

Основи геологије

Урош Стојадиновић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Основи геологије | Урош Стојадиновић | | 2024 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0009133>

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

ОСНОВИ ГЕОЛОГИЈЕ

УРОШ СТОЈАДИНОВИЋ



2024

ОСНОВИ ГЕОЛОГИЈЕ

Основи геологије

Аутор:

др Урош Стојадиновић, ванредни професор

Уредник:

др Бранислав Тривић, редовни професор

Рецензенти:

др Даница Срећковић-Батоћанин, редовни професор

др Маринко Тољић, редовни професор

Издавач:

Рударско-геолошки факултет, Београд

Универзитет у Београду

Ђушина 7, 11120 Београд

Одобрено за штампу од стране Наставно-научног већа
Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду одлуком
бр. 8/67 од 30.09.2024.

Тираж:

50

Штампа:

МСО, Београд

ISBN: 978-86-7352-407-8

© Забрањена свака врста умножавања. Сва права задржава аутор.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
РУДАРСКО-ГЕОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ

Урош Стојадиновић

ОСНОВИ ГЕОЛОГИЈЕ

Београд, 2024.

ПРЕДГОВОР

Књига „Основи геологије“ је уџбеник намењен студентима прве године Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду, на основним академским студијама студијских програма: Рударско инжењерство, Инжењерство заштите животне средине и Инжењерство нафте и гаса. Идеја за писање овог уџбеника изродила се из потребе да се на концизан начин студентима представе основни појмови и знања из домена савремене геолошке науке. Материјом у уџбенику обухваћени су: основни геолошки принципи; настани, физичке особине и хемијски састав Земље; траја литосфере; тектонски процеси; сеизмизам; метаморфизам; седиментација; геоморфолошки процеси; минерални ресурси; ресурси подземних вода као и геотермални ресурси. Уџбеник је подељен у 11 поглавља, која су груписана у 3 целине: Наука о Земљи, Геолошки процеси и Геолошки ресурси. Најзначајнији сеџени у оквиру појединих поглавља су издвојени као посебна поглавља. На крају сваког поглавља се налазе ишљања и задаци за студенте, као и сисак рејоручене додане литературе у вези са проблематиком која је у њом поглављу обрађена.

Аутор захваљује рецензентима, проф. др Даници Срећковић-Бајоћанин и проф. др Маринку Толићу, који су својим сугестивним и коментарима значајно унапредили квалитет овог уџбеника.

У Београду, 2024. године
Аутор

САДРЖАЈ

НАУКА О ЗЕМЉИ

1. ДЕФИНИЦИЈА И ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ГЕОЛОГИЈЕ	9
2. НАСТАНАК ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ	10
3. ФИЗИЧКЕ ОСОБИНЕ И ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЗЕМЉЕ	12
3.1 ФИЗИЧКЕ ОСОБИНЕ ЗЕМЉЕ	13
3.1.1 ЗЕМЉИНЕ СФЕРЕ	13
3.1.2 ЗЕМЉИНА ТОПЛОТА	15
3.1.3 ФИЗИЧКА ПОЉА ЗЕМЉЕ	16
3.2 ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЗЕМЉЕ	18
4. САСТАВ ЛИТОСФЕРЕ	18
4.1 МИНЕРАЛИ	19
4.2 СТЕНЕ	20
5. ГЕОЛОШКА СТАРОСТ	22
5.1 ГЕОЛОШКА ВРЕМЕНСКА СКАЛА	22
6. СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЕ	24
6.1 ГЕОЛОШКЕ СТРУКТУРЕ И ОБЛИЦИ ДЕФОРМАЦИЈА У СТЕНАМА	25
6.1.1 НАБОРИ	27
6.1.2 РАСЕДИ	30

ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ

7. ЕНДОДИНАМИЧКИ ПРОЦЕСИ	33
7.1 ТЕКТОНСКИ ПРОЦЕСИ	33
7.1.1 ТЕКТЕНИКА ПЛОЧА	33
7.1.2 ТЕКТОГЕНЕ ЕПОХЕ	41
7.1.3 ТЕКТОНСКА ГРАЂА СРБИЈЕ	41
7.2 СЕИЗМИЗАМ	43
7.3 МАГМАТИЗАМ	46
7.4 МЕТАМОРФИЗАМ	50
8. ЕГЗОДИНАМИЧКИ ПРОЦЕСИ	53

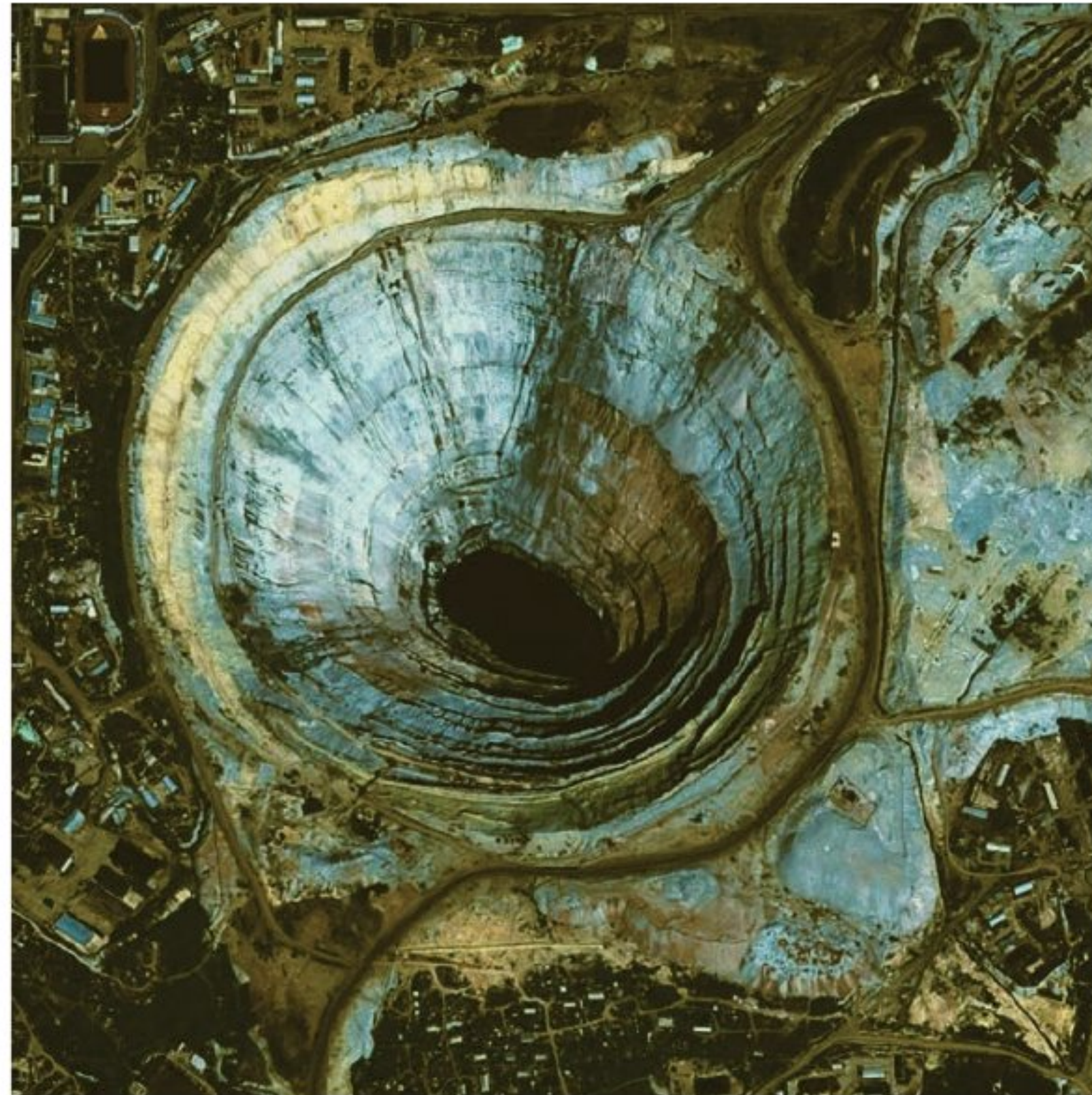
8.1 ГЕОМОРФОЛОШКИ ФАКТОРИ И ФАЗЕ ЕГЗОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА	55
8.2 СЕДИМЕНТАЦИЈА И СЕДИМЕНТНИ БАСЕНИ	56
8.3 КЛАСИФИКАЦИЈА ЕГЗОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА	59
8.4. ПАДИНСКИ ПРОЦЕСИ	61
8.5 ФЛУВИЈАЛНИ ПРОЦЕС	62
8.6 КРАШКИ ПРОЦЕС	68
8.7 МАРИНСКИ ПРОЦЕС	70
8.8 ГЛАЦИЈАЛНИ ПРОЦЕС	72
8.9 ЕОЛСКИ ПРОЦЕС	76
 ГЕОЛОШКИ РЕСУРСИ	
9. МИНЕРАЛНИ РЕСУРСИ	81
9.1 ЛЕЖИШТА У БАСЕНИМА УНУТАР ТЕКТОНСКИХ ПЛОЧА	82
9.2 ЛЕЖИШТА У ЗОНАМА КОНВЕРГЕНТНИХ ГРАНИЦА ПЛОЧА	83
9.3 ЛЕЖИШТА У ЗОНАМА ДИВЕРГЕНТНИХ ГРАНИЦА ПЛОЧА	85
10. РЕСУРСИ ПОДЗЕМНИХ ВОДА	86
11. ГЕОТЕРМАЛНИ РЕСУРСИ	88
 СПИСАК СЛИКА КОЈЕ НИСУ ОБУХВАЋЕНЕ АУТОРСКИМ ПРАВИМА ВЕЗАНИМ ЗА ОВАЈ УЏБЕНИК	
ИНДЕКС ПОЈМОВА	95

*Историја зависи од геологије.
Вилијам Џејмс Дјуранџ*

НАУКА О ЗЕМЉИ

1 | ДЕФИНИЦИЈА И ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ ГЕОЛОГИЈЕ

Геологија је наука о планети Земљи. У најширем контексту, геологија обухвата све научне дисциплине које се баве проучавањем Земље. У ужем смислу, међутим, у фокусу геолошких истраживања су процеси који се дешавају у литосфери, површинском омотачу Земље у чврстом стању, који је изграђен од магматских стена, седиментних стена и метаморфних стена. Литосфера обухвата подручја до неколико десетина километара дубина, која се изучавају непосредно на терену или конструисањем дубоких бушотина (Слика 1.1). Дубљи нивои Земљине унутрашњости проучавају се методама научне дисциплине која се назива геофизика.



Слика 1.1 Супердубока бушотина на Кољском полуострву (фото: Google).

Предмет свих основних геолошких истраживања је грађа литосфере, односно састав, старост и склоп стена од којих је литосфера изграђена. Проучавањем састава стена од којих је литосфера изграђена баве се научне дисциплине минералологија, петрологија и геохемија. Старошћу стена, коју дефинишу временски односи стенских маса баве се научне дисциплине геохронологија и стратиграфија. Склоп, односно структуру стена, који дефинишу просторни односи различитих стенских маса, проучавају научне дисциплине тектоника и структурна геологија.

Као и свака друга наука, геологија је заснована на неким основним принципима. За оснивача савремене геологије сматра се шкотски научник Џејмс Хатон. Међутим, најважнији принцип савремене геологије дефинисао је шкотски геолог Чарлс Лајел (Слика 1.2), назвавши га принципом актуализма. Према овом принципу садашњост представља кључ за разумевање прошлости и предвиђање будућности. То значи да су се сви геолошки процеси, који могу довести до промена у грађи литосфере, дешавали по истим механизмима током геолошке прошлости као и данас. Према принципу суперпозиције, који је дефинисао Никола Стено, слојеви у седиментним стенама таложе се сукцесивно један преко другог, тако да се према положају може утврдити њихова релативна старост. Принцип биолошке сукцесије, који је дефинисао Вилијем Смит, указује на то да се релативна старост стена може одредити на основу присуства фосилне флоре и фауне, која је карактеристична за тај период историје Земље.



Слика 1.2 Чарлс Лајел
(фото: <https://en.wikipedia.org>).

Питања и задаци:

1. Дефинисајте предмет основних геолошких истраживања.
2. Наведите и објасните основне геолошке принципе.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

- Герзина, Н. & Царевич, И. 2019. *Основна геологија*. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 389 с.
- Marshak, S. 2016. *Essentials of Geology*, W. W. Norton & Company, Inc., 720 pp.
- Пешић, Л. 1995. *Основна геологија – Енгодинамика*. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 222 с.
- Пешић, Л. 2001. *Основна геологија – Ејзодинамика*. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 180 с.

2 | НАСТАНАК ПЛАНЕТЕ ЗЕМЉЕ

Земља је једна од осам планета које по елиптичним путањама (еклиптикама) орбитирају око своје матичне звезде, Сунца. Сунчев систем налази се на рубу галаксије под називом Млечни пут, која је само једна од милијарди галаксија у Универзуму. Галаксије се међусобно убрзано удаљавају, што указује на то да се читав видљив Универзум налази у константном ширењу. Већина астрофизичара сматра да је ширење Универзума започело од такозваног Великог праска, катаклизмичне експлозије која се догодила пре око 13,8 милијарди година. Након Великог праска дошло је настанка првих атома хемијских елемената водоника и хелијума који су формирали огромне облаке гасова и прашине, такозване небуле (Слика 2.1). Дејством гравитације, од маса гасова и прашине у центру такве небуле настало је Сунце, док су се око њега формирале планете. Ближе Сунцу, формирале су се такозване унутрашње (терестричке) планете: Меркур, Венера, Земља и Марс, које имају релативно велике густине и мале димензије, споро ротирају, немају прстенове и имају мало или нимало сателита. Даље од Сунца настале су спољашње (јовијанске) планете: Јупитер, Сатурн, Уран и Нептун. То су гасни гиганти састављени углавном од водоника и хелијума, мале су густине, имају брзу ротацију, прстенове и пуно сателита. Плутон се не уклапа ни у једну од поменуте две групе планета, јер не контролише гравитацију и орбите осталих објеката у том делу Сунчевог система, због чега је сврстан у посебну категорију планета-патуљака. У раној фази еволуције Сунчевог система, Земља се налазила у специфичном течном стању. Приликом судара

Земље са другом протопланетом величине Марса, од ње је откинута одређена маса, чијим је постепеним хлађењем и очвршћавањем настао Месец.



Слика 2.1 Рађање звезде из небуле (фото: <https://www.nasa.gov>).

Питања и задаци:

1. Навести најбитније разлике између унутрашњих (терестричних) и спољашњих (јовијанских) планета Сунчевог система.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Allegre, C. 1992. *From Stone to Star, A View of Modern Geology*. Harvard University Press, 287 pp.

Barrow, J.D. 1994. *The Origin of the Universe*. Science Masters Series, Basic Books, a Division of Harper Collins Publishers, 150 pp.

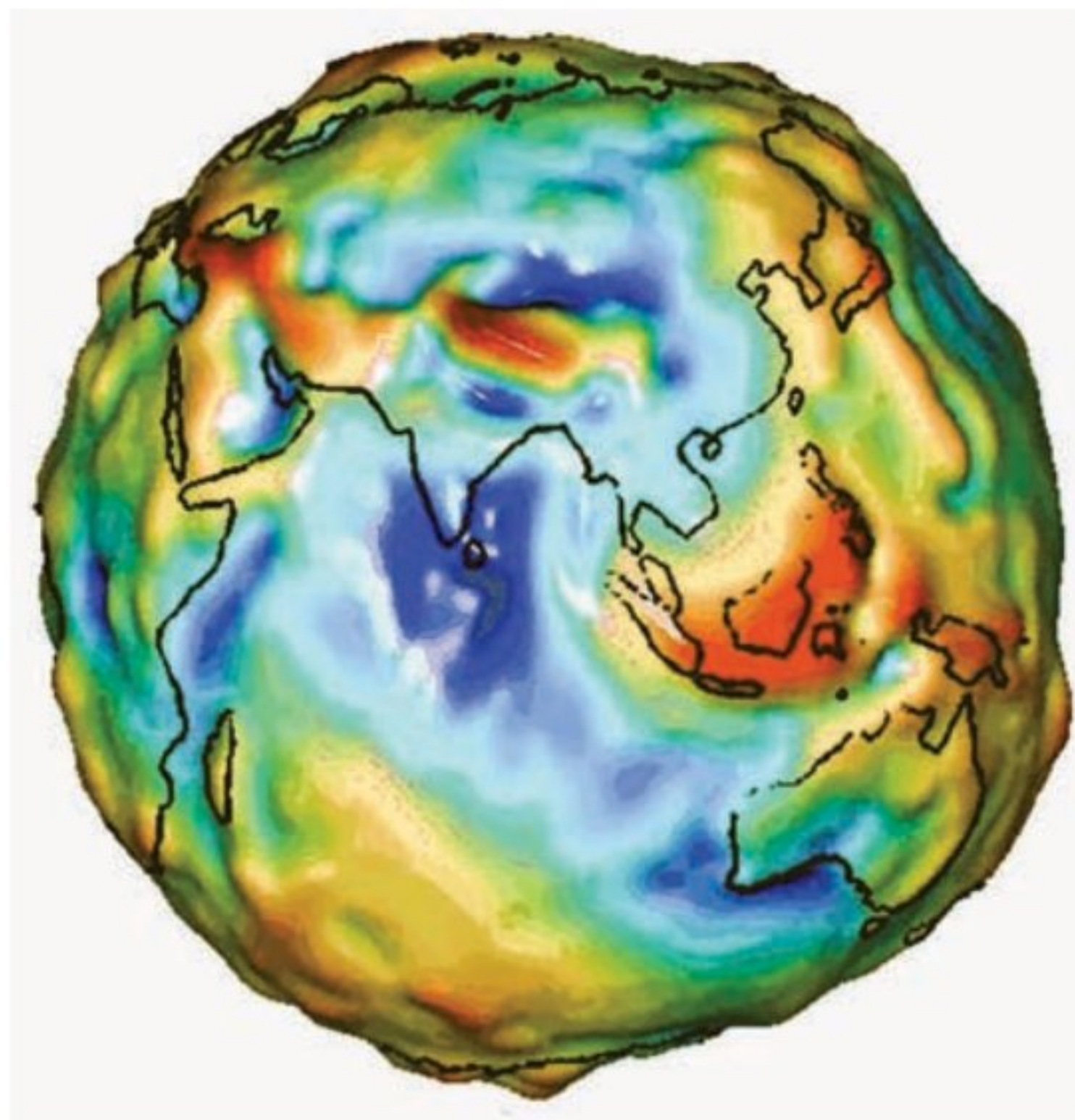
3 | ФИЗИЧКЕ ОСОБИНЕ И ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЗЕМЉЕ

Земља у целини, као и остале планете, има сферичан облик услед дејства гравитације која чини да се све тачке у једном објекту нађу на најмањем могућем растојању од његовог центра. Гравитација је, такође, условила настанак Земљиних унутрашњих сфера, јер је својим дејством довела до тоњења тежих елемената ближе средишту планете, док су се лакши груписали на периферији. Температура, као и притисак, константно расту према унутрашњим сферама Земље. Физичка поља Земље (гравитационо, маг-

нетно и електрично) представљају просторе који се налазе под утицајем магнетне, гравитационе и електричне силе Земље. Највеће процентуално учешће у хемијском саставу Земље имају елементи: гвожђе, кисеоник, силицијум и магнезијум.

3.1 ФИЗИЧКЕ ОСОБИНЕ ЗЕМЉЕ

Земља има облик геоида. То је неправилно тело, блиско ротационом елипсоиду. Неправилан облик Земље последица је неравномерног распореда маса у њеној унутрашњости (Слика 3.1). Пошто услед ротације Земља нема облик лопте, не можемо говорити о њеном полупречнику, већ о полуосама, које износе 6377 километара на екватору и 6356 километара на половима. Маса Земље износи $5,977 \times 10^{21}$ тона, а њена средња густина $5,5 \frac{g}{cm^3}$. Битно је истаћи да густина, као и притисак, расту идући дубље у Земљину унутрашњост скоковито, што иде у прилог чињеници о њеној зонарној грађи.

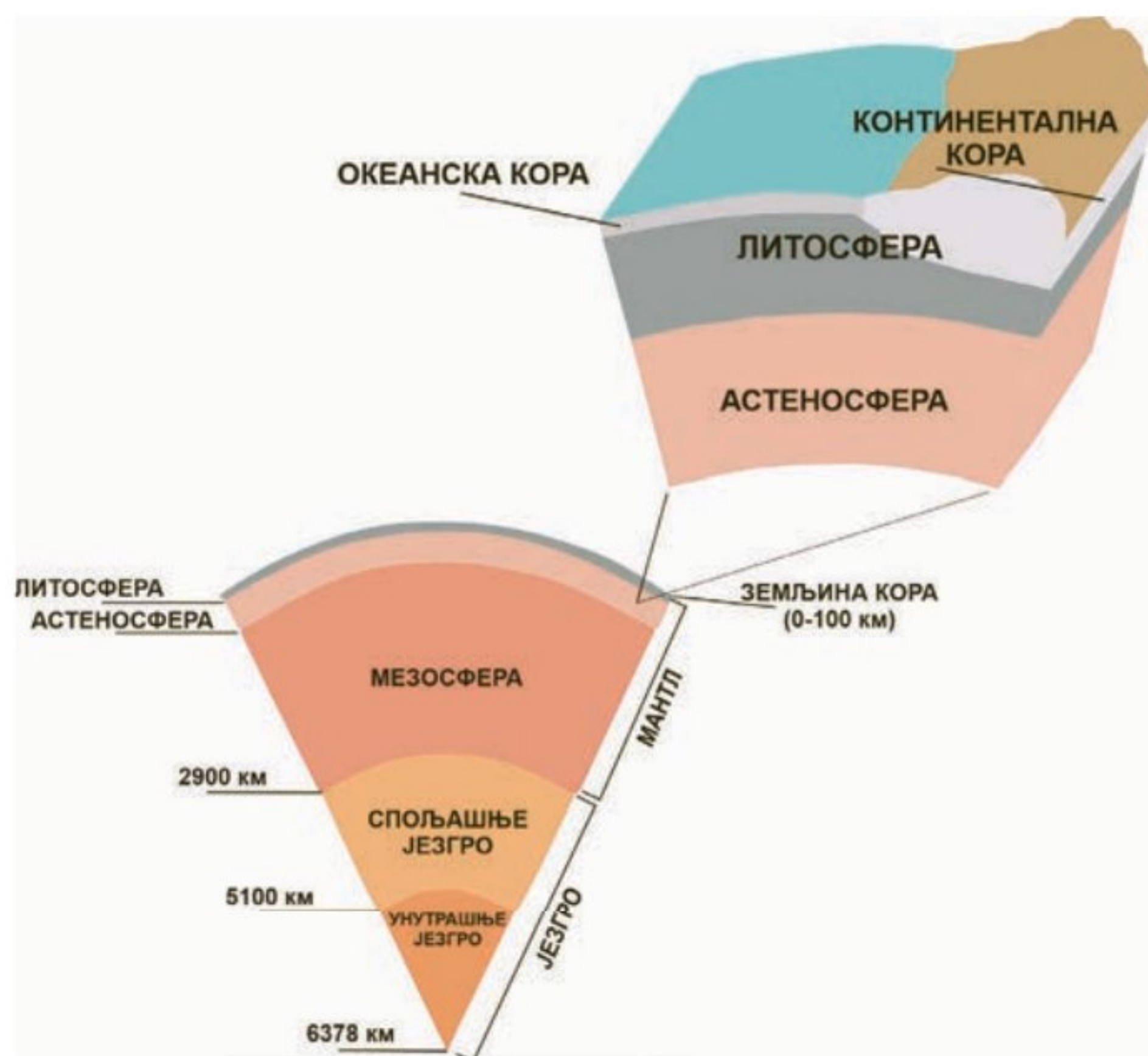


Слика 3.1 Варијације у гравитационом пољу Земље
(фото: NASA/JPL/University of Texas Center for Space Research).

3.1.1 ЗЕМЉИНЕ СФЕРЕ

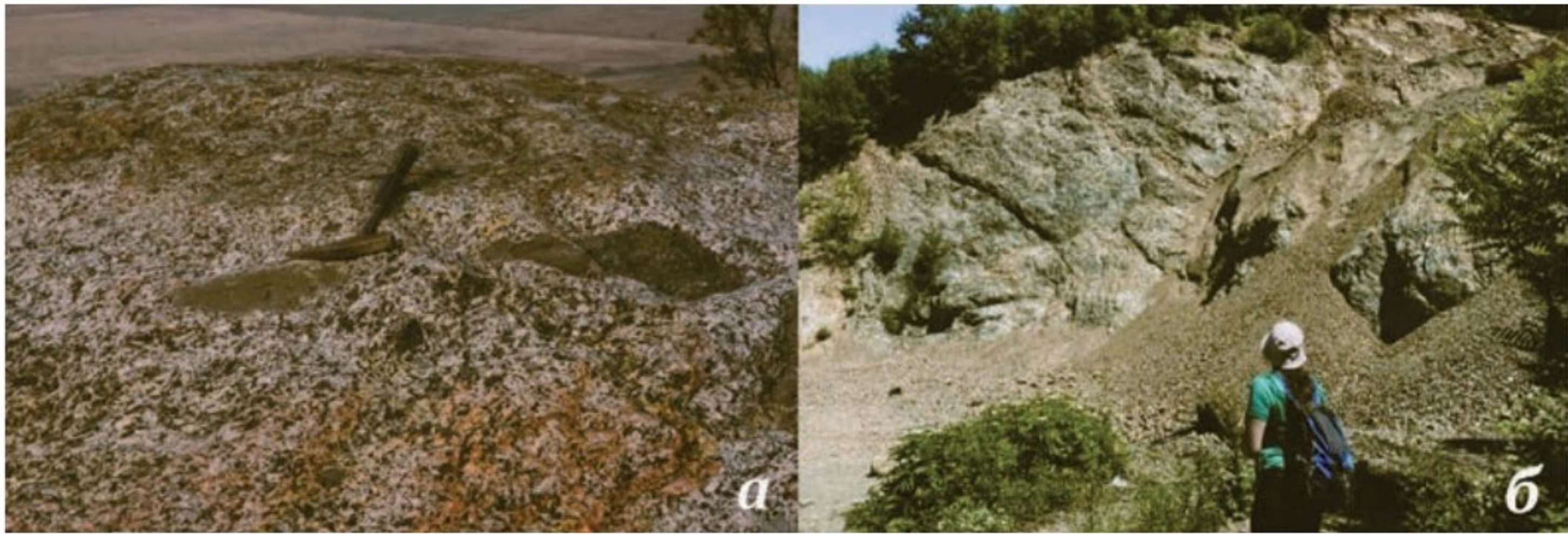
Планета Земља представља сложен систем, који се састоји из више сфера. Поред геосфере, која представља унутрашњу сферу Земље; постоје и хидросфера, коју чине све воде на Земљи; биосфера, коју чине сви живи организми; као и атмосфера, која представља спољашњи омотач Земље сас-

тављен од гасова и аеросоли. Геосферу одликује нехомогена унутрашња грађа, што значи да се у оквиру ње могу издвојити подручја која се разликују по хемијском саставу и физичким својствима. Главне зоне у оквиру геосфере су: земљина кора, омотач и језгро (Слика 3.2). Ове зоне међусобно су одвојене дисконтинуитетима, који се препознају као подручја на одређеним дубинама на којима се нагло мењају брзине простирања сеизмичких таласа.



Слика 3.2 Зоне и дисконтинуитети у Земљиној унутрашњости.

Земљина кора представља чврст, спољашњи омотач Земље и према саставу може бити континентална и океанска. Континентална кора назива се још и гранитна кора, према стени која је карактеристична за њен састав (Слика 3.3а). Има релативну густину од $2,7 \frac{g}{cm^3}$, а њена дебљина варира од неколико десетина километара у унутрашњости континената, до близу 100 километара испод високих планинских венаца Анда и Хималаја. Најстарији сегменти континенталне коре налазе се у унутрашњим деловима континената, на просторима такозваних платформи или штитова. Највећа до сада дефинисана старост једног сегмента континенталне коре на простору Канадског штита износи 4,3 милијарде година. Океанска кора се назива и базалтна кора према стени која је карактеристична за њен састав (Слика 3.3б). Има већу релативну густину од континенталне коре ($2,95 \frac{g}{cm^3}$) и обично је мање дебљине. Што се тиче старости, није забележена већа старост океанске коре од 200 милиона година.



Слика 3.3 Магматске стене: а) гранити (фото: Д. Миловановић),
б) базалти (фото: Н. Ђирић).

Најплићи делови земљиног омотача (мантла) налазе се у чврстом стању и заједно са кором изнад изграђују литосферу (Слика 3.2). Дубљи делови горњег омотача називају се астеносфера. Астеносфера је дебљине од неколико стотина километара, налази се у житком, пластичном стању и карактеристична је по термалној динамици, односно конвекцијским струјањима материјала, којима се топао материјал креће навише, а хладан тоне наниже. Доњи део омотача назива се мезосфера и дебљине је око 1900 километара.

Граница омотача и језгра налази се на дубини од око 2900 километара (Слика 3.2). До дубине 5100 километара простире се спољашње језгро, које се може дефинисати као метална маса у специфичном течном стању. Након те дубине, простире се унутрашње језгро, дебљине око 1200 километара, које се налази у чврстом стању. Језгро има велику релативну густину од $11 \frac{g}{cm^3}$ и назива се још и барисфера због високих притисака који у њему владају.

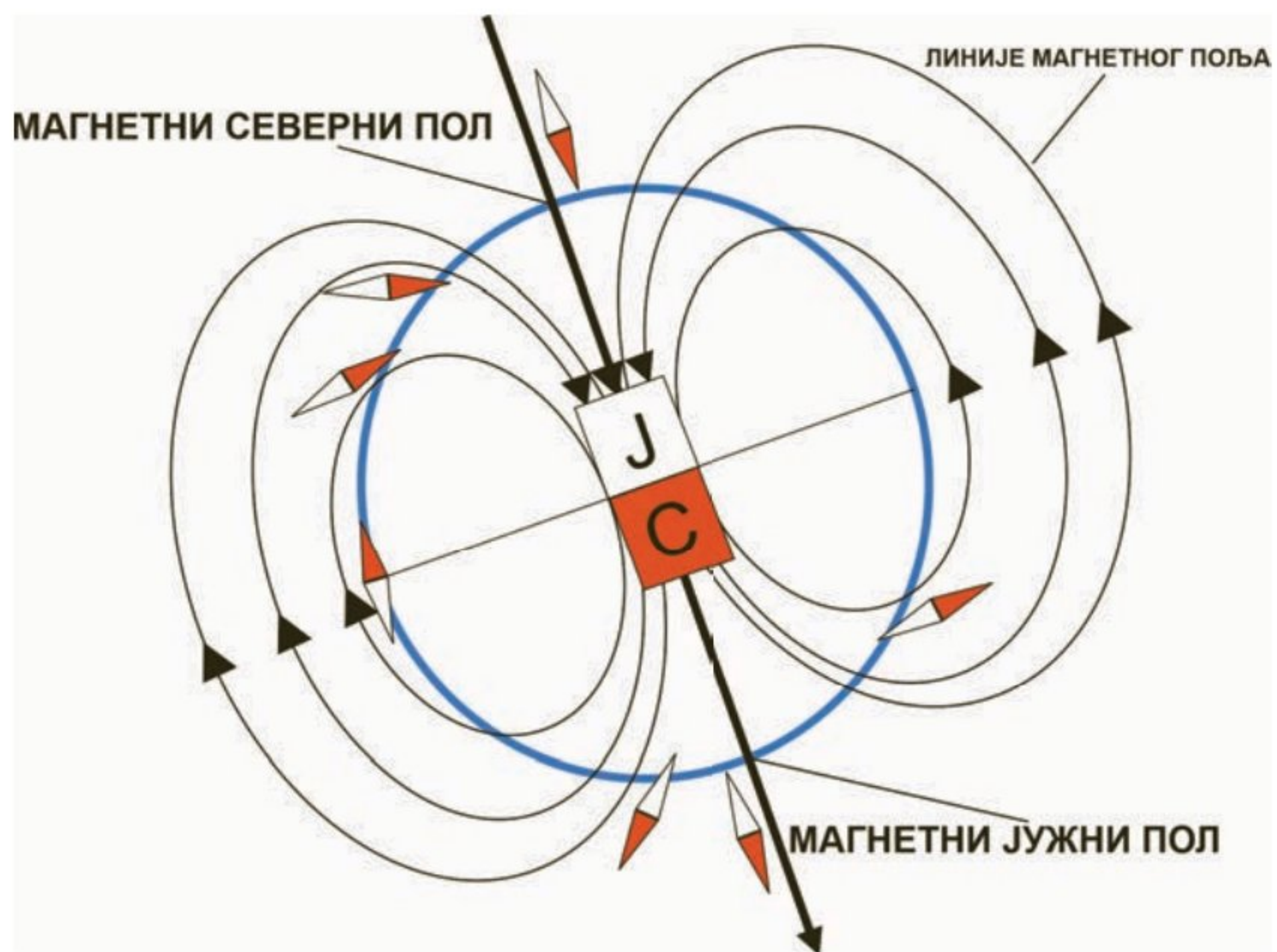
3.1.2 ЗЕМЉИНА ТОПЛОТА

Температура Земље (Т) потиче из два извора, Сунца и сталних радиоактивних процеса у њеној унутрашњости. Топлотна енергија Сунца има утицаја на површину литосфере, као и на њене плитке, приповршинске сегменте. Већ на дубинама од неколико десетина метара, температура је углавном константна и одговара средњој годишњој температури одређеног подручја. Ова зона са константним температурама назива се неутрални температурни слој. Од неутралног слоја, температура Земље расте са повећањем дубине. Дубинско растојање у метрима за које се температура повећава за $1\text{ }^\circ\text{C}$, назива се геотермски ступањ, док се његова реципрочна вредност назива геотермални градијент. Просечне вредности геотермалних градијената ва-

рирају од $10 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{km}}$, све до $200 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{km}}$, што зависи од разлика у грађи појединих сегмената литосфере.

