по флору и фауну, јер је за релативно веома кратко време дошло до замене језерског екосистема пустињским, тако да је некадашњи живи свет у потпуности уништен. Да проблем буде још већи, нестанак Аралског мора довео је до регионалних промена климе у овом делу Азије. Због интензивне пољопривреде и обилне употребе пестицида, који су рекама доспевали до језера, ово место је данас једно од најзагађенијих на свету.



Слика 59. Аралско море: сателитски снимци Аралског мора 1989. и 2014. године (а) и поглед на некадашње језеро 2003. године (б)

6.6.6. Баре, локве и ритови

Поред језера као великих стајаћих вода, постоје баре које се често издвајају као посебна категорија водних тела, због својих специфичности у односу на језера. Главна разлика између језера и бара је њихова дубина, што се одражава на све остале карактеристике, убрајајући и животне заједнице. Иако у науци не постоји опште прихваћен и јасан критеријум по ком се баре разликују од језера, под њима се најчешће подразумевају плитке стајаће воде код којих светлост продире до самог дна, изузев у случајевима када су изразито замућене. У енглеском говорном подручју, нашем појму *бара* највише одговара термин *pond*, а критеријуми који га разликују од језера (енг. *lake*) су да му је површина мања од 5 ha, дубина мања од 5 m и да је 30% његове површине обрасло вегетацијом.

Услов за настанак бара је постојање плитке депресије у терену, која омогућава задржавање воде. Барска вода може бити различитог порекла, а најчешће је атмосферског. У случајевима када количина изгубљене воде испаравањем или понирањем у подлогу превазилази количину воде којом се бара храни, долази до њеног пресушивања. У умереној зони до овога долази током летњих месеци. Баре које су изразито привременог карактера, тј. мале и плитке депресије, које су испуњене водом само током периода са повећаном количином падавина, називају се **локвама**.

Због мале дубине, у барама ретко долази до стратификације воде као у језерима, већ је она махом уједначене температуре. У регионима са умереном климом, вода у барама је током лета скоро у потпуности уједначено загрејана, а у току зиме се често заледи. Због мале количине воде, баре се знатно брже загревају и хладе од језера.

Температура њихових вода је у израженијој зависности од температуре ваздуха. Барска вода је богатија раствореним материјама и нутријентима, с обзиром да је њена запремина знатно мања у односу на површину дна баре. Како Сунчева светлост доспева до дна, то се одражава на живи свет баре, с обзиром да је на читавом њеном дну могућ живот укоренење акватичне вегетације. Баре са изразито развијеном вегетацијом обично се називају **ритовима**, који заправо представљају каснији стадијум у еволуцији бара, тј. сукцесији барског екосистема ка копненом екосистему.

ПИТАЊА:

1. Каква је структура молекула воде?
2. Која су агрегатна стања воде и какав је распоред молекула у њима?
3. Какав је однос температуре воде и растворљивости гасова у њој?
4. Шта је топлотни капацитет воде?
5. Каква је дистрибуција воде на планети Земљи?
6. Шта су мора, а шта океани?
7. Шта је салинитет воде и какав може бити?
8. Који су начини кретања морске воде?
9. Шта су подземне воде и издани?
10. Шта су извори и какви могу бити?
11. Шта је речни ток и који су његови делови?
12. Шта је речно корито, а шта речна долина?
13. Шта су речни систем, речна мрежа и речни слив?
14. Шта је водни режим реке и од чега се састоји?
15. Шта су језера и како настају?
16. Шта се подразумева под стратификацијом, а шта под циркулацијом језерске воде?
17. Шта је водни режим језера?
18. Шта су баре, локве и ритови?
19. Опишите хидрографску мрежу краја у коме живите. Које реке протичу кроз Ваше насеље или поред њега и какве су карактеристике њихових токова. На подручју ког слива се Ваше насеље налази? Истражите како се становништво краја у коме живите снабдева пијаћом водом.

7.АТМОСФЕРА

Циљ: упознавање са саставом, структуром и својствима атмосфере, основним климатским елементима и типовима. Савладавањем овог градива стичу се услови за разумевање глобалних атмосферских процеса и начина на који климатски фактори утичу на жива бића.

Резиме: Атмосфера је гасовити омотач планете Земље, који се одржава захваљујући Земљиној гравитацији. У највећој мери се састоји од два гаса – азота и кисеоника, а након њих по заступљености долазе аргон, угљен-диоксид, неон, хелијум, метан, криптон, водоник, озон. Водена пара се налази у атмосфери, а њен садржај значајно варира јер је условљен температуром ваздуха. У зависности од тога да ли температура атмосфере расте или опада са надморском висином, дели се на тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и егзосферу.

Одређено стање атмосфере у одређеном тренутку и на одређеном месту на планети Земљи назива се време, док клима представља просечан образац временских услова који владају на одређеном подручју током дужег временског периода. У основне климатске, односно метеоролошке елементе спадају Сунчево зрачење, температура, падавине, влажност и ветар. Основни климатски типови на Земљи су екваторијална, тропска, монсунска, пустињска, медитеранска, суптропска влажна, океанска, континентална, умерено-континентална, бореална и арктичка клима.

Атмосфера (од стгрч. *ἀτμός* – пара и *σφαῖρα* – лопта, сфера) представља **гасовити омотач планете Земље који се одржава захваљујући Земљиној гравитацији**. Својим доњим слојем, атмосфера је у сталном контакту и интеракцији са литосфером, хидросфером и биосфером, са којима се прожима тако да између њих постоји међусобна зависност – атмосфера утиче на остале Земљине омотаче, као што и они утичу на њу. Својим горњим слојем, атмосфера је у контакту са свемиром. Границе атмосфере према свемиру нису прецизне, јасне и коначне, јер се она не завршава нагло већ постепено тако што постаје све ређа и ређа са повећањем удаљености од Земљине површине. Дебљина атмосферског омотача Земље оквирно износи око 3.000 km, али се три четвртине њене масе налази до висине од свега 11 km од површине Земље.

Атмосфера је од великог значаја за живот на Земљи јер представља извор гасова потребних живим бићима, као што су кисеоник, угљен-диоксид и азот. Њен значај се огледа и у заштити од ултраљубичастог зрачења и других негативних утицаја који долазе из свемира (попут метеора који већином сагоре приликом проласка кроз њу и не стигну до површине Земље). Атмосфера је одговорна за климатске процесе на планети Земљи, а њен специфичан састав условљава постојање феномена под називом „ефекат стаклене баште”, захваљујући коме је температура на планети Земљи идеална за развој живота.

7.1. САСТАВ АТМОСФЕРЕ

Земљина атмосфера се у највећој мери састоји од два гаса – азота (N_2 , 78,1%) и кисеоника (O_2 , 20,9%). Након њих по заступљености долазе аргон (Ar, 0,9%) и угљен-диоксид (CO_2 , 0,04%). Остали гасови у атмосфери налазе се у знатно мањим количинама и њих чине неон (Ne), хелијум (He), метан (CH_4), криптон (Kr), водоник (H_2), озон (O_3) итд. Заступљеност гасова у атмосфери се изражава њиховим молским уделом у процентима, при чему се не рачуна заступљеност водене паре. Садржај водене паре (H_2O) у атмосфери условљен је температуром тако да показује значајне варијације у времену и простору, али се уобичајено креће од 0 до 3% (најчешће око 1%). Нижи слојеви атмосфере природно садрже различите аеросоле (суспензије чврстих честица или течних капљица у гасу), честице прашине неорганског и органског порекла, полен, споре, вулкански пепео, распршене капљице морске воде (изнад мора и океана) итд.

У данашње време, човек има велики утицај на састав атмосфере (нарочито њених приземних слојева), с обзиром да индустрија, саобраћај, енергетика, пољопривреда и друге активности доводе до емисије различитих гасова, као што су сумпорови оксиди (SO_2 и SO_3), азотови оксиди (NO и NO_2), водоник-сулфид (H_2S), једињења хлора и флуора, итд. Човек је одговоран и за повећање концентрације угљен-диоксида у атмосфери. Овај гас се ослобађа приликом сагоревања фосилних горива (али и током шумских пожара), а према извештајима Националне ваздухопловне и свемирске администрације САД-а (NASA) из 2024. године, његова концентрација у ваздуху износи 426 ppm (милионитих делова, енг. *parts per milion*), тј. више од 0,04% (1 ppm = 0,0001%), што је за 50% више у односу на стање пре Индустријске револуције, која је почела 1750. године. Пољопривредне активности, тј. сточарство, значајно доприносе повећању концентрације метана у атмосфери, која се у последњих 200 година удвостручила и према извештају NASA-е из 2024. године износила је 1929 ppb (милијардитих делова, енг. *parts per bilion*, 1 ppb = 0,0000001%). Угљен-диоксид и метан су гасови са значајним ефектом стаклене баште и пораст њихове концентрације у атмосфери представља узрок актуелних климатских промена.

Састав атмосфере просторно варира, што значи да наведени гасови нису потпуно равномерно распоређени у њој. То се нарочито односи на озон, који се на висини од око 20 до 40 km налази у концентрацији од око 2–8 ppm, док на нивоу читаве атмосфере концентрација овог гаса износи свега око 0,3 ppm. Приземни слој атмосфере је под директним утицајем човека, тако да њен састав може варирати у зависности од удаљености од места емисије појединих гасова. Састав атмосфере варира током времена, а концентрације појединих гасова, као што су угљен-диоксид, метан или озон имају изражену сезонску динамику, тј. годишње флукуације. Концентрација угљен-диоксида за 6–7 ppm је нижа када је на северној хемисфери пролеће и лето, тј. вегетациона сезона, јер биљке овај гас усвајају из атмосфере за потребе вршења фотосинтезе. Северна хемисфера поседује знатно више копна и биљне биомасе него јужна, тако да је она у већој мери одговорна за варирање концентрације овог гаса у атмосфери.

7.2. СТРУКТУРА АТМОСФЕРЕ

Поред састава атмосфере, у зависности од висине варирају и њена физичка својства, као што су атмосферски притисак, густина и температура. Док притисак и густина равномерно опадају са надморском висином, промена температуре са порастом надморске висине има знатно компликованије обрасце. Математички однос температуре и висине је другачији у различитим атмосферским висинским подручјима. Као што је познато, у приземним слојевима атмосфере температура опада са порастом надморске висине до одређене вредности. Са даљим порастом надморске висине, температура расте, а затим на одређеној висини поново почне да опада са удаљеношћу од Земљине површине, итд. Због ове појаве, долази до [атмосферске стратификације](#), што значи да се атмосфера може поделити на слојеве у зависности од тога да ли температура расте или опада са надморском висином. Почевши од најнижег ка вишим слојевима, атмосфера се може поделити на: [тропосферу](#), [стратосферу](#), [мезосферу](#), [термосферу](#) и [егзосферу](#). У овим слојевима температура наизменично опада и расте са порастом надморске висине. Поред различитог односа између температуре и висине, слојеви атмосфере имају и друге специфичности, као што су разлике у густини и саставу.

7.2.1. Тропосфера

Тропосфера је најнижи слој атмосфере који се пружа од Земљине површине до надморске висине од око 12 km у просеку. Висина на којој се тропосфера завршава варира од 9 km на половима, где је најтања, па до 17 km на екватору, где је најдебља. Варијације у дебљини тропосфере могу бити проузроковане и метеоролошким условима. Између тропосфере и наредног слоја, стратосфере, налази се [тропопауза](#), која се карактерише температурном инверзијом, јер се овде слој топлијег ваздуха налази изнад слоја хладнијег ваздуха.

Тропосфера се одликује равномерним и сталним запреминским односима гасова у њој. Гас који показује значајнија варирања јесте водена пара, која се готово у потпуности налази само у тропосфери. Значајнија просторна и временска варирања у концентрацији имају аеросоли који природно потичу са површине Земље, као и гасови и честице који се ослобађају услед антропогених активности.

Тропосфера чини око 80% масе читаве Земљине атмосфере, а 50% масе читаве атмосфере налази се до висине од око 5,6 km, што представља последицу јачег утицаја Земљине гравитације у овом слоју. Виши слојеви атмосфере врше притисак на тропосферу сабијајући је, тако да се она одликује највећом густином од свих атмосферских слојева.

Сунчеви зраци који пролазе кроз тропосферу не доприносе њеном директном загревању на тај начин, већ је загрева Земљина површина на којој долази до конверзије енергије Сунчевог зрачења у топлотну енергију. Са већом удаљеношћу од Земљине површине (тј. са порастом надморске висине), температура тропосфере постепено опада. Приземни слојеви тропосфере су најтоплији, услед чега долази до вертикалног мешања ваздуха. Како приземни ваздух загрева Земљина површина, он постаје лакши и пење се на веће висине, остављајући на том месту поље ниског ваздушног притиска. Како се поједина места на површини Земље неједнако загревају (тј. примају различиту

количину Сунчевог зрачења), долази до хоризонталног кретања ваздуха (ветрова) из поља са вишим у поље са нижим ваздушним притиском. На овај начин долази до циркулације тропосферског ваздуха, што проузрокује његов уједначени састав. На горњим границама тропосфере и у тропопази температура је најнижа и износи око -60°C . Због оваквог односа температуре и надморске висине у тропосфери, у њеним вишим слојевима долази до формирања облака, тј. кондензације водене паре. Тропосфера представља део атмосфере у коме се одвијају сви важнији климатски процеси.

7.2.2. Стратосфера

Стратосфера се налази изнад тропосфере, од које је одвојена тропопаузом. Започиње на висини од око 12 km (просечно), а завршава се на висини од око 50–55 km **стратопаузом**, која представља прелаз између стратосфере и наредног слоја мезосфере.

Стратосферски ваздух је доста разређенији у поређењу са тропосферским. Атмосферски притисак у горњим слојевима стратосфере је око хиљаду пута нижи од притиска који постоји на нивоу мора. Састав стратосфере је сличан саставу тропосфере, с тим да се одликује већом количином озона. Стратосфера је од великог значаја јер се у њој налази **озонски омотач** или **озоносфера** (некада се овај термин користи за читаву стратосферу), тј. слој атмосфере који се одликује вишом концентрацијом озона у поређењу са другим атмосферским слојевима. Озонски омотач се налази у нижим слојевима стратосфере, отприлике на висини од 10 до 35 km, с тим што је највиша концентрација озона обично заступљена на висини од 22 до 27 km. Озонски омотач нема јасне границе и његова дебљина и висина варирају сезонски, као и у зависности од географске ширине.

Озонски омотач је од великог значаја с обзиром на то да апсорбује велику количину (око 93–99%) ултраљубичастог зрачења, које је штетно за жива бића. Ово зрачење представља узрок постојања озона у стратосфери, јер се под његовим утицајем молекули кисеоника разлажу на два атома кисеоника ($\text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O} + \text{O}$). Сваки атом кисеоника потом може реаговати са молекулом кисеоника, при чему настаје озон ($\text{O} + \text{O}_2 \rightleftharpoons \text{O}_3$) и ослобађа се одређена количина енергије. Ова реакција може тећи и у супротном смеру јер се озон при апсорбовању ултраљубичастог зрачења разлаже на атомски кисеоник и молекулски кисеоник ($\text{O}_3 + h\nu \rightarrow \text{O} + \text{O}_2$). Атомски кисеоник је веома реактиван и под утицајем ултраљубичастог зрачења лако реагује са молекулским кисеоником, те се озон стално изнова формира ($\text{O} + \text{O}_2 + h\nu \rightarrow \text{O}_3$). Процес стварања и разлагања озона у стратосфери је у природној равнотежи, а самим тим и његова количина. Ова равнотежа може бити нарушена услед присуства различитих угљоводоника (фреона, тј. хлорофлуороугљеника емитованих са површине Земље од стране човека) који блокирају реакцију стварања озона, па долази до смањења његове концентрације (тзв. „озонске рупе”). Посебно су проблематични веома реактивни слободни радикали хлора, који се из ових једињења ослобађају под утицајем ултраљубичастог зрачења ($\text{CF}_2\text{Cl}_2 + h\nu \rightarrow \text{CF}_2\text{Cl} + \text{Cl}$), након чега реагују са озоном уништавајући га ($\text{Cl} + \text{O}_3 \rightarrow \text{ClO} + \text{O}_2$). Хлор-моноксид који настаје у овој реакцији реагује са атомским кисеоником, при чему се опет ослобађа атом хлора, који поново може реаговати са другим молекулом озона ($\text{ClO} + \text{O} \rightarrow \text{Cl} + \text{O}_2$). На тај начин, само један слободни радикал хлора може да уништи око 100.000 молекула озона.

За разлику од тропосфере, у стратосфери са повећањем надморске висине долази до пораста температуре. Иако температура у тропопаузи износи око -60°C , у завршним слојевима стратосфере достиже око 0°C . Овакав однос температуре и висине у

стратосфери представља последицу апсорпције ултраљубичастог зрачења од стране озонског омотача, што доводи до загревања стратосферског ваздуха. Док се тропосфера одликује интензивном циркулацијом, у стратосфери не долази до значајнијег вертикалног мешања ваздуха, јер њен температурни профил проузрокује постојање веома стабилних атмосферских услова. Хоризонтално кретање ваздуха у стратосфери је веома изражено, тако да стратосферски ветрови достижу брзину и до 60 m/s. У стратосфери углавном нема облака и водене паре. Изузетак су седефасти облаци који се повремено јављају изнад полова у нижим слојевима стратосфере.

Доњи слојеви стратосфере представљају највише слојеве атмосфере кроз који се крећу млазни авиони. Ови слојеви су погодни за комерцијалне авионске летове, јер се на тај начин троши мање горива пошто је ваздух проређенији. На овај начин се избегавају турбулентни метеоролошки услови који постоје у тропосфери.

7.2.3. Мезосфера

Мезосфера (од грч. μέσος – средина) је атмосферски слој који се налази изнад стратосфере, од које је одвојен стратопаузом. Просечно, мезосфера почиње на висини од око 50 km, а завршава се **мезопаузом** на висинама од око 80–100 km. Ипак, дебљина мезосфере и висина на којој се простире могу варирати у зависности од годишњег доба и географске ширине (највиша је током зиме изнад екватора, а најнижа током лета на половима). Као и у нижим слојевима атмосфере, у саставу мезосфере доминирају азот и кисеоник, док су остали гасови затупљени у траговима. Густина мезосферског ваздуха је веома ниска, тако да се молекули гасова веома ретко сударају.

У мезосфери температура опада са порастом висине, тј. са повећањем удаљености од Земљине површине. Мезосфера се одликује ниском концентрацијом озона, гаса који апсорбовањем ултраљубичастог зрачења загрева стратосферу. С друге стране, због релативно велике удаљености од Земљине површине, мала количина топлотне енергије може допрети до ње. Мезосфера се одликује веома ниским температурама. Горњи слојеви мезосфере и мезопауза представљају најхладније делове атмосфере у којима се температуре крећу од -90 до -100°C.

7.2.4. Термосфера

Термосфера је слој земљине атмосфере који се простире на висинама од око 80 до 500–1.000 km, од мезопаузе до **термопаузе**, тј. прелазног слоја између ње и егзосфере.

Термосфера се одликује веома ниском густином, тако да у њен састав улазе ретки молекули азота и кисеоника, а због велике изложености X и ултраљубичастом зрачењу из свемира долази до њихове интензивне јонизације. Због тога се термосфера некада назива и јоносфером. Овај јонизовани слој атмосфере одбија радио таласе, што омогућава телекомуникацију на Земљи. У термосфери долази до појаве поларне светлости (*aurora borealis* на северној хемисфери, тј. *aurora australis* на јужној хемисфери). Термосфера је веома значајна за живот на планети Земљи јер упркос малој густини апсорбује знатне количине штетног космичког зрачења.

У термосфери са порастом висине температура расте, првенствено услед апсорпције високоенергетског краткоталасног зрачења. Иако температура термосфере достиже и до 1.500°C, због веома ниске густине гасова она се не може ни потенцијално

детектовати. Температура термосфере директно зависи од соларних активности, па је подложна изразитом колебању. Због тога се некада назива и хетеросфером.

7.2.5. Егзосфера

Егзосфера се налази изнад термосфере и представља последњи, највиши слој атмосфере, који се некада чак ни не сматра делом планете Земље, већ делом међупланетарног простора. Граница између егзосфере и свемира није јасно изражена и постоје различити критеријуми на основу којих се одређује. У зависности од тога, висина на којој се егзосфера завршава варира од 10.000 до чак 190.000 km (на пола пута од Месеца), у зависности од извора. Састав егзосфере се разликује од састава нижих слојева атмосфере, јер се због слабог ефекта Земљине гравитације у њој налазе лакши гасови, хелијум и водоник, док су угљен-диоксид, кисеоник и азот заступљени у малим количинама у нижим слојевима егзосфере.

7.3. ФИЗИЧКА СВОЈСТВА АТМОСФЕРЕ

Под физичким својствима атмосфере подразумевају се њена маса и густина, атмосферски притисак, температура и оптичка својства.

Маса атмосфере се процењује на око 5×10^{15} тона. **Густина атмосфере**, тј. маса ваздуха по јединици запремине атмосфере, варира у зависности од висине на којој се мери и од слоја до слоја – највиша је у тропосфери, а најнижа у егзосфери. Густина атмосфере зависи од температуре и од влажности ваздуха, те се стандардно мери при температури од 15°C и на нивоу мора где просечно износи око $1,2 \text{ kg/m}^3$. На надморској висини од 1.000 метара густина ваздуха је око $1,1 \text{ kg/m}^3$, а на висини од 5.000 метара око $0,7 \text{ kg/m}^3$.

Атмосферски притисак представља притисак који Земљина атмосфера својом масом врши на Земљину површину. Атмосферски притисак може варирати и зависи од места мерења. Када је притисак на неком месту виши, то значи да се изнад тог подручја налази већа маса атмосфере и обратно. Са порастом надморске висине, смањује се атмосферски притисак јер се смањује количина ваздуха у ваздушном стубу изнад места мерења. На нивоу мора атмосферски притисак износи 1 atm (атмосферу), тј. око 1,013 bar, 101,3 kPa или 760 mm живиног стуба, у зависности која мерна јединица се примењује. На Земљи постоје места са вишим атмосферским притиском, која се налазе испод нивоа мора, као што су природне депресије или рудници. Атмосферски притисак зависи и од влажности ваздуха, тј. количине водене паре у ваздуху. Како је водена пара лакша од ваздуха, то значи да места са сувљим ваздухом имају релативно виши атмосферски притисак од места где је ваздух засићенији воденом паром. Атмосферски притисак може расти у зависности од других метеоролошких услова, као што су температура и ваздушна кретања. Атмосферски притисак варира просторно и временски.

Температура атмосфере варира у зависности од надморске висине. Претходно описана подела атмосфере на слојеве (тропосфера, стратосфера, мезосфера, термосфера и егзосфера) настала је у зависности од тога да ли њена температура опада или расте са

надморском висином. Температура нижих слојева атмосфере (тропосфере) зависи од количине Сунчевог зрачења, које се у контакту са Земљином површином трансформише у топлотну енергију. Како различите области примају различите количине Сунчевог зрачења, тако и температура тропосфере варира првенствено у зависности од географске ширине. Због тога је тропосфера просечно најтоплија изнад подручја око екватора (која примају највећу количину Сунчевог зрачења), а најхладнија изнад полова. Са порастом надморске висине, топлота са Земљине површине све мање допире до виших слојева атмосфере. У слојевима изнад тропосфере, температура у највећој мери зависи од апсорпције Сунчевог зрачења од стране самих гасова, као нпр. озона у стратосфери.

Оптичка својства атмосфере се односе на начин на који она интерагује са Сунчевим зрачењем и одређена су првенствено њеним саставом. Пошто атмосфера не представља празан простор, Сунчево зрачење на путу до Земљине површине трпи значајне промене услед интеракције са гасовима, аеросолима и облацима у атмосфери. Ова интеракција може резултовати апсорбовањем, одбијањем или расипањем Сунчевог зрачења. Облаци добрим делом одбијају (рефлектују) Сунчево зрачење, док га водена пара, озон и аеросоли већим делом апсорбују.

БОЈЕ НЕБА

Када погледамо у небо током ведрога дана, оно нам изгледа плаво због начина на који се Сунчева светлост расипа у Земљиној атмосфери. Светлост коју емитује Сунце садржи све боје спектра, али када пролази кроз ваздух, честице у атмосфери највише расејавају светлост краћих таласних дужина – плаву и љубичасту. Пошто је наше око осетљивије на плаву него на љубичасту боју, небо нам се чини плавим. Ова појава назива се Рејлијево расејавање. Када је Сунце ниско на хоризонту, тј. приликом заласка или изласка, светлост мора да пређе дужи пут кроз атмосферу. Том приликом, плави и љубичасти таласи се расејавају у толикој мери да не стижу до наших очију, те дуже таласне дужине (жута, наранџаста и црвена светлост) доминирају. Зато небо тада може попримити спектакуларне нијансе од златне до тамноцрвене.

7.4. ВРЕМЕ И КЛИМА

У атмосфери се константно одвијају различити физички процеси попут кретања ваздушних маса, загревања и хлађења ваздуха, преласка атмосферске воде из једног у друго агрегатно стање итд. Сви ови процеси су међусобно повезани и условљени, а као њихова последица формира се специфично стање атмосфере у одређеном тренутку и на одређеном месту на планети Земљи, које се назива **време**. **Клима** представља просечан образац временских услова који владају на одређеном подручју током дужег временског периода, тј. који се понављају из године у годину. Наука која се бави проучавањем временских прилика назива се **метеорологија**, док се наука о клими назива **климатологија**.

Време и климу одређују следећи основни параметри: количина и интензитет Сунчевог зрачења, температура ваздуха нижих слојева атмосфере, падавине, влажност ваздуха, атмосферски притисак и ветрови. У метеорологији и климатологији, ови параметри се називају метеоролошким, односно климатским елементима, док у

екологији представљају климатске еколошке факторе. Описивање времена на датом подручју врши се мерењем и приказом вредности поменутих параметара у одређеном тренутку. Међутим, за описивање климе датог подручја неопходан је вишегодишњи период праћења временских прилика. За климу одређеног подручја није битна само средња годишња температура или укупна количина падавина, већ и њихова сезонска дистрибуција (расподела). Од великог значаја је и однос годишње дистрибуције температуре и падавина, јер су њиме одређене појаве сушних или влажних периода у току године.

7.4.1. Сунчево зрачење

Главни извор топлоте на планети Земљи је Сунчево зрачење, које истовремено представља посредни узрок већине процеса у атмосфери. Сунчево зрачење, тј. видљиви део његовог спектра (светлост) непосредно је веома значајан за биосферу, јер га примарни произвођачи користе у процесу фотосинтезе. Сунчево зрачење настаје у термонуклеарним реакцијама које се одвијају на Сунцу, а до Земљине атмосфере и површине доспева у виду електромагнетних таласа. У контакту са површином Земље (земљиштем, стенама, вегетацијом, телима живих бића или вештачким материјалима створеним од стране човека), Сунчево зрачење се трансформише у топлотну енергију, а само у малом проценту се искористи у процесу фотосинтезе. Колико ће Сунчевог зрачења доспети на одређено место на површини планете Земље зависи од бројних фактора, попут стања атмосфере (у првом реду од облачности), али и од дужине пута Сунчевог зрачења кроз атмосферу и угла под којим оно пада на Земљину површину, што је одређено географским положајем, добом дана и године и рељефом (надморском висином и експозицијом) итд.

Величине којима се најчешће описује енергетски допринос Сунчевог зрачења Земљиној површини су интензитет и количина Сунчевог зрачења. **Интензитет Сунчевог зрачења** представља тренутну снагу зрачења, које пада на јединицу површине у датом тренутку, а изражава се у ватима по квадратном метру (W/m^2). **Количина Сунчевог зрачења** представља укупан износ енергије примљене на јединицу површине током одређеног временског периода, а изражава се у џулима по квадратном метру (J/m^2) или у ват-часовима по квадратном метру (Wh/m^2).

Интензитет Сунчевог зрачења које доспева на горњу границу атмосфере (улазно зрачење) просечно износи око $1.362 W/m^2$ и назива се **соларна константа**. Соларна константа може варирати у зависности од соларног циклуса, тј. промена у Сунчевој активности. У састав Сунчевог зрачења које доспева до горње границе атмосфере улази инфрацрвено зрачење (око 50%), видљива светлост (око 40%) и ултраљубичасто зрачење (око 10%). При проласку Сунчевог зрачења кроз атмосферу не само да опада његов интензитет, већ се мења његов састав услед присуства облака, водене паре, честица и различитих гасова који га рефлектују или апсорбују. Смањење интензитета и промену спектралног састава Сунчевог зрачења које доспева до Земљине површине могу проузроковати вулканске ерупције, којима се велика количина пепела избацује у атмосферу, као и висок ниво атмосферског загађења.