3.1.3 ФИЗИЧКА ПОЉА ЗЕМЉЕ

На Земљи делују три физичка поља: гравитационо, магнетно и електрично. Гравитационо поље настаје као резултат дејства силе којом Земља својом масом привлачи сва тела мање масе око ње. Будући да Земља ротира, осим гравитације, на њеној површини делује и центрифугална сила. Стога, сила Земљине теже, заправо представља силу гравитације која је коригована утицајем центрифугалне силе. Услед геоидног облика Земље, убрзање силе Земљине теже није исто на свим географским ширинама и износи $9,832 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ на половима, а $9,789 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ на екватору. Геомагнетно поље представља простор који се налази под утицајем магнетне силе Земље. Главни узроци настанка геомагнетног поља налазе се у саставу и структури геосфера. Геомагнетно поље карактерише се са два пола, северним и јужним, услед чега се Земља понаша као слаб магнет, односно дипол (Слика 3.4). Северни магнетни пол је место где линије магнетног поља увиру у Земљу на њеној северној хемисфери, док је јужни магнетни пол место где линије магнетног поља извиру из Земље на њеној јужној хемисфери. Облик линија магнетног поља чини да је магнетна сила оријентисана под одређеним углом у односу на површину Земље на различитим локацијама (Слика 3.4). Овај угао дефинисан је као магнетна инклинација. Такође, треба нагласити да се географски и магнетни полови Земље не подударују, те да се њихово одступање назива магнетна деклинација. Током геолошке прошлости долазило је до честих померања магнетних полова, као и до њихове потпуне инверзије. Претпоставља се да је главни узрок томе појава прецесије, односно законита циклична промена смера осе ротације Земље. Феномен ауроре, односно поларне светлости, условљен је геомагнетним пољем, и настаје када се електрони високе енергије, који се крећу по путањама паралелним линијама магнетног поља, сударају са атомима гасова у вишим слојевима атмосфере (Слика 3.5). На Земљи, заправо, делују два типа електричног поља: телурско и атмосферско. Телурско поље формира се у литосфери као последица променљивог геомагнетног поља и јоносферских струја. Телурски струјни ток генерално карактеришу изразито ниске фреквенције, а његов интензитет и карактер превасходно зависе од електричне проводљивости стена. Атмосферско електрично поље формира се као струјни ток од позитивно наелектрисане атмосфере ка негативно наелектрисаном тлу.



Слика 3.4 Шематски приказ магнетног поља Земље.



Слика 3.5 Поларна светлост (фото: SHUTTERSTOCK).

3.2 ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЗЕМЉЕ

У хемијском саставу Земље највеће процентуално учешће имају гвожђе (35%), кисеоник (30%), силицијум (15%) и магнезијум (10%), док сви остали хемијски елементи чине преосталих десетак процената. Средњи хемијски састав Земље дефинисан је на основу геохемијског карактера хемијских елемената, геофизичких података о њеној унутрашњој грађи, као и састава стеновитих метеорита (хондрита). У језгру Земље сконцентрисана је такозвана метална фаза, јер у његовом хемијском саставу доминирају тешки метали, гвожђе (89%) и никл (6%). У омотачу је сконцентрисана такозвана силикатна фаза, а од хемијских елемената доминирају: силицијум, магнезијум, гвожђе, калцијум, алуминијум и сумпор. Свега осам елемената: кисеоник, силицијум, алуминијум, гвожђе, калцијум, натријум, калијум и магнезијум чине 99% литосфере. У саставу континенталне коре доминантни су хемијски елементи силицијум и алуминијум, док су у саставу океанске коре доминантни хемијски елементи силицијум и магнезијум.

Питања и задаци:

1. Објаснити разлику између појмова земљина кора, литосфера и астеносфера.
2. Дефинисати најбитније карактеристике геомагнетног поља.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Jain, S. 2014. *Fundamentals of Physical Geology*. Springer Geology, 488 pp.

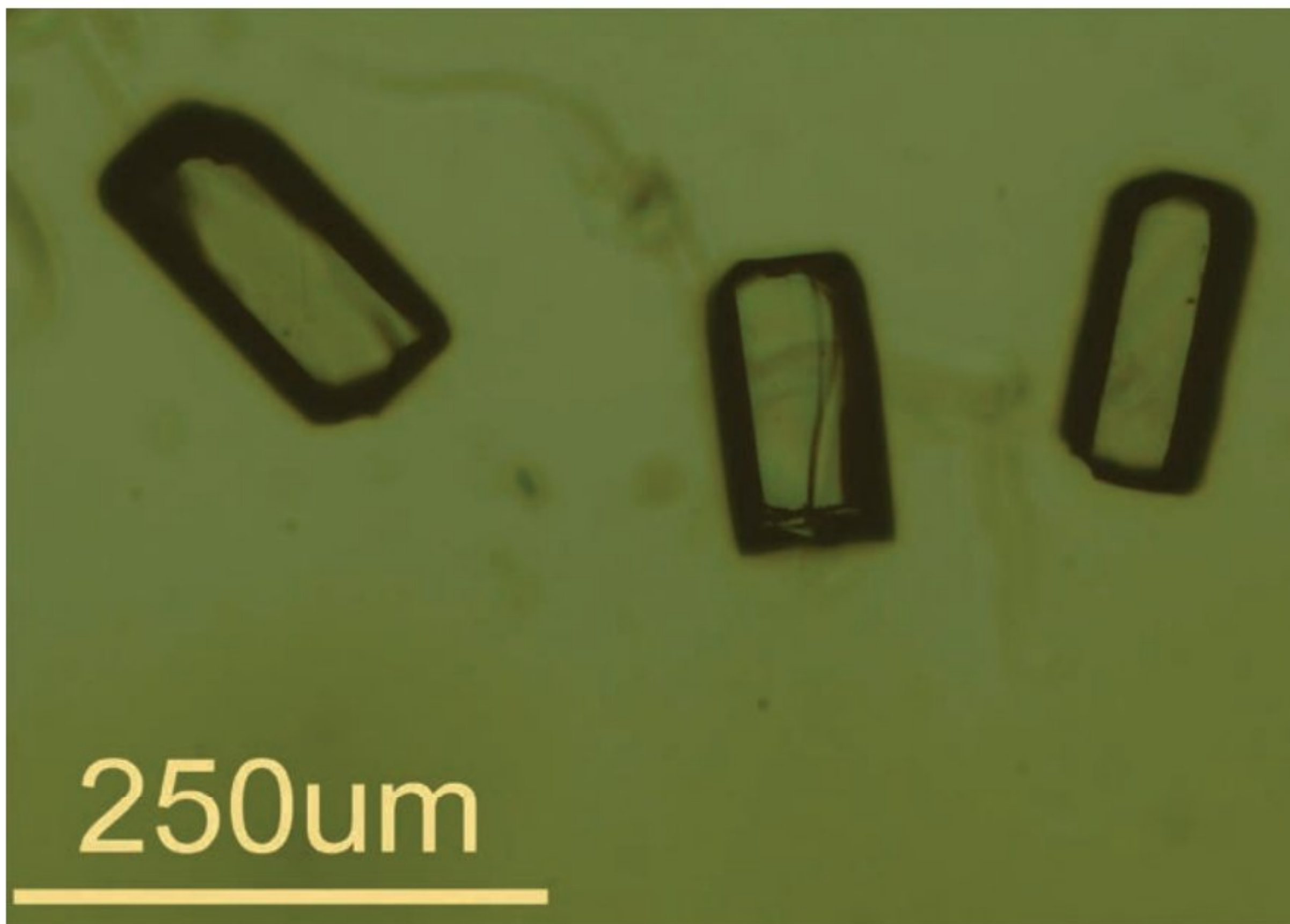
West, K., 2009. *Layers of the Earth*. The Franklin Institute, Chelsea House Publishers, 104 pp.

4 | САСТАВ ЛИТОСФЕРЕ

Литосфера, спољашњи чврсти омотач Земље, је највећим делом изграђена од магматских стена, затим седиментних стена и метаморфних стена. Све стене састављене су од минерала, који представљају њихове градивне елементе.

4.1 МИНЕРАЛИ

Минерали су чврсте, најчешће неорганске супстанце одређеног хемијског састава и са уређеном атомском структуром, односно кристалном решетком. По саставу представљају хемијска једињења, те се стога означавају хемијским формулама. Полиморфне минерале, као што су графит и дијамант, одликује исти хемијски састав, а различита атомска структура. Изоморфни минерали, какви су калцит и магнезит, разликују се по хемијском саставу, а имају исту атомску структуру. Минерали могу да се формирају кристализацијом из растопа, раствора или паре; кристалографским трансформацијама; као и дејством организама. Након формирања такозваног 'ембриона' минерала, други молекули се везују за њега, услед чега кристал наставља да расте. Еухедрални минерали настају када има довољно простора и времена за раст кристала, услед чега они имају добро развијене кристалне површи (Слика 4.1). Анхедрални минерали настају у условима ограниченог простора или времена, услед чега немају јасно видљиве, правилне кристалне облике.



Слика 4.1 Еухедрални кристали апатита
(фото: У. Стојадиновић).

На основу доминантних анјона у њиховом хемијском саставу, минерали се деле на: силикате, оксиде, сулфиде, сулфате, халиде, карбонате, фосфате и

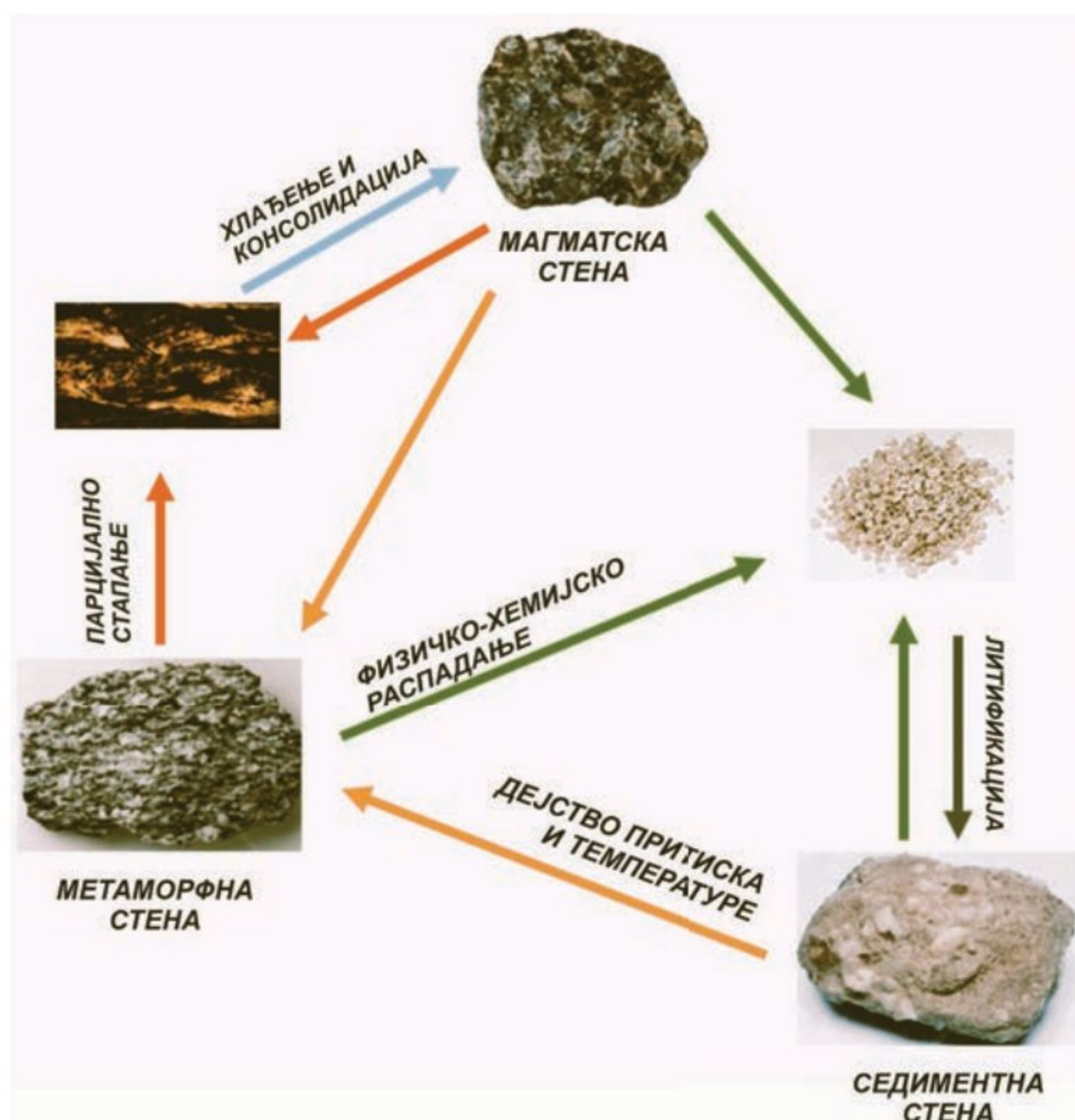
самородне елементе. Према значају, минерали се деле на: петрогене, рудне, акцесорне и драго камење. Петрогени минерали изграђују највећи део стена и углавном немају комерцијални значај. Рудни или индустријски минерали су значајни за комерцијалну експлоатацију. Акцесорни минерали пружају кључне информације о условима притисака и температура у којима су настали. Драго камење представљају минерали изразите природне лепоте.

4.2 СТЕНЕ

Стене су чврсти агрегати, састављени од једног или много чешће више минерала. Свега око двадесет петрогених минерала изграђује највећи део Земљине коре. Врста минерала у стени дефинише њен минерални састав. Величина и облик минерала у стени дефинишу њену петролошку структуру, док просторни распоред минерала у стени дефинише њену петролошку текстуру. Три основне групе стена су: магматске, седиментне и метаморфне. Магматске стене настају хлађењем магме и кристализацијом минерала који су у њој растопљени (Слика 4.2а). Седиментне стене настају процесом акумулације, односно таложењем минерала у површинским деловима литосфере (Слика 4.2б). Метаморфне стене настају изменама магматских или седиментних стена, када се оне нађу у условима промењених температура или притисака (слика 4.2в). Различитим геолошким процесима један тип стена се може трансформисати у други, што се дефинише као стенски циклус (Слика 4.3).



Слика 4.2 Основне групе стена: а) магматска стена – гранодиорит (фото: У. Стојадиновић), б) седиментна стена – кречњак (фото: Н. Крстеканић), в) метаморфна стена – гнајс (фото: У. Стојадиновић).



Слика 4.3 Стенски циклус
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Питања и задаци:

1. Класификовајте минерале према њиховом значају.
2. Дефинисајте најбитније карактеристике три основне групе стена.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Бабич, Д. 2003. Минералогија. Посебно издање, Београд, 433 с.

Haldar, S.K. & Tišljар, J. 2013. *Introduction to Mineralogy and Petrology*. Elsevier, 354 pp.

5 | ГЕОЛОШКА СТАРОСТ

Приликом геолошких истраживања старост стена може се дефинисати као апсолутна или релативна. Дефинисање апсолутне старости стена заснива се на одређивању времена полураспада (ултра)стабилних радиоактивних елемената у минералима који те стене изграђују. Време полураспада је оно време које је потребно да се количина одређеног радиоактивног елемента преполови. На основу апсолутног радиоактивног одређивања старости у стенама које изграђују старе, консолидоване сегменте континенталне коре, старост планете Земље дефинисана је на око 4,6 милијарди година. У различитим геолошким истраживањима, најчешће кориштене методе за апсолутно одређивање старости стена на основу радиоактивних елемената су: уран-олово ($^{235}\text{U}/^{207}\text{Pb}$ и $^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$), калијум-аргон ($^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$), рубидијум-стронцијум ($^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$) и угљеник (^{14}C). Одређивање релативне старости стена подразумева утврђивање редоследа геолошких догађања, односно редоследа стварања геолошких облика и тела, без сазнања о њиховој егзактној старости. При одређивању релативне старости стена користе се основни геолошки принципи: принцип суперпозиције и принцип биолошке сукцесије.

5.1 ГЕОЛОШКА ВРЕМЕНСКА СКАЛА

Геолошка временска скала обухвата свеукупно време од постанка Земље до данас (Слика 5.1). Она је подељена на одељке различитог нивоа и дужине трајања, који представљају оквир за битне догађаје који су обележили геолошку прошлост. Са смањењем хијерархијског нивоа одељака геолошке временске скале, смањује се и израженост разлика међу њима. Одељци највишег реда који се називају еони, су: хад, архаик, протерозоик и фанерозоик. Три најстарија еона (хад, архаик и протерозоик), који обухватају време од настанка Земље до пре око 540 милиона година, називају се заједничким термином 'прекамбријум'. Еон архаик, подразумева примитивно доба у развоју Земље и обухвата временски период између 4,5 и 2,5 милијарди година. То је време током којег у атмосфери Земље доминира азот, долази до формирања првог океана и првих живих организама. Еон протерозоик обухвата временски период између 2,5 милијарди и 542 милиона година. То је време током којег долази до повећања процентуалног дела кисеоника у атмосфери, формирају се прве континенталне масе и настају први вишећелијски организми. Еон фанерозоик обухвата временски период од пре 542

милиона година до данас и дели се на три ере: палеозоик, мезозоик и кенозоик. Палеозојска ера се даље дели на периоде: камбријум, ордовицијум, силур, девон, карбон и перм. Камбријум, који обухвата временски период између 542 и 488 милиона година, представља периоду током које долази до процвата живог света и појаве првих организама са скелетом. Током ордовицијума, који траје од 488 до 444 милиона година, долази до адаптације на живот на копну, а затим и до првог масовног изумирања организама. Силур траје од 444 до 416 милиона година. Током ове периоде долази до потпуне адаптације одређених организама на живот на копну. Девон, који траје од 416 до 359 милиона година, представља доба доминације риба. У карбону, који траје од 359 до 299 милиона година доминирају водоземци, док се међу биљкама јављају прве голосеменице. Перм траје између 299 и 251 милион година. Током перма међу биљкама доминирају папратњаче, долази до појаве првих рептила, да би крајем ове периоде дошло до новог масовног изумирања живих организама. Мезозојска ера дели се на три периоде: тријас, јуру и креду. У тријасу, који траје од 251 до 200 милиона година, доминирају рептили, појављују се први диносауруси и први сисари. Током јуре, која траје од 200 до 145 милиона година, наставља се доминација рептила и појављују се прве птице. Кредна периода траје од 145 до 65 милиона година. Од биљака су доминантне скривеносеменице, наставља се доминација рептила, а даље се развијају инсекти, птице и сисари. Крајем креде долази до новог масовног изумирања живих организама, у којем нестају диносауруси. Најмлађа, кенозојска ера траје од 65 милиона година до данас и представља доба доминације сисара. Кенозоик се дели на три периоде: палеоген, неоген и квартар. Палеоген, који траје од 65 до 23 милиона година, даље се дели на епохе: палеоцен, еоцен и олигоцен. Неоген, који траје од 23 до 2,6 милиона година, дели се на епохе: миоцен и плиоцен. Најмлађа, квартарна периода траје од 2,6 милиона година до данас. Квартар је подељен на две епохе: плеистоцен и холоцен. Старији део квартара, плеистоцен је време ледених доба, током којих су се смењивали периоди заглечеравања и отопљавања. Последњи циклус заглечеравања завршио се пре 11.700 година, што представља границу плеистоцена и холоцена. Холоцен представља савремено доба, током којег је дошло до развоја људске цивилизације.

ЕОН	ЕРА	ПЕРИОДА	ЕПОХА
ФАНЕРОЗОИК	КЕНОЗОИК	КВАРТАР	ХОЛОЦЕН
			ПЛЕИСТОЦЕН
		НЕОГЕН	ПЛИОЦЕН
			МИОЦЕН
			ОЛИГОЦЕН
		ПАЛЕОГЕН	ЕОЦЕН
			ПАЛЕОЦЕН
		МЕЗОЗОИК	КРЕДА
	ЈУРА		
	ТРИЈАС		
	ПАЛЕОЗОИК	ПЕРМ	
		КАРБОН	
		ДЕВОН	
		СИЛУР	
		ОРДОВИЦИЈУМ	
		КАМБРИЈУМ	
	ПРОТЕРОЗОИК	ПРЕКАМБРИЈУМ	
АРХАИК			
ХАД			

Слика 5.1 Геолошка временска скала.

Питања и задаци:

1. Класификовајте геолошку временску скалу по одељцима и дефинисајте најбитније карактеристике појединих одељака.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Gopalan, K. 2017. *Principles of Radiometric Dating*. Cambridge University Press, 207 pp.

Рабреновић, Д., Кнежевић, С. & Рунђић, Љ. 2003. *Историјска геологија*. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 268 с.

Wicander, R. & Monroe, J.S. 2013. *Historical Geology. Evolution of Earth and Life Through Time*. Brooks/Cole Cengage Learning, 432 pp.

6 | СТРУКТУРА ЛИТОСФЕРЕ

Структуру или склоп литосфере, као и процесе који доводе до промена у том склопу, а које називамо деформацијама, проучава научна дисциплина која се назива тектоника. Геотектоника проучава процесе који доводе до деформација у литосфери, а који се одигравају током целокупне динамичке еволуције Земље. Неотектоника се ограничава на тектонска догађања током најмлађег дела историје Земље. Структурна геологија, са друге стране, бави

се испитивањем морфологије, кинематике и генезе конкретних структурних облика у природи.

6.1 ГЕОЛОШКЕ СТРУКТУРЕ И ОБЛИЦИ ДЕФОРМАЦИЈА У СТЕНАМА

Геолошке структуре дефинишу начин појављивања различитих стенских маса у литосфери. Оне могу бити једноставне или сложене, односно могу се састојати од једне или више планара или линеара. Геолошке планаре, као што су површине слојевитости, раседне површи, или крила набора, су површи у природи различите морфологије и генезе, које се могу апроксимирати геометријским равнима. Геолошке линеаре, као што су стрије и осе набора, су линије у природи различитог изгледа и генезе, које се могу апроксимирати линијама у геометрији.

Слој је основни елемент седиментних стена, који настаје као резултат непрекидне фазе таложења, односно седиментације. Одређени слој одвојен је површинама слојевитости од слојева који се налазе испод њега и називају се подински слојеви, као и од слојева изнад њега, који се називају повлатни слојеви (Слика 6.1).



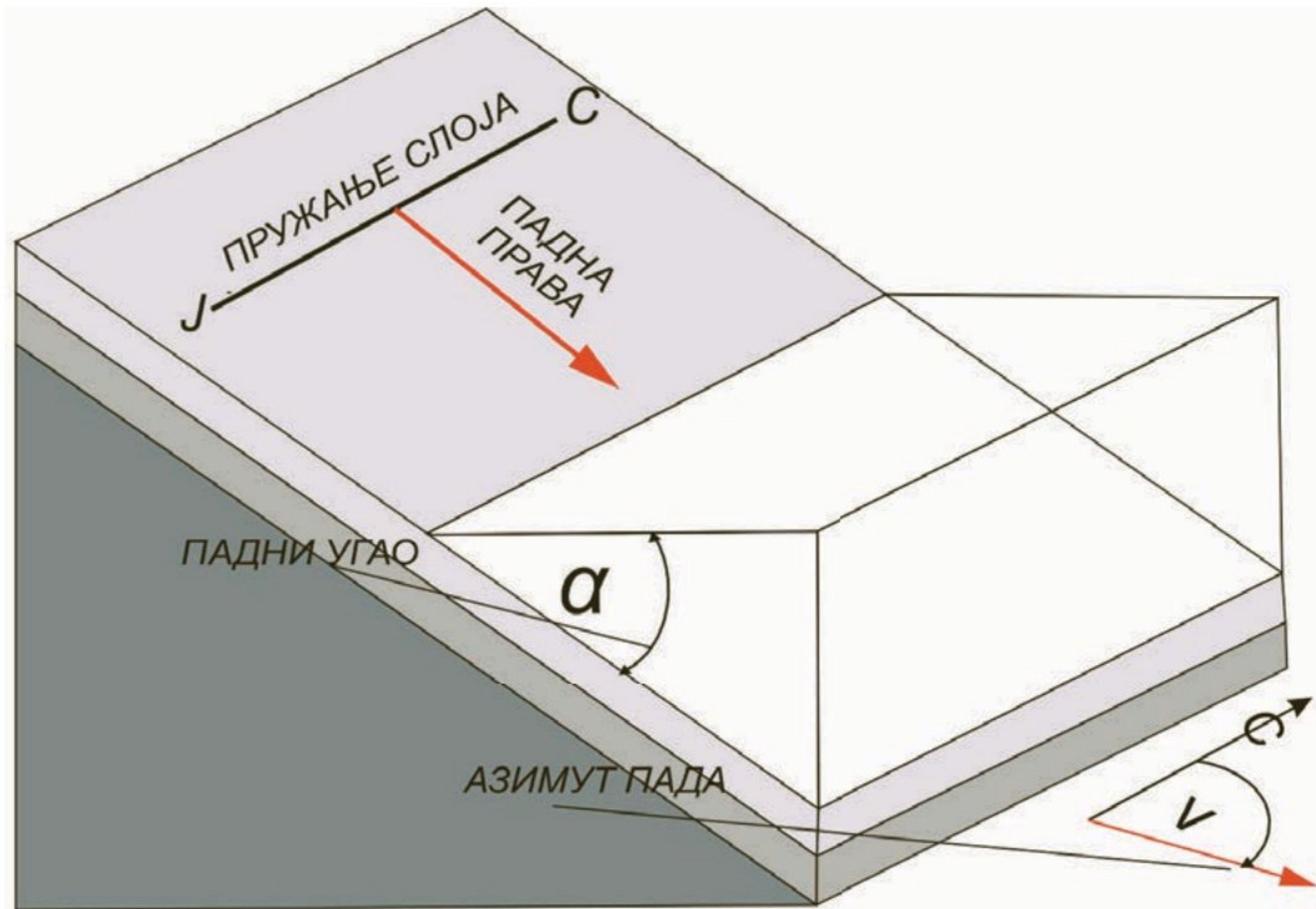
Слика 6.1 Слојеви у седиментним стенама
(фото: У. Стојадиновић).



Слика 6.2: а) Конкордантни слојеви (фото: У. Стојадиновић),
б) дискордантни слојеви (фото: Н. Герзина).

У зависности од континуитета седиментације слојеви могу бити конкордантни и дискордантни. Код конкордантних слојева није било прекида у седиментацији, па су се они таложили континуирано један преко другог (Слика 6.2а). Код дискордантних слојева дошло је до прекида у таложењу између доњих (старијих) и горњих (млађих) слојева (Слика 6.2б). Период прекида у седиментацији назива се хијатус, док се локални прекиди називају дијастеме. Дискорданције могу бити ерозионе и тектонско-ерозионе (угловне). Узрок настанка ерозионих дискорданција су тектонски покрети који доводе до издизања копна и прекида у таложењу седимената, док су при настанку тектонско-ерозионих дискорданција стене биле изложене сложенијим деформацијама.

Првобитни положај слојева након таложења је најчешће хоризонталан, да би каснијим деформацијама долазило до измена њихове просторне оријентације. Положај слојева најпре се може дефинисати према њиховом пружању, које је паралелно неком географском правцу и назива се азимут пружања (Слика 6.3). Нормала на пружање слоја назива се падна права и она представља праву са највећим падом у мереном слоју. Падни угао (α) је угао који падна права заклапа са хоризонталном равни и може имати вредности од 0 до 90 степени. Азимут пада (ν) је угао који пројекција падне праве на хоризонталну раван заклапа са географским правцем север-југ. Азимут пада се мери у смеру кретања казаљке на сату и има вредности од 0 до 360 степени. Азимут пада и падни угао, који представљају елементе пада слојева и свих других геолошких планара и линеара (Слика 6.3), мере се помоћу инструмента који се назива геолошки компас.



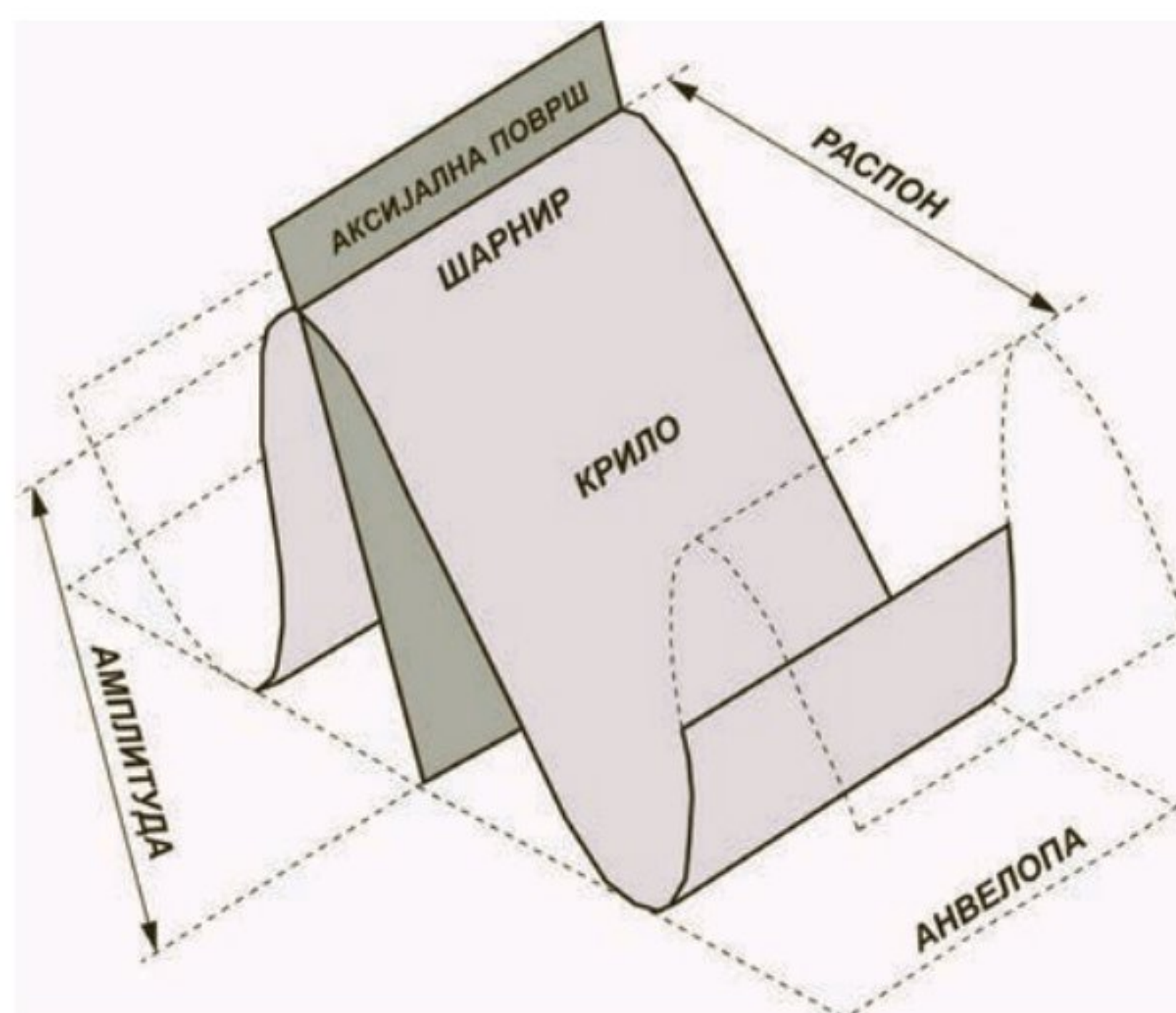
Слика 6.3 Елементи пада слоја.