На екватору, када се Сунчеви зраци пробијају кроз атмосферу под правим углом у ведрим условима, интензитет Сунчевог зрачења које доспе на површину Земље износи око $1.000 W/m^2$. На другим местима на Земљи при другачијим околностима, ова вредност може бити знатно мања. Од укупне количине Сунчевог зрачења која доспева на горњу границу атмосфере, до површине Земље у просеку доспева око 49%. Око 20% улазног зрачења на свом путу бива апсорбовано у атмосфери, како од стране облака

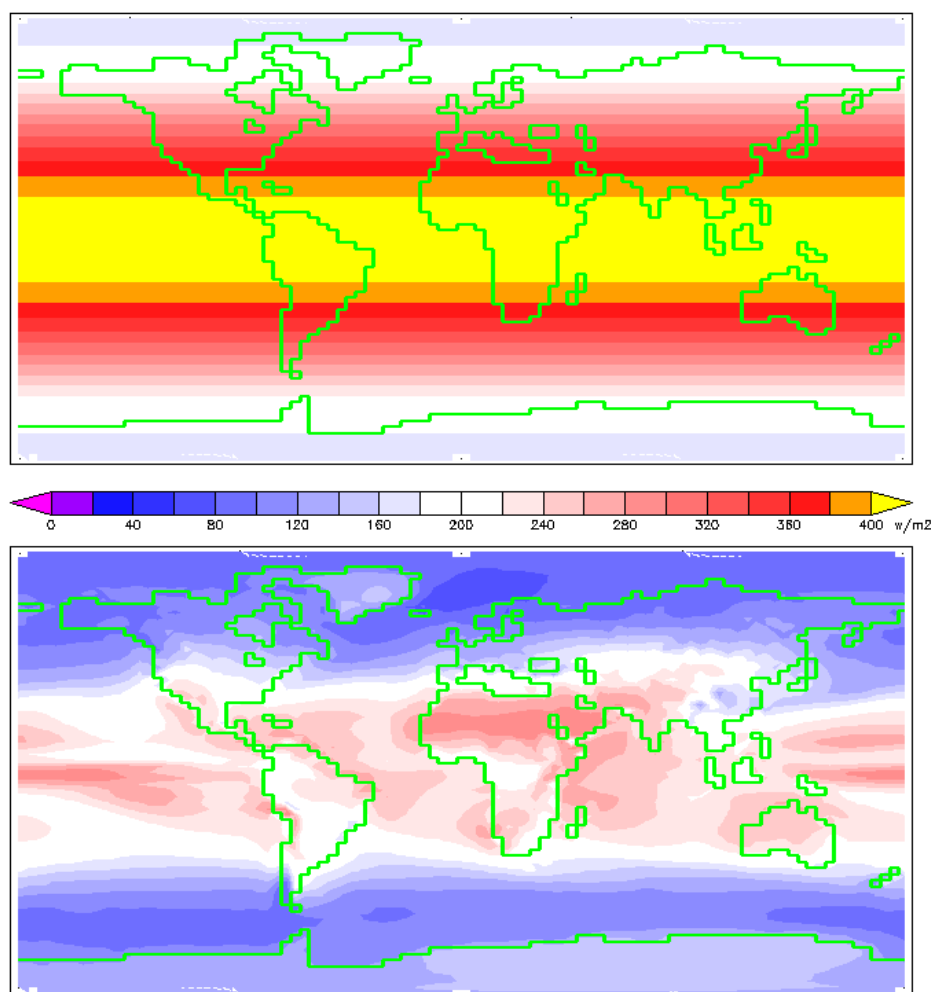
(око 4%), тако и од стране водене паре, честица и гасова (око 16%). Око 16% улазног зрачења бива рефлектовано од стране облака, а око 6% од стране водене паре, честица и гасова, тако да укупан збир зрачења рефлектованог у свемир износи око 22%.

Апсорпцији и рефлексији не подлежу подједнако сви делови спектра Сунчевог зрачења. Захваљујући озонском омотачу, UV зрачење се у значајној мери апсорбује у стратосфери, тако да веома мали проценат овог зрачења доспева до површине Земље. Велики део инфрацрвеног зрачења се апсорбује при проласку кроз атмосферу и то углавном од стране водене паре, угљен-диоксида и метана. Видљива светлост се у највећој мери успешно пробија кроз атмосферу, при чему не долази до већих промена у њеном спектралном саставу. Састав Сунчевог зрачења које доспе до површине Земље разликује се од састава Сунчевог зрачења које доспе до горње границе атмосфере и у највећој мери се састоји од инфрацрвене (око 53%) и видљиве светлости (око 44%), док је UV зрачење заступљено у малим количинама (око 3%).

Одређени део Сунчевог зрачења који пролази кроз атмосферу доспева директно до Земљине површине и назива се **директним зрачењем**. Због присуства облака, честица и молекула гасова у атмосфери, један део Сунчевог зрачења се прво расипа па тек онда доспева до Земљине површине, те се назива **дифузним зрачењем**. Директно и дифузно зрачење заједно чине укупно, тј. глобално зрачење. Однос директног и дифузног зрачења зависи од много фактора, као што су дужина пута кроз које се Сунчево зрачење пробија, а понајвише од облачности. У ведрим условима на планинским врховима у подручјима екваторијалне зоне, зрачење ће већински бити директно. Ако је облачност велика, зрачење ће бити дифузног карактера и слабијег интензитета.

Географски положај датог подручја, тачније његова географска ширина, значајно утиче на интензитет Сунчевог зрачења које допире до површине Земље (слика 60). Екватор прима највећу количину зрачења, а како се иде ка половима, она се постепено смањује. Разлог за ово лежи у облику планете Земље и чињеници да на екватору Сунчево зрачење допире до Земљине површине скоро под правим углом. Што је већа географска ширина Сунчеви зраци ће имати мањи упадни угао, што значи да се иста количина зрачења распоређује на већој површини него што је то случај на екватору. Такође, што је већа географска ширина, пут који Сунчево зрачење пролази кроз атмосферу је дужи, без обзира што је дебљина атмосфере мања. Већа количина зрачења се у овом случају рефлектује и апсорбује у атмосфери, што значи да је интензитет зрачења које доспева до површине Земље мањи. Последица овога је неједнако загревање Земљине површине и постојање различитих температурних појасева.

Количина и интензитет Сунчевог зрачења које доспева до Земљине површине не варирају само у зависности од географског положаја, већ су променљиви и у времену јер су условљени добом дана и године. Због Земљине ротације долази до смене обданице и ноћи у току дана. Ујутру и предвече, када је Сунце „ниско на хоризонту”, зраци падају под мањим углом у односу на Земљину површину и пролазе дужи пут кроз атмосферу, те се у већој мери апсорбују, рефлектују и расејавају. Због тога је интензитет зрачења мањи, а загревање слабије. Насупрот томе, у подне, када је Сунце „високо на небу”, зраци падају под углом који се приближава правом, прелазе краћи пут кроз атмосферу и у већој мери доспевају до Земљине површине, што доводи до интензивнијег загревања.



Слика 60. Средња годишња вредност интензитета Сунчевог зрачења на горњој граници атмосфере (горе) и површини Земље (доле)

Количина и интензитет Сунчевог зрачења које доспева до одређеног места на Земљиној површини варирају током године због нагиба Земљине осе у односу на равну орбиту и промене положаја Земље у односу на Сунце. Земљина оса је накривљена под углом од око $23,4^\circ$, што узрокује да током године јужна и северна хемисфера примају различите количине зрачења. Када је на једној хемисфери лето, та хемисфера је нагнута ка Сунцу, па Сунчеви зраци падају под стрмијим углом и обданица траје дуже, што доводи до већег загревања. Током зиме, дата хемисфера је заклоњенија и мање изложена Сунчевим зрацима који падају под мањим углом. Та се енергија распоређује на већу површину, а обданица траје краће, што резултује мањим загревањем. Ове цикличне промене доводе до смене годишњих доба. Када је на једној хемисфери лето, на супротној је зима и обротно.

Као што је већ поменуто, дужина пута који Сунчево зрачење пролази кроз атмосферу утиче на његов интензитет на одређеном месту на Земљиној површини. Под истим осталим условима, интензитет Сунчевог зрачења расте са повећањем надморске висине, те може бити веома висок на планинским врховима при ведрим летњим данима. Овај ефекат велике надморске висине је често маскиран великом облачношћу карактеристичном за високопланинске пределе. Нагиб терена утиче на угао под којим Сунчеви зраци падају на површину, што може утицати на интензитет њеног загревања. Када је површина нормална у односу на правац Сунчевих зрака, она прима максимални интензитет зрачења. Још значајнији орографски фактор у овом случају је експозиција,

тј. окренутост терена ка одређеној страни света. На северној хемисфери, интензитет Сунчевог зрачења, удео директног зрачења и дужина трајања осунчаности у току дана знатно су већи на јужно експонираним падинама у односу на северно експониране, док је на јужној хемисфери ситуација обрнута. На основу овога, може се закључити да карактеристике рељефа локално могу знатно утицати на количину и интензитет Сунчевог зрачења.

На локалном нивоу, вегетација игра важну улогу у одређивању интензитета Сунчевог зрачења унутар одређеног станишта. На отвореним стаништима, као што су травна станишта, површина терена је изложена директном зрачењу током ведрих дана. Крошње и лишће дрвећа у шумским стаништима у великој мери онемогућавају пробој директног Сунчевог зрачења до земљишта, шумске стеље и биљака нижих спратова шуме, тако да је овде присутно дифузно зрачење, а места на које оно пада називају се **сенкама**. Кроз крошње дрвећа се у извесној мери пробија директно зрачење, а места на која оно пада називају се **светлосним продорима**. Места где су сенке и светлосни продори испреплетани представљају **светлосне пеге**. Количина Сунчевог зрачења у шумама зависи од густине њеног склопа (међусобне удаљености дрвећа) и њихове олисталости. Битан фактор представљају облик и густина крошњи дрвенастих врста које изграђују шуму. Можемо разликовати тамне шуме, као што су смрчеве, јелове или букове и светле шуме, попут храстових и борових. Осим интензитета и количине, у шумама је измењен и спектрални састав Сунчевог зрачења јер листови биљака у већој мери апсорбују светлост плавог и црвеног дела спектра за потребе обављања фотосинтезе.

Сунчево зрачење које доспе до Земљине површине (земљишта, стена, вегетације, тела живих бића или вештачких материјала створених од стране човека) делом се апсорбује и претвара у топлотну енергију, док други део бива рефлектован, па напушта атмосферу и одлази у свемир. Проценат зрачења одбијеног о Земљину површину у просеку износи око 9% укупног улазног зрачења (соларне константе). У просеку око 40% улазног зрачења (49% минус 9%) остаје на располагању за загревање Земљине површине и обављање процеса фотосинтезе. Укупно рефлектовано зрачење које одлази у свемир износи око 31% (22% рефлектовано од облака, гасова и честица и 9% од Земљине површине). Проценат рефлектованог зрачења од стране Земљине површине (у односу на укупно доспело зрачење) назива се **албедо** и зависи од карактеристика, тј. боје површине. Највећи је албедо у случају површина прекривених снегом (око 90%), док површине под шумама и водене површине најмање рефлектују зрачење.

7.4.2. Температура ваздуха

Један од најважнијих климатских фактора (у екологији), тј. климатских или метеоролошких елемената (у метеорологији и климатологији) јесте температура нижих слојева атмосфере у којима се одвија живот. Иако на планети Земљи постоје различити извори топлоте, најзначајнији извор је свакако Сунчево зрачење, тако да је температура ваздуха одређена његовом количином и интензитетом. Атмосфера се у малој мери загрева директно Сунчевим зрачењем, а у знатно већој мери апсорпцијом дуготаласног зрачења које емитује површина Земље након што је апсорбовала и претворила Сунчево зрачење у топлотну енергију. Кључан фактор који одређује температуру ваздуха на неком месту на Земљи је атмосферска циркулација, односно ветар. Температура ваздуха на одређеном месту не зависи искључиво од локалне загрејаности површине Земље, већ може бити условљена хоризонталним преносом ваздушних маса загрејаних у неком другом подручју.

Површина Земље на коју пада Сунчево зрачење функционише као **активна површина**, што значи да се у контакту са њом енергија електромагнетног зрачења претвара у топлотну енергију. Активне површине могу бити стене, земљиште, вегетација, тела живих организама, вештачки материјали антропогеног порекла, водена површина итд. Након што се загреје, Земљина површина емитује термално зрачење, тј. излучује дуготаласне инфрацрвене зраке. Око 12% тог дуготаласног инфрацрвеног зрачења напушта атмосферу и губи се у свемиру, док остатак апсорбују молекули водене паре, угљен-диоксида и метана у атмосфери. Ови молекули потом врше контраизрачивање, тј. емитовање дуготаласног инфрацрвеног зрачења. Један део овог зрачења (око 38%) губи се из атмосфере и одлази у свемир, док се већи део (око 62%) враћа на Земљу, чиме се атмосфера додатно загрева.

Описана појава апсорпције дуготаласног инфрацрвеног зрачења и његовог контраизрачивања у атмосфери представља **ефекат стаклене баште**, а поменути гасови који имају велику моћ апсорпције овог зрачења називају се стакленичким гасовима или гасовима са ефектом стаклене баште. Ефекат стаклене баште је добио назив по сличном механизму који се примењује у стакленичкој или пластеничкој биљној производњи. Краткоталасно Сунчево зрачење пролази кроз стакло или најлон на сличан начин као што пролази кроз Земљину атмосферу, а у контакту са земљиштем се трансформише у топлотну енергију, те долази до дуготаласног излучивања. Дуготаласни инфрацрвени зраци имају другачије карактеристике у односу на краткоталасне зраке и не могу несметано проћи кроз провидно стакло или најлон. Стакло или најлон имају сличну улогу у стакленицима или пластеницима као што имају и стакленички гасови у атмосфери. Ефекат стаклене баште је од изузетног значаја јер се њиме у великој мери спречава хлађење атмосфере током зимског периода или ноћи, када је прилив енергије Сунчевог зрачења мали или га уопште нема. Без њега, просечна температура атмосфере била би значајно нижа, а температурна колебања између дана и ноћи или лета и зиме била би значајно израженија. Данас велики проблем представља појачање ефекта стаклене баште услед повећане емисије угљен-диоксида и метана у атмосферу, што доводи до глобалног загревања и климатских промена.

Током летњих и ведрих дана у подневним часовима и у условима изложености директном Сунчевом зрачењу, земљиште или нека друга активна површина се интензивно загрева. У том случају, приземни слојеви ваздуха, који се налазе непосредно изнад активне површине, биће најтоплији. Током хладних зимских ноћи, када површина Земље губи велику количину топлоте дуготаласним излучивањем, вертикална дистрибуција температуре ваздуха је другачија. У тим условима, приземни слој ваздуха се брже хлади од виших слојева атмосфере, што доводи до формирања температурне инверзије – стања у којем температура расте с висином. Температурне инверзије су најизраженије у условима тихих, ведрих ноћи са слабом циркулацијом ваздуха, када хлађење Земљине површине није ремећено ветром или облацима.

Земљина површина се не загрева равномерно, тако да се температура ваздуха разликује у зависности од географске ширине. Ваздух у областима око екватора је просечно најтоплији, а на сваких 100 km северно или јужно од екватора, тј. са сваким степеном географске ширине, температура ваздуха опадне за око 0,6°C. Варирање температуре ваздуха у зависности од географске ширине условљава **хоризонтално зонирање температуре** на планети Земљи. На основу тога могу се разликовати три топлотна појаса: жарки, умерени и поларни.

Жарки појас се простире између северног и јужног повратника (од 23,33° северне до 23,33° јужне географске ширине) и прима највећу количину Сунчевог зрачења током целе године. Овде је температура ваздуха висока и релативно стабилна, а годишња температурна амплитуда је мала.

Умерени појас налази се између повратника и поларних кругова (од $23,33^{\circ}$ до $66,33^{\circ}$ северне и јужне географске ширине). Карактерише се значајним сезонским осцилацијама температуре. Током лета, угао упада Сунчевих зрака је већи, што доводи до виших температура, док су зиме хладније због мање количине примљеног зрачења.

Поларни појас је смештен северно од Арктичког и јужно од Антарктичког поларног круга (од $66,33^{\circ}$ до 90° северне, односно јужне географске ширине) и прима најмању количину Сунчевог зрачења. Током зиме, ови региони могу бити потпуно без дневне светлости (поларна ноћ), док лети Сунце остаје изнад хоризонта током целог дана (поларни дан). Због ниског угла упада зрачења и високе рефлексије од снежне и ледене површине (албедо ефекат), температуре су у овим подручјима изузетно ниске.