6.1.1 НАБОРИ

Све стене које се налазе у литосфери изложене су литостатичким притисцима, који генеришу стенске масе које се налазе изнад њих. Поред литостатичког притиска, силе које делују у литосфери генеришу и различите врсте усмереног притиска, односно стреса. Типови стреса варирају у зависности од тектонског окружења у којем се стене налазе, па тако стрес може бити: компресиони, тензиони или стрес смицања. Стрес којим силе делују на стенске масе доводи до акумулације напона у њима, што за последицу може имати њихове трајне деформације. Те трајне деформације у стенама могу бити: пластичне (дуктилне) и крте (руптурне). При пластичним деформацијама долази до повијања стенског материјала, односно облик стена се мења без формирања физичког дисконтинуитета у стенама (кидања). Основни облици пластичних деформација у стенама називају се набори. Услед повећаних стопа стреса деформације у одређеној стени могу да доведу до преласка границе дуктилности, односно до њеног раскидања. Основни облици кртих деформација у стенама називају се раседи. Поред врсте и интензитета стреса којем су изложене, температура представља други значајан

спољашњи чинилац од којег зависи да ли ће у стени доћи до кртих или пластичних деформација. Како је већ напоменуто, температуре у литосфери расту са дужином у складу са вредностима геотермалних градијената на датом подручју. За просторе у којима су просечне вредности геотермалних градијената око $30 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{km}}$, граница дуктилности налази се на дубинама од око 10 километара. То значи да ће се, ако су изложене стресу истог интензитета, стене на дубинама испод 10 километара деформисати раседањем, док ће се на већим дубинама деформисати убирањем. На тип и интензитет деформација у стенама, поред наведених спољашњих чинилаца, значајан утицај може имати и грађа стена, пре свега њихов састав и примарни склоп.

Набори су основни облици пластичних (дуктилних) деформација у стенама. Потпун набор или бора састоји се од једне антиклинале и једне синклинале (Слика 6.4). Наборни облик који у језгру има најстарије слојеве назива се антиклинала, док се наборни облик који у језгру има најмлађе слојеве назива синклинала. За набор који је конвексан (испупчен) навише користи се термин антиформа, а за набор конвексан наниже синформа. Сваки набор има два крила, а превојно подручје између њих назива се шарнир набора. Аксијална површ је симетрална површ између крила набора. Оса набора је конструктивна (замишљена) линија на пресеку аксијалне површи и шарнира набора. Вергенца набора дефинише отклон аксијалне површи од вертикалне равни. Анвелопа (обвојница) набора је конструктивна површ која спаја шарнире суседних антиклинала или синклинала. Распон набора је нормално растојање између два суседна шарнира. Амплитуда набора је нормално растојање између темена антиклинале и дна суседне синклинале.



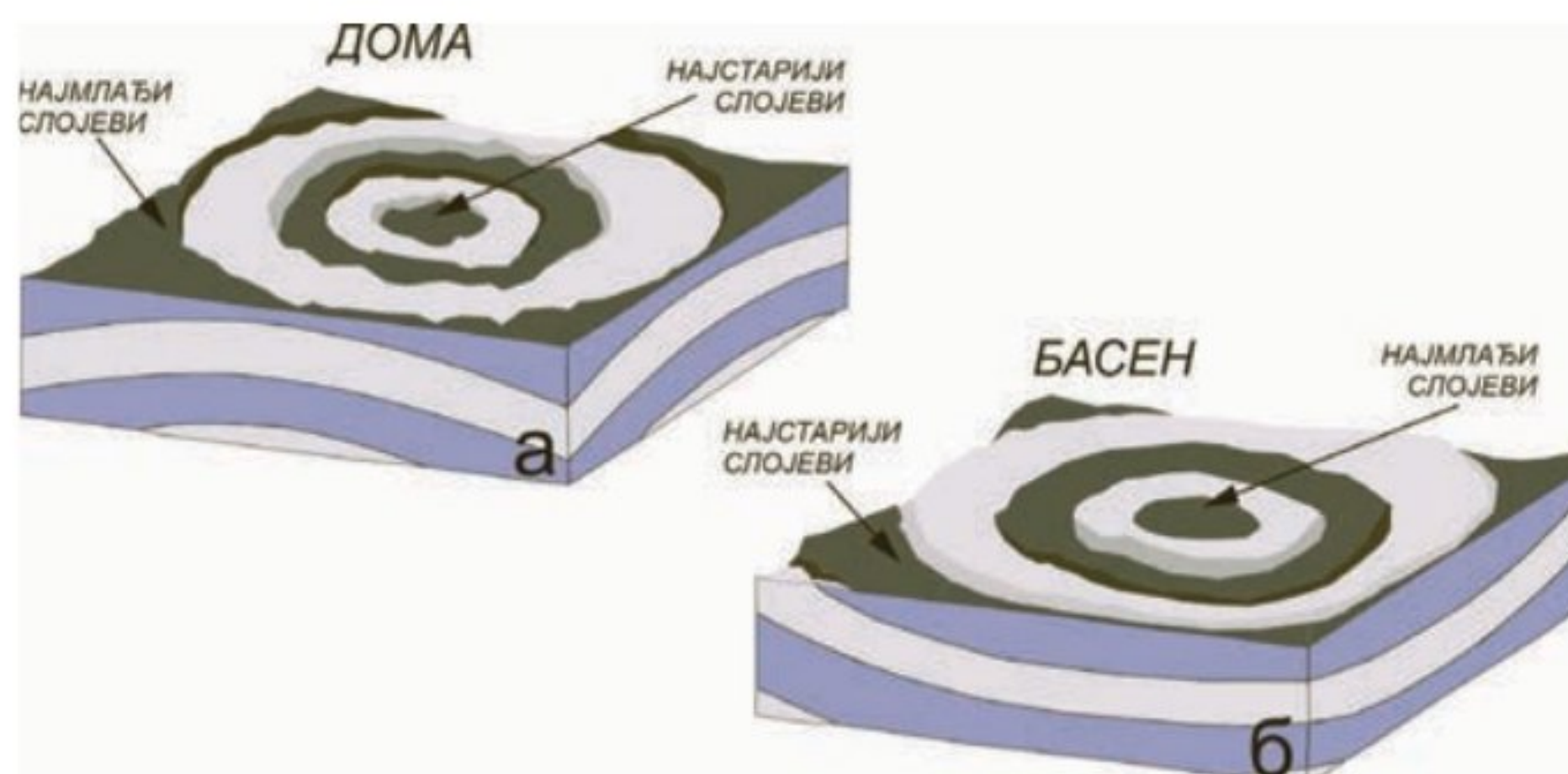
Слика 6.4 Елементи набора (модификовано према Пешић, 1995).

Према облику шарнира набори могу бити: угласти, заобљени и сандучасти. Према односу крила и аксијалне површи набори могу бити: нормални, изоклини и лепезасти. Према положају крила и аксијалних површи у односу на хоризонталну раван набори могу бити: усправни, коси, преврнути, полегли и загњурени (Слика 6.5).



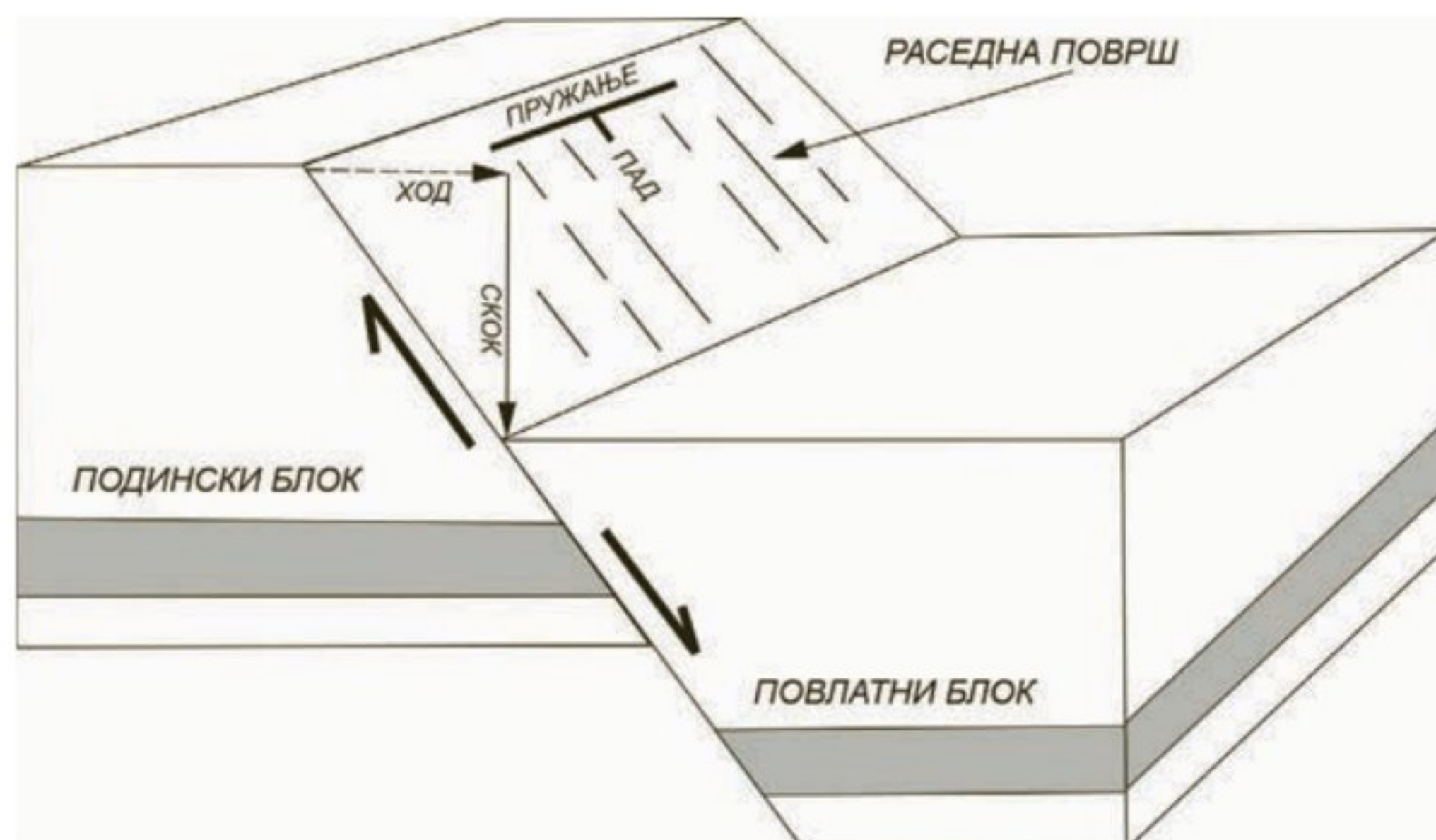
Слика 6.5 Преврнути набор пресечен реверсним раседом (фото: Н. Крстеканић).

Регионалне наборне структуре, које могу бити и декакилометарских димензија називају се доме и басени (Слика 6.6). Доме су регионални наборни облици куполастог облика, који имају најстарије слојеве у језгру и одговарају антиклиналама. Басени су регионални наборни облици здела-стог облика, који имају најмлађе слојеве у језгру и одговарају синклиналама.



Слика 6.6 Шематски приказ доме (а) и басена (б) (модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

6.1.2 РАСЕДИ



Слика 6.7 Шематски приказ елемената раседа
(модификовано према Пешић, 1995).

Раседи су основни облици кртих (руптурних) деформација у стенама. Површи дуж којих је дошло до раскидања стена, односно формирања физичких дисконтинуитета у њима, називају се раседне површи (Слика 6.7). Блок стенске масе који се налази изнад раседне површи назива се повлатни блок, док се блок стенске масе који се налази испод раседне површи назива подински блок. Кретање блокова стена оставља на раседним површима физичке трагове, такозване 'стрије' (Слика 6.8). Хоризонтална компонента кретања блокова по раседним површима назива се ход раседа, док се његова вертикална компонента назива скок раседа.



Слика 6.8 Стрије на површи десног транскурентног раседа
(Фото: У. Стојадиновић).

Мерењем елемената пада раседних површи, као и елемената пада трагова кретања на њима одређује се тип раседа. Тип раседа се увек дефинише на основу релативног кретања повлатног блока раседа. Ако је повлатни блок у односу на раседну површ кретан релативно навише, у питању су реверсни раседи. Уколико је повлатни блок кретан релативно наниже, ради се о нормалним раседима. Код транскурентних раседа блокови се крећу паралелно раседној површи, хоризонтално један у односу на други, те могу бити леви или десни (Слика 6.9).



Слика 6.9 Типови раседа на основу кретања
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Пукотине су облици руптурних деформација у стенама код којих, за разлику од раседа, у датом величинском подручју није дошло до кретања блокова стена паралелно њеној површи кретања. Као и набори, раседи могу егзистирати у различитим величинским подручјима од милиметарског до хектокилометарског (Слика 6.10).



Слика 6.10 Раседи у различитим величинским подручјима: а) Сан Андреас расед (фото: DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) сегмент раседа Ртањ – Пирот (фото: Н. Крстеканић), в) микротектонске структуре у гнајсевима (фото: М. Малеш).

Раседи се у природи најчешће групишу, формирајући сложене тектонске облике типа тектонских ровова (грабена) или тектонских хорстова. Системи међусобно паралелних реверсних раседа формирају такозване ‘краљушти’. Навлаке су реверсни раседи регионалног распрострањења, код

којих износи кретања могу да достигну километарски ред величина (Слика 6.11). Шаријаж је термин који се употребљава за навлачења која могу износити више десетина километара.



Слика 6.11 Навлака у тренч-турбидитима Сава Зоне у западној Србији (фото: Н. Крстеканић).

Питања и задаци:

1. Дефинисајте слој и елементе њага слоја.
2. Објасните разлику између конкордантних и дискордантних слојева.
3. Дајте дефиницију набора и навесите њихове основне елементе.
4. Дајте дефиницију раседа и навесите њихове основне елементе.
5. Навесите најбитније карактеристике основних типова раседа.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Twiss, R.J. and Moores, E.M. (1992) *Structural Geology*. W.H. Freeman and Company, New York, 532.

*Ништа није вечно осим промене.
Хераклиј*

ГЕОЛОШКИ ПРОЦЕСИ

7 | ЕНДОДИНАМИЧКИ ПРОЦЕСИ

Литосфера се налази у непрекидној интеракцији како са дубљим геосферама, тако и са површинским сферама Земље, односно хидросфером, атмосфером и биосфером. Геолошки процеси представљају законити низ збивања који доводе до промена у грађи литосфере на одређеном простору. Ендодинамички процеси настају и одвијају се под дејством сила које потичу из унутрашњости Земље. Најважнији међу њима су тектонски процеси и са њима асоцирани феномени и појаве, сеизмизам, магматизам и метаморфизам.

7.1 ТЕКТОНСКИ ПРОЦЕСИ

Земља представља сложен, динамичан систем, у оквиру којег постоји интеракција литосфере, која се састоји од низа чврстих плоча, са дубљом астеносфером, у којој постоје услови за конвекцијско струјање материјала. Та конвекцијска струјања у астеносфери условљавају хоризонтална померања литосферних плоча, што доводи до интензивних геодинамичких процеса у њиховим граничним појасевима. Ту спадају тектонски процеси, какви су издизања планинских венаца или тоњења басена, сеизмичка активност, магматизам и метаморфизам.

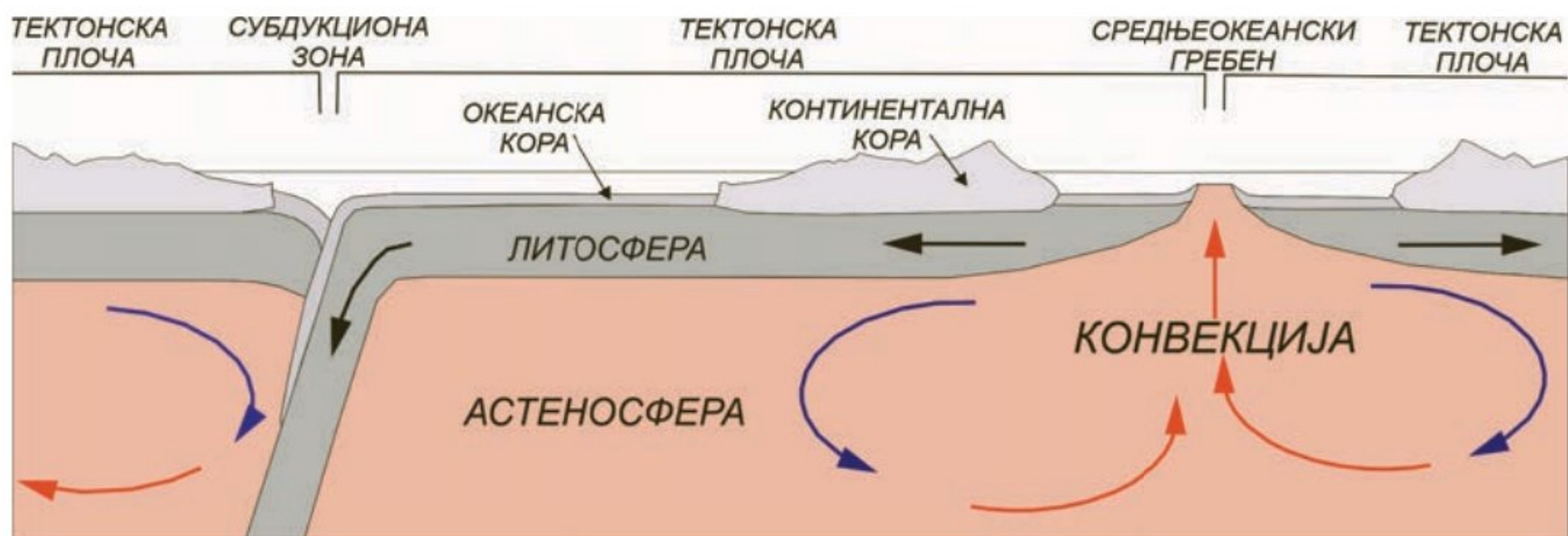
7.1.1 ТЕКТЕНИКА ПЛОЧА

Већ поменуто издизање планинских венаца и тоњење басена, односно вертикална повијања литосфере је феномен који је био препознат још у доба антике. Међутим, основу савременог разумевања тектонских процеса, које је оличено у теорији о тектоници плоча (глобалној тектоници), представљају докази о померањима у литосфери по хоризонталним правцима.

Глобалној тектоници претходе хипотеза о размицању континената Алфреда Вегенера (Слика 7.1), хипотеза о конвекцијским струјањима у астеносфери Артура Холмса (Слика 7.2), као и хипотеза Хеса и Дица о ширењу океанског дна, које су затим потврђене геофизичким, геодетским и геохемијским подацима. Савременим методама, каква је дугобазисна интерферометрија (ВЛБИ), прецизно се утврђују износи хоризонталних померања на континенталној скали (Слика 7.3).



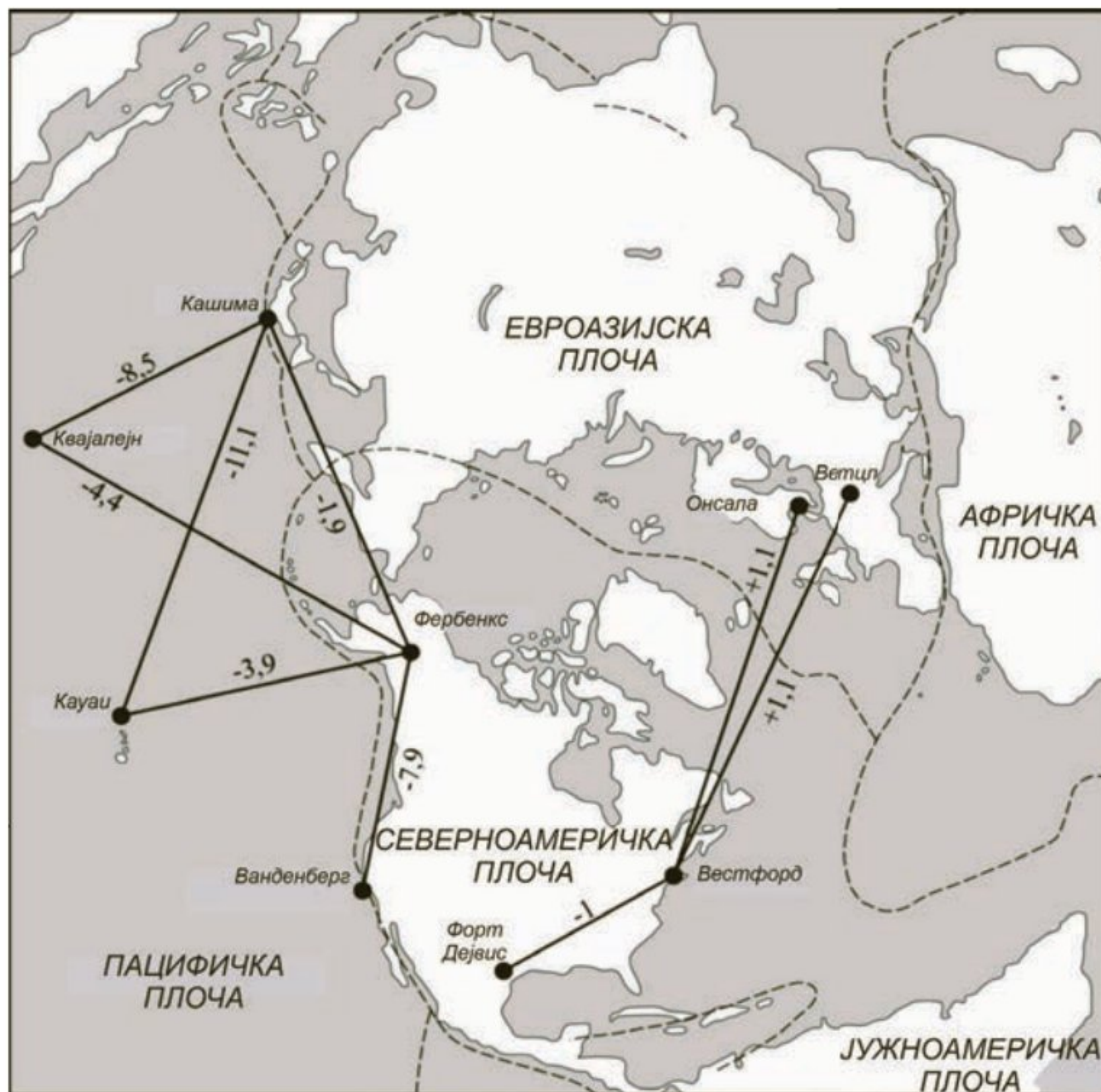
Слика 7.1 Алфред Вегенер (фото: <https://en.wikipedia.org>).



Слика 7.2 Шематски приказ конвекције.

Литосфера, дакле, није униформна, већ је издељена на низ мањих ентитета, који се називају тектонским плочама. Најважније тектонске плоче су: Евроазијска, Афричка, Индијска, Пацифичка, Северноамеричка, Јужноамеричка, Антарктичка и Аустралијска (Слика 7.4). Плоче су хетерогеног састава, односно састоје се од сегмената континенталне и океанске коре. Стабилни делови плоча, односно зоне у њиховој унутрашњости називају су кратони, штитови или платформе. Граничне зоне тектонских плоча се могу

поделити у три основна типа: дивергентне, односно зоне размицања тектонских плоча; конвергентне, односно зоне сучељавања тектонских плоча; као и трансформне дуж којих плоче клизе једна уз другу. Интеракцијом у граничним зонама плоча генерише се стрес, који се преноси кроз литосферу и доводи до деформација у њој. Три основна тектонска режима деформација у литосфери су екстензија, контракција и транскурентне деформације. Екстензија се односи на тектонске процесе и структурне облике деформација у литосфери који су везани за њено истезање. Контракција се односи на тектонске процесе и структурне облике деформација у литосфери који су везани за њено сажимање. У транскурентном тектонском режиму у литосфери су доминантна хоризонтална кретања и са њима везане деформације. Када померања у литосфери одступају од положаја који је паралелан главној зони транскурентних померања, настају сложени тектонски режими, који се називају транспресија и транстензија. Исходишно, деформације великих размера у литосфери могу довести до формирања планинских венаца (орогена), какви су Хималаји и Карпати, и басена, као што је Панонски басен.

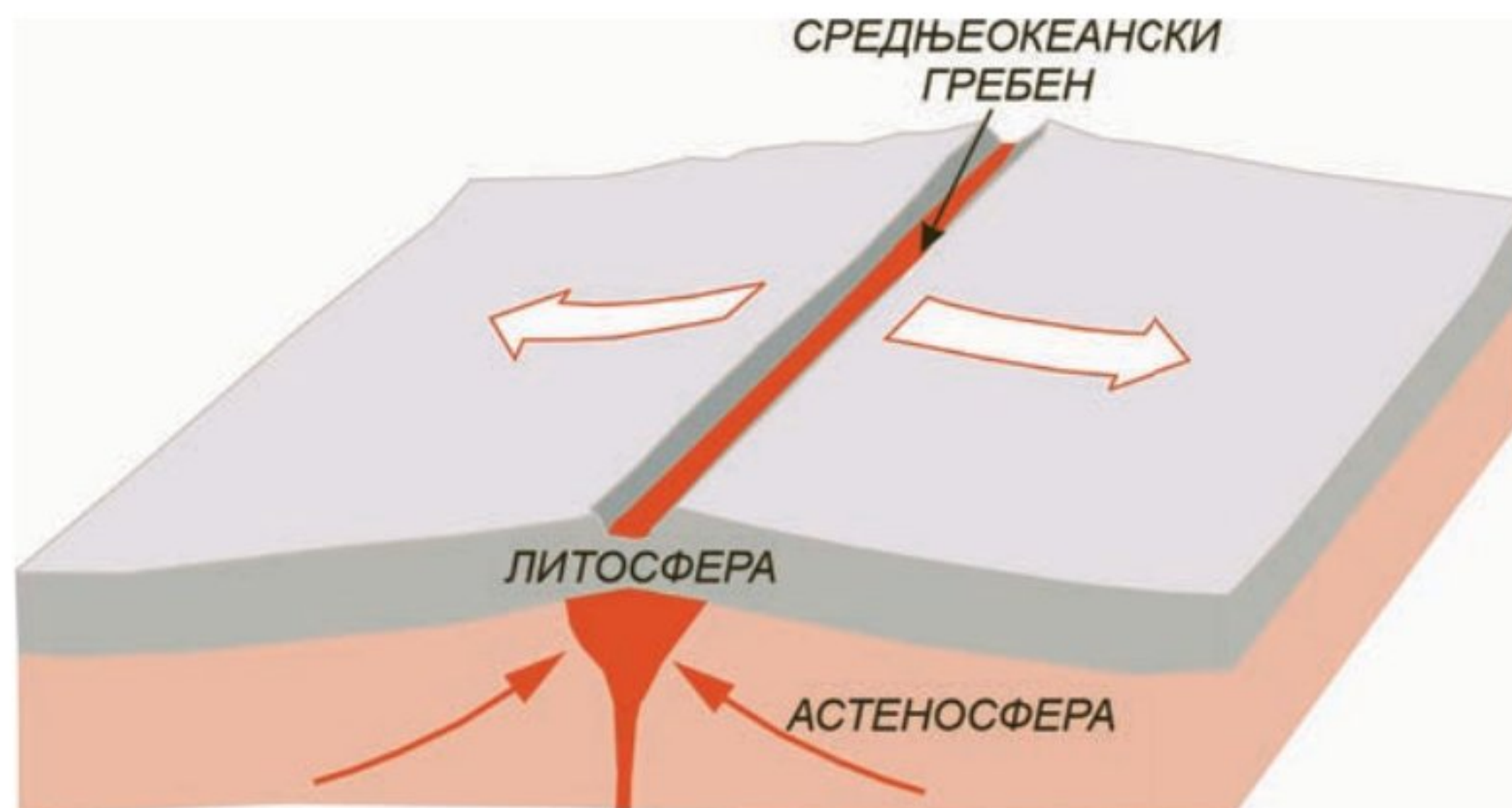


Слика 7.3 Померања између ВЛБИ станица на северној хемисфери у цм/год (модификовано према Moores & Twiss, 1995).



Слика 7.4 Тектонске плоче.

Дивергентне границе плоча су зоне размицања литосферних плоча, односно подручја на којима настаје нова океанска кора. Могу бити везане за океанске или континенталне просторе. Дивергентне границе плоча у океанским подручјима називају се средњеокеански гребени (Слика 7.5). То су огромни подводни планински венци, дугачки више хиљада километара, од којих је најмаркантнији Средњоатлантски океански гребен. За ове просторе везује се формирање нове океанске коре до којег долази услед ширења океанског дна, интензивна вулканска и сеизмичка активност, односно појаве земљотреса.

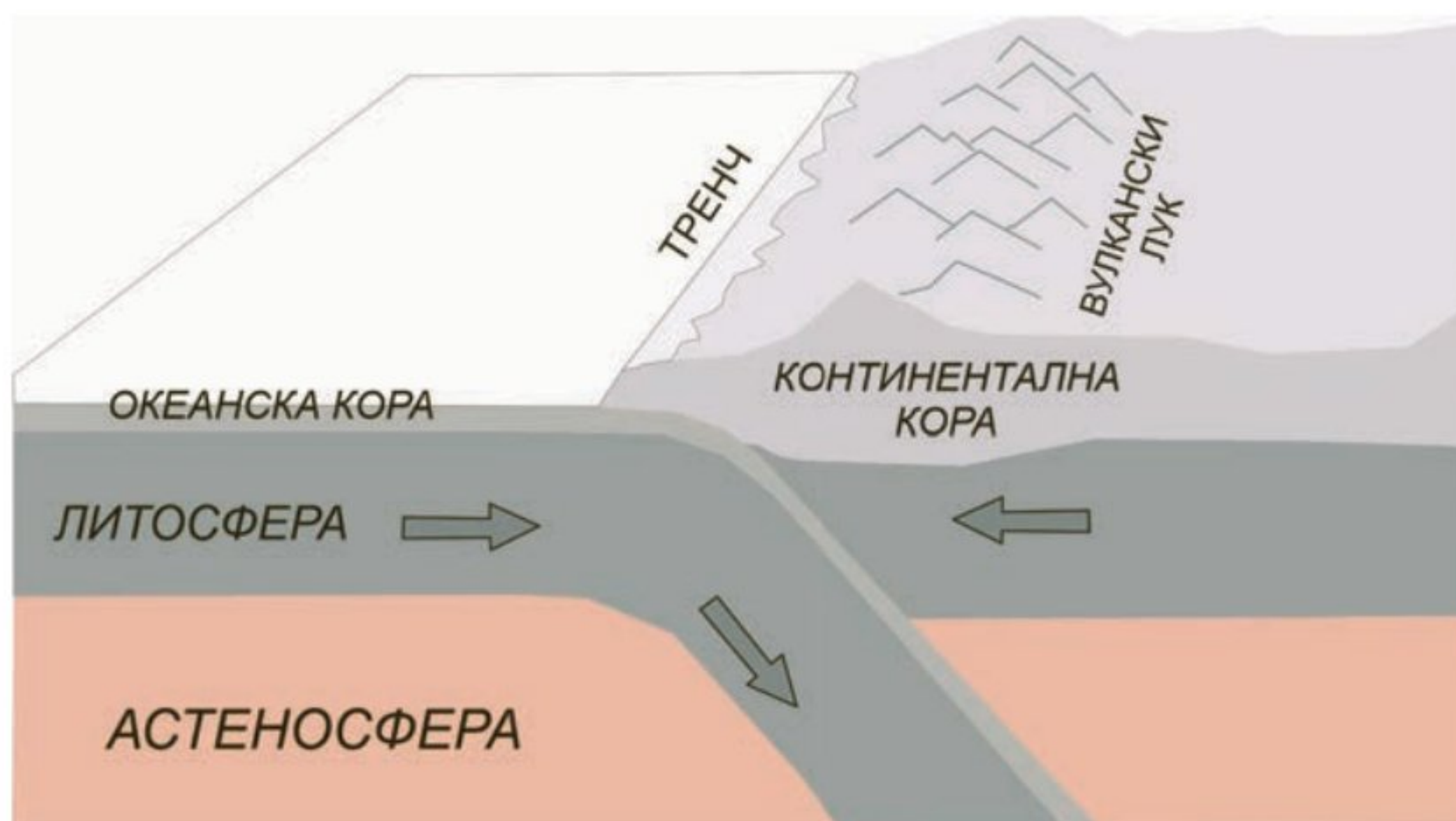
Слика 7.5 Дивергентне границе плоча: средњеокеански гребени.
(модификовано према Moores & Twiss, 1995).

Континентални рифтови представљају пример дивергентних граница на континенталним просторима. Они заправо представљају сложене системе ровова, дугачке више стотина километара, у којима почиње раскол континента и који потенцијално исходишно могу прерасти у праве океане. Најпознатији примери континенталних рифтова су Источноафрички и Црвеноморски (Слика 7.6). Континентални рифтови такође представљају подручја интензивне вулканске и сеизмичке активности.



Слика 7.6 Источноафрички рифт – сателитски снимак
(фото: EUROPEAN SPACE AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Конвергентне границе плоча представљају зоне сучељавања литосферних плоча. За овај тип граница плоча везују се феномен субдукције, односно подвлачења једне плоче под другу, као и феномен колизије, односно сударања две литосферне плоче. На местима сучељавања две плоче са океанском и континенталном кором настају субдукционе зоне, зато што се тежа океанска кора подвлачи под лакшу континенталну. Пример за овакав тип границе плоча је пацифички обод Јужне Америке, односно гранично подручје Наска и Јужноамеричке плоче, дуж којег се простире планински венац Анда (Слика 7.7). На самом месту тоњења океанске коре формира се дубокоморски ров (тренч) и на том подручју долази до деструкције океанске коре, која тоне назад у мантл. Такође, долази до формирања вулканског фронта на подручју од неколико стотина километара ка унутрашњости континента. На ободу континента генеришу се плитки земљотреси, који идући ка његовој унутрашњости постају све дубљи.