На хоризонтално зонирање температуре ваздуха велики утицај има распоред копна мора и океана. Разлог за ово лежи у чињеници да копно и вода имају различита топлотна својства. Вода се одликује специфичном топлотом, тако да се спорије загрева и спорије хлади од копна. На тај начин, велике водене масе попут мора, океана и великих језера, спречавају израженија колебања температуре у току године. Због тога је у приобалним подручјима заступљена **маритимна клима**, која се одликује благим зимама и летима. Што је нека област удаљенија од океана, температурне разлике између летњих и зимских температура су веће, што представља главну одлику **континенталне климе**.

Дистрибуција топлоте ваздуха је додатно регулисана атмосферском циркулацијом, односно кретањем ваздушних маса које преносе топлоту из топлијих у хладније области и морским струјама које имају кључну улогу у одржавању топлотне равнотеже на Земљи.

Поред хоризонталног зонирања, постоји и **вертикално зонирање** температуре ваздуха од подножја до планинских врхова. На сваких 100 m надморске висине, температура ваздуха у просеку опада за $0,6^{\circ}\text{C}$. Вертикално зонирање се јавља услед већ описаног принципа опадања температуре ваздуха са порастом надморске висине. Ваздух је разређенији на већим надморским висинама, а већа је и удаљеност од Земљине површине преко које се ваздух загрева. На планинским врховима је нижа концентрација гасова са ефектом стаклене баште (водене паре и угљен-диоксида), те је и апсорпција дуготаласног инфрацрвеног зрачења мање изражена. У овоме се огледа значај рељефа у дистрибуцији топлоте на планети Земљи. Због тога, чак и у жарком појасу, на планинским врховима температурни услови могу бити слични онима који владају у поларном појасу. Пример за то су врхови Килиманџара на којима се током целе године задржава снежни покривач.

Поред описане зависности температуре од надморске висине, рељеф може на друге начине модификовати опште обрасце дистрибуције температуре на Земљи. Пошто је температура ваздуха примарно одређена количином и интензитетом Сунчевог зрачења које Земљина површина прима, јасно је да експозиција и нагиб терена имају велику улогу у формирању локалних температурних услова. Карактеристике рељефа се могу одразити на ваздушно струјање, чиме се додатно модификују температурни услови. Планински венци могу утицати на кретање ваздушних маса, што доводи до наглог загревања ваздуха на заветринској страни планина. У котлинама се често задржава хладан ваздух током ноћи, што доводи до појаве температурне инверзије, тј. стања у којем су приземни слојеви ваздуха хладнији од виших слојева.

Још један фактор који у великој мери регулише температуру ваздуха на локалном нивоу јесте присуство и тип вегетације која мења интензитет и количину Сунчевог зрачења унутар неког станишта. Листови дрвећа у великој мери спречавају директно Сунчево зрачење да доспе до подлоге, те се она мање и загрева, а самим тим се мање загрева и ваздух изнад ње. Због тога је у шумама увек нижа температура него

на отвореним стаништима (нпр. на ливадама). Земљиште у шумама је прекривено стељом која је влажна и функционише као термоизолатор. На тај начин се у шумским стаништима формира посебна шумска фитоклима.

Температура ваздуха одређене области се мења током времена и условљена је добом дана и добом године, па можемо разликовати њену дневну и годишњу динамику. **Дневна динамика температуре ваздуха** се огледа у карактеристичном циклусу варирања температуре који примарно зависи од интензитета Сунчевог зрачења. Најниже вредности температуре су у раним јутарњим сатима, непосредно пре изласка Сунца, када је губитак топлоте дуготаласним зрачењем најизраженији. Након изласка Сунца, температура почиње да расте услед апсорпције зрачења и преноса топлоте са подлоге на ваздух. Иако је Сунце у зениту око поднева, највише температуре се обично бележе у поподневним часовима, између 14 и 16 часова, јер је потребно време да се површина довољно загреје и пренесе топлоту у атмосферу. Након тога, температура постепено опада како се смањује интензитет зрачења, а хлађење се наставља током ноћи, при чему је најизраженије у условима ведрога и мирног времена. Облачност, влажност ваздуха и ветар могу утицати на брзину хлађења, јер облаци делују као топлотни изолатор, смањујући губитак енергије зрачењем. У различитим поднебљима, дневна динамика температуре варира. У пустињским и континенталним областима температурне осцилације између дана и ноћи су велике, док су у приобалним и шумским пределима мање изражене захваљујући утицају воде и вегетације, које спречавају температурне екстреме.

Годишња динамика температуре ваздуха представља последицу сезонских промена у загревању Земљине површине и атмосфере услед промена у упадном углу Сунчевих зрака и дужини обданице током године. У умереном појасу температура је најнижа у зимским месецима када је Сунце ниско на хоризонту, а дан краћи, што доводи до смањеног прилива енергије. Како се пролеће приближава, интензитет зрачења расте, а тиме и температура ваздуха, достижући максимум у летњем периоду, када је трајање дана најдуже, а Сунчеви зраци најинтензивнији. Као и код дневне динамике, највише температуре се не јављају у тренутку када је Сунчево зрачење најјаче, већ нешто касније, обично у јулу или августу, услед термичке инерције земљишта и воде. Након лета, температура постепено опада, јер се смањује дужина дана и интензитет зрачења, што доводи до хлађења ваздуха у јесењем и зимском периоду. У тропским и маритимним пределима слабије су изражене сезонске температурне разлике, док у континенталним регионима осцилације могу бити велике. Океани и велике водене површине ублажавају годишње температурне екстреме, па су климе приобалних подручја знатно блаже у односу на унутрашњост континента.

Поред дневне и годишње динамике, постоји и **дугорочна динамика температуре ваздуха** под којом се подразумевају њене промене током дугих временских периода, укључујући деценије, векове, миленијуме, геолошке епохе, па и дуготрајнија геолошка доба. Ове промене могу бити цикличне, што значи да до њих долази периодично, у једнаким временским интервалима. Дугорочне промене температуре на Земљи цикличног карактера резултат су астрономских фактора који утичу на количину Сунчевог зрачења које доспева на различите делове планете. Ове промене, познате као **Крол-Миланковићев ефекат**, настају услед варијација у Земљиној орбити и положају њене ротационе осе. Један од најдужих циклуса, који траје приближно 100.000 година, односи се на **периодичну промену ексцентричности Земљине орбите**, односно промену њеног облика из скоро кружног у облик издужене елипсе. Друга важна варијација је

периодична промена нагиба Земљине осе ротације у односу на орбиталну раван, која се дешава у интервалу од 41.000 година. У току овог циклуса, угао који Земљина оса заклапа са правом која је нормална у односу на орбиталну раван мења се од $22,1^\circ$ до $24,5^\circ$. Земљина оса пролази кроз цикличну **прецесију**, односно постепену промену правца своје оријентације у интервалима од приближно 22.000 година. Ове три промене заједно утичу на дугорочне климатске обрасце и представљају главни узрок настанка ледених доба, која су се у геолошкој прошлости јављала периодично, са наизменичним хладнијим (глатцијалним) и топлијим (интерглатцијалним) фазама. Постоје и друге цикличне промене које у мањој мери утичу на температуру и уопштено на климу, а то су једанаестогодишњи соларни циклуси, током којих се интензитет Сунчевог зрачења мења за око 0,1% и двадесетдвогодишњи циклуси промене магнетног поља Сунца.

Поред описаних природних цикличних промена, у данашње време су све израженије антропогене промене температуре на Земљи нецикличног карактера, познате као **глобално загревање**. Ове промене представљају резултат повећане концентрације гасова са ефектом стаклене баште у атмосфери услед људских активности, попут сагоревања фосилних горива, крчења шума и индустријских процеса. За разлику од природних климатских циклуса, ове промене се одвијају у знатно краћем временском периоду и узрокују континуиран раст просечне глобалне температуре. Пораст концентрације угљен-диоксида, метана и азотних оксида појачавају ефекат стаклене баште, задржавајући већу количину топлоте у атмосфери. Последице глобалног загревања подразумевају топљење глечера, пораст нивоа мора, учесталије екстремне временске прилике и поремећаје у екосистемима, што представља један од највећих изазова савременог доба.

7.4.3. Влажност ваздуха

Влажност ваздуха представља садржај водене паре у атмосфери и има кључну улогу у климатским и метеоролошким процесима. Вода је једина материја у атмосфери која се може наћи у сва три агрегатна стања: гас (водена пара), течност (капљице воде) и чврста супстанца (ледени кристали). Испаравање воде са површине мора, језера, река, земљишта и вегетације представља примарни извор водене паре у атмосфери.

Количина водене паре коју ваздух може да задржи зависи од његове температуре. Топла ваздух може садржати више водене паре у поређењу са хладним ваздухом. Ова појава је последица кинетичке енергије молекула: у топлијем ваздуху молекули воде се крећу брже, што спречава њихову кондензацију, омогућавајући већу концентрацију водене паре у гасовитом стању. У хладнијем ваздуху смањена кинетичка енергија доводи до повећане вероватноће кондензације, што резултира нижом концентрацијом водене паре.

Поред температуре, влажност ваздуха је уско повезана са атмосферским притиском. Са порастом притиска, густина ваздуха се повећава, што утиче на капацитет ваздуха да садржи водену пару. У нижим слојевима атмосфере, где је притисак виши, ваздух може садржати више водене паре, док се у вишим слојевима атмосфере, где је притисак нижи, количина водене паре смањује. Овај однос је посебно важан у процесима као што су формирање облака и падавина, јер смањење притиска омогућава лакше засићење ваздуха и кондензацију водене паре.

Влажност ваздуха се може изразити на различите начине. **Апсолутна влажност ваздуха** (e) представља масу водене паре у јединици запремине ваздуха и изражава се у грамима воде по кубном метру ваздуха (g/m^3) или милиграмима воде по литри ваздуха (mg/L). Како при различитим температурама и атмосферским притисцима ваздух има

различит потенцијал задржавања водене паре у себи, апсолутна влажност нам не пружа јасан увид о степену засићености воденом паром, од кога зависе процеси евапотранспирације. Због тога се чешће користи релативна влажност ваздуха.

Релативна влажност ваздуха (R) представља однос између апсолутне влажности ваздуха (e) и максималне влажности ваздуха (E), тј. највеће количине водене паре коју ваздух може примити до засићења при датим вредностима температуре и атмосферског притиска. Релативна влажност се изражава у процентима и израчунава се према следећој формули: $R = (e/E) \times 100\%$.

Дефицит влажности (D) представља разлику између максималне влажности ваздуха и апсолутне влажности ($D = E - e$). Овај параметар указује на то колико ваздух још може примити водене паре у себе при датим условима температуре и притиска. Што је већи дефицит влажности, процеси евапорације ће бити интензивнији.

Влажност ваздуха варира у простору, при чему се највише вредности налазе у екваторијалним пределима, а најниже у арктичким и суптропским пустињским регионима. Ова расподела је условљена количином падавина, количином испарене воде, атмосферском циркулацијом, температуром ваздуха и атмосферским притиском. Океани и велике водене површине често доприносе вишој влажности ваздуха у маритимним регионима, док је у континенталним регионима влажност ваздуха нижа због мање количине воде која би испаравала. Фактори који на локалном нивоу утичу на влажност ваздуха укључују рељеф, вегетацију и антропогене активности попут урбанизације и индустрије. Планински масиви делују као баријере за влажне ваздушне масе, узрокујући појаву високе влажности ваздуха на једној страни, док подручја у заветрини остају сувља. Вегетација доприноси влажности ваздуха преко процеса транспирације. Густа вегетација, попут тропских кишних шума, може значајно повећати локалну влажност.

Влажност ваздуха варира током времена, тако да се може говорити о њеној дневној и годишњој динамици. Током дана, влажност је обично најнижа у поподневним сатима када је температура највиша, а највиша у јутарњим часовима када је температура најнижа. Годишња динамика влажности прати сезонске температурне варијације, тако да је у летњим месецима влажност виша у хумидним пределима, док је у зимским месецима релативна влажност често већа због нижих температура.

7.4.4. Падавине

Под падавинама (оборинама или преципитацијом) подразумева се атмосферска вода која у течном или чврстом облику доспева на површину Земље. Оне настају кондензацијом или сублимацијом водене паре или мржњењем претходно кондензоване воде у атмосфери. До појаве падавина долази када се ваздух засити воденом паром, односно када вредност релативне влажности неког дела атмосфере достигне 100%, што се дешава када се ваздух довољно охлади или када прими довољну количину водене паре евапорацијом. Заједно са температуром, падавине представљају један од најзначајнијих метеоролошких и климатских елемената.

У зависности од начина настанка и висине на којој се формирају, падавине се могу поделити на високе и ниске. **Високе падавине** се формирају у облацима и падају на Земљину површину у течном или чврстом стању. Овде спадају **киша** (капи воде које се формирају кондензацијом водене паре у облацима), **росуља** (ситне капи воде које ношене ветром полако падају на Земљину површину), **ледена киша** (капи воде охлађене испод тачке мржњења које се заледе тек по паду на хладну површину), **снег** (ледени кристали воде), **суснежица** (мешавина кише и снега), **град** (ледени облутци) итд. **Ниске**

падавине се не формирају у облацима, већ настају у приземном слоју атмосфере. Овде спадају **роса** (капљице воде настале кондензацијом водене паре из ваздуха у контакту са хладним површинама), **слана** (ледени кристали настали мржњењем росе), **иње** (ледени кристали настали сублимацијом водене паре) и **поледица** (танак слој леда који се формира мржњењем суперохлађених капљица воде у додиру са хладним површинама).

Географска дистрибуција падавина условљена је различитим факторима, као што су географска ширина, атмосферска циркулација, океанске струје и рељеф. Укупно посматрано, највише падавина се јавља у тропским крајевима, док су најсушније области смештене у суптропским зонама и у континенталним унутрашњостима. На основу количине падавина, издвајају се аридне (сушне) и хумидне (влажне) области. **Аридне области**, као што су пустиње Сахара, Атакама и Гоби, добијају мање од 250 mm падавина годишње и налазе се у суптропским зонама високог притиска или у унутрашњости континента, далеко од утицаја влажних ваздушних маса. С друге стране, **хумидне области**, попут Амазоније, Конга и монсунских подручја Азије, примају преко 1.000 mm падавина годишње. Рељеф игра важну улогу, тако да на већим надморским висинама има више падавина јер се ваздух хлади како се уздиже, што доводи до кондензације водене паре и формирања облака.

За одређивање климатских карактеристика неког подручја није довољно познавати само укупну годишњу количину падавина, већ је од великог значаја **годишња дистрибуција падавина**, тј. њихова расподела у току године. Основни типови годишње дистрибуције падавина на Земљи су:

- **екваторски тип** – годишњи максимум падавина се јавља након пролећне и јесење равнодневнице;
- **тропски тип** – годишњи максимум падавина је у току лета;
- **монсунски тип** – годишњи максимум падавина је у току лета, док су зиме сушне;
- **суптропски тип** – годишњи максимум је у току зиме, док су лета сушна;
- **континентални тип** – веће количине падавина у току пролећа и лета, док су зиме сушније;
- **океанск и тип** – равномерна годишња дистрибуција падавина, без појаве екстремно сушних или кишовитих периода.

7.4.5. Ветар

Под **атмосферском циркулацијом** подразумева се масовно кретање ваздушних маса. Атмосферска циркулација, заједно са циркулацијом океана, од кључног је значаја за дистрибуцију топлотне енергије на планети Земљи чија се површина загрева Сунчевим зрачењем. Иако атмосферска циркулација није иста сваке године, њени општи глобални обрасци остају стабилни, јер зависе од непроменљивих или слабо променљивих карактеристика Земље, тј. њеног облика, величине, брзине кретања (ротације), дебљине и састава атмосфере, као и од количине Сунчевог зрачења коју Земљина површина прима. Током веома дуге геолошке историје долазило је до крупних тектонских промена у виду прерасподеле копнене масе или издизања високих планина, али и до промене облика Земљине орбите, нагиба и оријентације њене осе, што је утицало на промене у општим обрасцима атмосферске циркулације.

Ветар представља део глобалне атмосферске циркулације и под њим се подразумева хоризонтално кретање ваздуха у одређеном правцу у тропосфери. Поред хоризонталног кретања, у атмосфери се одвија и вертикално кретање ваздуха, познато

под називом ваздушне струје. Ова кретања ваздуха проузрокована су постојањем разлика у ваздушним притисцима у тропосфери, до којих долази услед неједнаког загревања Земљине површине, а самим тим и ваздуха који се налази изнад ње. Велику улогу има разлика у брзини загревања и хлађења копна и великих водених маса (океана и мора), што проузрокује разлике у температури и ваздушном притиску различитих делова тропосфере. Распоред воде и копна је од великог значаја у формирању глобалних образаца атмосферске циркулације. Утицаја има и Земљина ротација услед које долази до скретања правца кретања ваздуха изазваног претходно описаним узроцима.

Ветрови се карактеришу честином, брзином, јачином и правцем дувања. **Честина ветра** представља број дана или проценат времена током којег дува одређени ветар у датом правцу. Изражава се у процентима или као број дана у години или месецу. **Брзина ветра** представља растојање које ваздушна маса пређе у одређеном временском интервалу и најчешће се изражава у метрима по секунди (m/s) или у километрима на сат (km/h). **Јачина ветра** представља меру учинка ветра, тј. његов утицај на околину. Често се изражава помоћу Бофорове скале, којом се ветрови рангирају у категорије у зависности од видљивих ефеката на природу и инфраструктуру. **Правца ветра** се одређује према смеру из којег ваздушна маса долази. Изражава се у степенима или се једноставно означавају по страни света са које долазе.

Ветрови који дувају током целе године на великим географским просторима називају се **сталним глобалним ветровима**. Директан узрок њиховог настанка је различита загрејаност ваздуха на различитим географским ширинама. Стални глобални ветрови формирају систем кретања ваздуха, који се назива циркулациона ћелија. Циркулациона ћелија се састоји од узлазног струјања загрејаног и лакшег ваздуха, хоризонталног кретања ваздуха на великим висинама, силазног струјања охлађеног и тежег ваздуха и хоризонталног кретања ваздуха при површини Земље. До вертикалног кретања ваздуха долази услед његовог загревања, односно хлађења, чиме настаје појава поља високог и ниског ваздушног притиска, што проузрокује хоризонтална кретања ваздуха.

На јужној и северној Земљиној хемисфери постоје три циркулационе ћелије: Хадлејева, Ферелова и поларна ћелија. **Хадлејева ћелија** се простире од екватора до око 30° јужне, односно северне географске ширине. На екватору, услед интензивног Сунчевог зрачења, приземни ваздух се загрева и подиже, остављајући за собом поље ниског притиска и обилних падавина. Затим се ваздух на висинама од око 9.000 m помера јужно, односно северно, ка суптропским областима. Овако настају висински ветрови који се називају антипасатима. Овај ваздух се постепено хлади и постаје тежи, тако да се висина на којој дувају антипасати смањује, да би на око 30° јужне, односно северне географске ширине, дошло до потпуног спуштања охлађеног ваздуха. На овај начин формира се поље високог притиска, одакле се ваздух креће хоризонтално на малим висинама ка екватору, тј. у смеру претходно поменутог поља ниског ваздушног притиска. Ветрови који овако настају називају се пасатима.

Ферелова ћелија заузима простор између 30° и 60° јужне, односно северне географске ширине, а кретање ваздуха у њој супротног је смера у односу на Хадлејеву ћелију. Приземни ветрови у оквиру ове ћелије крећу се из смера суптропских области ка поларним областима и називају се западним ветровима. **Поларна ћелија** је смештена између 60° јужне, односно северне, географске ширине и самих полова. У њој хладан, густ ваздух тоне на поларним капама и креће се ка мањим географским ширинама, где се судара са топлијим ваздухом из Ферелове ћелије. Овај судар ствара снажне поларне фронтове и покреће источне ветрове, који дувају из области високог притиска на половима.

На правац глобалних ветрова велики утицај има Кориолисова сила, која настаје због Земљине ротације. Услед ове силе, ветрови који би иначе дували директно од области високог ка областима ниског притиска скрећу улево на јужној хемисфери, а удесно на северној хемисфери. Како се са ротацијом Земље креће и атмосфера, овај ефекат доводи до закривљености путање ветрова у односу на Земљину површину. Описани феномен познат је под називом **Кориолисов ефекат**.

Ветрови који мењају правац у одређеним временским интервалима, најчешће сезонски или дневно, називају се **периодичним ветровима**. У ову групу спадају монсуни, регионални периодични ветрови, који се јављају у тропским и суптропским подручјима јужне и југоисточне Азије. Они настају услед сезонских разлика у загревању копна и океана. Могу се разликовати летњи влажни и зимски суви монсуни. Летњи монсуни дувају са океана ка копну и доносе обилне падавине, јер топли ваздух са океана доноси велику количину водене паре, која се кондензује изнад копна. Ови ветрови условљавају појаву кишне сезоне у Индији и југоисточној Азији. Зимски монсуни дувају са копна ка океану и условљавају сушан период.

Краткотрајни ветрови који се јављају на мањим просторним размерама називају се **локалним ветровима**. Могу настати услед карактеристика рељефа које проузрокују постојање локалних разлика у температури и ваздушном притиску или у приобалним подручјима услед различитог загревања мора и копна. Примери локалних ветрова су фен, бура, југо, маестрал, лахор, поветарац и кошава, али и вртложни ветрови велике јачине попут тајфуна, урагана или торнада.

7.4.6. Климатски типови

У зависности од карактеристика основних климатских елемената, на планети Земљи може се издвојити већи број климатских типова. Климатски тип представља специфичну категорију климе, која обухвата подручја са сличним температурним и падавинским карактеристикама одређеним током дужег временског периода. Класификација климата заснива се на анализи просечне годишње температуре, количине и распореда падавина, као и сезонских варијација. Постоји више система класификације климата. Једна од најпознатијих и најсложенијих је класификација по Кепену, која се заснива на температурним и падавинским обрасцима. Упрошћено, на планети Земљи се може разликовати екваторијална, тропска, монсунска, пустињска, медитеранска, суптропска влажна, океанска, континентална, умерено-континентална, бореална и арктичка клима.

Екваторијална клима је заступљена око екватора у Јужној и Средњој Америци, централним деловима Африке, јужној и југоисточној Азији и мањим деловима Аустралије, у оквиру жарког температурног појаса. Карактерише се високим температурама и великом количином падавина током читаве године. У условима овакве климе развијају се тропске кишне шуме, као један од најбујнијих типова вегетације који се одликује великом разноврсношћу живог света.

Тропска клима је заступљена у оквиру жарког температурног појаса, али северно и јужно од области екваторијалне климе, у Јужној Америци, Африци, Индији и Аустралији. У подручјима са тропском климом температура је релативно висока током читаве године, али су зиме хладније у поређењу са екваторијалном климом. Падавине нису равномерно распоређене током читаве године, већ их највише има током лета, док

су зиме сушне. У условима овакве климе развијају се саване, специфичан тип вегетације високих трава и раштрканог дрвећа.

Монсунска клима је заступљена у јужној и југоисточној Азији, односно у подручјима где дувају монсунски ветрови. Због периодичног карактера монсуна, ова клима се карактерише кишним летима и сушним зимама, док су температуре релативно високе током читаве године. У подручјима са овим типом климе развијају се монсунске шуме, које својим карактеристикама представљају прелаз између тропских кишних шума и савана.

Пустињска клима се одликује изузетно малом количином падавина, услед чега нема услова за развој вегетације или је веома оскудна. Суптропска пустињска клима је заступљена у жарком температурном појасу, у Африци (Сахара и Намиб), југозападним деловима Азије (Арабијска пустиња), Аустралији и деловима Јужне и Северне Америке. У континенталним подручјима (дубоко унутар азијског континента) такође су заступљене пустиње (Гоби) услед мале количине падавина, али су температуре доста ниже у односу на области суптропске пустињске климе. Узрок постојања суптропске пустињске климе су специфичне карактеристике глобалне атмосферске циркулације, док континенталне пустиње постоје услед велике удаљености од мора и океана.

Медитеранска клима је заступљена у пет удаљених географских области: у Средоземљу (по коме носи назив медитеранска или средоземна клима), на западу САД-а (Калифорнија) и северозападу Мексика, у централним деловима Чилеа, на крајњем југу Африке и у јужним и југоисточним деловима Аустралије. Медитеранску климу одликују дуга и топла лета са малом количином падавина и благе, кишовите зиме. У областима са медитеранском климом развија се специфична тврдолисна вечнозелена шумска или жбунаста вегетација.

Суптропска влажна клима је заступљена на источним обалама Северне Америке (САД), Јужне Америке (Аргентина), Азије (Кина) и Аустралије. Ове области највећу количину падавина добијају током топлих лета, а зиме су благе и без снега. У оваквим климатским условима развијају се умерене листопадне шуме осетљиве на мразеве.

Океанска клима је заступљена у умереним температурним појасевима јужне и северне хемисфере, на западним обалама Европе, Северне и Јужне Америке. Ове области се налазе под снажним маритимним утицајем океана, као и под утицајем топлих морских струја и западних ветрова. Карактеришу се прохладним летима, благим зимама, релативно малим температурним разликама између најтоплијег и најхладнијег доба године, равномерно распоређеним падавинама током године и честим присуством магле.

Континентална клима је заступљена у унутрашњости континента (Евроазије, Северне и Јужне Америке), у оквиру умерених температурних појасева. Због удаљености од океана, области са континенталном климом карактерише релативно мала количина падавина, као и израженије температурне разлике између лета и зиме (лета су топла, а зиме могу бити веома хладне). У условима континенталне климе развија се травна вегетација, тј. степе (у Евроазији), прерије (у Северној Америци) и пампаси (у Јужној Америци).

Умерено-континентална клима се често посматра као подтип континенталне климе, али се због свог значаја и површине на којој влада посебно издваја. Она представља прелаз између праве континенталне климе и неког другог типа умерене климе, као што је океанска. Заступљена је и у унутрашњости континента, али на мањој удаљености од океана у односу на континенталну климу. Умерено-континенталну климу одликују топла лета и хладне зиме са снегом. Највеће количине падавина у областима ове климе излучују се током пролећа. Климаксну вегетацију ових области чине умерене широколисне листпадне шуме. Умерено-континентална клима је заступљена у највећем делу Србије.

Бореална клима (субарктичка клима) је заступљена на северу Евроазије и Северне Америке, између 50° и 70° северне географске ширине. Овај тип климе није заступљен на јужној хемисфери, јер на овим географским ширинама има мало копна, које је неопходно да би се оваква клима формирала. Лета у областима бореалне климе су хладна и влажна, док су зиме дуге и веома хладне. Типичну вегетацију која се развија у условима бореалне климе чине четинарске шуме, тј. тајге.

Арктичка клима заступљена је на крајњем северу Евроазије и Северне Америке (северно од зоне бореалне климе). Ове области карактерише веома ниска просечна годишња температура. Период са просечним температурама испод нуле траје дуго (од 8 до 10 месеци). Лета су кратка, хладна (са редовном појавом мразева) и влажна. Тундра представља типичну вегетацију која се развија у условима арктичке климе.

Поред наведених зоналних тј. макроклиматских типова, постоје типови који су заступљени у различитим климатским зонама. Такав је случај са **планинском климом**, која се јавља на већим надморским висинама у умереним, суптропским и тропским зонама. Главне одлике ове климе су дуге и хладне зиме са великом количином снега и кратким, свежим летима. По својим карактеристикама планинска клима може подсећати на бореални тип климе, тако да је на високим планинама заступљена четинарска шумска вегетација (термин „тајга” се не односи на ове шуме).

Изнад појаса планинске климе, на веома високим планинама, заступљена је **високопланинска клима** са специфичним одликама попут ниског ваздушног притиска, високе влажности, ниских просечних температура и интензивнијег UV зрачења. У овим условима нема могућности за развој шумске вегетације, тако да је заступљена травна вегетација (високопланинске рудине) или вегетација полеглих жбунова. На планинским врховима високих планина вегетација подсећа на вегетацију тундри, оскудна је, а некада може у потпуности одсуствовати због сурових климатских услова.

ПИТАЊА:

1. Шта се подразумева под атмосфером?
2. Који гасови улазе у састав атмосфере?
3. На основу чега је извршена подела атмосфере на слојеве?
4. Шта је тропосфера, на којој висини се налази и какве су њене одлике?
5. Шта је озонски омотач и који је његов значај?
6. Која су физичка својства атмосфере?
7. Шта се подразумева под временом, а шта под климом?
8. Шта је соларна константа?
9. На који начин се мења интензитет и састав Сунчевог зрачења приликом проласка кроз атмосферу?
10. На који начин количина Сунчевог зрачења које допире до Земљине површине, варира у времену и простору?
11. На који начин се атмосфера загрева?
12. На који начин температура ваздуха варира у времену и простору?
13. Шта представљају апсолутна и релативна влажност ваздуха, а шта дефицит влажности?
14. Шта су падавине и како се деле?
15. Шта су аридне, а шта хумидне области и чиме је одређено њихово постојање?
16. Који основни типови годишње дистрибуције падавина постоје на Земљи?
17. Шта су ветрови и чиме се карактеришу?
18. Опишите глобалну атмосферску циркулацију.
19. Који основни климатски типови постоје на Земљи и чиме се карактеришу?
20. Опишите климу свога краја. Где се налази метеоролошка станица најближа насељу у коме живите? Покушајте да пронађете податке о температури и падавинама током дужег временског периода. Анализирајте прикупљене податке како бисте донели закључак о климатским карактеристикама и потенцијалним специфичностима.