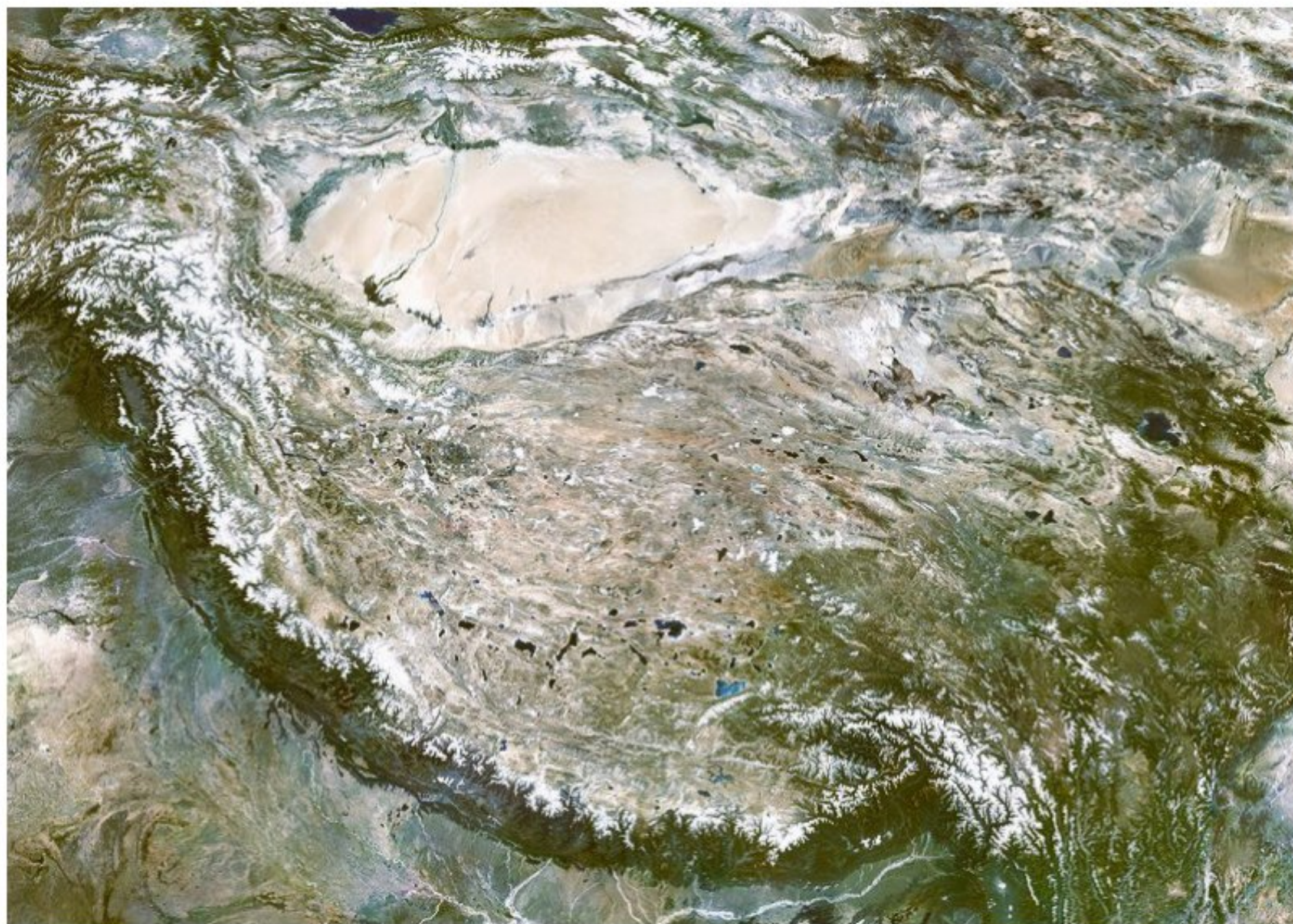
Слика 7.7 Конвергентне границе плоча: субдукционе зоне (модификовано према Moores & Twiss, 1995).

Подручја сучељавања две плоче са океанском кором су зоне интраокеанске субдукције. За ове просторе карактеристично је формирање система магматских лукова (Слика 7.8). Овде такође настаје дубокоморски ров испод којег долази до деструкције океанске коре. Формира се магматски лук, у виду низа вулканских острва, и изалучни басен између острвског лука и континента. У овим зонама се, такође, генеришу разорни земљотреси. Примери за подручја интраокеанске субдукције су јапанска острва, Алеутска острва, Источни Кариби.



Слика 7.8 Вулкани на Алеутским острвима (фото: John Lyons/USGS).

На местима где се сучељавају две плоче са континенталном кором настају зоне колизије. За ова подручја карактеристично је формирање такозваних наборно-навлачних појасева, односно настанак пространих планинских венаца. На местима колизије долази до значајног задебљања континенталне коре и честе су појаве разорних земљотреса. Типичан пример су Хималаји, који су настали као резултат колизије Индијске и Евроазијске плоче (Слика 7.9).



Слика 7.9 Хималаји – сателитски снимак
(фото: PLANETOBSERVER / SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Трансформне границе плоча заправо представљају транскурентне раседе регионалног значаја, дуж којих плоче клизе једна уз другу (Слика 7.10). Дуж оваквих граница нема вулканске активности, а чести су разорни земљотреси.

На глобалној скали постоји равнотежа у одвијању геодинамичких процеса. Свако нарушавање равнотеже у једном делу планете, компензује се на неком другом месту како би се читав систем вратио у баланс. Рифтови унутар континента могу представљати зачетке нових океана, односно ембрионе нових средњеокеанских гребена. Формирање нове океанске коре на подручју средњеокеанских гребена, компензује се њеном деструкцијом у субдукционим зонама. Након што се у омотачу конзумира сва субдукована океанска кора, долази до сучељавања два континентална ентитета, односно до колизије. Стога колизија може да се дефинише и као финална фаза субдукције.



Слика 7.10 Трансформне границе плоча: Сан Андреас, десни транскурентни расед који раздваја Северноамеричку и Пацифичку плочу (модификовано према *Moores & Twiss, 1995*).

Постоји директна веза између тектонских процеса и појава и феномена везаних за сеизмизам и магматизам. Током 20. века започело се са прецизним инструменталним лоцирањем и систематичним праћењем сеизмичке активности. Тада је уочено да се већина земљотреса концентрише дуж дубокоморских ровова и средњеокеанских гребена. Паралелно тим структурама дефинисане су, до дубина од неколико стотина километара, сеизмички активне зоне, које су назване Вадати-Бениоф зоне. Од преко 500 активних вулкана на Земљи данас, више од половине је лоцирано у такозваном „Ватреном појасу Пацифика”. Њихов распоред поклапа се са ободом Тихог океана. Овај појас се протеже од Камчатке, преко Јапана, Филипина, Нове Гвинеје, до Новог Зеланда, а затим преко Огњене Земље, Патагоније, Анда и Кордиљера, ка Аљасци и Алеутским острвима. Треба поменути и Медитеранску вулканску област са познатим вулканима: Везув, Етна, Стромболи, Вулкано, Панталерија, Санторини, Елбрус, Казбек, Арарат, Демавенд.

7.1.2 ТЕКТОГЕНЕ ЕПОХЕ

За тектонске процесе и за њих везане литосферне деформације је карактеристично то да су дуготрајни и да се одвијају у више фаза. Трајање тектонских процеса је, стога, дефинисано помоћу тектогених епоха. Тектогене епохе, заправо, дефинишу трајање одређених тектонских фаза и раздвојене су према периодима током којих је дошло до формирања одређених орогених појасева, односно планинских венаца. Најстарија, бајкалска тектогена епоха одиграла се током протерозоика и камбријума. Каледонска тектогена епоха се везује за старији палеозоик, а херцинска (варисцијска) тектогена епоха за млађи палеозоик. Најмлађа, алпска тектогена епоха одиграла се током мезозоика и кенозоика.

7.1.3 ТЕКТОНСКА ГРАЂА СРБИЈЕ

У геотектонском погледу простор Србије представља зону контакта сегмената Адријске и Европске тектонске плоче (Слика 7.11). Током мезозоика Адријска плоча се подвлачила под Европску, да би на прелазу из мезозоика у кенозоик субдукција прешла у колизију две плоче (Слика 7.12).

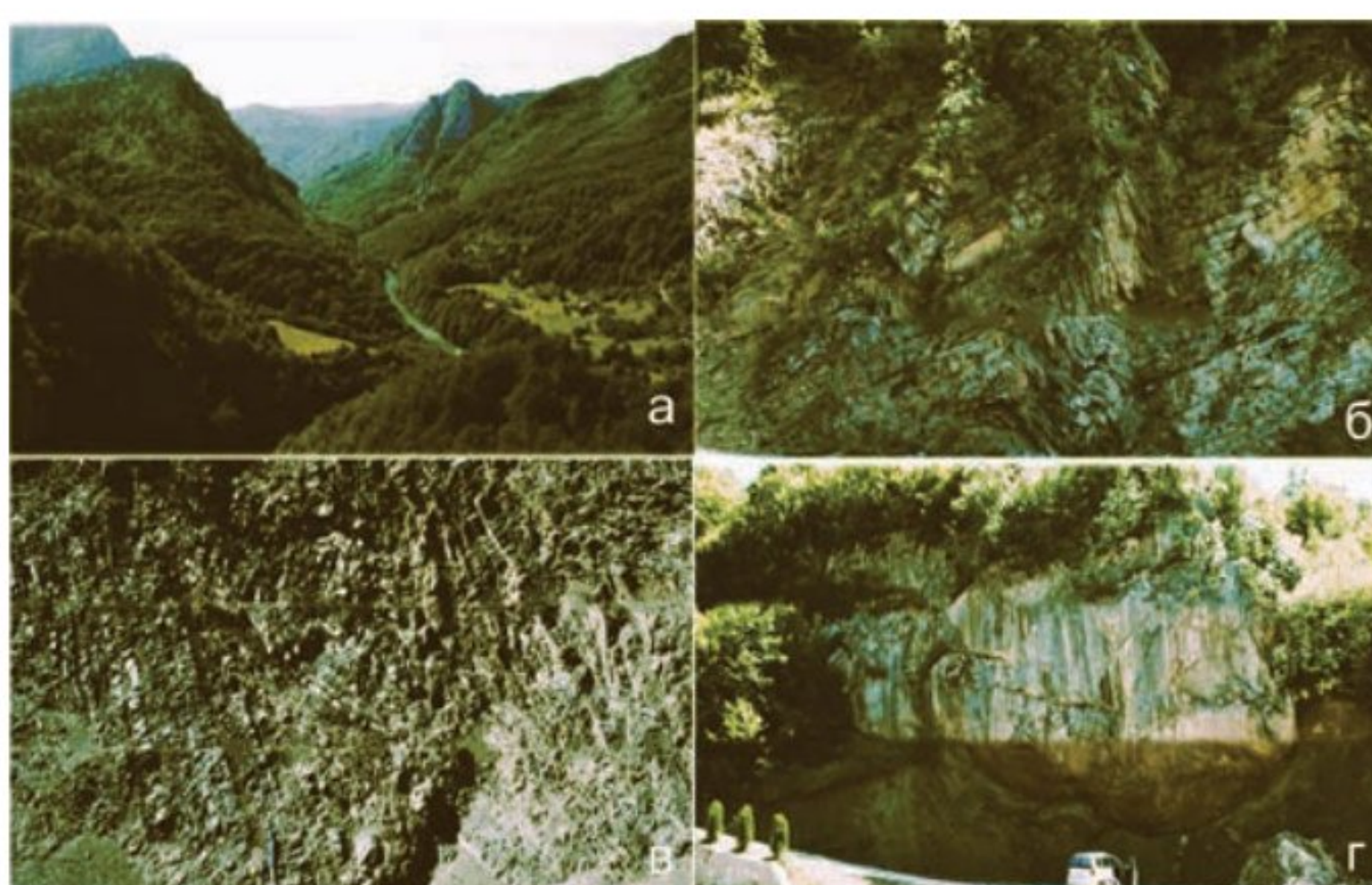


Слика 7.11 Дигитални модел рељефа ЈИ Европе са најважнијим тектонским јединицама.

Деформационим процесима током субдукције и колизије на Адријској плочи формиран су Динариди, а на Европској плочи Карпато-балканиди. Динариди су регионални наборно-навлачни планински појас, код којег су тектонске структуре доминантно оријентисане ка југозападу (Слика 7.13).



Слика 7.12 Концептуална скица кредне субдукције Адријске плоче под Европску плочу.



Слика 7.13 Динариди: а) клисура реке Таре (фото: Л. Матенко), б) набори у флишним седиментима на северу Црне Горе (фото: Л. Матенко), в) убрани рожнаци у југозападној Србији (фото: Л. Матенко), г) блок кречњака у офиолитском меланжу у југозападној Србији (фото: Л. Матенко).



Слика 7.14 Карпато-балканиди: а) Ђердапска клисура (фото: Л. Матенко), б) убрани кречњаци на подручју Ђердапске клисура (фото: Л. Матенко), в) изоклини набори у кречњацима на подручју Ђердапске клисура (фото: М. Малеш).

Карпато-балканиди су регионални наборно-навлачни планински појас, настао деформационим процесима на делу Европске плоче познатом као Дакија, код којег су тектонске структуре доминантно оријентисане ка истоку (Слика 7.14). На територији Србије, осим Карпато-балканида налази се и део недеформисане Европске плоче у оквиру такозване Мезијске платформе.

Сама зона колизије две тектонске плоче се назива Сава Зона (Слика 7.15). Формирана је на прелазу из мезозоику у кенозоик (граница креде и палеогена) и препознатљива је по тектонски веома деформисаним турбидитима, који потичу из дубокоморског рова, а данас чине значајан део очуваних кредних седимената у Шумадији. Након колизије Адријске и Европске плоче, током кенозоика долази до промене регионалног тектонског режима, па се повлачењем претходно субдукујућих плоча током неогена отвара простор за формирање Панонског басена у залеђу планинских венаца Карпато-балканида и Динарида.



Слика 7.15 Сава Зона: а) навлака у кредним турбидитима на подручју Љига (фото Н. Крстеканић), б) детаљ са навлачне зоне у кредним турбидитима на подручју Љига (фото Н. Крстеканић), в) преврнути набор у кредним турбидитима на подручју Љига (фото Н. Крстеканић).

7.2 СЕИЗМИЗАМ

Сеизмизам подразумева скуп свих појава везаних за земљотресе. Земљотрес је свако померање тла које је изазвано ослобађањем енергије у литосфери. Научна дисциплина која проучава земљотресе се назива сеиз-

мологија, док сеизмотектоника представља научну дисциплину која проучава тектонске процесе који доводе до појаве земљотреса. Микросеизмичке појаве су оне појаве које се могу регистровати само помоћу инструмената. Макросеизмичке појаве човек региструје својим чулима, док мегасеизмичке појаве доводе до разарања објеката и драстичних деформација у литосфери.

Земљотреси могу настати природним и вештачким путем. Међу природним земљотресима најчешћи и најјачи су тектонски земљотреси. Ови земљотреси настају услед дејства тектонских процеса, који доводе до акумулације напона у стенама. Стене се, затим, под тим напоном повијају и ломе, па се такво механичко кретање затим претвара у сеизмичку енергију, која се преноси сеизмичким таласима. Подручја на Земљи где су земљотреси честа појава називају се сеизмичке или турсне области. Највећи део њих се налази у граничним областима литосферних плоча, као што су Циркум-пацифичка област, област Атлантског океана и Алпско-хималајски појас. Другу групу природних земљотреса чине вулкански земљотреси, који су условљени вулканском активношћу. Они обично претходе ерупцијама вулкана. Могу да буду знатне јачине, али су редовно малог распрострањења. Међу природне земљотресе убрајају се и урвински земљотреси. Они настају урушавањем таваница пећина и најчешћи су у кречњачким пределима. Незнатне су јачине и захватају мала пространства. Вештачки земљотреси настају услед људске делатности и могу бити намерно индуковани за потребе истраживања, или да настану као последица подземне експлоатације или нуклеарних проба.

Основни елементи земљотреса су: жариште, хипоцентар (фокус) и епицентар (Слика 7.16). Жариште је место раседања које иницира земљотрес. Сам центар жаришта земљотреса, односно место на коме се генеришу сеизмички таласи се назива хипоцентар или фокус. Епицентар је област на површини где се потрес најјаче осећа. Земљотреси се на површини манифестују као померања тла, што је последица дејства сеизмичких таласа. П-таласи су лонгитудинални (уздужни) таласи, који представљају вибрације честица стенске масе у правцу кретања таласа. Они пролазе кроз све средине, при чему им се брзина мења у зависности од густине материјала. С-таласи су трансферзални (попречни) таласи који пролазе само кроз чврсте средине и представљају вибрације стенске масе нормално на правац кретања таласа. На основу промена брзина П и С таласа са дубином дефинисано је постојање дисконтинуитета у унутрашњости Земље, односно непобитно утврђена њена зонарна грађа. Када продру у приповршинске нивое, П и С таласи трансформишу се у површинске Л и Р таласе. Л-таласи су вибрације

у хоризонталној равни, паралелно са површином Земље, а управно на кретање таласа. Р-таласи представљају кружне осцилације честица, навише и наниже.



Слика 7.16 Елементи земљотреса
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

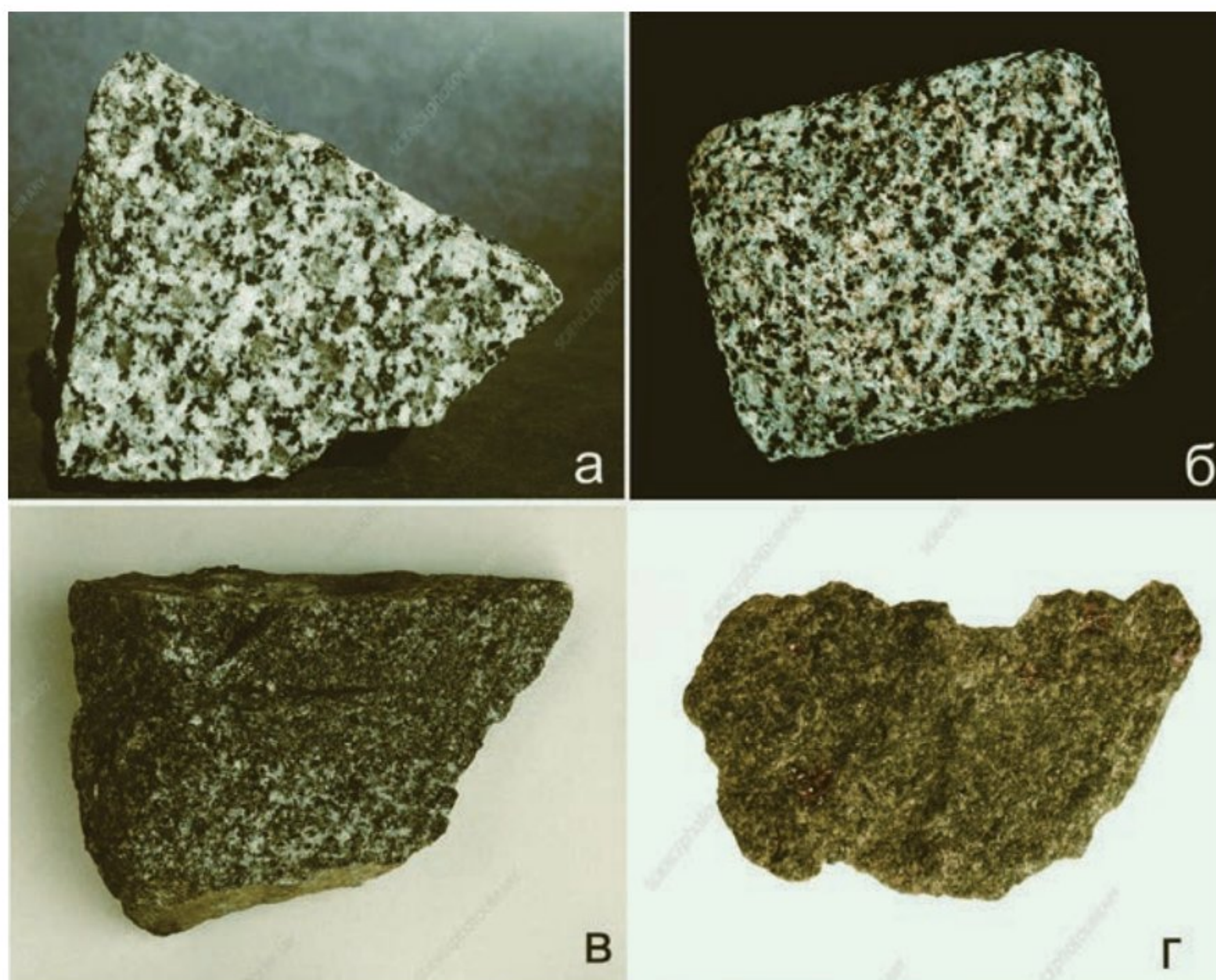
Инструментално регистровање земљотреса врши се помоћу сеизмографа, акцелерографа и сеизмоскопа. За дефинисање јачине земљотреса користе се величине магнитуда и интензитет. Магнитуда (M) представља релативну меру количине ослобођене енергије у хипоцентру. Магнитуда не зависи од дубине хипоцентра, односно жаришта земљотреса. Рихтерова магнитудна скала конструисана је ради математичког дефинисања магнитуде као енергетске мере догођеног земљотреса. Интензитет (I) земљотреса је степен површинских ефеката земљотреса на грађевинским објектима, тлу, или људима. Постоје различите скале интензитета (Меркалијева, Медведевљева, Европска макросеизмичка), које су описне и текстуално изражавају ефекте земљотреса на површини. За разлику од магнитуде, интензитет земљотреса на површини значајно зависи од дубине жаришта земљотреса, али и од растојања тачке посматрања од епицентра.

Појаве земљотреса на одређеном простору доводе до осцилација геомагнетног и гравитационог поља, као и до промене електричног потенцијала. Земљотреси могу довести до настанка или нестанка различитих облика рељефа, као и до његових деформација, настанка пукотина, клизања и течења тла. Треба поменути и појаве ватре, као и светлосне и звучне појаве

које прате земљотресе. Бронтиди су тутњаве до којих долази услед трења блокова у литосфери и вибрације тла.

Сеизмичка рејонизација подразумева детаљно утврђивање сеизмичких карактеристика одређеног подручја, које се приказују на одговарајућим картама. Сеизмички хазард дефинише вероватноћу појављивања земљотреса на одређеном подручју. За краткорочне прогнозе користе се сеизмички инструменти. Дугорочне прогнозе формирају се на основу карактера трусних области, величина магнитуда и максималних догођених интензитета, као и циклуса понављања земљотреса.

7.3 МАГМАТИЗАМ



Слика 7.17 Врсте магматских стена: а) гранит (фото: JOYCE PHOTOGRAPHICS/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) диорит (фото: DIRK WIERSMA/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) габро (фото: DK IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY), г) перидотит (фото: MICHAEL SZOENYI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Магматизам подразумева скуп ендодинамичких процеса везаних за настанак магме и њено кретање из Земљине унутрашњости кроз литосферу ка површини. Магма представља растоп доминантно састављен од силиката и алумосиликата, уз велике количине водене паре и гасова. Лава представља магму која је изливена на површину Земље. Магматска диференцијација

је процес кроз који настају различите магматске стене. Диференцијација може бити ликвациона, која подразумева разлагање течне магме, и кристалациона, која подразумева одељивање чврстих фаза. Подела магматских стена извршена је на основу садржаја силиције (SiO_2) у њима (Слика 7.17). Киселе магматске стене, какав је гранит, садрже више од 64% силиције. Интермедијарне магматске стене, као што је диорит, садрже између 53% и 64% силиције. Базичне магматске стене, као што је габро, садрже између 44% и 53% силиције. Ултрабазичне магматске стене, какав је перидотит, садрже мање од 44% силиције.

Плутонизам, односно интрузивни магматизам, подразумева задржавање магме на различитим нивоима у Земљиној кори, при чему се она хлади, консолидује и формира различита интрузивна магматска тела (плутоне). Према облику међу плутонима се разликују: батолити, некови, силови, хонолити, дајкови, апофизе, штокови, лаколити, факолити, лополити, бисмалити, етмолити (слика 7.18).



Слика 7.18 Врсте плутонских тела: а) батолит у планинама Сијера Неваде у Калифорнији (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) дајк на Венчацу у Шумадији (фото: У. Стојадиновић).

Вулканизам, односно ефузивни магматизам, представља изливање магме на површину Земље и обухвата читав низ појава везаних за вулкани. Вулкани су места на површини Земље из којих се излива, односно избацује вулкански материјал. Научна дисциплина која проучава све феномене у вези са настанком и активностима вулкана назива се вулканологија. Сви производи вулкана могу се сврстати у три категорије: лава, пирокластични материјал и гасови и паре. Лава је хомогени, течни силикатни растоп, температуре између 900°C и 1200°C . Настаје изливањем магме на површину Земље, која се хлади и том приликом долази до лучења магматских тела различитог облика (плочаста, стубаста, призматична, полиедарска, кугласта). Јастучасте

лаве, на пример, настају услед наглог хлађења магме у воденој средини (слика 7.19).



Слика 7.19 Јастучасте лаве на Хавајским острвима (фото: OAR/NATIONAL UNDERSEA RESEARCH PROGRAM/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

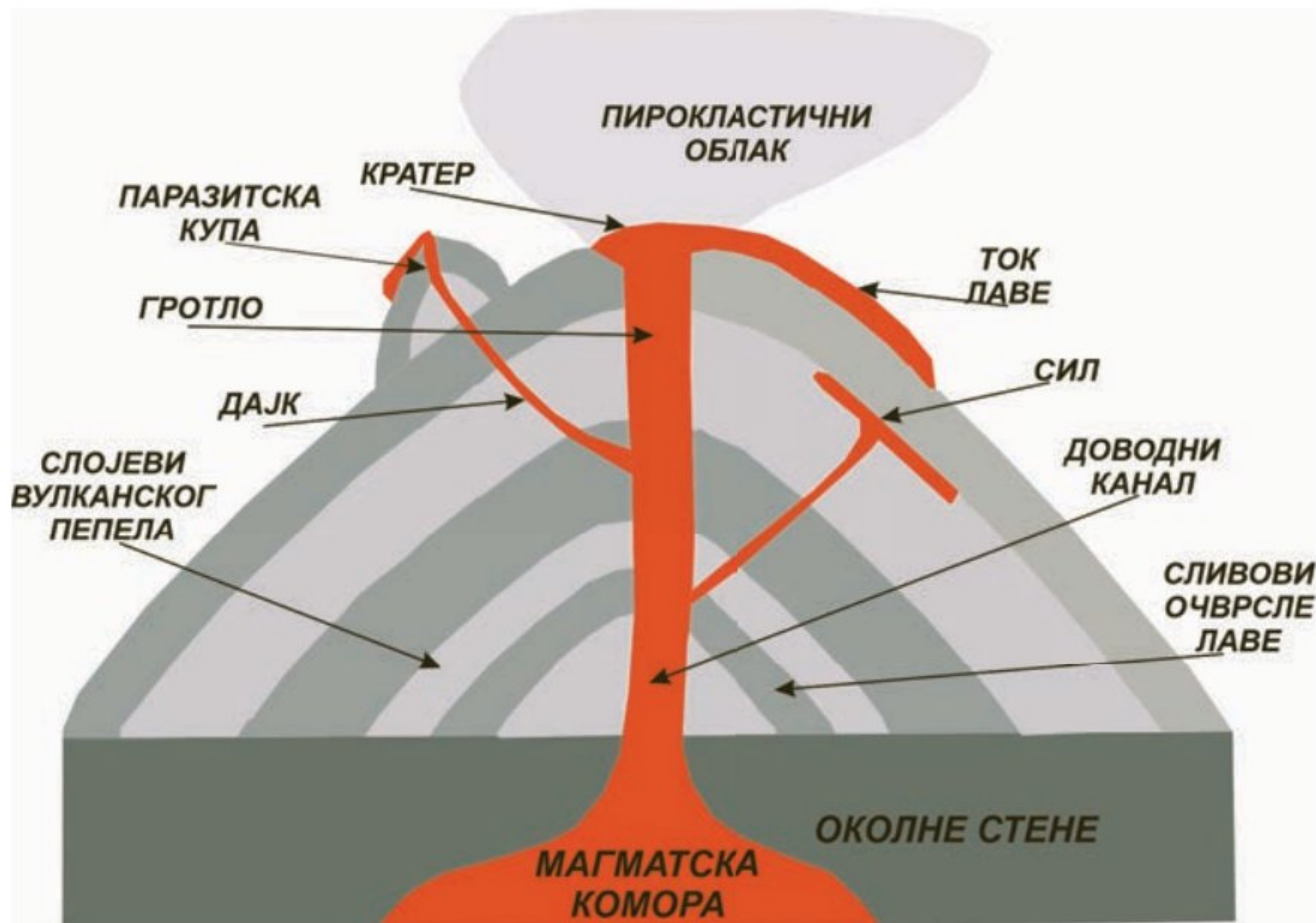


Слика 7.20 Пирокластични ток на планини Синабург у Индонезији (фото: MARTIN RIETZE/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Пирокластични материјал чине чврсте честице и одломци избачени радом вулкана, који се даље транспортују ваздушним и воденим путем, а затим таложе (Слика 7.20). Сви пирокластични са величином зрна испод 4 mm могу се поделити на: вулкански песак, пепео и прашину. Лапили предста-

вљају одломке вулканског материјала између 4 mm и 32 mm, а одломци већи од 32 mm представљају вулканске бомбе и вулканске блокове. Везивањем и очвршћавањем пирокластичног материјала настају везане, чврсте стене, такозвани вулканокластити. Међу вулканокластичним стенама разликују се вулкански агломерати, вулканске брече, туфови, ингимбрити, пловућац.

Према активности вулкани могу бити активни, привремено угашени и угашени. Према саставу магме они могу бити моногени и полигени. Према средини појављивања вулкани могу бити: копнени, који се везују за зоне континенталних рифтова; приобалски, који се везују за субдукционе зоне; и подморски, који могу бити везани за средњеокеанске гребене или за вруће тачке. Вруће тачке представљају фиксирани изворе топлоте у мантлу, који у астеносферу износе врео материјал који се шири и доводи до померања тектонских плоча. Према морфологији кратера разликују се вулкани централног типа и вулкани пукотинског типа (Слика 7.21). Према карактеру ерупције издвајају се вулкани изливног типа (хавајски) и вулкани експлозивног типа (стромболски, везувски, пелејски, кракатајски).



Слика 7.21 Скица вулкана централног типа
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Поствулканске појаве наступају након слабљења рада вулкана, када је још увек очувана извесна активност у магматском огњишту. Солфатаре, фумароле и мофете представљају ескалације прегрејане водене паре и вул-

канских гасова. Гејзири представљају периодичне природне изворе вреле воде. Блатни вулкани, који су чести у нафтним областима, су мале куполас-те форме настале услед избацивања блатног материјала на површину.

Међу вулканским областима у свету најзначајније су: Тихоокеанска вулканска област или Ватрени појас Пацифика, Медитеранска вулканска област и Источноафричка вулканска област. На подручју Србије издвајају се: Тимочки магматски комплекс, Рудничко-копаоничко-косовска вулканска област, Јужноморавска вулканска област и Раданско-топличка вулканска област.