ЛИТЕРАТУРА

ЛИТЕРАТУРА НА СРПСКОМ ЈЕЗИКУ

- Биби, А., Бренан, Е-М. (2008). *Основе екологије: Еколошки принципи и проблеми заштите животне средине*. СЛЮ, Београд.
- Благојевић, М., Игњатовић, Ј., Бајагић, М., Стошић, Н., Глишић, М., Иличић, Р., Рашковић, В. (2024). *Одрживо управљање земљиштем*. Развојна академија пољопривреде Србије, Београд.
- Грабић, Ј. (2024). *Хидроекологија*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Дугалић, Д., Гајић, Б. (2012). *Педологија*. Универзитет у Крагујевцу, Агрономски факултет, Чачак.
- Дукић, Д., Гавриловић, Љ (2006). *Хидрологија*. Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.
- Ђорђевић, А., Радмановић, С. (2016). *Педологија*. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Београд – Земун.
- Ђукић, Н., Малетин, С. (1998). *Пољопривредна зоологија са екологијом – II Зооекологија*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Крпо-Ћетковић, Ј., Стаменковић, С., Плећаш, М., Ћетковић, А., Била Дубаић, Ј., Суботић, С. (2019). *Екологија животиња – практикум*. Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд.
- Лакушић, Д., Шинжар-Секулић, Ј., Ракић, Т., Сабовљевић, М. (2015). *Основе екологије*. Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд.
- Марковић, М., Павловић, Р., Чупковић, Т. (2003). *Геоморфологија*. Завод за уџбенике и наставна средства, Београд.
- Михаиловић, Д. (2017). *Метеорологија за студенте Пољопривредног факултета у Новом Саду*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Нови Сад.
- Ољача, И.С. (2010). *Екологија и агроекосистеми*. Универзитет у Београду, Пољопривредни факултет, Београд.
- Ракић, Т., Лазаревић, М., Томовић, Г., Сабовљевић, М., Шинжар-Секулић, Ј. (2021). *Екологија биљака – Практикум*. Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд.
- Станковић, С. (1962). *Екологија животиња*. Завод за издавање уџбеника Социјалистичке Републике Србије, Београд.
- Стевановић, Б., Јанковић, М. (2014). *Екологија биљака са основама физиолошке екологије биљака, друго издање*. NNK International, Београд.
- Туцић, Н. (2003). *Еволуциона биологија*. NNK International, Београд.
- Убавић, М., Богдановић, Д. (1995). *Агрохемија*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет, Институт за ратарство и повртарство, Нови Сад.
- Шинжар-Секулић, Ј., Лазаревић, М., Кузмановић, Н., Јанковић, И., Ракић, Т., Лакушић, Д. (2017). *Практикум из Основа екологије*. Универзитет у Београду, Биолошки факултет, Београд.
- Шкорић, А., Филиповић, Г., Тирић, М. (1985). *Класификација земљишта Југославије*. АНУБХ, Сарајево.

ЛИТЕРАТУРА НА СТРАНИМ ЈЕЗИЦИМА

- Ackerman, S. A., & Knox, J. (2011). *Meteorology*. Jones & Bartlett Publishers.
- Allaby, M. (2010). *A dictionary of ecology*. Oxford University Press, USA.
- Allan, B. M., Nimmo, D. G., Ierodiaconou, D., VanDerWal, J., Koh, L. P., & Ritchie, E. G. (2018). Futurecasting ecological research: the rise of technoecology. *Ecosphere*, 9(5), e02163.
- Barnes, R. S. K., & Hughes, R. N. (1999). *An introduction to marine ecology*. John Wiley & Sons.
- Barry, R. G., & Chorley, R. J. (2009). *Atmosphere, weather and climate*. Routledge.
- Bates, D. R. (Ed.). (2016). *The planet earth*. Elsevier.
- Begon, M., & Townsend, C. R. (2021). *Ecology: from individuals to ecosystems*. John Wiley & Sons.
- Bowman, W.D., & Hacker, S.D. (2020). *Ecology* (5th Edition). Sinauer Associates is an imprint of Oxford University Press.
- Brutsaert, W. (2023). *Hydrology: an introduction*. Cambridge university press.
- Canetti, L., Drewes, M., & Shaposhnikov, M. (2012). Matter and Antimatter in the Universe. *New Journal of Physics*, 14(9), 095012.
- Castro, P., & Huber, M. E. (2010). *Marine biology*. McGraw-Hill.
- Cole, G. A., & Weihe, P. E. (2015). *Textbook of limnology*. Waveland Press.
- Cvijanovic, I., Lukovic, J., & Begg, J. D. (2020). One hundred years of Milanković cycles. *Nature Geoscience*, 13(8), 524-525.
- Dana, J. D. (2022). *A system of mineralogy*. BoD–Books on Demand.
- Davie, T. (2019). *Fundamentals of hydrology*. Routledge.
- Dibartolo, B. (2012). *Energy transfer processes in condensed matter* (Vol. 114). Springer Science & Business Media.
- Dingman, S. L. (2015). *Physical hydrology*. Waveland press.
- Duchaufour, R. (2012). *Pedology: pedogenesis and classification*. Springer Science & Business Media.
- Earle, S. (2015). *Physical geology*. BCcampus.
- Easton, A. (2012). *Chemical analysis of silicate rocks* (Vol. 6). Elsevier.
- Emiliani, C. (1992). *Planet earth: cosmology, geology, and the evolution of life and environment*. Cambridge University Press.
- Fitts, C. R. (2002). *Groundwater science*. Elsevier.
- Frisia, S., & Borsato, A. (2010). Karst. *Developments in sedimentology*, 61, 269-318.
- Gates, D. M. (2012). *Biophysical ecology*. Springer Science & Business Media.
- Ghazoul, J. (2020). *Ecology: A Very Short Introduction*. Oxford Academic, Oxford.
- Glišić, M., Knežević, S., & Ignjatović, Ž. (2023): Classification of noise effects on wild animals. In: Tanasić, Lj., Milojević, M., Stojićević, G., Ignjatović, J., Knežević, S. (eds.), Book of Proceedings, First International Scientific Conference “Global challenges through the prism of rural development in the sector of agriculture and tourism” – GIRR 2023, Šabac, Serbia, May 12th, pp. 56-62. ISBN 978-86-80946-02-3
- Gobat, J. M., Aragno, M., & Matthey, W. (2004). *The living soil: fundamentals of soil science and soil biology*. Science Publishers.
- Hartmann, D. L. (2015). *Global physical climatology*. Elsevier.
- Harvey, L. D. (2018). *Global warming*. Routledge.
- Holton, J. R., & Hakim, G. J. (2013). *An introduction to dynamic meteorology* (Vol. 88). Academic press.
- Huggett, R., & Shuttleworth, E. (2022). *Fundamentals of geomorphology*. Routledge.
- Jorgensen, S. E., & Fath, B. D. (2008). *Encyclopedia of ecology*. Elsevier BV.

- Killham, K. (1994). *Soil ecology*. Cambridge University Press.
- Kshudiram, S. (2008). *The Earth's Atmosphere: Its Physics and Dynamics*. University Park.
- Lalli, C., & Parsons, T. R. (1997). *Biological oceanography: an introduction*. Elsevier.
- Lavelle, P., & Spain, A. (2002). *Soil ecology*. Springer Science & Business Media.
- Lee, K. E., & Foster, R. C. (1991). Soil fauna and soil structure. *Soil Research*, 29(6), 745-775.
- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Tusa, D. (2001). *The atmosphere* (Vol. 484). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Martin, R. (2013). *Earth's evolving systems: the history of planet Earth*. Jones & Bartlett Publishers.
- Miller, A. A. (2019). *Climatology*. Routledge.
- Nesse, W. D. (2012). *Introduction to mineralogy*. Oxford Univ. Press.
- Oliver, J. E. (2008). *Encyclopedia of world climatology*. Springer Science & Business Media.
- Penzar, I., Penzar, B. (2000). *Agrometeorologija*. Školska knjiga, Zagreb.
- Plummer, C.C., Carlson, D., & Hammersley, L. (2016). *Physical geology*. McGraw-Hill/Education.
- Ricklefs, R.E. (2019). *Ecology: The Economy of Nature* (8th Edition). W. H. Freeman.
- Rothschild, L., & Lister, A. (2003). *Evolution on planet earth: impact of the physical environment*. Elsevier.
- Satoh, M. (2013). *Atmospheric circulation dynamics and general circulation models*. Springer Science & Business Media.
- Schaetzl, R. J., & Thompson, M. L. (2015). *Soils*. Cambridge university press.
- Schulz, M. (1991). The magnetosphere. *Geomagnetism*, 4, 87-293.
- Schwartz, F. W., & Zhang, H. (2024). *Fundamentals of groundwater*. John Wiley & Sons.
- Sharma, P. D., & Sharma, P. D. (2009). *Ecology and environment*. Rastogi Publications.
- Sorensen, B. (2004). *Renewable energy*. Elsevier.
- Stein, S., & Wysession, M. (2009). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. John Wiley & Sons.
- Stewart, R. H. (2008). *Introduction to physical oceanography* (Vol. 65). College Station: Texas A & M University.
- Stüwe, K. (2007). *Geodynamics of the lithosphere: An introduction* (Vol. 449). Springer.
- Summerfield, M. A. (2014). *Global geomorphology*. Routledge.
- Tundisi, J. G., & Tundisi, T. M. (2012). *Limnology*. CRC Press.
- Ward, A. D., & Trimble, S. W. (2003). *Environmental hydrology*. Crc Press.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Elsevier Academic Press.
- Wood, P. J., Hannah, D. M., & Sadler, J. P. (Eds.). (2008). *Hydroecology and ecohydrology: past, present and future*. John Wiley & Sons.

ИНДЕКСИ

ИНДЕКС ПОЈМОВА

- абиотичка компонента 4, 6, 11
абисал 174
абисална зона 148
абразија 91
агрегати 99
агрегатно стање 34, 37, 45, 138
 чврсто 34
 течно 35
 гасовито 35
ада 87
аеросол 186, 191
азот 32, 33, 36, 104, 108, 120, 153, 186
азотофиксација 104, 109, 112, 114, 119
активна површина 46, 47, 196
актиномицете 114
аккумуляција 80, 86, 94, 100, 117, 119, 123, 125, 170
акције 5, 7, 10
албедо 105, 195, 197
алге 113, 114, 145, 176
алтитуда 92
алувијална равна 87, 163, 169
алуминијум 67, 70, 107, 110, 153
амонификација 109, 114
амфибол 70, 110
амфиболит 76
андезит 74
аниhilација 33, 37, 51
антимонит 71
анхидрит 71
апатит 72
апсолутна висина 92
апсорпција 144, 193, 196
арагонит 70
Аралско море 167, 180
аргилошист 76
аргон 186
ареносол 126
аридне области 113, 201
арсенид 72
археоекологија 15
атмосфера 185
атмосферска стратификација 187
атмосферска циркулација 195, 201
атмосферски притисак 93, 139, 187, 190
атом 30
аурора аустралис 66
аурора бореалис 66
аутекологија 12
афотична зона 150, 175
ацетат 72
базалт 74
бактерије 109, 111, 113, 119
баре 167, 181
барит 71
батијална зона 148
бемит 71, 110
бигар 75
биљке 58, 77, 93, 116, 120
биоген 4
биогеоценоза 9, 10
биодиверзитет 8, 13, 14, 15, 18, 24, 26
биолошки систем 8
биом 9, 10
биосфера 9, 11, 14, 22
биотит 70
биотичка компонента 4
биотоп 11, 22
биоценоза 9, 13, 19
биоценологија 13
бозон 31
боксит 71
бор 32, 109
боракс 72
борацит 72
брдо 83
брег 83
бреча 75
брзаци 161
брзина звучног таласа 56
бука 57
ваздух 185
ваздушни капацитет земљишта 104
ваздушни режим земљишта 104
валов 90
ватра 48
вертикално зонирање температуре 197
вертисол 127
ветар 91, 119, 201
висија 82
влажност ваздуха 199
влажност земљишта 100
вода (воде)
 хемијски везана 101
 хигроскопна 101
 капиларна 101

- гравитациона 101
 подземна 101, 153
 минералне 154
 геотермалне 154
 стајаће копнене 167
 текуће 156
 водена пара 36, 45, 101, 137, 139, 199
 водни биланс језера 180
 водни капацитет земљишта 102
 водни режим земљишта 102
 водни режим језера 179
 водни режим река 164
 вододелница 164
 водоник 32, 33, 38, 107, 142, 174
 водоник-сулфид 132, 174, 186
 водопади 161
 водостај 164, 180
 водостање 164, 180
 врело 156
 време 191
 временски фактор 81
 вртача 87
 габро 73
 гајњача 129
 галенит 71
 гвожђе 32, 67, 70, 108
 генотип 15
 географска дистрибуција падавина 201
 геонид 61
 геологија 69
 геоморфологија 79
 геоморфолошки агенс 81
 геоморфолошки фактори 79
 геоморфолошки процес 81
 ендогени 82
 елувијални 83
 колувијални 84
 делувијални 84
 пролувијални 84
 флувијални 85
 крашки 87
 гласијални 90
 марински 91
 еолски 91
 гипс 71, 110
 гипсит 71, 110
 гласијација 90
 глеј 124
 глечер 90, 199
 глина 98
 глобално загревање 199
 глуон 31
 гљиве 109, 111, 113, 114, 119
 гнајс 76
 годишња дистрибуција падавина 201
 гравитација 32, 63, 65, 80, 84
 гравитационо поље 39, 65
 гравитационо убрзање 65
 град 200
 гранит 73
 графит 72
 дацит 74
 ДДТ 23
 делта 87, 162
 демекологија 12
 денитрификација 109, 114, 119
 депозиција 36, 140
 дефицит влажности 200
 дефлација 91, 119
 дефлациона депресија 91
 дехумификација 111
 дивергентне границе 78
 дијамант 72
 дијаспор 71
 дина 91
 динамика температуре ваздуха 198
 Динарски крш 89
 диорит 73
 доломит 70, 75, 81, 87, 129
 дрифтови 152
 Ђавоља варош 85
 евапорација 103, 139, 200
 евапотранспирација 103, 106, 200
 еволуција 6, 15, 20, 21
 егзосфера 190
 еклиптика 64
 екологија
 популациона 12
 екосистемска 13
 предеона 13
 глобална 14
 акватична 14
 маринска 14
 фундаментална 14
 примењена 14
 еволуциона 15
 генетичка 15
 бихевиорална 16
 функционална 16
 системска 16
 еколошка валенца 7
 еколошки систем 9
 екосистем 5, 10, 11, 13, 16, 20, 22, 23, 58
 експозиција 94, 121, 194, 197
 експресија гена 15
 електрично поље 40
 електролити 144
 електромагнетни спектар 51
 електромагнетни талас 50, 53
 електромагнетно поље 40