7.4 МЕТАМОРФИЗАМ

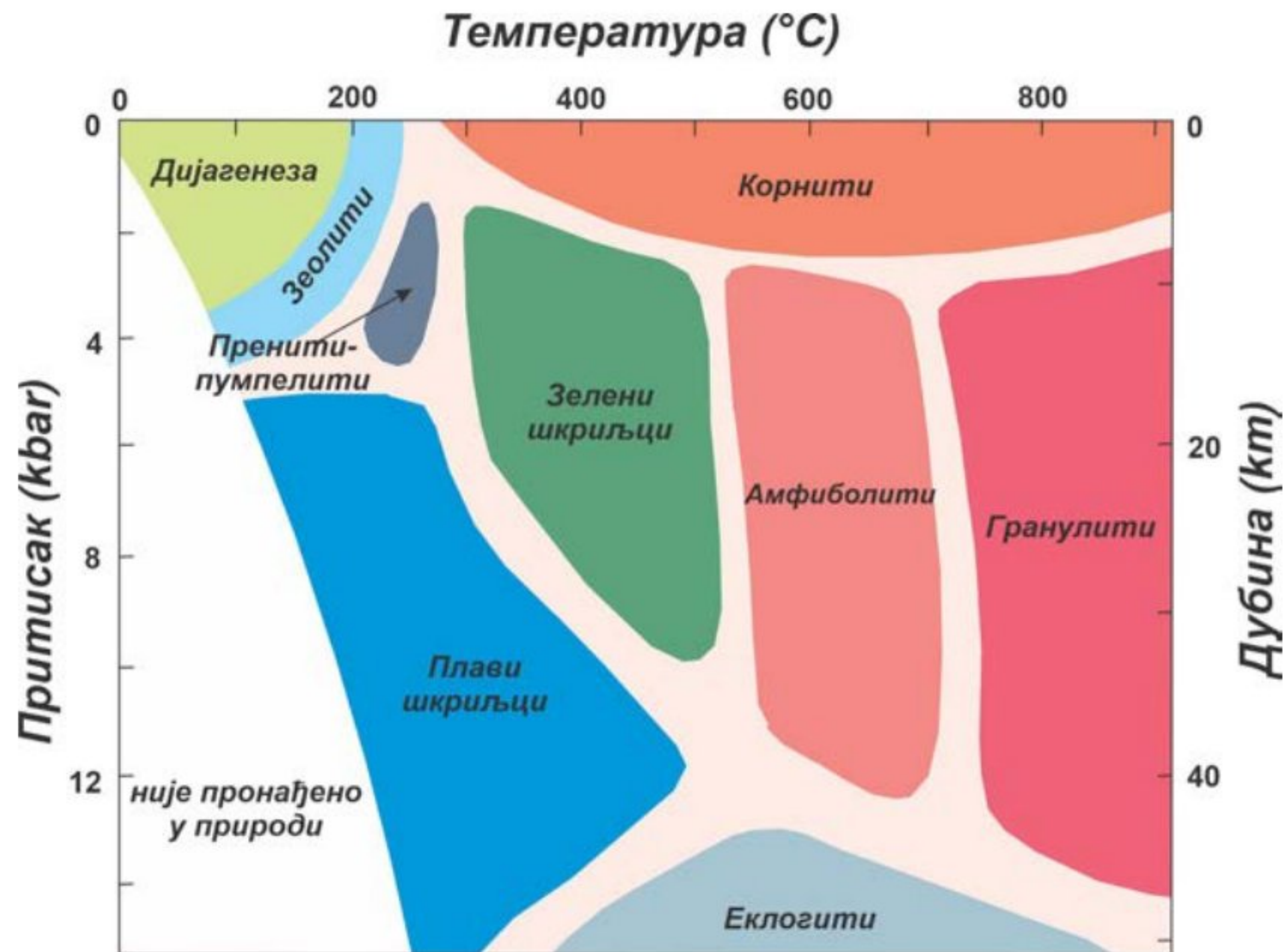
Метаморфизам подразумева промене у стенама до којих долази услед измењених физичких и хемијских услова у срединама где се те стене налазе. Промена физичко-хемијских услова може да доведе до настанка нових асоцијација минерала, односно до настанка нових, метаморфних стена (метаморфита). Основни фактори који дефинишу степен метаморфних промена у стенама су: притисак, температура, циркулација хемијски активних флуида и геолошко време. Ортометаморфне стене настају метаморфним променама магматских стена, док параметаморфне стене настају метаморфним изменама седиментних стена.

Регионални метаморфизам представља тип метаморфизма који је везан за тектонске покрете широког захвата, који доводе до тоњења стена, при чему оне доспевају у подручја повећаних притисака и температура. Метаморфне стене које настају у сличним условима притисака и температура се групишу у метаморфне фације. Важније фације метаморфних стена су: фација зелених шкриљаца, амфиболитска фација, гранулитска фација, фација плавих шкриљаца и еклогитска фација (Слика 7.22). Такође, постоје и такозвани индексни минерали (хлорит, биотит, алмандин, стауролит, дистен, силиманит) који настају у одређеним условима притисака и температура, па њихово присуство у стенама може да буде добар индикатор поменутих услова.

Катакластични метаморфизам такође настаје као пратилац тектонских покрета, али услед стреса који на стене делује у плићим нивоима литосфере. Према интензитету овог процеса, од нижег ка вишем, издвајају се: тектонске брече, катаклазити, милонити и филонити.

Контактни метаморфизам подразумева промене на стенама до којих долази услед утискивања магме. Може бити ендоконтактни, када се промене

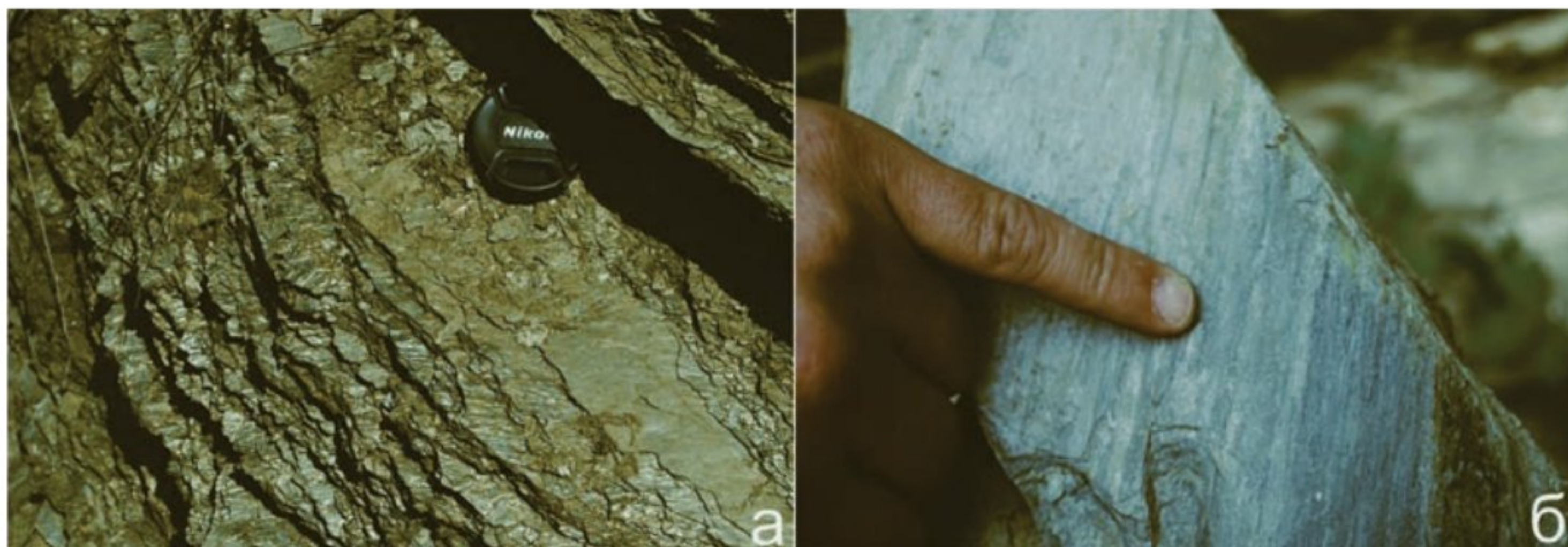
дешавају у самом интрузивном телу, или егзоконтактни код којег метаморфне промене захватају околне стене. Степен метаморфних промена зависи од температуре и састава магме, као и од врсти интрузија и околних стена у које се оне утискују. Најзначајнији представници контактних метаморфита су скарнови, корнити и мермери. Аутометаморфизам је везан за финалне фазе формирања магматских интрузија, под утицајем лакоиспарљивих састојака, као што су вода и угљен-диоксид.



Слика 7.22 Метаморфне фације
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Ултраметаморфизам подразумева највиши степен метаморфних промена минерала и стена, до којег долази у условима изузетно високих притисака и температура. Подразумева или потпуно стапање чврстих стенских маса, или њихово делимично стапање када настају стене под називом мигматити. Петролошки 'склоп' метаморфних стена подразумева одлике метаморфита које указују на услове и степен промена у којима су они настали, а дефинисане су кроз њихову структуру и текстуру. Петролошка структура метаморфита је дефинисана обликом и величином минералних зрна у њима. Она може бити: бластична, која настаје растом минерала током процеса метаморфизма; реликтна која садржи елементе структуре примарних стена; и сингенетска, која не садржи елементе структуре примарних стена. Петролошка текстура метаморфита је дефинисана просторним распоредом минералних зрна у њима. Фолијација подразумева оријентацију минерала у

једној равни (Слика 7.23а). Линеација подразумева оријентацију минерала дуж једног правца (Слика 7.23б). Шкриљавост одражава одлику метаморфита да се лако цепају дуж узајамно паралелних површи.



Слика 7.23 Петролошка текстура метаморфита: а) фолијација (фото: У. Стојадиновић), б) линеација (фото: У. Стојадиновић).

Питања и задаци:

1. Дефинисајте основне типове геолошких процеса.
2. Класификовајте границе литосферних плоча према њиховим главним типовима.
3. Набројајте најважније тектоничке епохе.
4. Дефинисајте све јединице које учествују у тектонској праћи Србије.
5. Наведите најбитније геолошке доказе који иду у прилоу активној субдукцији Адријске иод Евројску плочу током креде на данашњем географском простору Србије.
6. Дефинисајте типове сеизмичких зонала.
7. Шта је мајнитуда, а шта интензитет земљотреса?
8. Класификовајте мајмајске стене према садржају силиције.
9. Класификовајте вулкане према свим познатим критеријумима поделе.
10. Дефинисајте најбитније факторе и типове метаморфизма.
11. Дефинисајте петролошки склоу метаморфних стена.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

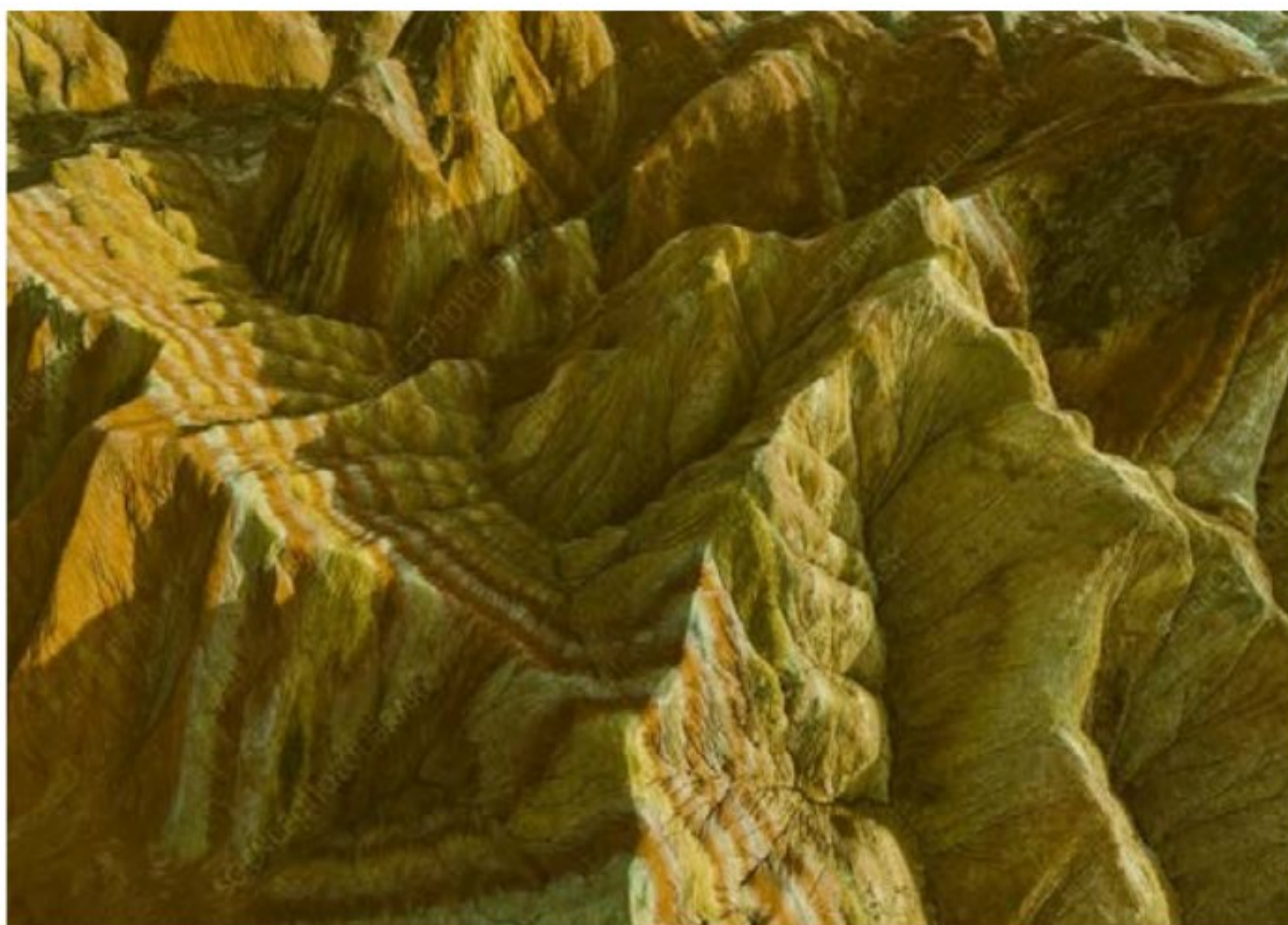
- Butcher, K. & Frey M. 2013. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 319 pp.
- Gill, R. 2010. *Igneous Rocks and Processes. A Practical Guide*. Wiley-Blackwell, 428 pp.
- Stein, S. & Wysession, M. 2009. *An Introduction to Seismology, Earthquakes and Earth Structure*. Blackwell Publishing, 512 pp.

Симојадиновић, У. & Крсћеканић, Н. 2019. Практикум из Неотектонике. Рударско-геолошки факултет Универзитета у Београду, 73 с.

Moore, E.M. & Twiss, R.J. 1995. *Tectonics*. New York: H.W. Freeman and Company, 429 pp.

8 | ЕГЗОДИНАМИЧКИ ПРОЦЕСИ

Како је већ раније поменуто, ендодинамички процеси настају и одвијају се услед интеракције литосфере са дубљим сферама у Земљиној унутрашњости. Са друге стране, егзодинамички процеси настају услед интеракције литосфере са спољашњим, површинским сферама Земље, односно хидросфером, атмосфером и биосфером. Дејством спољашњих сила долази до промена у морфологији површине Земље, односно до промена у рељефу. Стога се може рећи да процеси који потичу из унутрашњих и спољашњих сфера имају опречно дејство. Док ендодинамички процеси доводе до стварања рељефа, егзодинамички процеси га обликују и разарају. Постоје, међутим, облици рељефа чији су настанак и еволуција у потпуности контролисани одређеним ендодинамичким процесима. Тектонски процеси могу да доведу до настанка такозваног тектогеног рељефа. Структурни рељеф је онај рељеф код којег је површина терена паралелна структурној површини (Слика 8.1). Уколико су слојеви који тај рељеф изграђују хоризонтални, та структурна површ се назива плато. Меса је изоловани брег са заравњеним врхом, који је ограничен стрмим странама и представља заостали облик некадашњег платоа. Структурна тераса или моноклинала представља заравњени терен, који се завршава стрмим одсеком. На заравњеном делу слојеви су хоризонтални, док на одсеку имају стрме падове. Квеста је изразито асиметричан брег, са једном благом, а другом врло стрмом падином. Блага падина је формирана по површини слојевитости, а стрма управно на њу. Са друге стране, код инверзног рељефа површина терена оријентисана је супротно структурној површи.



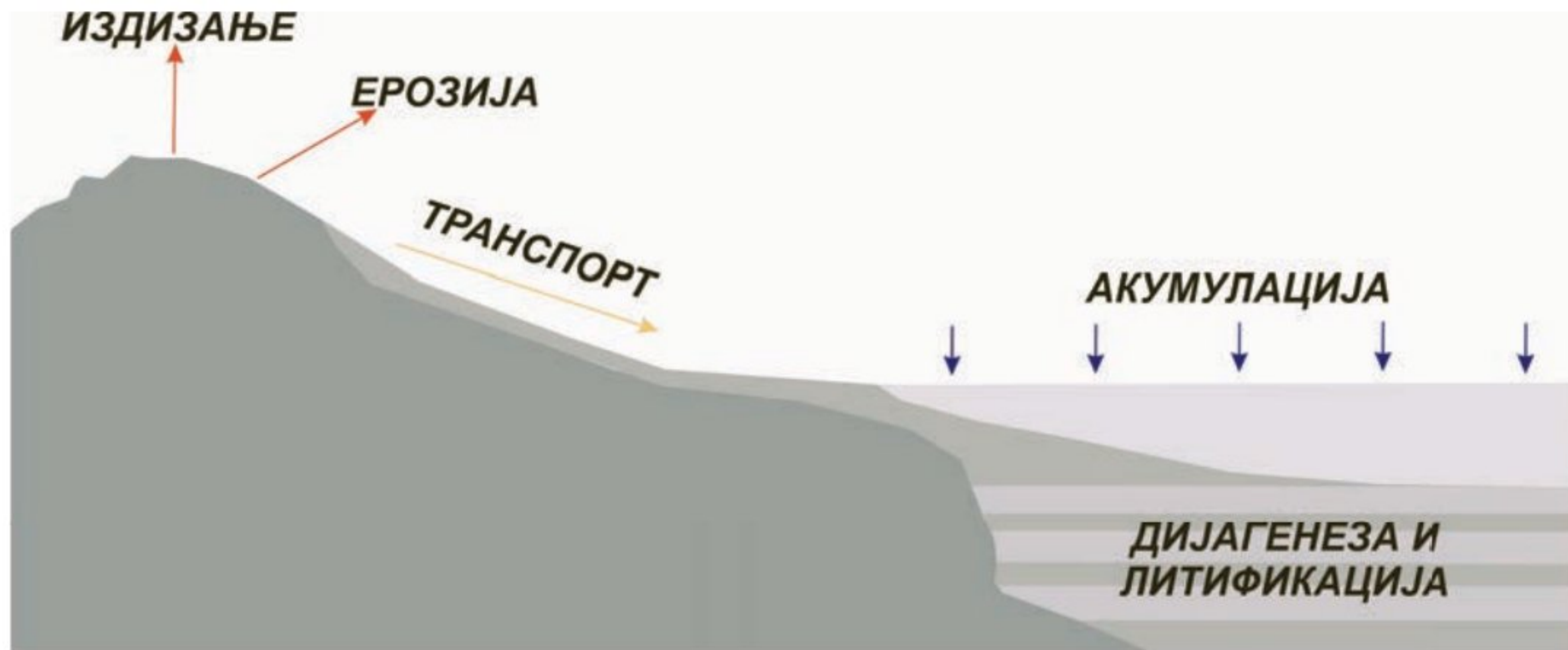
Слика 8.1 Структурни рељеф у провинцији Гансу у Кини (фото: AIRPANO/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Магматски процеси могу да доведу до настанка такозваног вулканогеног рељефа. Калдера је велика вулканска депресија, која настаје колапсом вулканске купе након пражњења магматског огњишта. Вулканска купа настаје изливањем лаве која се смењује са наслагама пирокластичног материјала. Вулкански нек је гротло вулкана испуњено очврслом лавом, који заостаје као оштар врх у рељефу, након што је вулканска купа уништена ерозијом (Слика 8.2а). Постоје и лавични језици, који настају гравитационим кретањем сливова лаве (Слика 8.2б).



Слика 8.2 Вулканогени рељеф: а) вулкански нек у Вајомингу (фото: DAVID SCHLESER/NATURE'S IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) слив лаве на Исланду (фото: PETR JAN/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

8.1 ГЕОМОРФОЛОШКИ ФАКТОРИ И ФАЗЕ ЕГЗОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА



Слика 8.3 Фазе егзодинамичких процеса
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Геолошка дисциплина која се бави проучавањем рељефа се назива геоморфологија. Она заправо проучава дејство сила које врше промену стенских маса одређених карактеристика током извесног времена. Сила (агенс), стенска маса (пацијенс) и време, представљају три основна геоморфолошка фактора. Сви егзодинамички процеси који настају дејством сила из природе обухватају три фазе: ерозију, транспорт и акумулацију (Слика 8.3). Ерозија подразумева разарање постојећих облика рељефа. До разарања стена може доћи механички или путем њиховог хемијског растварања. Уколико се ради о механичкој ерозији, њен интензитет зависиће пре свега од кинетичке енергије агенса, односно силе која врши разарање. Интензитет хемијске ерозије, са друге стране, зависи од растварачког дејства воде. На интензитет ерозије утичу и састав и склоп стена које су подвргнуте разарању, што дефинише такозвану еродибилност стена. Транспорт претходно разореног материјала се може обављати механичким путем или у виду раствора. Количина материјала који се транспортује зависи од интензитета ерозије и дужине деловања агенса. Крупноћа материјала који се транспортује и степен његове заобљености и сортираности зависе од: врсте агенса, кинетичке енергије агенса и дужине његовог дејства; трајања транспорта и дужине пређеног пута; као и врсте стена. До акумулације, односно одлагања материјала, долази услед пада кинетичке енергије агенса или засићења хемијског раствора. Карактеристике акумулираног материјала зависе од:

врсте и кинетичке енергије агенса, врсте стена, дужине пређеног пута и трајања транспорта.

8.2 СЕДИМЕНТАЦИЈА И СЕДИМЕНТНИ БАСЕНИ

Седиментни басени су регионалне депресије у литосфери у којима долази до таложења стенског материјала, односно седиментације и настанка седиментних стена. Процес седиментације се највећим делом одвија у басенима у морским и океанским просторима, који у данашње време прекривају преко 70 % површине Земље. Распоред копна и мора се значајно мењао током геолошке историје, услед чега је рељеф данашњих континенталних средина великим делом изграђен од седимената који су таложени у маринским условима. Процес надирања мора у копно се назива трансгресија, док се обрнут процес повлачења мора назива регресија. Некадашњим распоредом копна и мора бави се научна дисциплина под називом палеогеографија.

Седиментне стене се деле на: теригене, хемогене, вулканогене, биогене и полигене. Теригене стене настају од материјала који је доминантно транспортован са копна. Хемогене стене настају директним таложењем супстанци из воде. Вулканогене стене настају од продуката вулканских ерупција. Биогене стене настају таложењем органских остатака. Полигене стене настају комбинацијом различитих фактора. Постседиментационим процесима, какви су дијагенеза, катагенеза и метагенеза, претходно наталожени седименти се преводе у компактне стене. Дијагенеза или литификација представља превођење седимената у чврсту стену кроз процесе компакције (збијања одломака), цементације, растварања и рекристализације. Катагенеза обухвата све појаве прилагођавања минерала седиментних стена новим условима, који су другачији од оних у којима је стена настала. Метагенеза подразумева промене које се одигравају у дубљим нивоима литосфере у којима од седиментних настају метаморфне стене.

Најважније карактеристике седиментних стена су: структура, текстура, боја и фосилни садржај. Структура седиментних стена зависи од њиховог минералног састава и може бити: кластична, кристаласта и органогена. Текстура седиментних стена представља распоред минералних зрна у њима и она указује на услове седиментације. Боја седиментних стена превасходно зависи од њиховог минералног састава. Фосилни садржај указује на присуство остатака фауне и флоре у седиментним стенама. Седиментна фација је скуп особина одређене седиментне стене које указују на то да је настала у извесним физичко-географским условима. Генетске карактеристике се-

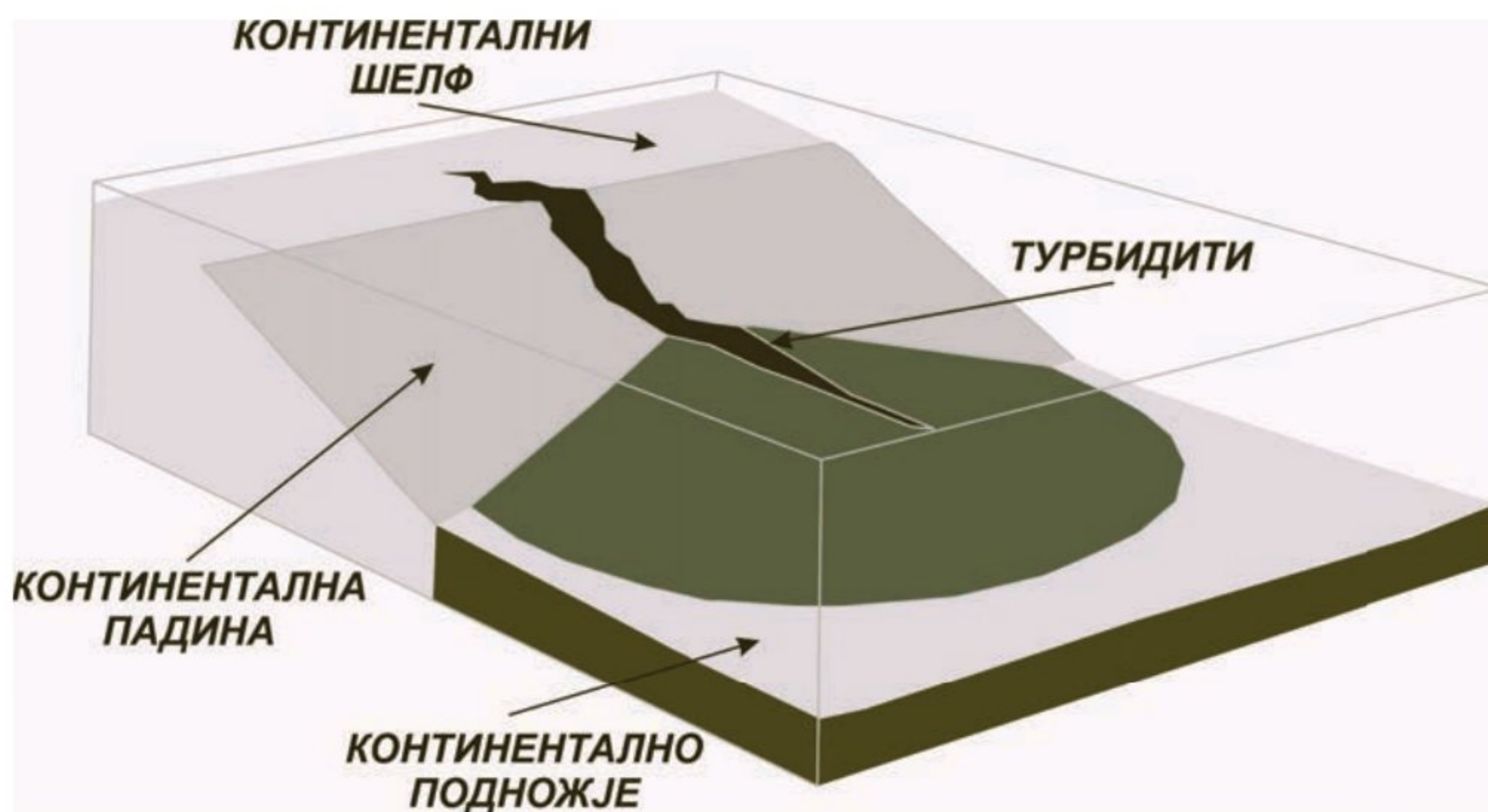
диментних стена, какве су састав или текстура, заправо су условљене физичко-географским условима средина у којима су настале.

До супсиденције, односно тоњења литосфере која доводи до настанка седиментних басена може доћи услед тектонских покрета који изазивају њене деформације, услед повећања литостатичких притисака до којих долази због повећаног приноса седимената или вулканског материјала, као и због различитих аномалија у мантлу. Басени се разликују по геометрији, димензијама и дужини егзистенције. Краткоживећи басени обично настају у активним тектонским окружењима, док су дугоживећи басени типични за подручја унутар тектонских плоча. Седиментни басени могу настати у: дивергентним зонама, зонама унутар тектонских плоча, конвергентним зонама, трансформним зонама, као и у осталим окружењима.

У дивергентним тектонским окружењима басени могу настати у доменама средњеокеанских гребена и континенталних рифтова. Басени у домену средњеокеанских гребена су краткоживећи басени, чију основу изграђује океанска кора. У зонама континенталних рифтова настају басени чију основу изграђује континентална кора. Седиментација у овим басенима је често асоцирана са вулканизмом. Наставком процеса рифтовања ови басени могу прерасти у зачетке нових средњеокеанских гребена, у којима настаје нова океанска кора.

У басене унутар тектонских плоча спадају: интракратонски и остали басени у домену континенталних платформи, као и басени у домену пасивних континенталних маргина. Интракратонски басени су велики басени унутар платформи који се, за разлику од осталих басена у домену континенталних платформи, налазе у повлати фосилних рифтова. Басени у домену континенталних платформи су обично огромних димензија и релативно плитки. Код пасивних континенталних маргина издвајају се: шелф, континентална падина и континентално подножје (Слика 8.4). Шелф представља подморско продужење континената, изражено као глобална граница до које допире светлост и на којој престаје дејство таласа. Од доње границе шелфа (између 200 и 400 метара), заправо почињу прави морски и океански простори. Ширина шелфа варира од неколико десетина, па и до хиљаду километара. Прегиб шелфа ка континенталној падини је морфолошки јасно изражена структура, која означава границу плитког мора према дубљим океанским просторима. Седиментацију на шелфу чине литорални и сублиторални седименти. Они настају у условима релативно плитког мора, где се комбинује велики број физичко-географских чинилаца. Подручје карактерише обилан принос теригеног материјала, док се хемогени и биогени седименти таложе у виду

спрудова и гребена. Континентална падина ограничава шелф према океану, спуштајући се до дубина између две и три хиљаде метара, уз просечан нагиб према отвореном мору између три и петнаест степени. У већини случајева она има разуђен рељеф, на чијим су површинама посебно маркантни подводни кањони, који се спуштају чак до континенталног подножја и представљају главне транспортне путеве за седименте из подручја шелфа. Седименти континенталне падине представљају батијалне седименте. Међу њима се разликују муљевити седименти, при чему варијације у њиховој боји указују на различит минерални састав. У нижим деловима континенталних падина таложе се турбидити. То су седименти настали подводним клижењима и мутним токовима. Континентално подножје, на прелазу између континенталне падине и великих океанских дубина, одликује слабо заталасан рељеф. Ширина овог појаса може износити више десетина и стотина километара, а његове дубине могу бити веће од три хиљаде метара. Седименти океанског дна су абисални седименти и карактерише их слаб принос теригених компоненти, услед чега их доминантно изграђују органогени талози.



Слика 8.4 Скица пасивне континенталне маргине (модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

У конвергентним тектонским окружењима, у оквиру субдукционих система, могу настати: изалучни басени, басени у домену магматских лукова, испредлучни басени, басени у домену континенталних падина, као и басени у дубокоморским рововима, односно тренчевима (Слика 8.5). Дубокоморски ровови (тренчеви) су издужени облици у рељефу океана, који су широки свега неколико километара, а дугачки више стотина километа-

ра. Дубине тренчева достижу између седам и једанаест километара, а након њих долазе подручја океанског дна (Слика 8.5). У зонама колизије карактеристични су такозвани “форланд” и “хинтерланд” басени. Форланд басени настају у фронталним, екстерним деловима наборно-навлачних појасева, док се хинтерланд басени формирају у њиховом залеђу.



Слика 8.5 Басени у оквиру субдукционих система
(модификовано према Moores & Twiss, 1995).

У трансформним тектонским зонама настају сложени, краткоживећи басени, који могу бити: транстензиони, транспресиони, као и трансротациони. У остале типове басена убрајају се: авлакогени, импактогени, флексурни, халокинетички и болидни басени. Авлакогени басени представљају реактивирани фосилни рифтове, док су импактогени новоформирани континентални рифтови. Флексурни басени настају због деформација у континенталној кори, које настају услед ефеката удаљене колизије. Халокинетички басени настају услед деформација у подручјима која изграђују наслагне соли. Болидни басени су депресије на површини Земље настале као последица удара метеорита.