- електрон 31
- електропроводљивост 37, 144
- елементарна честица 30
- енергетски фактор 80
- енергија 40
 - потенцијална 42
 - кинетичка 42
 - механичка 43
 - топлотна 44
 - хемијска 48
 - електрична 54
 - соларна 55
- епилимнион 177
- ерг 91
- ерозија 81, 94
 - флувијална 85, 169
 - механичка 81
 - хемијска 81
 - еолска 91
- есенцијални елемент 32, 77
- естуари 162
- еуглеј 132
- ефекат стаклене баште 183, 196, 199
- жал 91
- животна заједница 9
- животна средина 6
- животно станиште 11
- Закон о очувању енергије 57
- Закон о очувању материје и масе 36
- заштита животне средине 8
- звук 55
- звучни талас 55
- зглавкари 116
- Земља 61
- земљане пирамиде 85
- Земљина кора 67, 69, 78
- Земљина оса 64, 194, 199
- Земљина револуција 64
- Земљина ротација 64, 193, 199, 202, 203
- Земљино језгро 67
- земљишни хоризонти 123
- земљиште 97
 - зонална 124
 - пустињско 124
 - смеђе шумско 124
 - азонална 125
 - интразонална 125
 - аутоморфна 126
 - неразвијена 126
 - хумусно-акумулативна 126
 - хумусно-силикатна 129
 - камбична 129
 - кисела смеђа 129
 - рудо 129
 - елувијално-илувијална 130
 - илимеризована 130
 - смеђа подзоласта 130
 - антропогена 130
 - техногена 131
 - хидроморфна 131
 - псеудоглејна 131
 - риголована 130
 - баштенска 130
 - флувијативна 131
 - алувијална 131
 - флувијативно-глејна 132
 - семиглејна 132
 - глејна 132
 - мочварно-глејно 132
 - тресетна 132
 - антропогена хидроморфна 133
 - халоморфна 133
 - субаквална 134
- зраци
 - гама зраци 51
 - X зраци 51
 - UV зраци 51
 - IR зраци 53
 - инфрацрвени зраци 53
 - ултраљубичасти зраци 51
- зрачење
 - Сунчево зрачење 46, 50, 93, 94, 105, 151, 191, 192, 195
 - електромагнетно зрачење 40, 50
 - топлотно зрачење 47
 - јонизујуће зрачење 51
 - инфрацрвено зрачење 51, 177, 192
 - ултраљубичасто зрачење 52, 192
 - UV зрачење 51, 93, 193, 205
- идиоекологија 12
- извори 155
- издан 154
- инфилтрација 102
- иње 140
- испаривање 35, 118, 119, 139, 149, 165, 179, 181, 199
- јадарит 70
- јама 88
- јаруга 80, 85
- јачина звука 56
- јединка 9, 11
- језеро 167
 - тектонска 167
 - котлинска 167
 - реликтна 167
 - вулканска 167
 - метеоритска 167
 - урнинска 168
 - ерозивна 168
 - ледничка (гласијална) 168

- речна 169
 крашка 170
 еолска 170
 акумулациона 170
 приморска 171
 зоогена 171
 бигрена 171
 вештачка 172
 халомиктична 179
 меромиктична 179
 полимиктична 179
 амиктична 179
 језерски басен 173
 јод 32
 јон 31, 51, 54
 јоносфера 51, 189, 36, 54
 калијум 32, 70, 108, 153, 157
 калкомеланосол 128
 калцијум 32, 67, 70, 108, 149, 153, 157
 калцит 70, 110
 камењар 126
 кањон 81, 85, 86, 163
 карбид 33, 72
 кварк 30
 кварц 70, 110
 кернит 72
 кисеоник 32, 33, 51, 67, 70, 104, 105, 107, 157, 175, 186, 188
 киша 143, 200
 кишне глисте 115, 120
 клима 191
 арктичка 205
 бореална 205
 високопланинска 205
 екваторијална 203
 континентална 197
 маритимна 197
 медитеранска 204
 монсунска 204
 океанска 204
 планинска 205
 пустињска 204
 суптропска влажна 204
 тропска 203
 умерено-континентална 205
 климатологија 191, 3
 клисура 81, 85, 86, 163
 клиф 91
 кључање 35, 37, 139
 коакције 5, 8, 10
 кобалт 32, 109
 колувијум 126
 конвекција 46, 106
 конвергентне границе 78
 кондензација 36, 45, 139, 179, 188, 199, 200
 кондукција 46, 106
 конзумент 49
 континент 78
 Кориолисов ефекат 160, 203
 корозија 87
 корунд 71
 котлина 83, 173, 197
 крашко поље 88, 170
 креда 175
 кречњачко-доломитска црница 129
 кречњак 75, 90, 170, 81, 87, 155
 криптон 186
 кристална решетка 32, 34, 140, 142
 Крол-Миланковићев ефекат 198
 лазулит 72
 латерит 124
 лед 45, 93, 101, 140, 145, 151
 ледена киша 200
 ледено доба 90, 65, 169, 199
 ледник 90, 151, 168, 171
 лептон 30
 лес 75, 92, 127, 170
 лесна зараван 92
 ливадска црница 132
 лимноекологија 14
 лимонит 110
 лискун 70
 литорална зона 148
 литосол 126
 литосфера 69
 лишајеви 115
 локве 167, 181
 лувисол 130
 магнезијум 32, 67, 70, 107, 108, 149, 153, 157
 магнезит 70
 магнетизам 66
 магнетит 71
 магнетно поље 30, 40, 50
 магнетосфера 66
 магнетски пол 67
 макроегрегати 99
 макроекологија 14
 макроеlementи 32, 109
 макрофауна 113
 манган 32, 107, 109, 112
 манганит 71, 110
 материја 29
 материјални фактор 80
 меандри 161, 169
 мегафауна 113
 мезопауза 189
 мезосфера 189
 мезофауна 113
 мермер 76

- метал 31, 52, 54, 107, 112, 158, 174
металимнион 177
метан 36, 119, 132, 174, 186, 193, 196, 199
метеорологија 3, 191
микашист 76
микроагрегати 99
микроекологија 14
микроелементи 32, 109, 174
микроталас 76
микрофауна 113
микрофлора 14, 113, 120
минерали 70
 силикатни 70
 сулфатни 71
 халидни 71
 оксидни 71
 хидроксидни 71
 сулфидни 71
 фосфатни 72
 нитратни 72
 боратни 72
 самородни 72
 органски 72
 карбонатни 70
минерализација 109, 110, 114, 120, 127, 153
минералоиди 72
молекул 32
молибден 109, 32
море 147
морена 90, 171
морске струје 152
Мохо слој 67, 69
Мохоровичићев дисконтинуитет 67
мочваре 146, 167
мржњење 37, 45, 83, 139, 140, 151, 200
мусковит 70
нагиб терена 92, 94, 103, 121, 194, 197
надморска висина 92
натријум 32, 70, 107, 108, 149, 153, 157
нематодe 113, 115
неметал 31, 107
неон 186
неорганско једињење 33
неритска зона 148
неутрон 30
ниво звука 56
низија 83, 92
нитратин 72, 110
нитрид 72
нитрификација 109, 112, 114, 119
нитрокалцит 72
одрживи развој 6
озон 51, 186, 188, 191, 193
озоносфера 188
озонски омотач 51, 188, 193
океан 147
оксалат 72
оливин 70, 110
омотач Земљиног језгра 67
оникс 75
оптичка својства 37
орбита 64
орбитална равна 64, 199
организам 8, 9
органско једињење 32, 33
орографски фактори 92, 121
осека 153
падавине 200
палеоекологија 14
Панчићева оморика 25
пегматит 73
педогенеза 116
педогенетски фактори 118
 антропогени 121
 биолошки 119
 геолошки 118
 климатски 118
 орографски 121
 хидрогеолошки 119
 хидролошки 119
педологија 97
педосфера 97
перидотит 73, 77
период осциловања 56
пермафрост 102, 146
песак 91, 98, 126
пећина 88
пешчар 75
пешчара 92, 126
пирит 71
пироксен 70, 110
плавинске лепезе 85
плагиоклас 70
плажа 87
плазма 36
планета 61
планине 78, 80, 83
плима 153
подзол 124, 130
поларна ћелија 202
поледица 201
популација 9
порозност земљишта 99
потамоекологија 14
потамологија 156
поткапина 91
потрошач 49
прах 99
превлака 91
предео 10

- преламање светлости 144
прецесија 65, 199
примарна продукција 58, 175
провидност 144, 150, 157, 175
продуцент 49
произвођач 49, 50, 120, 192
простор 30
протицај 165
протозое 100, 113, 115
протон 31
профундал 174
псеудоглеј 134
рад 41
радиоталас 51, 54
разлагач 49, 109, 111, 114, 119
ранкер 129
расипање светлости 144, 191
растварање 136, 81, 87, 141
рђаве земље 85
реакције 5
регосол 126
редуцент 49
реке 156
рељеф 79
рендзина 128
рефлексција 144, 193, 197
рефракција 144
речна долина 80, 86, 162
речна мрежа 163
речни систем 163
речни слив 163
речни ток 159
речно корито 162
ригосол 130
ритови 182
ритска црница 132
роса 201
росуља 200
рукавац 87, 161
салинитет 149, 162, 174
светлост 52, 94, 144, 150, 175, 192
Светско море 146
својства материје 37
серпентинит 76
сига 75
сидерит 70
сијенит 73
сила 41, 43, 65, 66, 80
силвит 71
силицид 72
силицијум 32, 67, 70, 107, 153
синекологија 13
сирозем 124, 126
сисари 47, 57, 113, 116
слана 201
слапови 161
смоница 128
снага 41
снег 90, 93, 140, 146, 195, 200
соларна константа 192
солођ 134
солончак 133
солоњец 133
специфична топлота земљишта 105
спруд 87
сталагмит 70, 88
сталактит 70, 88
старост земљишта 123
стене 73
 магматске 73
 седиментне 74
 метаморфне 75
стратификација воде 177
стратопауза 188, 189
стратосфера 188
структура земљишта 99
сублимација 34, 140, 200
сузнежица 200
сумпор 32, 33, 67, 71, 107, 109, 153
супстанца 30
таласи 152, 177
таласна дужина 50, 56
Тара 25
текстура земљишта 98
тектонске плоче 78
температура 34, 45, 105, 145, 151, 154, 158, 177, 187, 190, 195
температурни режим земљишта 105
термопауза 189
термосфера 189
теснаци 163
тиркиз 72
топаз 70
топлопроводљивост 37, 106, 145, 177
топлота 45, 93, 105, 106, 145, 177, 178, 191
топлотни капацитет 37, 145
топлотни појас 196
топлотни режим земљишта 105
топљење 34, 140, 141, 199
травертин 75
транспирација 103, 106, 200
транспорт 81
трансформне границе 78
трахит 74
тресет 132
тропопауза 187, 188
тропосфера 187, 190
турбидитет 144, 175
увала 80, 81, 87, 89, 170
угаљ 49, 75

- угљен-диоксид 36, 37, 49, 105, 108, 142, 157, 174, 186, 196, 199
угљеник 32, 33, 37, 72, 107, 108
улексит 72
ушће 162
фазни прелаз 34, 139
фауна 24, 89, 113
фелдспат 70, 110
фенотип 15
Ферелова ћелија 202
фермион 30, 39
физичка аномалија воде 140, 141, 145
физички објекат 30
физичко поље 30, 39
филит 76
флора 24, 89, 181
флувисол 131
флуор 32, 33, 186
флуорит 71
фосфид 72
фосфор 32, 33, 107, 109, 112, 174
фотична зона 150, 175
фотон 31, 41, 42, 50
фреквенција 50, 56
фулвокиселине 111
НААРП 54
Хадлејева ћелија 202
халит 71, 110
халкопирит 71
хелијум 186, 190
хематит 71, 110
хемијски елемент 31, 72, 107, 109
хемијско једињење 30, 33, 105
хербивор 44, 58, 120
хидратација 141
хидрати 142
хидрогеологија 153
хидроекологија 14
хидролиза 117, 134, 142
хидросфера 138
хиполимнион 188
хлор 32, 33, 107, 149, 153, 186, 188
хоризонтално зонирање температуре 196
хортисол 130
хумидне области 118, 200, 201
хуминске киселине 111
хумификација 105, 111, 114
хумоглеј 132
хумофлувисол 132
хумус 103, 105, 108, 111, 113, 116, 117, 120, 123, 126
целестин 71
цинк 32, 109, 112
цирк 90, 169, 171
циркација воде 43, 46, 175, 177, 178
цитрат 72
црвеница 123, 124, 129
цунами 152
чернозем 123, 125, 127
човечја рибица 89
шалитра 72
шкрапе 87

ИНДЕКС ИМЕНА

- Аристотел 17
Атенбороу, Дејвид 24
Бејкон, Френсис 19
Белами, Дејвид 24
Вајт, Гилберт 19
Варминг, Евгенијус 19
Вернадски, Владимир 22
Вилсон, Едвард 23
Витоушек, Петер 24
Волас, Алфред 18
Јанковић, Милорад 24
Карсон, Рејчел 23
Левенхук, Антони ван 18
Лине, Карл 18
Лубченко, Џејн 24
Макартур, Роберт 23
Мал, Адолф Диро де ла 19
Мебијус, Карл 18
Миланковић, Милутин 65
Одум, Јуџин 22
Одум, Хауард 22
Панчић, Јосиф 24, 25
Плиније Други, Гај 17
Станковић, Синиша 24
Стевановић, Владимир 24
Тенсли, Артур 22
Теофраст 17
Хачинсон, Џорџ 22
Хекел, Ернст 4, 22
Хумболт, Александер фон 18
Џвијић, Јован 89

ПОПИС СЛИКА

Слика 1. Антички филозофи који су се бавили питањем Екологије: Аристотел (а), Теофраст (б) и Гај Плиније Други (в)

а) Аристотел | Аутор: непознат | Лиценца: CC BY-SA 2.5

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristoteles_Louvre.jpg

б) Теофраст | Аутор: непознат | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Theophrastus2.jpg>

в) Гај Плиније Други | Аутор: непознат | CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pliny_the_Elder.png

Слика 2. Значајни научници биолошке ренесансе: Антони ван Левенхук (а), Карл Лине (б), Александер фон Хумболт (в) и Карл Мебијус (г)

а) Антони ван Левенхук | Аутор: Van Verkolje | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anthonie_van_Leeuwenhoek_\(1632-1723\).Natuurkundige_te_Delft_Rijksmuseum_SK-A-957.jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anthonie_van_Leeuwenhoek_(1632-1723).Natuurkundige_te_Delft_Rijksmuseum_SK-A-957.jpeg)

б) Карл Лине | Аутор: Alexander Roslin | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_von_Linn%C3%A9_1707-1778_botanist_professor_\(Alexander_Roslin\)_-_Nationalmuseum_-_15723.tif?page=1](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_von_Linn%C3%A9_1707-1778_botanist_professor_(Alexander_Roslin)_-_Nationalmuseum_-_15723.tif?page=1)

в) Александер фон Хумболт | Аутор: Joseph Karl Stieler | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stieler,_Joseph_Karl_-_Alexander_von_Humboldt_-_1843.jpg

г) Карл Мебијус | Аутор: Ernst Hildebrand | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_August_M%C3%B6bius_\(1825-1908\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_August_M%C3%B6bius_(1825-1908).jpg)

Слика 3. Чарлс Дарвин | Аутор: Julia Margaret Cameron | Лиценца: CC0 Public Domain | Извор: Alfred Steiglitz Collection reference 1949.881

<https://www.artic.edu/artworks/66869/charles-darwin>

Слика 4. Дарвинове зебе са Галапагоса | Аутор: John Gould | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Voyage of the Beagle

https://darwin-online.org.uk/converted/published/1845_Beagle_F14/1845_Beagle_F14_fig07.jpg

Слика 5. Научници који су дали значајан допринос развоју екологије током раног 20. века: Владимир Вернадски (а) и Артур Тенсли (б)