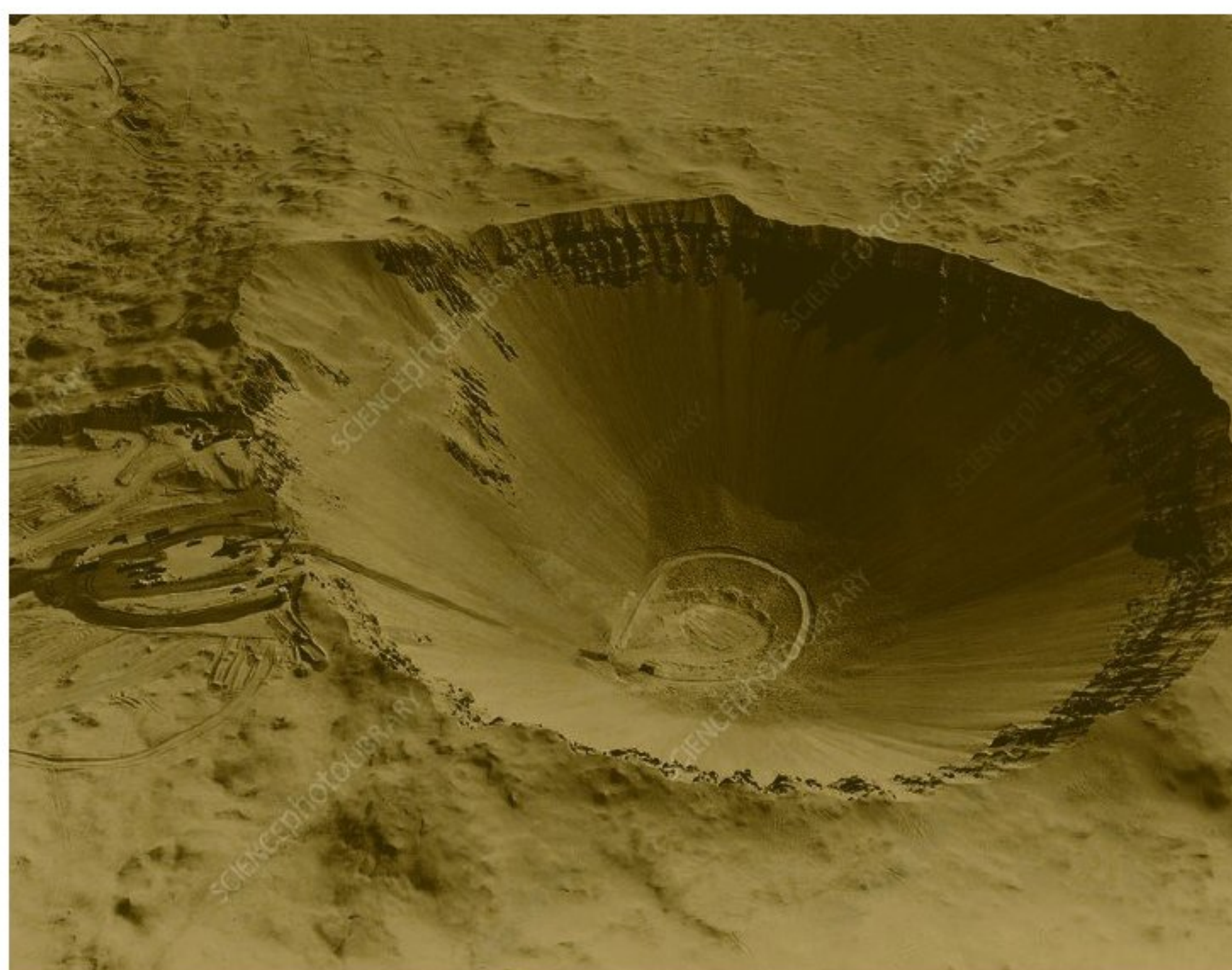
8.3 КЛАСИФИКАЦИЈА ЕГЗОДИНАМИЧКИХ ПРОЦЕСА

Основна класификација егзодинамичких процеса врши се на основу доминантне силе, односно агенса (Слика 8.6). У том контексту треба разликовати егзодинамичке процесе које изазива човек својим рационалним или ирационалним дејством (Слика 8.7), као и оне процесе који настају дејством сила из природе. Елувијални процес је процес физичко-хемијског распадања стена, до којег може доћи услед: температурних разлика, дејства атмосферске воде, дејства флоре и фауне, као и дејства човека. Елувијални процес је, заправо, припремни процес за друге егзодинамичке процесе. У групу егзодинамичких процеса који настају дејством сила из природе убрајају се: падински процеси, флувијални процес, крашки процес, марински процес,

еолски процес и глацијални процес (Слика 8.6). Услед дејства егзодинамичких процеса у рељефу настају различити геоморфолошки облици. Резидуални облици су остаци некадашњег рељефа, неизмењени егзодинамичким процесима који су у том периоду активни на неком простору. Ерозиони облици, какви су јаруга, цирк или вртача, настају непосредним дејством ерозије. Акумулациони облици, као што су плавинска лепеза, морена или спруд, настају одлагањем материјала. Код сложених, ерозионо-акумулационих облика, какви су речне долине или клизишта, не постоји доминантан механизам настанка.



Слика 8.6 Класификација егзодинамичких процеса према доминантним агенсима (модификовано према Марковић и др., 2003).



Слика 8.7 Антропогени рељеф – кратер Седан у Невади (фото: OMIKRON/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

8.4 ПАДИНСКИ ПРОЦЕСИ

Падински процеси представљају групу процеса који су настали услед дејства различитих сила, а за које је заједничко да се одвијају на падинама у рељефу. Падинским процесима се претходно распаднути елувијални материјал транспортује до дна долина, да би након тога даље био транспортован текућим водама. Најзначајнији падински процеси су: делувијални, пролувијални и колувијални процес. Делувијални процес је процес распадања и акумулације материјала који се назива делувијум на падинама у рељефу. Пролувијални процес настаје дејством повремених токова. Облици који се формирају дејством пролувијалног процеса су: јаруге, рђаве земље, земљане пирамиде, плавинске лепезе (Слика 8.8). Колувијални процес настаје услед дејства гравитације. То су процеси којима настају одрони, клизишта, пузишта, тецишта и сипари (Слика 8.9).



Слика 8.8 Земљане пирамиде у Ђавољој вароши
(фото: Н. Бродић).



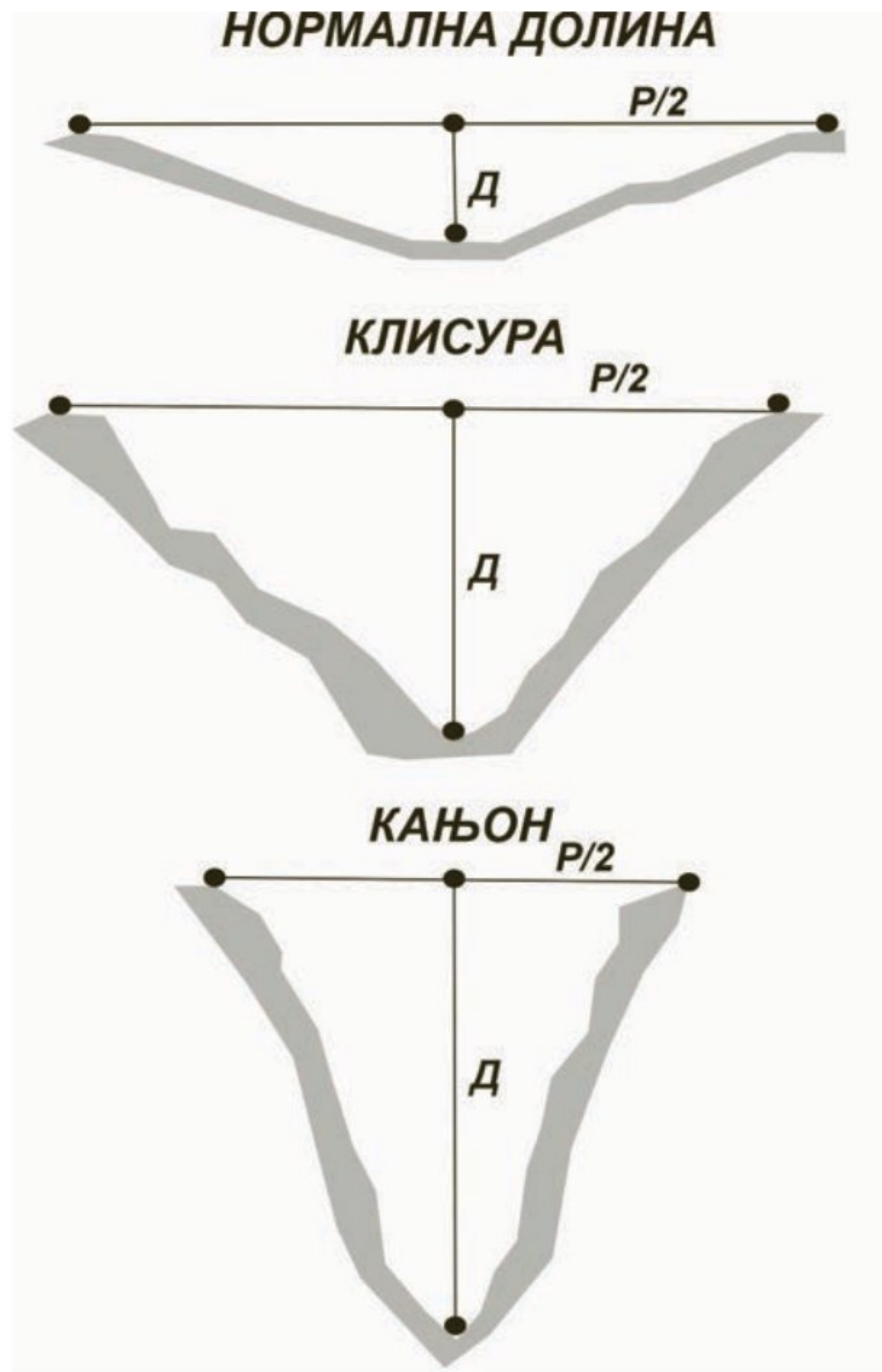
Слика 8.9 Клизиште на Новом Зеланду
(фото: SIMON FRASER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

8.5 ФЛУВИЈАЛНИ ПРОЦЕС

Флувијални процес је најраспрострањенији егзодинамички процес на копну, који настаје услед дејства сталних, линијских токова на нерастворљиве стенске масе. Одвија се на великом простору, на површини терена. Непрекидан је, дуготрајан и има изразито линеаран карактер. Агенс флувијалног процеса је кинетичка енергија сталних токова, која зависи од количине воде која се преноси токовима, као и од брзине токова. Ерозија се одвија механичким путем и може бити непосредна, уколико је изазвана самом водом, и посредна, уколико је врши водом покренути материјал. Транспорт материјала се обавља дуготрајно и на великим растојањима. Материјал се може преносити вучењем, у суспензији, или у раствору, што зависи од кинетичке енергије токова и од крупноће материјала. До акумулације долази услед пада кинетичке енергије токова. Она се обавља целом дужином тока, а материјал који се акумулира је заобљен и добро сортиран по крупноћи.

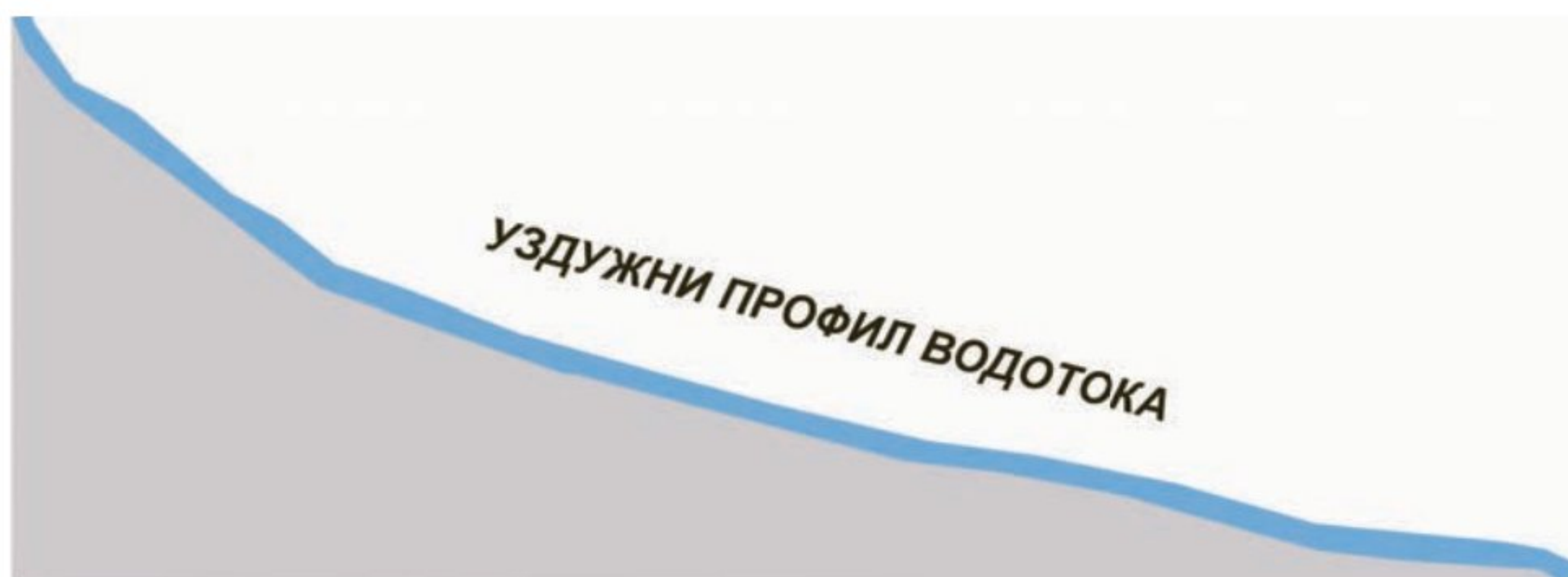
Речне долине су основни морфолошки облици флувијалног процеса. То су отворене линеарне депресије, којима циркулишу стални водотокови. Имају усмерени пад и знатно већу дужину од ширине и дубине. Основни параметри речне долине су попречни и уздужни профил. Попречни профил речне долине је линија пресека долине и конструктивне вертикалне равни

која је постављена нормално на правац тока. Основни параметри попречног профила су распон (P) и дубина (D). Према односу поменутих параметара, односно облику попречног профила разликују се: нормалне долине, клисура и кањони (Слика 8.10). Основни морфолошки елементи попречног профила долине су: дно долине, односно корито тока; долинске стране са речним терасама, које представљају некадашње нивое усецања тока; као и вододелница, која одваја одређени ток од суседних токова. У самом кориту тока разликују се: дно корита или матица, стране корита, овлажени профил и обале корита.



Слика 8.10 Типови речних долине према облику попречног профила (модификовано према Марковић и др., 2003).

Уздужни профил или талвег је конструктивна крива линија која спаја најниже тачке корита од изворишта до ушћа водотока (Слика 8.11). Талвег има континуиран али не и константан нагиб.



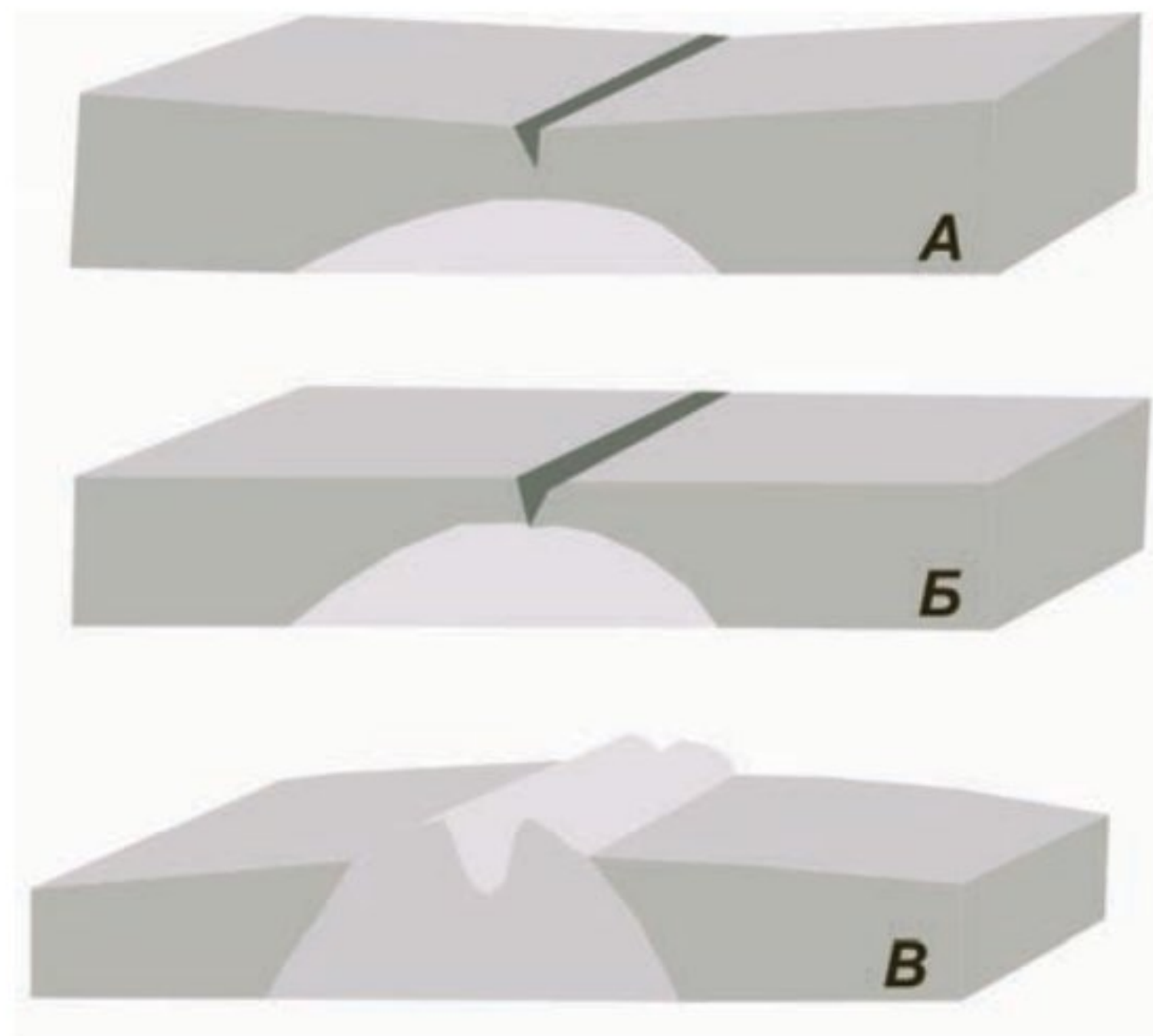
Слика 8.11 Уздужни профил водотока
(модификовано према Марковић и др., 2003).

Аномалије талвега испољавају се у виду прелома, који представљају места наглог повећања нагиба уздужног профила водотока. Одсеци представљају субвертикалне или вертикалне преломе. Преломи и одсеци настају као резултат раседања, селективне ерозије, или акумулације материјала. На њима се развијају брзаци, слапови или водопади (Слика 8.12а-б). Џиновски лонци представљају маркантне облике аномалија талвега у виду метарско-декаметарских затворених депресија у дну корита водотока. Композитне речне долине су долине које мењају карактер попречног профила дуж уздужног профила водотока. Асиметричне речне долине формирају се на контакту две литолошки различите средине. Стрме долирске стране асиметричних долина настају у отпорнијим стенама, док се њихове блаже долирске стране формирају у мекшим стенама.

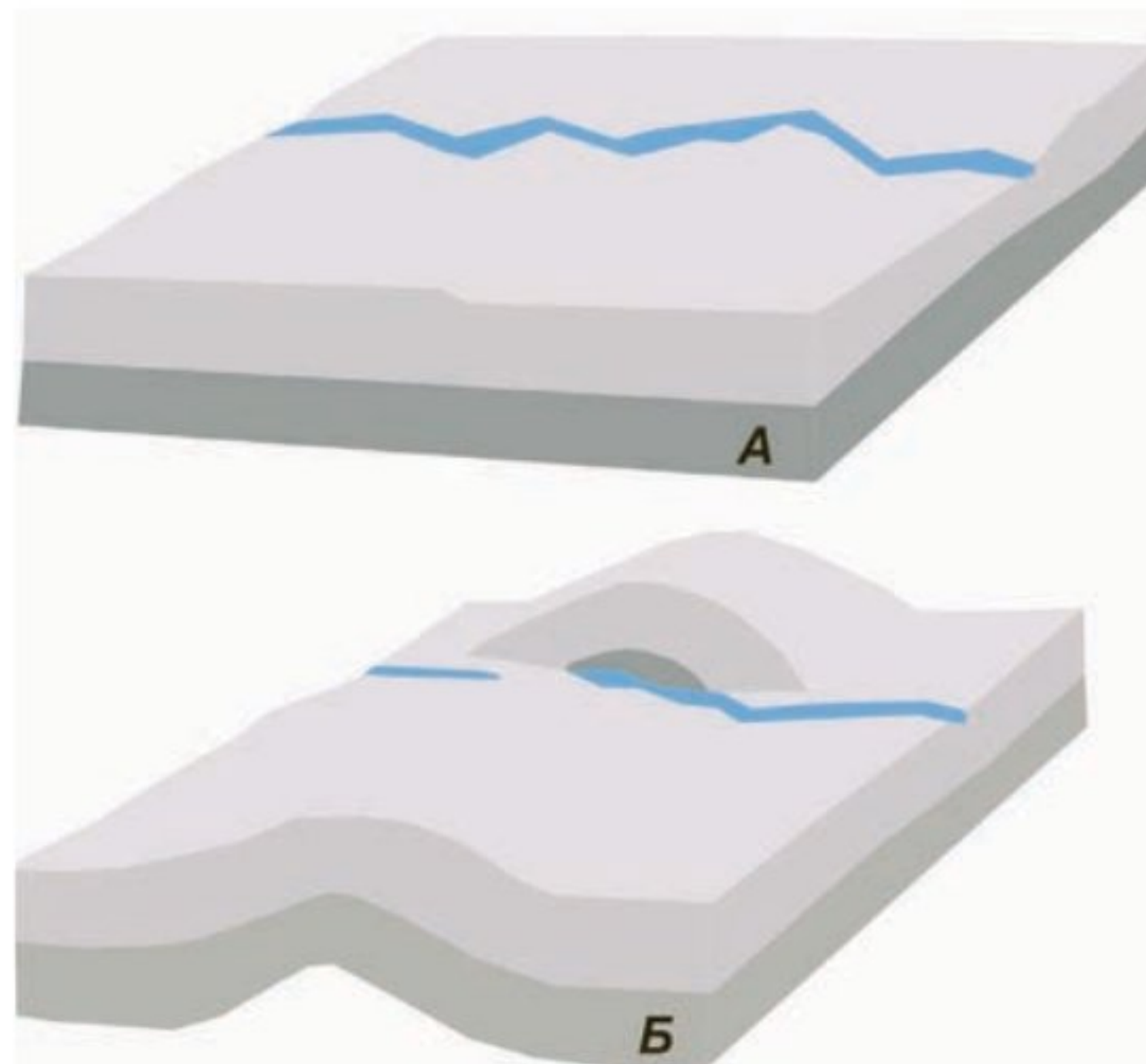


Слика 8.12 Аномалије талвега: а) раседни водопад – Анђеоски водопад у Венецуели (фото: AIRPANO/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
б) ерозиони водопад – Нијагарини водопади у САД
(фото: ВАВАК TAFRESHI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Међу значајним појавама и са њима асоцираним специфичним облицима у речним долинама треба поменути и епигенију и антеценденцу, као и појаву меандрирања. Епигенија је појава да река задржава правац усецања без обзира на промену литологије средине. Флувијална ерозија започиње у мекшим стенама, а наставља се кроз тврђе, масивне стене (Слика 8.13). Према положају тока у односу на стенски масив епигенија може бити: домна, ивична или ртаста. Појава да водоток компензује издизање једног дела свог уздужног профила интензивним усецањем и формирањем клисуре се назива антеценденца (Слика 8.14).



Слика 8.13 Настанак епигенетске долине (модификовано према Марковић и др., 2003).



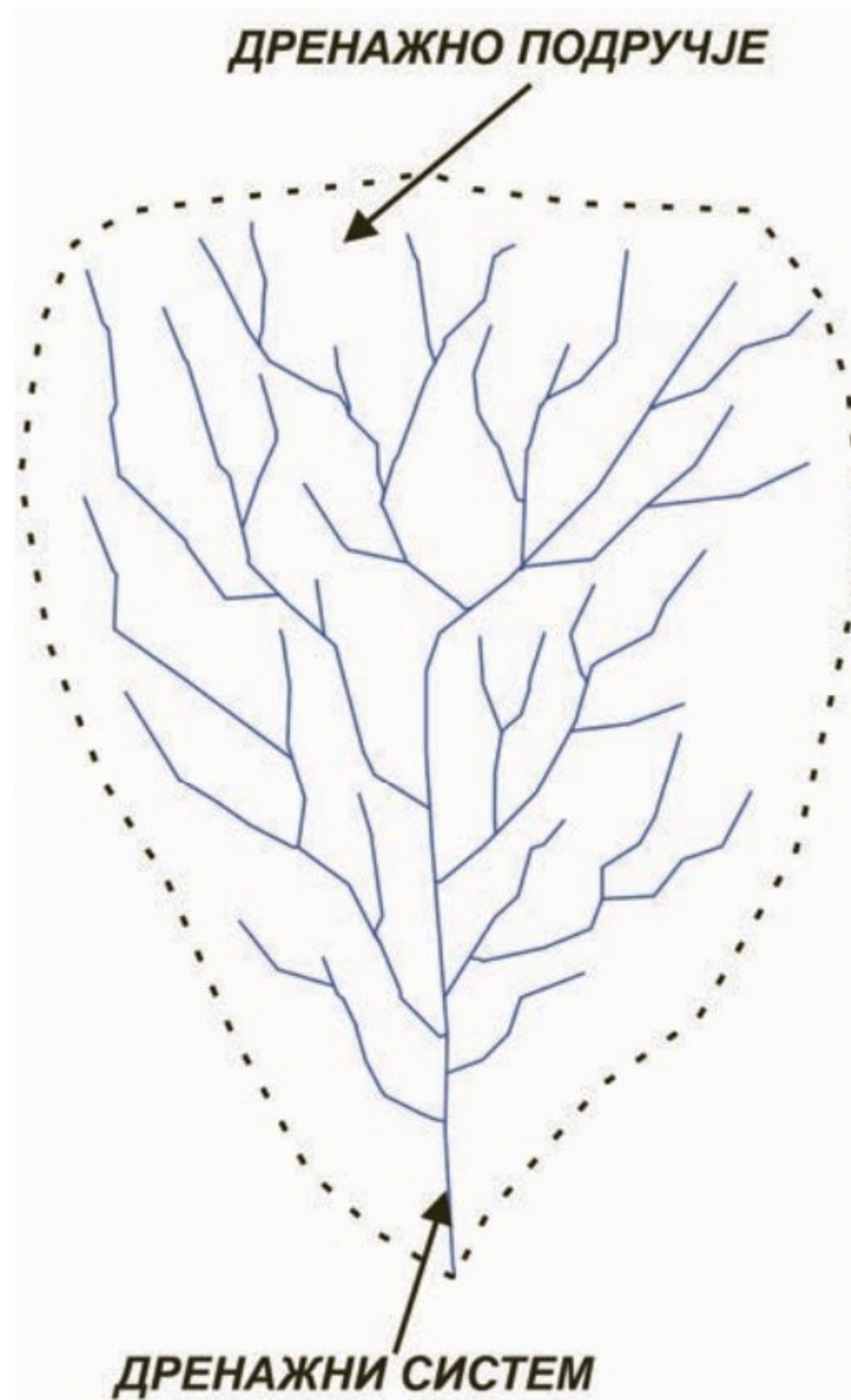
Слика 8.14 Настанак антецедентне долине (модификовано према Марковић и др., 2003).

Меандрирање је појава код које река вишеструко мења правац тока на кратком растојању. Укљештени меандар је меандар код којег речна долина која меандрира у попречном профилу има карактер клисуре или кањона (Слика 8.15).



Слика 8.15 Укљештени меандар у Аризони
(фото: P. MARAZZI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Под појмом дренажа подразумева се сабирање и одвођење воде са неког терена. Дренажна мрежа је скуп свих природних канала на неком простору, којима стално или повремено тече вода. Дренажни систем је скуп свих природних канала којима стално или повремено тече вода, а који се повезују у један водоток. Дренажно подручје је простор на којем је развијен један дренажни систем, односно простор који дренирају водотокови једног дренажног система. Једно дренажно подручје од суседног подручја одвојено је конструктивном линијом која се назива вододелница или развође (Слика 8.16). Тип дренаже подразумева начин организације дренажног система или дренажне мреже у целини, односно просторни положај и начин повезивања појединачних токова у оквиру одређене дренажне мреже или система. У том контексту разликују се следећи типови дренаже: дендритичан, паралелан, правоугли, решеткаст, централан (центрипеталан), радијалан (центрифугалан) и прстенаст. Бифуркација је појава да се једна река дели у два различита слива. Речна пиратерија је појава код које водоток једног дренажног система продире у дренажно подручје другог система и преузима део његовог тока.



Слика 8.16 Дренажни систем и дренажно подручје
(модификовано према Марковић и др., 2003).

Флувијалну акумулацију одликује присуство заобљеног и гранулометријски класификованог материјала, који је транспортован дуготрајно и на великим растојањима. Количина акумулираног материјала зависи од величине и геолошке грађе дренажног подручја, дужине дренажног система, кинетичке енергије водотокова, као и од учешћа падинских процеса. Међу акумулационим геоморфолошким облицима флувијалног процеса разликују се облици у кориту водотокова и облици на дну речне долине. Најзначајнији акумулациони облици у кориту водотокова су: спрудови, плаже, аде и делте. Делте настају услед интензивне акумулације материјала на ушћима великих река у плитка мора (Слика 8.17). Акумулацијом на дну речне долине настају: алувијалне равни и речне терасе. Алувијална равна је нанос материјала на дну речне долине који настаје миграцијом речног корита или повременим изливањем реке из корита. Речне терасе су заравни са једне или обе стране речне долине, које представљају остатке некадашњег дна долине, односно корита реке.



Слика 8.17 Делта Лене – Русија (Фото: NASA EARTH OBSERVATORY, JOSHUA STEVENS/US GEOLOGICAL SURVEY/ SCIENCE PHOTO LIBRARY)

8.6 КРАШКИ ПРОЦЕС

Крашки процес је егзодинамички процес који настаје и одвија се услед дејства текућих и атмосферских вода на растворљиве стене, као што су кречњаци и доломити. Крашки процес се одвија на великом простору, дуготрајан је, спор и непрекидан. Процес се одвија како на површини Земље, тако и у потповршинским условима, услед чега настају карактеристични крашки геоморфолошки облици. Крашка ерозија (корозија) се примарно одвија хемијским путем, при чему вода са високим садржајем угљен-диоксида доводи до растварања калцијум-карбоната из кречњака и доломита. Утицај механичке ерозије се, такође, не може занемарити. Изазване, односно пратеће појаве крашке ерозије су: устрмљавање долињских страна, одроњавање и осипање, урушавање кровине просторија или слегање тла над њима. Транспорт материјала у раствору обавља се за кратко време и на

кратким растојањима, док је транспорт механичке дробине дуготрајан, материјал прелази велика растојања, заобљава се и класификује по крупноћи и може се преносити и кроз подземље. До акумулације долази обарањем из zasiћеног раствора или услед одлагања механичке дробине.



Слика 8.18 Облици крашког рељефа:

- а) шкрапе на планини Дахштајн у Аустрији (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
- б) вртача на Пелопонезу (фото: DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
- в) пећина на Сардинији (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Међу крашким геоморфолошким облицима разликују се површински и подземни облици. Површински облици крашког рељефа су: шкрапе, вртаче, увале и крашка поља. Шкрапе су линеарне, издужене депресије настале растварањем карбоната (Слика 8.18а). Према облику могу бити ребрасте, мрежасте или неправилне, а између њих се формирају богази, каменице и шкрипови. Вртаче су основни површински облици крашког рељефа, који могу настати или растварањем стенских маса, или урушавањем подземних просторија (саломне вртаче). Према облику могу бити левкасте, тањирасте

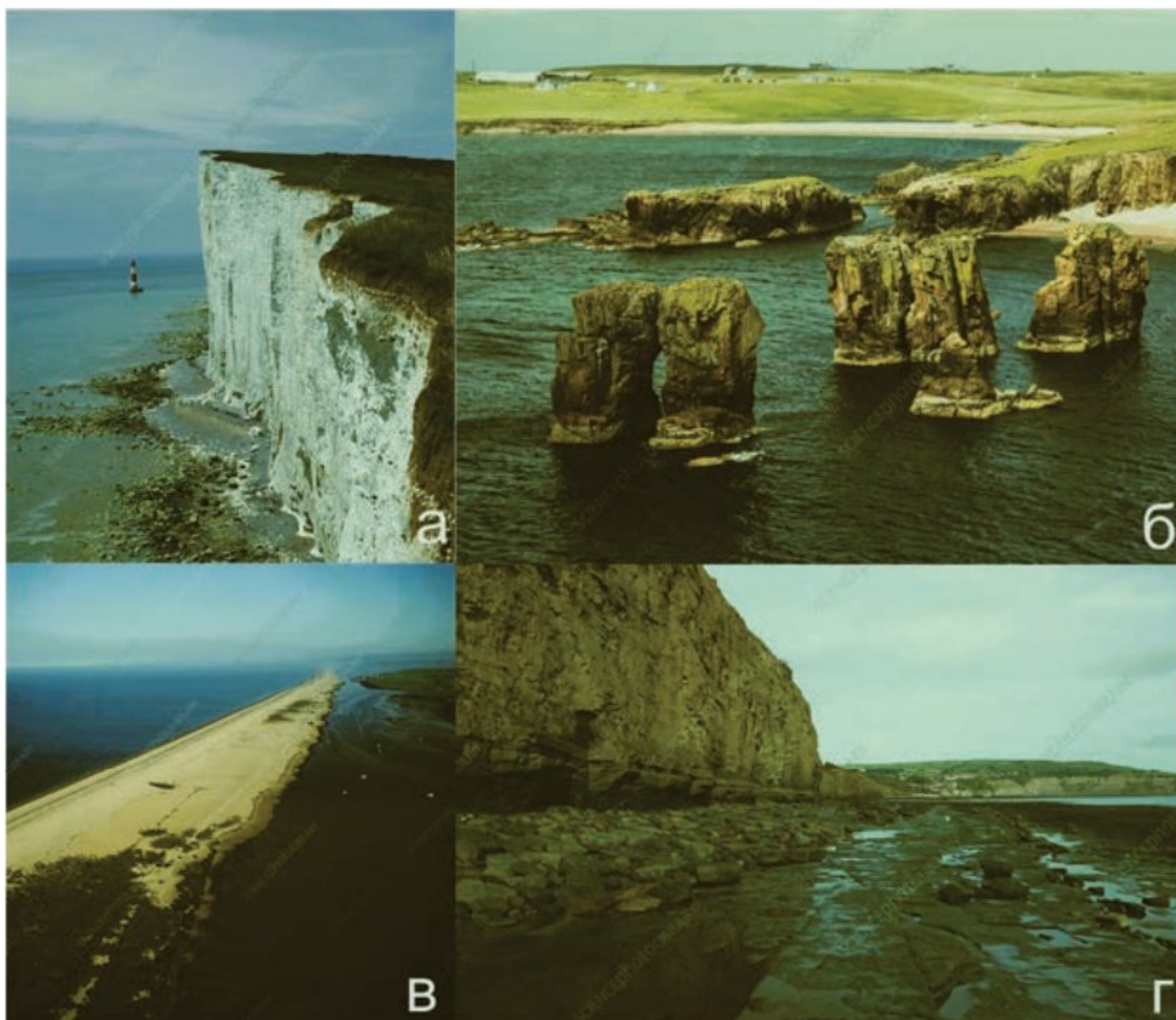
или бунарасте (Слика 8.18б). Увале су веће затворене депресије у крашким теренима, које настају спајањем вртача. Крашка поља су регионалне тектонске депресије у красу, чије су димензије и геометрија контролисане регионалним раседним структурама. Подземни облици крашког рељефа су јаме и пећине (Слика 8.18в). Јаме су вертикалне и субвертикалне подземне просторије, док су пећине подземне просторије хоризонталног или субхоризонталног положаја. Акумулациони облици, односно пећински накит, какви су сталактити, сталагмити, калцитне цевчице, пећински стубови и драперије, представљају значајан елемент подземног крашког рељефа. Флувијални геоморфолошки облици могу бити значајно измењени у крашким теренима. Дренажно подручје у крашким теренима одликује често распадање дренажних система. Са тим у вези је појава понорница, односно водотокова који делом теку кроз подземље. Попречне профиле водотокова одликују стрме стране, тако да имају изглед клисура или кањона. Уздужне профиле водотокова одликују бројни механички дисконтинуитети у виду слапова и водопада.

Основе научног приступа у истраживању крашких терена поставио је Јован Цвијић. Он је дефинисао холокрас и мерокрас, као регионалне типове на основу интензитета крашког процеса. Холокрас представља потпуно развијени крас, који настаје на теренима изграђеним од чистих кречњака. Одликује га присуство свих површинских и подземних крашких облика. Мерокрас је непотпуно развијени крас, који настаје на теренима које изграђују кречњаци са доста нерастворљиве компоненте. На мерокрасу су од површинских облика заступљене само вртаче и ретке увале, док су подземни облици такође ретки и малих димензија.

8.7 МАРИНСКИ ПРОЦЕС

Марински процес је егзодинамички процес који настаје и одвија се услед дејства стајаћих вода на стенске масе. Преко 70% површине Земље прекривено је стајаћим водама, укључујући воде у океанима, морима и језерима. Марински процес је просторно везан за уску зону контакта између копна и мора. Овај процес је просторно и временски несталан јер честе промене распореда мора и копна, односно трансгресије и регресије, доводе до промена нивоа маринског процеса. Агенс маринског процеса је кинетичка енергија стајаћих вода, која се испољава у виду таласа, плиме и осеке, или у виду морских струја. Ерозија у маринском процесу, односно абразија, може бити непосредна коју изазивају сами таласи, као и посредна, када комади

и честице стена који су ношени таласима ударају о обалу. Абразија је често праћена изазваним појавама, као што су одрони и клижења, до којих долази услед поткопавања обале. Медијум транспорта у оквиру маринског процеса је водена средина променљиве кинетичке енергије. Транспорт се обавља лебдењем и вучењем у уској зони приобаља, услед чега материјал бива интензивно обрађен и заобљен. До акумулације материјала долази када опадне кинетичка енергија водене средине, односно таласа. Материјал често буде поново покренут услед реактивирања таласа. Највећи део акумулираног материјала остаје на шелфу, док само мање количине доспевају у дубље средине. Међу геоморфолошким облицима маринског процеса разликују се ерозиони, акумулациони и прелазни облици. Најзначајнији ерозиони облици маринског процеса су таласне поткапине, клифови, шкољи и плитваци (Слика 8.19а, б). Најзначајнији акумулациони облици маринског процеса су жала, превлаке, спрудови и лагуне (Слика 8.19в), док подводне терасе представљају прелазне абразионо-акумулационе облике (Слика 8.19г).



Слика 8.19 Облици маринског рељефа:

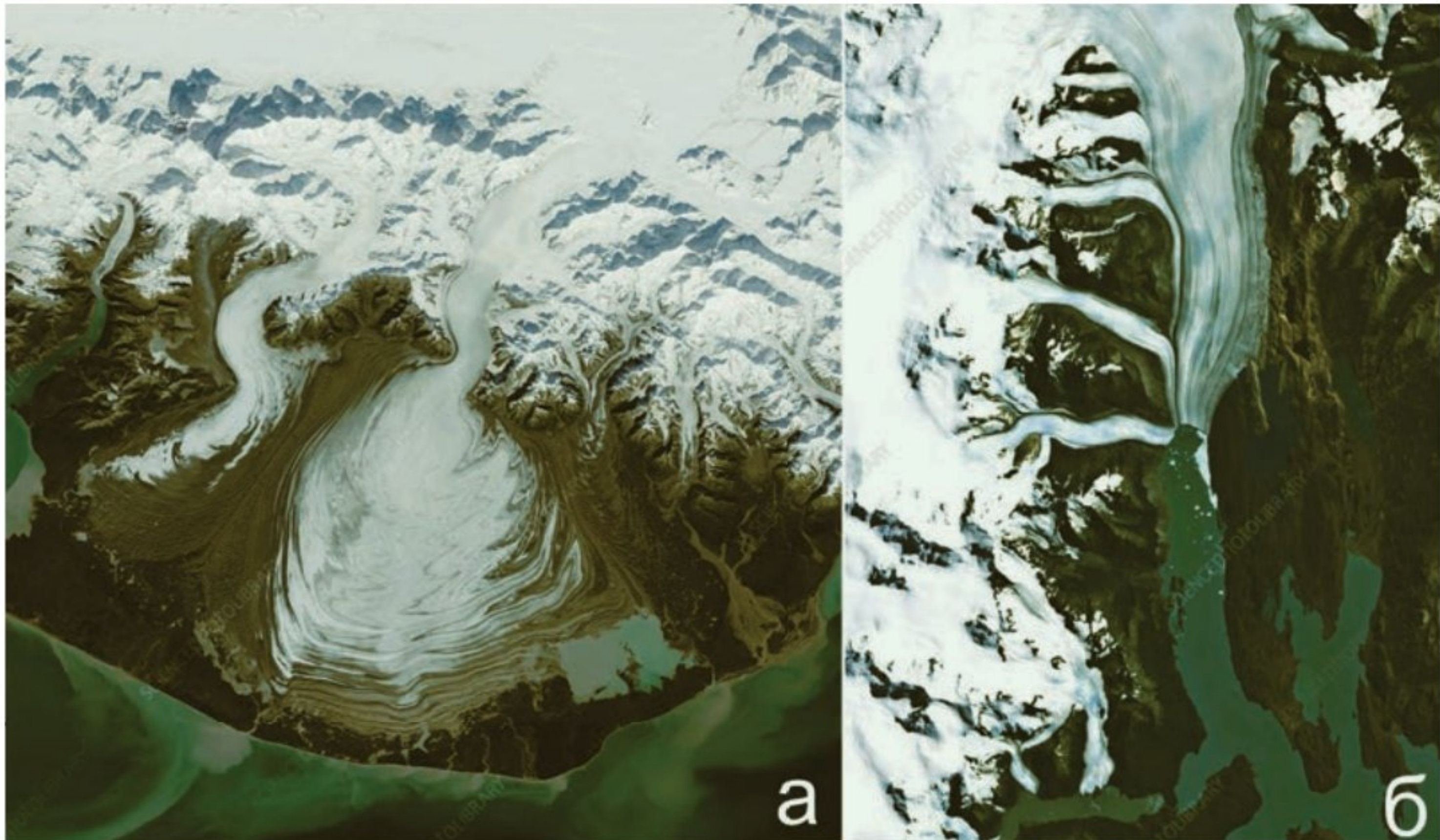
- а) клиф на обали Ламанша (фото: ANDY WILLIAMS/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
- б) шкољи у Шкотској (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
- в) превлака на обали Ламанша (фото: SKYSCAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY),
- г) подводна тераса на Северном мору (фото: NIGEL CATTLIN/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

8.8 ГЛАЦИЈАЛНИ ПРОЦЕС

Глацијални процес је егзодинамички процес који настаје и одвија се услед удруженог дејства леда, снега и мраза на стенске масе. Данас се нешто више од 10% површине копна на Земљи налази под сталним снежним и леденим покривачем. Међутим, током плеистоцена, у време последњих ледених доба, глацијални процес је захватао троструко већу површину него данас. Услед дејства глацијалног процеса еродоване су огромне количине материјала и изазван је изузетан морфолошки ефекат. Повлачење леда које је наступило пре око 10 хиљада година за собом је оставило сачуване облике глацијалног рељефа.

Глацијални процес ограничен је климатским променама. Подручје његовог развоја одређено је снежном границом, што је висинска зона која чини границу биланса инсолације (топлотне енергије Сунца) и радијације (топлотне енергије Земље). Изнад снежне границе биланс инсолације и радијације је негативан и на том простору доминира глацијални процес. Висина снежне границе пре свега зависи од географске ширине, односно климатског појаса. Осим тога на висину снежне границе могу утицати и експозиција падине и сезонска колебања температуре, док њена ширина, пре свега, зависи од нагиба терена. Ледници велике кинетичке енергије могу спустити глацијални процес испод снежне границе на неком подручју. У данашње време се на Антарктику налази око 85% леденог покривача на Земљи. Око Северног пола концентрисано је 12,5 % леденог покривача, док се свега 2,5% савременог леденог покривача налази у високим планинама. Према начину и месту развића разликују се два основна типа ледника: покровни и алпски. Покровни или континентални тип ледника (инландајс) представљен је пространим ледничким покривачима на Антарктику и Гренланду. Покровни ледници имају облик доме, при чему је највећа дебљина леда у центру ледника. Лед се од централног дела инландајса шири радијално у простор. Кретањем леда, које је углавном независно од рељефа подлоге, долази до ублажавања рељефа (пенепленизације). Подручја која су некада била под инландајсом, данас се препознају као благо заталасане равнице, покривене дебелим наслагама глине. Ледници алпског типа развијени су у високим планинским областима. Називају се и долињски ледници јер наслеђују долине некадашњих река, због чега је њихово развиће условљено рељефом подлоге. Заступљени су на свим континентима изузев Аустралије. Формирају се високо изнад снежне границе, гравитационо се крећу наниже и имају изразит линијски карактер. Постоје и мешовити типови ледника: суподински

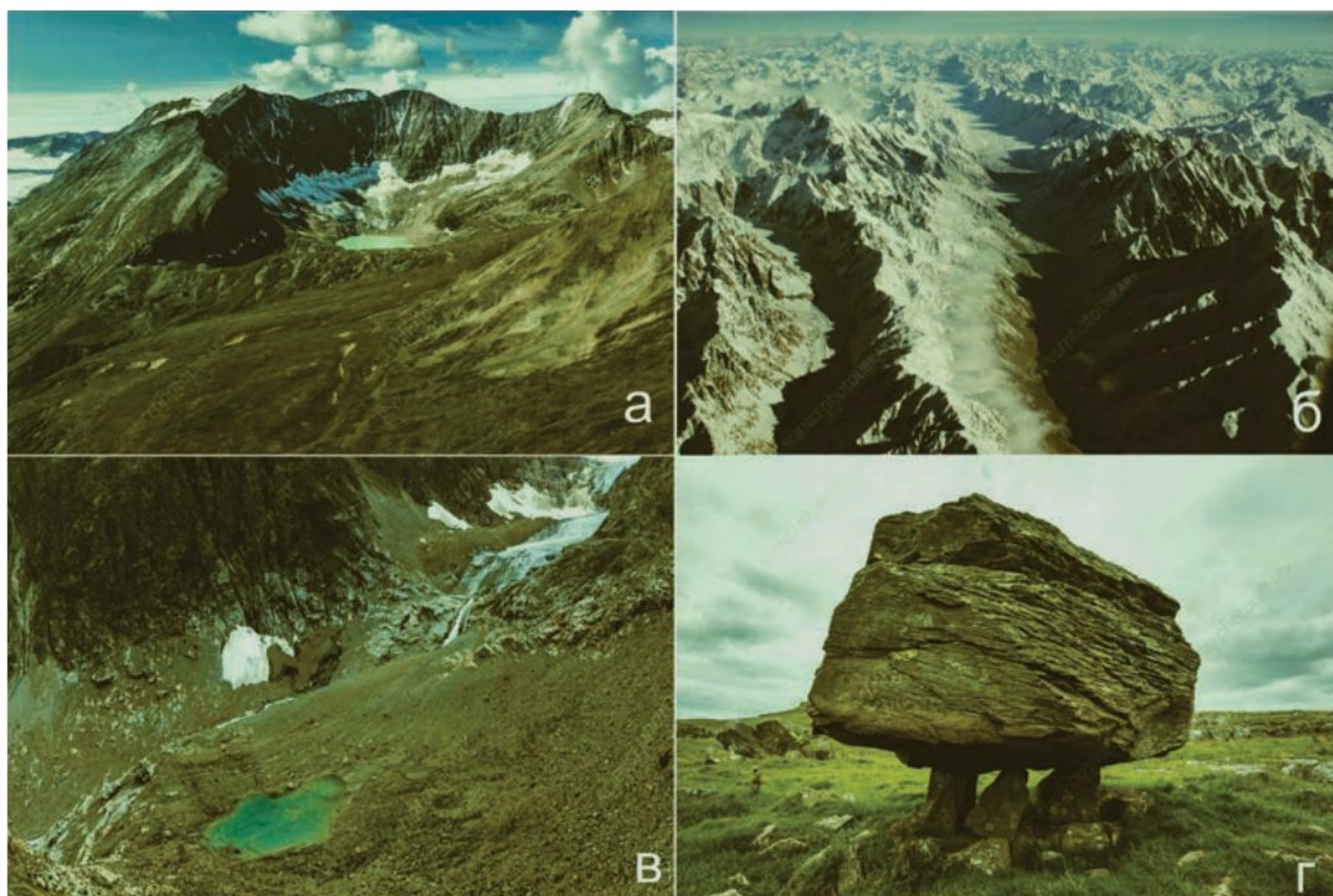
(аљаски) и платоски (скандинавски). Код суподинског типа ледника, долињски ледници, који силазе са високих планина, спајају се у подножју у пространо ледено поље типа мањег инландајса (Слика 8.20а). Код платоског типа ледника на висоравни је развијено велико ледено поље (мањи инландајс), од кога се одвајају мањи ледници долињског типа, односно ледени језици (Слика 8.20б).



Слика 8.20 Мешовити типови ледника: а) суподински ледник Маласпина на Аљасци (фото: NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) платоски ледник Упсала у Аргентини (фото: PLANETOBSERVER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Главни агенс глацијалног процеса је кинетичка енергија леда и снега. Дуговремено гомилање снега изнад снежне границе доводи до његове рекристализације, услед чега он исходишно прелази у глечерски лед. Глечер подразумева кретање леда, које може бити гравитационо и радијално. Кретање глечера се одвија малим брзинама, али су масе леда који се преноси огромне, што доводи до упечатљивих морфолошких ефеката. Кретање снега низ падине, у виду лавина, такође може имати извесне морфолошке ефекте. Ерозија у глацијалном процесу може бити непосредна услед дејства масе леда у покрету, или посредна која се обавља комадима стена које лед носи. Транспорт материјала се обавља на површини, у телу и у подини ледника. Транспорт је временски веома дуг и неуједначен. Морене представљају заједнички назив за материјал и облике акумулације. Акумулација морена

се обавља целом дужином ледника. Моренски материјал није сортиран по крупноћи, обрађен је, али није заобљен.



Слика 8.21 Облици глацијалног рељефа: а) цирк на планини Саинт Елиас – Аљаска (фото: JACOB W. FRANK/NPS PHOTO/SCIENCE SOURCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) валови на Хималајима (фото: MARK WILLIAMSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) морене у Швајцарским Алпима (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY), г) ератички блок у Пенинским планинама – Енглеска (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Геоморфолошки облици глацијалног процеса могу бити: ерозиони, резидуални и акумулациони. Најзначајнији ерозиони облици глацијалног рељефа су: цирк, валов, ледничка рамена, мутониране стене и стрије. Цирк, као карактеристични облик алпског типа ледника, је амфитеатрално удубљење, које представља иницијалну депресију у којој долази до акумулације снега (Слика 8.21а). Валов (ледничко корито) је долина којом се креће ледник алпског типа (Слика 8.21б). Ледничка рамена су терасасте заравни на странама валова, које настају као резултат сезонског колебања нивоа леда у леднику. Мутониране стене (комчићи) су стенске масе куполастог облика на дну валова, које су обрађене глацијалном ерозијом. Стрије су зарези на полираним површинама мутонираних стена. Резидуални облици глацијалног процеса су остаци некадашњег рељефа, који су преостали након

деловања ледника. Код алпског типа ледника карактеристични резидуални облици су пирамидални врхови и на зубљени гребени (арете), док су код покровног типа заступљени такозвани нунатаци. Акумулациони облици глацијалног процеса називају се морене. Оне могу бити активне (покретне) и напуштене (одложене) морене. Према положају, код активних морена се разликују површинске, унутрашње и подинске, док се код напуштених разликују чеоне, бочне и подинске (Слика 8.21в). Специфични акумулациони геоморфолошки облици и појаве везане за инландајс су: ератички блокови, друмлини, озари, ескери и камови (Слика 8.21г).

Глобално захлађење није било континуиран процес, већ је током плеистоцена долазило до смена ледених доба (гацијација) и периода отопљавања (интергацијација). Милутин Миланковић (Слика 8.22) открио је узроке смењивања циклуса гацијација и интергацијација и везао их за астрономске појаве: промене смера Земљине осе (прецесија), промене нагиба Земљине осе, као и мере елиптичности Земљине орбите (ексцентричност). У Европи се током плеистоцена разликују два типа гацијације: северноевропска и јужноевропска. На Балканском полуострву била је заступљена јужноевропска гацијација, при чему су значајни центри гацијације биле планине: Рила, Олимп, Проклетије, Дурмитор и Оријен.



Слика 8.22 Милутин Миланковић
(фото: <https://sh.wikipedia.org>).

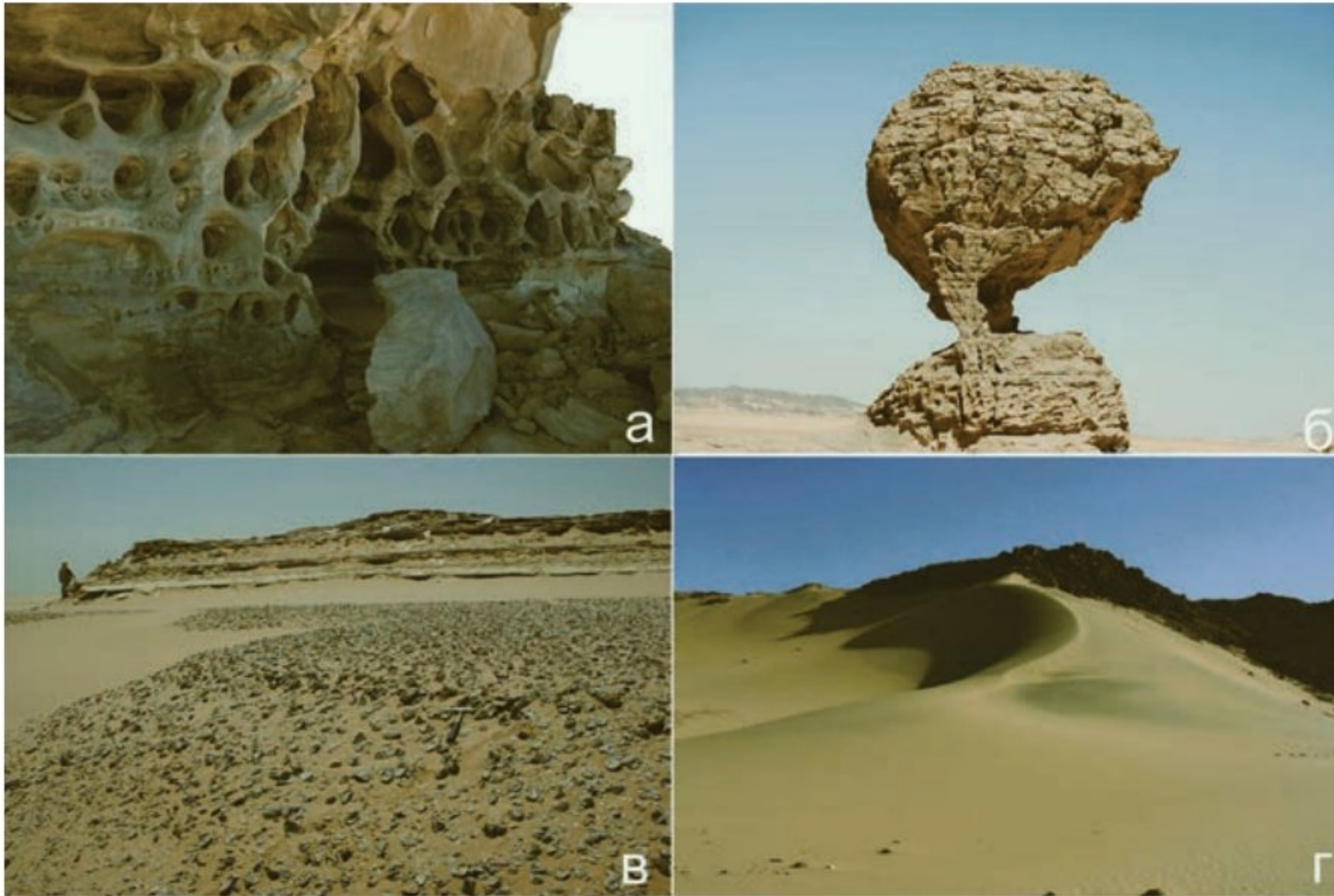
8.9 ЕОЛСКИ ПРОЦЕС

Поред глацијалног процеса, еолски процес је један од егзодинамичких процеса који је претежно условљен климатским факторима. Еолски процес је егзодинамички процес који настаје и одвија се услед дејства ветра на стенске масе. Ветар представља универзално развијен агенс, који долази до изражаја тамо где су други геоморфолошки агенси одсутни. То су, пре свега, аридне области, које покривају око 30% континената и у којима је јако развијен елувијални процес. Због тога се еолски процес често назива и пустињским процесом. Изван аридних климатских области, ветар такође може стварати велике наносе материјала, који примарно потиче од глацијалног, флувијалног, или маринског процеса.

Еолска ерозија може бити непосредна (дефлација) и посредна (коразија). Код дефлације ветар директно еродује матичне стене, док код коразије честице покренуте ветром ударају у стенски материјал, обрађују га и полирају. Еолски транспорт се може обављати на растојањима од више хиљада километара, а у једном кубном километру тако покренутог ваздуха се може пренети и до хиљаду тона честица (Слика 8.23). До акумулације материјала долази када довољно ослаби кинетичка енергија ветра. Главне карактеристике тако акумулираног материјала су да је обрађен, али не и заобљен, као и да је добро сортиран по крупноћи.



Слика 8.23 Пешчана олуја изнад Канарских острва
(фото: NASA EARTH OBSERVATORY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).



Слика 8.24 Облици еолског рељефа у јужној Либији: а) саћасте стене (фото: М. Тољић), б) гури (фото: М. Тољић), в) вентифакти (фото: М. Тољић), г) дина (фото: М. Тољић).

Најважнији ерозиони геоморфолошки облици еолског процеса су: саћасте стене, дефлационе депресије, плаје, сабке, еолске поткапине, прерасти, гури, јарданзи, хамаде, месе и болсони. Код саћастих стена еолска ерозија ствара удубљења у површински распаднутим зрнастим стенама хетерогеног састава (Слика 8.24а). Дефлационе депресије представљају плитке, затворене синформе, које настају у условима интензивног физичко-хемијског распадања. У најнижим деловима таквих дефлационих депресија понекад се скупља вода, у којој се депонују финозрни седименти, познати као седименти плаја. Сабке су простране, заравњене области обрађене еолском ерозијом, у којима су честе појаве евапорације, кретања и кристализације соли близу површине терена. Еолске поткапине настају подсецањем стрмих стеновитих одсека. Прерасти или природни прозори настају спајањем еолских поткапина. Морфолошки слични облици постоје и у крашком процесу, али је механизам њиховог настанка другачији. Гури настају тако што изоловани стенски блок буде подсечен са свих страна (Слика 8.24б). Јарданзи су дугачки, оштри гребени, заостали између жљебова који су усечени еолском ерозијом. Хамаде представљају простране стеновите пустиње, код којих је финозрни материјал издуван, а огољена стена је полирана ерозијом. Месе су геоморфолошки облици који имају изглед платоа, са оштрим странама и заравњеним врхом. Болсони су тектонске депресије, које је накнадно моди-

фиковао еолски процес. Пандан болсонима у областима развића крашког процеса би била крашка поља.

Међу акумулационим облицима еолског процеса разликују се: вентифакти и драјкантери, пустињске коре, пустињски покрови и дине. Вентифакте и драјкантере чине крупнији комади центиметарско-дециметарских димензија (Слика 8.24в). Када вентифакти и драјкантери бивају цементовани минералним растворима настају пустињске коре. Акумулацијом финозрне стенске фракције формирају се песковите пустиње, односно ергови или кумови. Међу њима се разликују пешчани покрови и дине. Покрове формирају наслаге песка на површинама од неколико хиљада квадратних километара. Дине представљају пешчане бедеме различитих димензија, чији облик указује на правце деловања ветра (Слика 8.24г). Лес чине финозрни седименти, који су у Европи настали током плеистоцена и почетком холоцена као продукт еолске акумулације првобитног моренског материјала. Геоморфолошки облици настали од лесног материјала су лесне заравни и платои.

Питања и задаци:

1. Дефинисајте основне геоморфолошке факторе и фазе еизодинамичких геолошких процеса.
2. Дефинисајте процес седиментације и главне типове седиментних стена.
3. Навесите и описите најбитније еоседиментационе процесе.
4. Дефинисајте најзначајније типове седиментних басена унутар тектонских поља.
5. Дефинисајте најзначајније типове седиментних басена у конвергентним тектонским окружењима.
6. Издвојите основне типове речних долина на основу облика еоречног профила.
7. Дефинисајте феномене ерозије и анееценце.
8. Дефинисајте појмове: дренажа, дренажни систем и дренажно подручје.
9. Дефинисајте најзначајније флувијалне акумулационе облике.
10. Дефинисајте најзначајније површинске и еодземне облике крашког рељефа.
11. Набројајте најзначајније ерозионе и акумулационе облике маринског рељефа.
12. Дефинисајте појам снежне еранице.

13. Дефинисајте типове ледника.
14. Набројајте најзначајније ерозионе, резидуалне и акумулационе облике планетарног рељефа.
15. Набројајте најзначајније ерозионе и акумулационе облике еолског рељефа.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

- Graniczny, M. 2006. *Exogenic geological processes as a landform-shaping factor*. In: Zektser, I.S., Marker, B., Ridgway, J., Rogachevskaya, L., Vartanyan, G. (eds) *Geology and Ecosystems*. Springer, Boston, MA.
- Ingersoll, R.V. 2011. *Tectonics of Sedimentary Basins, with Revised Nomenclature*. In: Busby, C. & Azor, A. (eds) *Tectonics of Sedimentary Basins: Recent Advances*. Blackwell Publishing Ltd.
- Julien, P.Y. 2010. *Erosion and Sedimentation*, Cambridge University Press, 371 pp.
- Марковић, М., Павловић, Р. & Чујковић, Т. 2003. *Геоморфологија*. Завод за уџбенике и наставна средства. Београд, 462с.

Чисто злато се не боји пламена.

Кинеска њословица

ГЕОЛОШКИ РЕСУРСИ

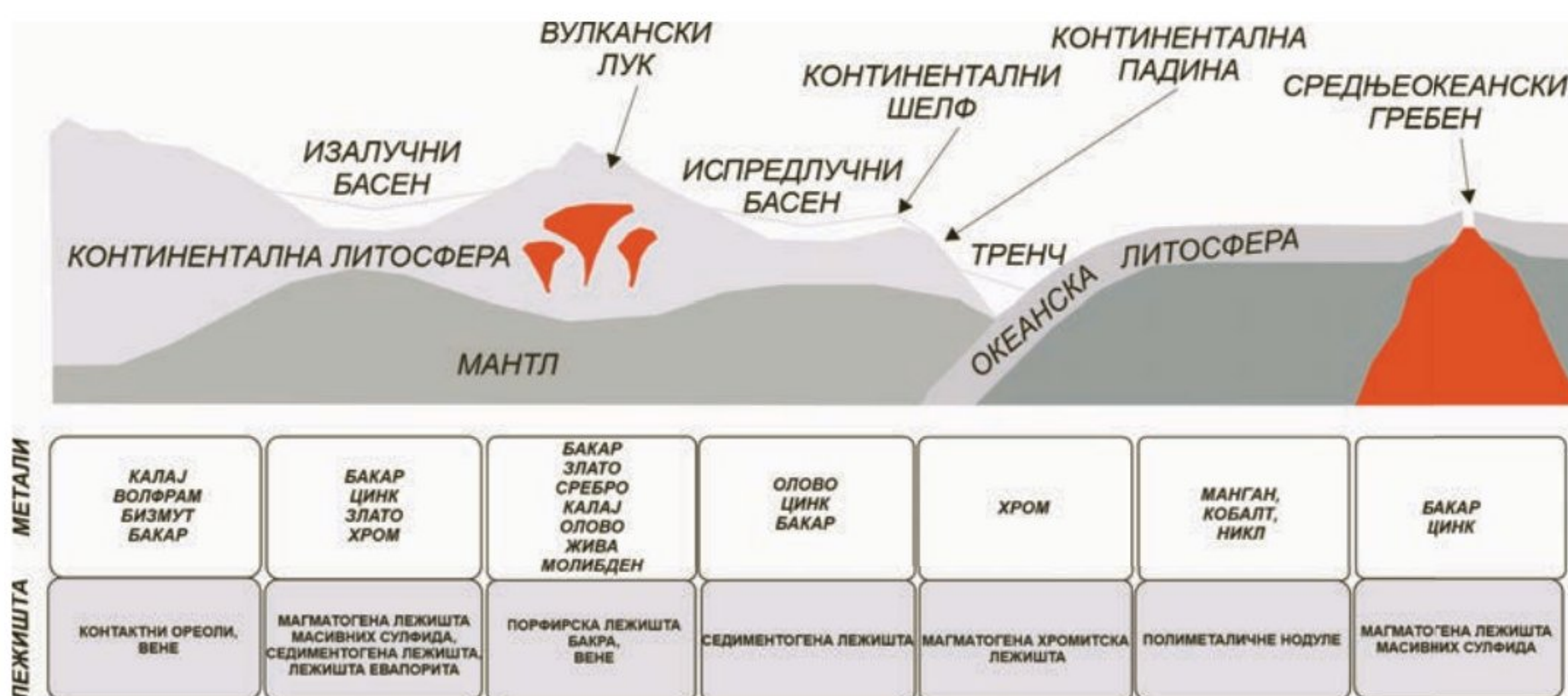
9 | МИНЕРАЛНИ РЕСУРСИ

У геолошке ресурсе убрајају се минерални ресурси, ресурси подземних вода и геотермални ресурси. Минерални ресурси обухватају ресурсе чврстих минералних сировина (металичне, неметаличне и енергетске) и ресурсе течних и гасовитих минералних сировина (нафта, кондензати и природни гас). Лежишта минералних сировина представљају геолошке просторе у којима се минерални ресурси јављају у таквом облику, количини и квалитету да постоје реални изгледи за њихову исплативу експлоатацију. Минералне резерве су ресурси за које је доказано да су економски изводљиви за експлоатисање.

Тектонски, магматски и метаморфни процеси, који се одвијају у литосфери и астеносфери, утичу на образовање лежишта минералних сировина. Најзначајнији физичко-хемијски фактори који контролишу настанак лежишта минералних сировина су температура и притисак, као и могућност циркулације минерализованих раствора кроз стене. Температура и притисак расту са повећањем дубине и директно утичу на мобилизацију и депонување рудног материјала, док циркулација минерализованих растопа кроз стене зависи од састава и склопа стена, али и од хемијског састава растопа. Магматски комплекси представљају примарне изворе рудних минерализација. Најважнији процеси који доводе до настанка лежишта минералних сировина су: магматска диференцијација, контактна минерализација, хидротермални процеси, као и метасоматоза. Магматска диференцијација представља издвајање и груписање елемената из магме према сродним карактеристикама. Контактна минерализација представља формирање нових минералних асоцијација на контакту магме и околних стена. Хидротермални процеси су процеси формирања лежишта из врелих гасно-течних рудноносних раствора. Метасоматоза је замена постојећих минерала новонаста-

лим до које долази услед процеса контактнoг метаморфизма и деловања хидротермалних раствора.