а) Владимир Вернадски | Аутор: АН СССР | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:1934-V_I_Vernadsky.jpg

б) Артур Тенсли | Аутор: непознат | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur-Tansley-1893.jpg>

Слика 6. Јосиф Панчић | Аутор: Gmihail | Лиценца: CC0 Public Domain

<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Panc.JPG>

Слика 7. Локалитет на Тари на коме је Панчић први пут пронашао омерику | Аутор: Милан Глишић

Слика 8. Илустрација атома хелијума са издвојеним приказом његовог језгра (ружичасто – језгро атома, црно и сиво – електронски облак, црвено – протони, љубичасто – неутрони) | Аутор: Yzmo | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Helium_atom_QM.svg

Слика 9. Шематски приказ кристалне структуре кухињске соли (натријум-хлорида) | Аутор: Benjah-bmm27 | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sodium-chloride-3D-ionic.png>

Слика 10. Кристал кварца | Аутор: John J. Harrison | Лиценца: CC BY-SA 2.5 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/> | Извор: Wikimedia Commons https://en.wikipedia.org/wiki/File:Quartz,_Tibet.jpg

Слика 11. Приказ простирања електромагнетног таласа у тродимензионалном простору (E и плаве стрелице – електрично поље, B и црвене стрелице – магнетно поље, V – правац и смер ширења таласа) | Аутор: Emmanuel Boutet | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Onde_electromagnetique.svg

Слика 12. Сателитски снимак шумских пожара у Калифорнији из јануара 2025. године | Аутор: MODIS Land Rapid Response Team, NASA GSFC | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MODIS_Aqua_SoCal_\(Bands_7,_4,_and_3\)_2025-01-08T21_40Z_\(cropped2\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:MODIS_Aqua_SoCal_(Bands_7,_4,_and_3)_2025-01-08T21_40Z_(cropped2).jpg)

Слика 13. Пожар надомак Лос Анђелеса у јануару 2025. године | Аутор: P. Rivas | Лиценца: CC BY 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurst_Fire_from_Oakridge_\(cropped\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hurst_Fire_from_Oakridge_(cropped).jpg)

Слика 14. Антене HAARP-а | Аутор: Michael Kleiman, US Air Force | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HAARP20l.jpg>

Слика 15. Обрађена фотографија Планете Земље фотографисана од стране посаде мисије Apollo 17 1972. године, са удаљености од око 29.400 km | Аутор: NASA, посада Apollo 17 (Harrison Schmitt или Ron Evans) | Оригинални назив: *The Blue Marble* | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Blue_Marble_\(remastered\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:The_Blue_Marble_(remastered).jpg)

Слика 16. Оригинална прва фотографија Земље заједно са Месецом из 1966. године | Аутор: NASA | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: National Environmental Satellite, Data, and Information Service <https://www.nesdis.noaa.gov/news/the-50th-anniversary-of-ats-1>

Слика 17. Графички приказ Земљине магнетосфере и соларних ветрова | Аутор: NASA | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: The European Space Agency (ESA) https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2007/10/The_Sun_Earth_connection

Слика 18. Силикатни минерали: кварц и биотит | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 19. Карбонатни минерали: калцит, магнезит и доломит | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 20. Оксидни минерали, хематит и магнетит и хидроксидни минерал, лимонит | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 21. Минералоид опал | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 22. Интрузивне магматске стене: гранит, габро, перидотит, диорит, сијенит и пегматит | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 23. Екструзивне магматске стене: трахит, дацит и андезит | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 24. Седиментне стене: бреча, пешчар, лес, глина, зоогени седименти и угаљ | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 25. Метаморфне стене: гнајс, серпентинит, филит, амфиболит, микашист и аргилошист | Аутор: Милан Глишић, Збирка Одсека за пољопривредно-пословне студије и туризам Академије струковних студија Шабац

Слика 26. Тектонске плоче | Аутор: Jefe | Лиценца: CC0 Public Domain
<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B5_%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D1%87%D0%B5.png

Слика 27. Ђавоља варош – редак пример земљаних пирамида насталих пролувијалним процесима | Аутор: Ана Младеновић | Лиценца: CC BY-SA 3.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Djavalja_varos_3.jpg

Слика 28. Велики кањон у Аризони формиран дуготрајном флувијалном ерозијом реке Колорадо | Аутор: Lennart Sikkema | Лиценца: CC BY 3.0
<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canyon_River_Tree_\(165872763\).jpeg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Canyon_River_Tree_(165872763).jpeg)

Слика 29. Крашки облици рељефа: шкарпе (а) и увала Велики Лубеновац (б) на Велебиту у Хрватској и вртаче Лелићког краса код Ваљева у Србији (в)
а) Шкарпе на Велебиту у Хрватској | Аутор: Rootmaker | Лиценца: CC BY-SA 3.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karstformationen_Nationalpark-Nord-Velebit.JPG
б) Увала Велики Лубеновац на Велебиту у Хрватској | Аутор: Jelena | Лиценца: CC BY-SA 3.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Uvala_Veliki-Lubenovac_NVelebit_Croatia.jpg
в) Вртаче Лелићког краса код Ваљева у Србији | Лиценца: CC BY-SA 3.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vrtace_u_lelickom_krasu.jpg

Слика 30. Гатачко поље у Херцеговини | Аутор: Aleksandar Dekanski | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2013-09-26_12-50-29_%D0%93%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%BA%D0%BE_%D0%BF%D0%BE%D1%99%D0%B5.jpg

Слика 31. Јован Цвијић | Аутор: Милан Јовановић | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%88%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD_%D0%A6%D0%B2%D0%B8%D1%98%D0%B8%D1%9B,_%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84_\(1865-1927\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%88%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD_%D0%A6%D0%B2%D0%B8%D1%98%D0%B8%D1%9B,_%D0%B3%D0%B5%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84_(1865-1927).jpg)

Слика 32. Човечје рибице у Постојнској јами | Аутор: Boštjan Burger | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Proteus_anguinus_Postojnska_Jama_Slovenija.jpg

Слика 33. Ерозиони облици глацијалног рељефа: цирк реке Марице (а) и Маљовички валов (б) на Рили у Бугарској

а) Цирк реке Марице на Рили у Бугарској | Аутор: Deyan Vasilev | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marichin_cirkus_IMG_1452.jpg

б) Маљовички валов на Рили у Бугарској | Аутор: Delysia v | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9C%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BE_%D0%B2%D0%B8%D1%88%D0%BA%D0%B8_%D1%86%D0%B8%D1%80%D0%BA%D1%83%D1%81_4.jpg

Слика 34. Акумулациони еолски облици рељефа у Војводини: Загајичка брда, вегетацијом умирене дине Делиблатске пешчаре (а) и Тителски брег, лесна зараван у Бачкој

а) Загајичка брда, вегетацијом умирене дине Делиблатске пешчаре | Аутор: Горан Савић | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%97%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D1%98%D0%B8%D1%87%D0%BA%D0%B0_%D0%B1%D1%80%D0%B4%D0%B0_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BE.jpg

б) Тителски брег, лесна зараван у Бачкој | Аутор: Frank Falkenstein, Bernhard Hänsel, Александар Медовић, Предраг Медовић | Лиценца: CC BY-SA 3.0

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:View_of_the_Titel_Plateau,_Serbia.png

Слика 35. Највиши врх света, Монт Еверест на Хималајима (а) и највиши врх Србије, Велика Рудока на Шар-планини

а) Највиши врх света, Монт Еверест на Хималајима | Аутор: Luca Galuzzi | Лиценца: CC BY-SA 2.5 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/> | Извор: Wikimedia Commons https://en.wikipedia.org/wiki/Mount_Everest#/media/File:Everest_North_Face_toward_Base_Camp_Tibet_Luca_Galuzzi_2006.jpg

б) Највиши врх Србије, Велика Рудока на Шар-планини | Аутор: Марио Шаревски | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%A0%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%B0.jpg>

Слика 36. Профил чернозема | Аутор: United States Department of Agriculture | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mollisol.jpg>

Слика 37. Распрострањеност чернозема у свету према Светској референтној бази земљишних ресурса (*World Reference Base for Soil Resources*) | Аутор: Naevis Varius | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chernozem_map.svg

Слика 38. Шематски приказ молекула воде | Аутор: Patrick-Emil Zörner (Paddy) & Sgbear | Лиценца: CC BY-SA 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Watermolecule.svg>

Слика 39. Модел водоничних веза успостављених између појединачних молекула воде | Аутор: Qwerter | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:3D_model_hydrogen_bonds_in_water.svg

Слика 40. Лед плута на површини воде | Аутор: Gennady Alexandrov | Лиценца: CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> | Извор: Flickr <https://www.flickr.com/photos/149060769@N03/26688389397>

Слика 41. Хоризонтална дистрибуција средњег годишњег салинитета површинске морске воде израженог у промилима, према подацима *World Ocean Atlas* из 2009. године | Аутор: Plumbago | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WOA09_sea-surf_SAL_AYool.png

Слика 42. Хоризонтална дистрибуција температуре површинске морске воде изражене у степенима Целзијусовим, према подацима *World Ocean Atlas* из 2009. године | Аутор: Plumbago | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WOA09_sea-surf_TMP_AYool.png

Слика 43. Морски ледени покривач у близини обале Лабрадора (Канада) | Аутор: Endlisnis | Лиценца: CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sea_ice_near_coast_of_Labrador_-a.jpg

Слика 44. Ивица џиновског плочастог леденог брега у Росовом мору у близини Антарктика | Аутор: Josh Landis, U.S. National Science Foundation (NSF) | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: U.S. Antarctic Program (USAP) <https://photolibrary.usap.gov/PhotoDetails.aspx?filename=EDGE02.JPG>

Слика 45. Примери крашких извора: Крупајско врело у Србији (а) и врело Буне у Босни и Херцеговини (б):

а) Крупајско врело у Србији у источној Србији | Аутор: Гојко Гаврило | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:%D0%9A%D1%80%D1%83%D0%BF%D0%B0%D1%98%D1%81%D0%BA%D0%BE_%D0%B2%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE_%D0%BD%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BD%D0%B5_%D0%B1%D0%BE%D1%98%D0%B5.jpg

б) Врело Буне у Херцеговини | Аутор: Милан Глишић

Слика 46. Црвена вода реке Рио Тинто у Шпанији | Аутор: Riotinto2006 | Лиценца: CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Riotintoagua.jpg>

Слика 47. Извор Зеленци – место настанка Саве Долинке | Аутор: Ziga | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zelenci1.JPG>

Слика 48. Место на коме из Бохињског језера отиче Језерница која након 100 m са Мостницом формира Саву Бохињу | Аутор: Милан Глишић

Слика 49. Сателитски снимци делте Дунава (а) и Волге (б)
а) Сателитски снимак делте Дунава | Аутор: NASA Earth Observatory | Лиценца: CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>) | Извор: Flickr <https://www.flickr.com/photos/gsfci/11841689083/in/photostream/>
б) Сателитски снимак делте Волге | Аутор: Jeff Schmaltz, NASA Earth Observatory | Лиценца: CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> | Извор: Flickr <https://www.flickr.com/photos/48722974@N07/4464706135>

Слика 50. Балканска тектонска језера: Охридско (а), Преспанско (б) и Дорјанско (в)
а) Охридско језеро | Аутор: Kallerna | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Church_of_St._John_at_Kaneo_6.jpg | Датум: 21.12.2024.
б) Преспанско језеро | Аутор: Fation Plaku | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liqeni_Prespes_Ishulli_Mali_Gradit_Korce_Albania.jpg
в) Дорјанско језеро | Аутор: Rašo | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Star_Dojran_in_2012_\(2\).JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Star_Dojran_in_2012_(2).JPG) | Датум: 21.12.2024.

Слика 51. Циркна ледничка језера: Црно језеро на Дурмитору (а) и Штрбачко језеро на Шар-планини (б)
а) Црно језеро на Дурмитору | Аутор: Ивана Џаковић
б) Штрбачко језеро на Шар-планини | Аутор: Besnik Dujaka | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liqeni_i_Livadhit_-_Sharr.jpg

Слика 52. Обедска бара – остатак некадашњег тока реке Саве у Срему | Аутор: Ivanbuki | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DSC_4274-1w.jpg | Датум: 21.12.2024.

Слика 53. Крашка ерозивна језера: Скадарско језеро у Црној Гори (а) и Црвено језеро у Далмацији (б)
а) Скадарско језеро у Црној Гори | Аутор: Darij Zadnikar | Лиценца: CC BY 2.0 <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/deed.en> | Извор: Flickr <https://www.flickr.com/photos/29653764@N08/3624752226> | Датум: 21.12.2024.
б) Црвено језеро у Далмацији, Хрватска | Аутор: Peter1936F | Лиценца: CC BY-SA 4.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:07_Iмотски_Crveno_Jezero_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:07_Iмотски_Crveno_Jezero_(1).jpg)

Слика 54. Еолска језера Војводине: Палићко (а) и Лудошко (б) језеро
а) Палићко језеро | Аутор: Милан Глишић

б) Лудошко језеро | Аутор: Snowyns | Лиценца: CC BY-SA 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:RP19_LudoskoJezero.jpg

Слика 55. Ледничка моренска језера Словеније: Бледско (а) и Бохињско језеро (б)

а) Бледско језеро | Аутор: Милан Глишић
б) Бохињско језеро | Аутор: Милан Глишић

Слика 56. Плитвичка језера – бигрена језера на реци Корани у Лици, Хрватска | Аутор: Jack Brauer | Лиценца: CC BY-NC-ND 2.0 | Извор: Flickr
<https://www.flickr.com/photos/mpancha/1449520442/in/photostream/>

Слика 57. Вештачка акумулациона језера у Србији: Ђердапско (а) и Перућачко (б) језеро

а) Ђердапско језеро | Аутор: Милан Глишић
б) Перућачко језеро | Аутор: Милан Глишић

Слика 58. Језера неуобичајених боја: језеро Хилер у Аустралији (а) и језеро Пукаки на Новом Зеланду

а) језеро Хилер у Аустралији | Аутор: [Kurioziteti123](#) | Лиценца: CC BY-SA 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LIQENI_HILLIER_-_ROZE.jpg
б) језеро Пукаки на Новом Зеланду | Аутор: [Jackhynes](#) | Лиценца: CC0 Public Domain
<https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lake_Pukaki_NZ_2005.jpg

Слика 59. Аралско море: сателитски снимци Аралског мора 1989. и 2014. године (а) и поглед на некадашње језеро 2003. године (б)

а) сателитски снимци Аралског мора 1989. и 2014. године | Аутор: NASA | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AralSea1989_2014.jpg | Датум: 21.12.2024.
б) поглед на некадашње језеро 2003. године | Аутор: Christopher Staecker | Лиценца: CC0 Public Domain <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/> | Извор: Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aralship2.jpg> | Датум: 21.12.2024.

Слика 60. Средња годишња вредност интензитета Сунчевог зрачења на горњој граници атмосфере (горе) и површини Земље (доле) | Аутор: William M. Connolley | Лиценца: CC BY-SA 3.0 <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en> | Извор: Wikimedia Commons
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Insolation.png>

ISBN 978-86-82858-07-2