Различита тектонска окружења представљају повољне амбијенте за формирање појединих лежишта минералних сировина. Стога, реконструкција одређених тектонских окружења представља полазну основу за истраживање лежишта (Слика 9.1).



Слика 9.1 Типови лежишта у различитим тектонским окружењима.

9.1 ЛЕЖИШТА У БАСЕНИМА УНУТАР ПЛАТФОРМИ

Преко 40% светских резерви нафте и гаса се налази у нешто више од 900 гигантских нафтно-гасних поља, која су лоцирана у басенима насталим у различитим тектонским доменима. Басени на платформама, као и басени у домену пасивних континенталних маргина представљају најповољнија тектонска окружења за формирање лежишта нафте и гаса. Еволуција басена се генерално одвија у две фазе. У иницијалној, синрифтној фази, долази до фокусиране тектонске супсиденције, код које је тоњење басена контролисано раседима. Након синрифтне фазе следи пострифтна фаза, односно фаза термалне супсиденције код које тоњење захвата много шири простор од иницијалног. Услед истањења литосфере, басенска подручја се одликују високим вредностима геотермалних градијената. Такође, повећање притисака и температура услед тоњења седимената олакшава конверзију органске материје, односно настанак матичних стена за нафту и гас. Матичне стене за нафту и гас у гигантским нафтним пољима широм света стратиграфски су позициониране негде између синрифтне и пострифтне секвенце у басенима.

Даља еволуција басена генерално може ићи у смеру формирања плитких и широких изолованих басена унутар платформи, као што су басен Северног мора или Западносибирски басен, или се могу формирати басени у домену пасивних континенталних маргина, какви су басени дуж атлантских обода Јужне Америке и Африке. Од око 900 гигантских нафтних и гасних поља на свету њих 35% се налази у басенима пасивних континенталних маргина, док је око 30% лоцирано у домену басена унутар платформи. Басени настали у транскурентним тектонским зонама су генерално мањих димензија у односу на претходно наведене басене. Међутим, и овај тип басена може бити запуњен дебелом сукцесијом седимената који ће укључивати и изврсне матичне стене за нафту и гас. Око 6% гигантских нафтних поља налази се у домену транстензионих басена у Калифорнији, у Леванту, у Северним Карибима, као и на Новом Зеланду (Слика 9.2).



Слика 9.2 Гигантско нафтено поље у Калифорнији
(фото: CITIZEN OF THE PLANET/UCG/UNIVERSAL
IMAGES GROUP/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

9.2 ЛЕЖИШТА У ЗОНАМА КОНВЕРГЕНТНИХ ГРАНИЦА ПЛОЧА

Значајна лежишта асоцирана са садашњим и некадашњим конвергентним границама плоча су: лежишта базичних метала (бакар, олово, цинк, молибден), лежишта племенитих метала (платина, сребро, злато), као и

лежишта осталих метала (калај, волфрам, молибден, жива). Лежишта урана такође могу настати у зонама конвергентних граница плоча. Дуж Циркум-пацифичког појаса велика металична лежишта присутна су у Северној и Јужној Америци, Јапану, Филипинима, Новом Зеланду и Индонезији. Више од половине светских резерви бакра налази се у порфирским лежиштима Циркум-пацифичког региона (Слика 9.3). У оквиру субдукционих система издвајају се и зоне формирања различитих лежишта минералних сировина. Тако се, на пример, у Андима идући од запада ка истоку, односно све дубље у Јужноамеричку плочу препознају зоне: 1) контактано-метасоматских лежишта гвожђа, 2) лежишта бакра и сребра, као и жице сребра, 3) порфирска лежишта бакра и молибдена, 3) контактано-метасоматска лежишта, као и жице олова, цинка и сребра, 4) лежишта калаја. Постојање ових засебних зона објашњава се прогресивним ослобађањем метала из субдукујуће Наска плоче. Метали доспевају на површину са магмом, а концентришу се у хидротермалним или магматским флуидима. Субдукционе зоне су најмање перспективна тектонска окружења за гигантска нафтна поља. Изузетак су нафтна поља у Југоисточној Азији у којима могу егзистирати матичне стене у субдукционим тренчевима (Сунда регион). Свега 1% гигантских поља спада у ову класу.

Већина лежишта која постоје у зонама колизије су заправо формирана у другим тектонским окружењима, да би затим накнадним тектонским деформацијама била укључена у колизионе фронтове. Сходно томе, у њима се могу наћи најразличитији типови металичних лежишта, укључујући лежишта везана за стене океанске коре (офиолите), лежишта везана за субдукционе процесе, лежишта везана за континенталне рифтове и лежишта формирана у домену платформи. Басени у домену колизионих фронтова могу настати у њиховој унутрашњости или у екстерним деловима. Басени у унутрашњости зона колизије иако могу бити дубоки су углавном мањих димензија и краткоживећи, док су форланд басени у њиховим екстерним деловима широки и издужени. У форланд басенима лоцирана је већина гигантских нафтних поља која су асоцирана са зонама колизије. Од око 900 гигантских поља, 28% припада овој класи. Примери за овакве басене су Алберта басен, басен По у Италији, као и басен Персијског залива, који је позициониран југозападно од навлачно-наборног појаса Загрос у Ирану.



Слика 9.3 Рудник бакра са површинском експлоатацијом у Чилеу
(фото: GEOFF TOMPKINSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

9.3 ЛЕЖИШТА У ЗОНАМА ДИВЕРГЕНТИХ ГРАНИЦА ПЛОЧА

Хидротермална активност у подручју средњеокеанских гребена омогућава формирање сулфидних лежишта, као и рудоносних седимената дуж обода гребена. Значајна су металична лежишта гвожђа, цинка, бакра, олова, сребра и злата. Лежишта оксида мангана такође могу бити значајна у појединим сегментима средњеокеанских гребена (на пример, ТАГ хидротермално поље у оквиру Средњоатлантског гребена). Ултрабазичне стене у офиолитским појасевима садрже лежишта азбеста, хрома и никла. Са ултрабазичним стенама такође могу бити асоцирана масивна хидротермална сулфидна лежишта (на пример, кипарски тип лежишта бакра и гвожђа). Гранитска тела интродована у фази настанка континенталних рифтова могу бити асоцирана са формирањем лежишта калаја и флуорита. Током даље еволуције рифтова депоновани карбонати у њима могу садржати лежишта олова, цинка и сребра. Унутар појединих зона у континенталним рифтовима такође може доћи до формирања геотермалних поља.

Питања и задаци:

1. Дефинисајте најбитније факторе и процесе који доводе до настанка лежишта минералних сировина.

2. Дефинисајте најповољније типове басена у којима се налазе мајичне стене за нафту и гас.
3. Дефинисајте најзначајније типове лежишта минералних сировина у зонама конвергенционих граница плоча.
4. Дефинисајте најзначајније типове лежишта минералних сировина у зонама дивергенционих граница плоча.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Walther, J.V. 2018. *Earth's Natural Resources*. Jones & Bartlett Learning, 434 pp.

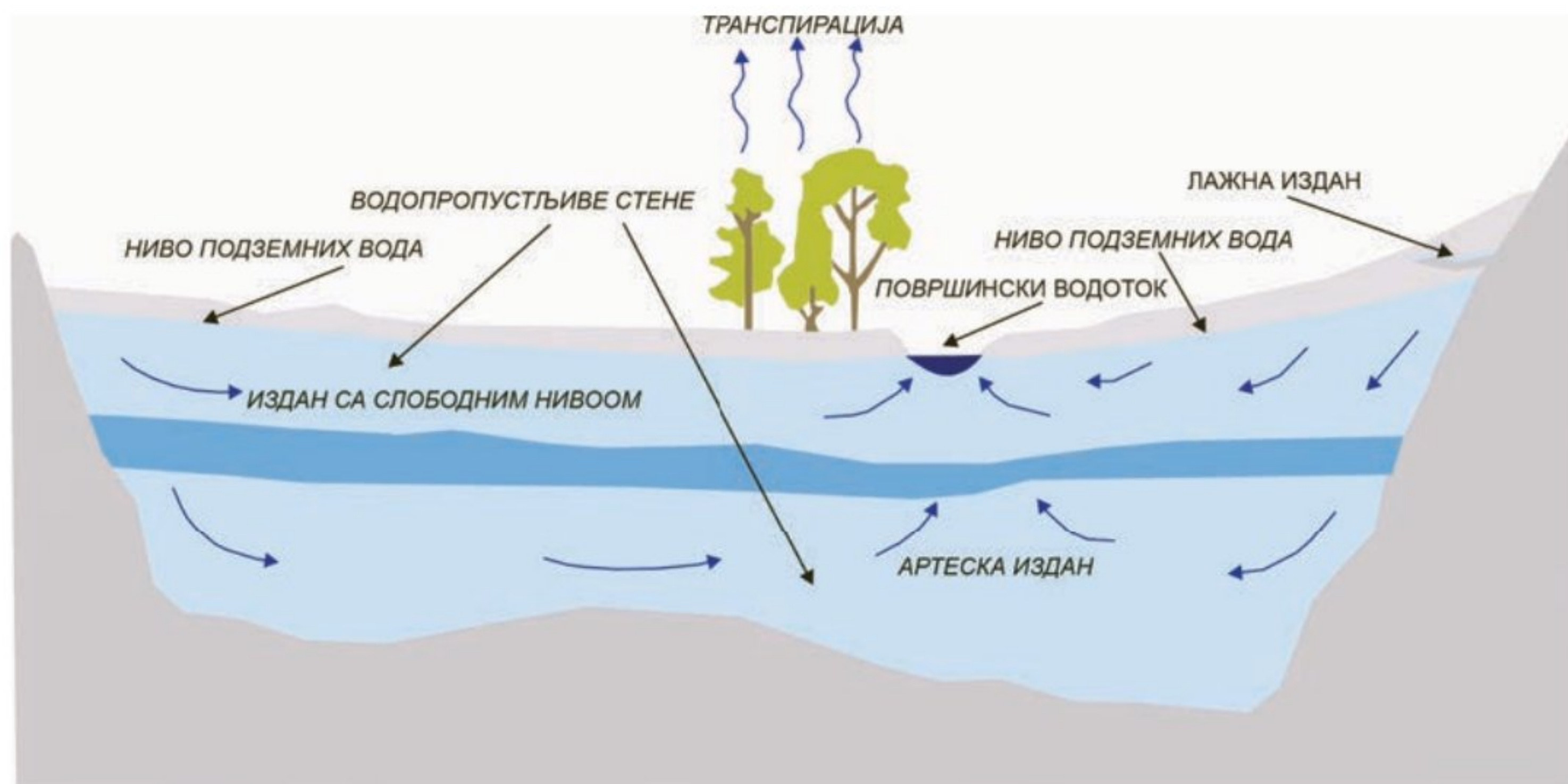
10 | РЕСУРСИ ПОДЗЕМНИХ ВОДА

Ресурси подземних вода су обновљиви геолошки ресурси, који обухватају све врсте подземних вода (питке, минералне, термалне и термоминералне) без обзира на њихов квалитет и температуру. У подземне воде убрајају се све воде које се налазе испод површине Земље. Представљају саставни део хидросфере и налазе се у непосредној вези са површинским и атмосферским водама. У хидросфери се одвија непрекидно кружно кретање воде, односно хидролошки циклус. Водни биланс представља количинско изражавање хидролошког циклуса за одређене регионе. Геолошка дисциплина која се бави проучавањем подземних вода назива се хидрогеологија. Према пореклу подземне воде могу бити атмосферске, јувенилне и конатне. Атмосферске или вадозне воде настају инфилтрирањем воде из атмосфере. Јувенилне или магматогене воде настају у дубљим нивоима земљине коре, издвајањем из магме. Конатне или реликтне су заправо фосилне, односно седиментогене воде у морским или језерским седиментима. Вода у стенама може егзистирати у слободном облику или као везана. Слободна или гравитациона вода није везана за стене и минерале и представља најзначајнији облик подземних вода. Присутна је у чврстом, течном и гасовитом стању. Капиларна вода представља прелазни тип између слободне и везане воде и испуњава ситне пукотине у стенама. Вода у стенама може бити везана физички или хемијски. Физички везана вода присутна је у виду опни око честица стена или међупросторима у стенама. Хемијски везана вода присутна је у кристалној решетки минерала у виду молекула или јона. Вода у наткритичном стању налази се у дубљим деловима земљине коре, на температурама вишим од 374 °C.

Порозност стена је однос укупне запремине стене и запремине пора у њој. Ефективна порозност се односи на међупросторе у стени испуњене во-

дом која се слободно креће, не узимајући у обзир међупросторе у којима се налази физички везана или капиларна вода. Према генези, разликују се примарна и секундарна порозност. Примарна порозност је дефинисана у време настанка стена, док секундарна порозност настаје накнадним деловањем различитих физичких или хемијских фактора. Водопропустљивост је својство које дефинише способност стене да кроз поре пропушта слободну воду.

Најважније физичке особине подземних вода су: температура, прозрачност, боја, укус, мирис, густина, стишљивост, вискозност, електропроводљивост. Најбитнији параметри који дефинишу хемијски састав подземних вода су: рН вредност, тврдоћа, минерализација, присуство гасова и атома радиоактивних елемената.



Слика 10.1 Типови издани
(модификовано према Герзина & Царевић, 2019).

Зоне у унутрашњости Земље у којима стене имају способност акумулирања и одавања подземних вода називају се издани. Разликују се праве, односно издани са слободним нивоом, које се формирају инфилтрацијом површинских вода изнад водонепропусне подлоге (Слика 10.1). Поред њих постоје и артеске издани, у којима се вода налази под притиском. У зависности од геолошких и хидрогеолошких карактеристика терена, изданске зоне могу бити збијеног и разбијеног типа. У издани разбијеног типа спадају пукотинске и крашке издани. Извори су места где на површину Земље извиру подземне воде. Начин извирања подземних вода условљен је геолошким саставом и склопом стена, као и положајем зоне истицања у односу на дре-

нажне системе. Према механизму кретања воде у односу на хоризонталну раван извори могу бити гравитациони и артески. Код гравитационих или силазних извора вода се слободно креће гравитационим путем од изданске зоне до места истицања. Подтипови гравитационих извора су: депресиони, контактни и баријерни. Код артеских или узлазних извора узлазно кретање воде је условљено хидростатичким и геостатичким притисцима, температуром или гасовима.

Питања и задаци:

1. Дефинисајте њорекло и облике њодземних вода.
2. Дефинисајте њојмове њорозности и водоњројусљивости.
3. Дефинисајте издани и изворе, као и њихове основне њијове.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Fitts, C.R. 2012. Groundwater Science. Academic Press, 692 pp.

Hiscock, K.M. 2009. Hydrogeology: Principles and Practice. John Wiley & Sons, 408.

11 | ГЕОТЕРМАЛНИ РЕСУРСИ

Геотермални ресурси представљају скуп обновљивих геолошких ресурса, који обухвата термалне подземне воде и топлоту стенских маса из којих је могуће издвајање топлотне енергије Земље, односно геотермалне енергије. Извори геотермалне енергије могу потицати из унутрашњости Земље и у вези су са геолошким, геохемијским и геофизичким процесима који се у њој одвијају. Спољашњи извор геотермалне енергије је топлота која потиче од Сунца и загрева приповршинске сегменте литосфере. Геотермалне појаве се према агрегатном стању могу поделити на чврсте, течне и гасовите, док према времену настанка могу бити савремене и палеогеотермалне појаве. Распоред топлотне енергије у оквиру Земљиног геотермалног поља је неуједначен, па тако постоје подручја где је геотермална енергија концентрисана у таквим количинама да се може експлоатисати. Таква подручја представљају налазишта геотермалне енергије. За квантификовање геотермалне енергије на неком подручју користе се величине: топлотни ток, геотермски ступањ и геотермални градијент. Топлотни ток представља количину топлоте која се из унутрашњости Земље износи на њену површину. Дубинско растојање у метрима за које се температура повећава за 1 °C назива се геотермски ступањ, док се његова реципрочна вредност назива геотермални градијент. Ге-

Геотермална енергија спада у категорију такозване „чисте“ енергије, будући да уз соларну енергију, енергију ветра и текућих вода припада групи обновљивих извора енергије. Геотермална енергија се може користити за загревање објеката, за производњу електричне енергије, у пољопривреди, у процесу производње минералних сировина и друго (Слика 11.1).



Слика 11.1 Геотермална електрана на Исланду
(фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Питања и задаци:

1. Дефинисајте појмове геотермална енергија, типични ток, геотермски ситуације и геотермални градијенти.

ПРЕПОРУЧЕНА ЛИТЕРАТУРА:

Glassley, W.E. 2014. *Geothermal Energy: Renewable Energy and the Environment*. CRC Press, 423 pp.

СПИСАК СЛИКА КОЈЕ НИСУ ОБУХВАЋЕНЕ АУТОРСКИМ ПРАВИМА ВЕЗАНИМ ЗА ОВАЈ УЏБЕНИК:

Слика 1.1 Супердубока бушотина на Кољском полуострву (фото: Google).

Слика 1.2 Чарлс Лајел (фото: <https://en.wikipedia.org>).

Слика 2.1 Рађање звезде из небуле (фото: <https://www.nasa.gov>).

Слика 3.1 Варијације у гравитационом пољу Земље (фото: NASA/JPL/University of Texas Center for Space Research).

Слика 3.5 Поларна светлост (фото: SHUTTERSTOCK).

Слика 6.10 Раседи у различитим величинским подручјима: а) Сан Андреас расед (фото: DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.1 Алфред Вегенер (фото: <https://en.wikipedia.org>).

Слика 7.6 Источноафрички рифт – сателитски снимак (фото: EUROPEAN SPACE AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.8 Вулкани на Алеутским острвима (фото: John Lyons/USGS).

Слика 7.9 Хималаји – сателитски снимак (фото: PLANETOBSERVER / SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.17 Врсте магматских стена: а) гранит (фото: JOYCE PHOTOGRAPHICS/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) диорит (фото: DIRK WIERSMA/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) габро (фото: DK IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY), г) перидотит (фото: MICHAEL SZOENYI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.18 Врсте плутонских тела: а) батолит у планинама Сијера Неваде у Калифорнији (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.19 Јастучасте лаве на Хавајским острвима (фото: OAR/NATIONAL UNDERSEA RESEARCH PROGRAM/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 7.20 Пирокластични ток на планини Синабург у Индонезији (фото: MARTIN RIETZE/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.1 Структурни рељеф у провинцији Гансу у Кини (фото: AIRPANO/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.2 Вулканогени рељеф: а) вулкански нек у Вајомингу (фото: DAVID SCHLESER/NATURE'S IMAGES/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) слив лаве на Исланду (фото: PETR JAN/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.7 Антропогени рељеф – кратер Седан у Невади (фото: OMIKRON/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.8 Земљане пирамиде у Ђавољој вароши (фото: Н. Бродић/пројекат Devils' town Erosion MONITORing-DEMONITOR).

Слика 8.9 Клизиште на Новом Зеланду (фото: SIMON FRASER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.12 Аномалије талвега: а) раседни водопад – Анђеоски водопад у Венецуели (фото: AIRPANO/AMAZING AERIAL AGENCY/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) ерозиони водопад – Нијагарини водопади у САД (фото: BABAK TAFRESHI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.15 Укљештени меандар у Аризони (фото: P. MARAZZI/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.17 Делта Лене – Русија (Фото: NASA EARTH OBSERVATORY, JOSHUA STEVENS/US GEOLOGICAL SURVEY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.18 Облици крашког рељефа: а) шкрапе на планини Дахштајн у Аустрији (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) вртача на Пелопонезу (фото: DAVID PARKER/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) пећина на Сардинији (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.19 Облици маринског рељефа: а) клиф на обали Ламанша (фото: ANDY WILLIAMS/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) шкољи у Шкотској (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) превлака на обали Ламанша (фото: SKYSCAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY), г) подводна тераса на Северном мору (фото: NIGEL CATTLIN/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.20 Мешовити типови ледника: а) суподински ледник Маласпина на Аљасци (фото: NASA/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) платоски ледник Упсала у Аргентини (фото: PLANETOBSERVER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.21 Облици глацијалног рељефа: а) цирк на планини Саинт Елиас – Аљаска (фото: JACOB W. FRANK/NPS PHOTO/SCIENCE SOURCE/SCIENCE PHOTO LIBRARY), б) валови на Хималајима (фото: MARK WILLIAMSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY), в) морене у Швајцарским Алпима (фото: JUERG ALEAN/SCIENCE PHOTO LIBRARY), г) ератички блок у Пенинским планинама – Енглеска (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 8.22 Милутин Миланковић (фото: <https://sh.wikipedia.org>).

Слика 8.23 Пешчана олуја изнад Канарских острва (фото: NASA EARTH OBSERVATORY/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 9.2 Гигантско нафтно поље у Калифорнији (фото: CITIZEN OF THE PLANET/UCG/UNIVERSAL IMAGES GROUP/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 9.3 Рудник бакра са површинском експлоатацијом у Чилеу (фото: GEOFF TOMPKINSON/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

Слика 11.1 Геотермална електрана на Исланду (фото: ASHLEY COOPER/SCIENCE PHOTO LIBRARY).

ИНДЕКС ПОЈМОВА

- абисални седимент 58
абразија 70, 71
авлакоген 59
агенс 55, 59, 60, 62, 70, 73, 76
ада 67
азимут пада 26
азимут пружања 26
аксијална површ 28
акцелерограф 45
алпски ледник 74
алувијална раван 67
амплитуда набора 28
анвелопа набора 28
антецеденца 65
антиклинала 28, 29
антиформа 28
антропогени процес 60
апсолутна старост стена 22
арета 75
архаик 22
асиметрична долина 64
астеносфера 15, 33, 34, 49, 81
атмосфера 13, 16, 22, 33, 53
атмосферско електрично поље 16
аурора 16
аутометаморфизам 51
барисфера 15
басен 29, 33, 35, 38, 43, 56, 57, 58, 59,
82, 83, 84
батијални седимент 58
биогена стена 56, 57
биосфера 13, 33, 53
бифуркација 66
болидни басен 59
болсон 77
бронтид 46
вадати-бениоф зона 40
валов 74
вентифакт 78
вергенца набора 28
водни биланс 86
вододелница 63, 66
водопропустљивост стена 87
вртача 60, 69, 70
врућа тачка 49
вулкан 36, 37, 38, 39, 40, 44, 47, 48, 49,
50, 54, 56, 57
вулканизам 47
вулканогена стена 56
вулканогени рељеф 54
вулканокластит 49
вулканологија 49
вулканска купа 54
вулкански нек 47, 54
геоид 13, 16
геологија 9, 10
геолошка временска скала 22, 24
геолошка линеара 25, 26
геолошка планара 25, 26
геолошка структура 25
геомагнетно поље 16

- геоморфолошки облик 60, 67, 74, 75, 77, 78
- геоморфолошки фактор 55
- геосфера 16, 33
- геотектоника 24
- геотермална енергија 88, 89
- геотермални градијент 15, 88
- геотермални ресурс 81, 89
- геотермски ступањ 15, 88
- геофизика 9
- геохемија 10
- геохронологија 10
- гигантско нафтно поље 82, 83, 84
- гласијални процес 60, 72
- гласијација 75
- глечер 73
- глобална тектоника 33, 34
- грабен 31
- гравитационо поље 16
- гур 77
- девон 23
- делта 67, 69
- делувијални процес 61
- дефлација 76
- дефлациона депресија 77
- дивергентна граница 35, 36, 37, 57
- дијагенеза 56
- дијастема 26
- дина 78
- дискордантни слојеви 26
- дискорданција 26
- дома 29
- драјкантер 78
- дренажа 66
- дренажна мрежа 66
- дренажни систем 66, 67
- дренажно подручје 66, 67, 70
- друмлин 75
- дубокоморски ров 37, 38
- дугобазисна интерферометрија 34
- дуктилна деформација 27, 28
- егзодинамички процес 53, 55, 59, 60, 62, 68, 70, 72, 76
- еклиптика 11
- екстензија 35
- ексцентричност 75
- елемент пада 27
- елувијални процес 59, 61, 76
- ендодинамички процес 33, 53
- еолска поткапина 77
- еолски процес 60, 76, 78
- еон 22
- еоцен 23
- епигенија 65
- епицентар 44, 45
- епоха 23
- ера 23
- ератички блок 74, 75
- ерг 78
- еродибилност стена 55
- ерозија 55, 62, 65, 68, 70, 73, 76, 77
- ескер 75
- ефузивни магматизам 47
- жало 71
- жариште земљотреса 44
- земљана пирамида 61
- земљина кора 14, 36, 37, 39, 57
- земљино језгро 14, 15
- земљотрес 36, 37, 38, 39, 40, 43, 44, 45, 46
- изалучни басен 38, 58
- извор 50, 63, 87, 88
- издан 87, 88
- импактоген 59
- инверзни рељеф 53
- индексни минерал 50

- инландајс 72, 73, 75
инсолација 72
интензитет земљотреса 45
интергласијација 75
интракратонски басен 57
интрузивни магматизам 47
испредлучни басен 58
јама 70
јарданг 77
јаруга 60, 61
јастучасте лаве 48
јовијанска планета 11
јура 23
калдера 54
кам 75
камбријум 23
кањон 58, 63, 66, 70
карбон 23
катагенеза 56
катаклазит 50
катакластични метаморфизам 50
квартар 23
квеста 53
кенозоик 23, 41, 43
кластична структура 56
клизиште 60, 61, 62
клинсура 42, 63, 65, 66, 70
клиф 71
колизија 37, 39, 41, 43, 59, 84
колувијални процес 61
комполитна долина 64
конвекцијско струјање 15, 33, 34
конвергентна граница 35, 37, 38, 57, 58, 83, 84
конкордантни слој 26
контактна минерализација 81
контактни метаморфизам 50, 51
континентална кора 14, 37, 57
континентална падина 57, 58
континентални рифт 37, 39, 49, 57, 59, 84, 85
континентално подножје 57, 58
контракција 35
корација 76
корозија 68
краљушт 31
кратон 34
крашки процес 59, 68, 69, 70, 77, 78, 87
крашко поље 69, 70, 78
креда 23, 43
крило набора 25, 28, 29
кристаласта структура 56
кум 78
лава 48, 54
лавични језик 54
лагуна 71
ледничко раме 74
лес 78
линеација 52
литофикација 56
литорални седимент 57
литосфера 9, 10, 15, 16, 18, 24, 25, 27, 28, 33, 34, 35, 36, 37, 41, 43, 44, 46, 50, 53, 56, 57, 81, 82, 88
магма 46
магматизам 33, 40, 46
магматска диференцијација 46, 81
магматска стена 9, 15, 18, 20, 46, 47, 50
магматски лук 38
магматско огњиште 49, 54
магнетна деклинација 16
магнетна инклинација 16
магнитуда земљотреса 45
мантл 15, 37, 49, 57

- марински процес 59, 70, 71, 76
матична стена 82, 83, 84
меандрирање 65, 66
мезозоик 23, 41, 43
мезосфера 15
мерокрас 70
меса 53
метагенеза 56
метаморфизам 33, 50, 51
метаморфна фазија 50
метаморфна стена 9, 18, 20, 50, 56
метасоматоза 81
мигматит 51
милонит 50
минерал 18, 19, 22, 50, 51, 52, 56
минерална резерва 81, 82, 84
минерална сировина 81, 82, 84, 89
минерални ресурс 81
минералологија 10
миоцен 23
моноклинала 53
морена 60, 73, 75
мутонирана стена 74
набор 25, 27, 28, 29, 31, 42, 43
наборно-навлачни појас
39, 40, 43, 59, 84
навлака 31, 32, 43
небула 11, 12
неоген 23
неотектоника 24
неутрални температурни слој 15
нунатак 75
одрон 61, 68, 71
озар 75
океанска кора 14, 36, 37, 39, 57
олигоцен 23
органогена структура 56
ордовицијум 23
ороген 35, 41
ортометаморфна стена 50
оса набора 28
падински процеси 59, 61
падна права 26
падни угао 26
палеоген 23, 43
палеогеографија 56
палеозоик 23, 41
палеоцен 23
параметаморфна стена 50
пасивна континентална маргина 57,
58, 82, 83
пацијенс 55
пенепленизација 72
периода 23
перм 23
петрологија 10
петролошка структура 51
петролошка текстура 51, 52
пећина 44, 69, 70
пећински накит 70
пирамидални врх 75
пирокластични материјал 47, 48
плавинска лепеза 60, 61
плажа 67
плаја 77
плато 53, 77, 78
платоски ледник 73
платформа 14, 34, 57, 82, 83, 84
плеистоцен 23, 72, 75, 78
плиоцен 23
плитвак 71
плутон 47
плутонизам 47
повлатни блок раседа 30, 31
повлатни слој 25
подводна тераса 71

- подводни кањон 58
подински блок раседа 30
подински слој 25
покровни ледник 72
полигена стена 56
понорница 70
порозност стена 86, 87
поствулканска појава 49
пострифтна фаза 82
превлака 71
прекамбријум 22
прераст 77
прецесија 75
принцип актуализма 10
принцип биолошке сукцесије 10, 22
принцип суперпозиције 10, 22
пролувијални процес 61
протерозоик 22
пузиште 61
пукотина 31, 45, 86
пустињска кора 78
пустињски покров 78
радијација 72
развође 66
расед 25, 27, 28, 29, 30, 31, 39, 40, 44, 64, 70, 82
рђаве земље 61
регионални метаморфизам 50
регресија 56, 70
резидуални облик 74, 75
рекристализација 56
релативна старост стена 10, 22
рељеф 53, 54, 56, 58, 60
ресурси подземних вода 81, 86
речна долина 60, 62, 64, 67
речна пиратерија 66
речна тераса 63, 67
речно корито 63, 64, 67
руптурна деформација 27, 30, 31
сабка 77
сањасте стене 77
седиментација 56, 57
седиментна стена 9, 10, 18, 20, 25, 50, 56
седиментна фација 56
седиментни басен 56, 57
сеизмизам 33, 40, 43
сеизмичка рејонизација 46
сеизмички талас 14, 44, 45
сеизмички хазард 46
сеизмограф 45
сеизмологија 43
сеизмоскоп 45
сеизмотектоника 44
силур 23
синклинала 28, 29
синрифтна фаза 82
синформа 28, 77
сипар 61
скок раседа 30
слој 10, 25, 26, 28, 29, 53
снежна граница 72, 73
спруд 58, 60, 67, 71
средњеокеански гребен 36, 39, 40, 49, 57, 85
стенски циклус 20, 21
стратиграфија 10
стрес 27, 28, 35, 50
стрија 25, 30, 35, 74
структурна геологија 10, 24
структурна тераса 53
структурни рељеф 53
субдукција 37, 38, 39, 41, 42, 49, 58, 59, 84
суподински ледник 72, 73
супсиденција 57, 82

- таласна поткапина 71
талвег 63, 64
тектогена епоха 41
тектогени рељеф 53
тектоника 10, 24
тектонска бреча 50
тектонска плоча 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 49, 57, 83, 84, 85
телурско електрично поље 16
терестричка планета 11
теригена стена 56
тециште 61
топлотни ток 88
трансгресија 56, 70
транскурентна деформација 30, 31, 35, 39, 40, 83
транспресија 35
транспресиони басен 59
трансротациони басен 59
транстензија 35
транстензиони басен 59, 83
трансформна граница 35, 39, 40, 57, 59
тренч 32, 37, 58, 59, 84
тријас 23
трусна област 44, 46
турбидит 32, 43, 58
увала 69, 70
укљештени меандар 66
ултраметаморфизам 51
фанерозоик 22
филонит 50
флексурни басен 59
флувијални процес 59, 62, 70
фолијација 51, 52
форланд басен 59, 84
фосилни садржај 10, 56
хад 22
халокинетички басен 59
хамада 77
хемогена стена 56, 57
хидрогеологија 86
хидролошки циклус 86
хидросфера 13, 33, 53, 86
хидротермални процес 81
хијатус 26
хинтерланд басен 59
хипоцентар 44, 45
ход раседа 30
холокрас 70
голоцен 23, 78
хондрит 18
хорст 31
цирк 60, 74
џиновски лонац 64
шаријаж 32
шарнир набора 28, 29
шелф 57, 58, 71
шкољ 71
шкрапа 69
шкриљавост 52
штит 14, 34

**CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд**

55(075.8)(0.034.2)

СТОЈАДИНОВИЋ, Урош, 1981-

Основи геологије [Електронски извор] / Урош Стојадиновић. - Београд :
Универзитет, Рударско-геолошки факултет, 2024 (Београд : МСО). - 1
електронски оптички диск (CD-ROM) ; 12 cm

Системски захтеви: Нису наведени. - Насл. са насловне стране документа.
- Тираж 50. - Библиографија уз свако поглавље.

ISBN 978-86-7352-407-8

а) Геологија

COBISS.SR-ID 154408969



<https://rgf.bg.ac.rs>