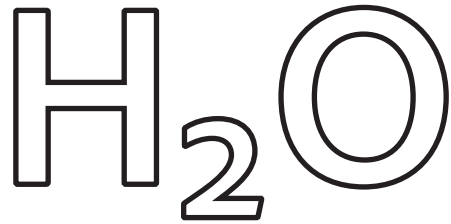


Едиција
Популарна наука

Превод са енглеског

Ана Имшировић Ђорђевић

Филиј Бол



Биографија воде

Хеликс
Центар за промоцију науке

Смедерево, Београд, октобар 2013.

Наслов оригинала

Philip Ball

H₂O: A Biography of Water

Copyright © 1999 by Philip Ball

Copyright © 2013. за српско издање: Хеликс

Садржај

Предговор	vii
Део I Космички сок	
1 Први потоп	3
2 Крв Земље	21
3 Ризнице градне	55
4 Океани на небу	77
Део II Две руке, две ноге	
5 Елементи на потезу	109
6 Између неба и земље	142
7 Истине о леду	172
Део III Матрица живота	
8 Прави еликсир	207
9 Унутрашњи свемир	233
Део IV Необична течност	
10 Гордост, предрасуде и патологија	253
11 Капљица нечег жешћег	274
Епилог Плаво злато	317
Белешке	353
Библиографија	369
Индекс	379

Предговор

Вода беше праизвор света и свих створења на овоме свету... Како најплеменитије и најделикатније боје настају из ове црне, прљаве земље, тако су разноврсна створења никла из те праисконске супстанције која на почетку беше пуки мутљаг. Обратите пажњу на воду као чист елемент, а потом појмите да су од ње изведени сви метали, сво камење, сјајни рубини, светлцуави гранати, кристали, злато и сребро. И ко би у свему набројаном препознао воду?

Парацелзус (око 1531–1535)

Неке материје постају митске. Оне надрастају своје физичке и хемијске одлике и ми их сагледавамо као симболе, као квалитете. У културама, у колективно несвесном, њихово симболичко значење много је битније од њиховог материјалног састава. Алхемичарима злато није било тек метал, него савршенство, циљ интелектуалне потраге. Ватру не можемо одредити само као светлећи гас. Крв није само колоидна суспензија, већ садржи нешто витално и непорециво. Генерално речено, разочарамо се кад митске материје сведемо на научни опис.

То не важи за воду. Њој се дивимо чак и кад остане огољена хемијска или геолошка појава, очишћена од симболичких украса, од асоцијација на душу и живот и материнство, на чистоту и младост. Тај наоко једноставан молекул и данас поставља озбиљне изазове научницима.

Него, зашто биографија? Зато што сама вода – и човек, уосталом – има очигледне, свима знане одлике које се непосредно уочавају. Оне се могу појмити – могу ли? – тек пошто се проучи њен дубљи састав и скривени чиниоци који утичу на њено понашање. Стога ћу морати да проучим њену унутрашњу нарав, физику и хемију њене јединствености. У великом свету вода, обликована физичким силама, бивствује на посебан начин. Размотрићу како то вода утиче на живот, на планете у нашој галаксији, на друге светове и звезде, све до тога како на основу нашег сагледавања воде стварамо код себе предрасуде о могућностима науке.

Кад хоћемо да одредимо где је води место у настанку, ваља да дознамо њено порекло и у материјалном свету и у идејном. Приповести о животу имају низ варијаната. Примера ради, знамо званичну верзију

о извесној јавној личности. Да, али познате су нам и стварне чињенице из њеног живота, додуше непроверене и мутњикаве – има их у свакој биографији и зна их само дотична особа, мање или више детаљно. Онда долази на ред и генеалогичка и, уколико хоћемо да будемо темељни, чак и раса те особе (тим путем се стиже до разматрања настанка наше врсте). Онда ваља одредити место те особе у свеукупном друштву. Узмимо за пример Хенрија Форда. Зар се може изнети његова биографија а да не оцртамо културну еволуцију нашег односа према аутомобилу? Тако се намеће закључак да је за човечанство вода покретач друштвених промена – она је драгоцен ресурс који треба добрано чувати и одржавати те паметно трошити, иначе ће наступити несташница па за њом болештине, пропадање животне средине, ратови и смрт.

На нашу срећу, проучавајући воду, ту имперсоналну тему, сасвим прецизно можемо да разлучимо чињенице од личних ставова. Наше веровање о томе шта је заиста вода, упадљиво се мењало – не мора се наглашавати како смо и ми, као сви наши преци кроз историју, сигурни да је наше тумачење једино исправно. Приповест о води стоји пред нама као огледало и лепо видимо како се кроз векове из корена преобразавала наша перцепција света супстанци. Али све то време вода је била управо оно што и данас: H_2O , особито хемијско једињење са сопственим историјатом. Успели смо да реконструирамо делове те историје – други нам још нису знани. Било како било, увек ће важити чињеница да је вода стигла из космоса и да је и даље има у васељени.

Оставимо ли на страну хемичаре, коме ће од нас прва асоцијација на воду бити тај бананолики молекул? Уместо њега ми видимо реке, поточиће, набујале кладенце и бескрајна океанска пространства. Пред очима нам је течност – архетип свега што се креће текући (како ми то представљамо себи). Није тек тако наука о протицању названа *хидродинамика*. Наравно, вода није једина супстанца која формира течност. Ипак, ретке су оне које то постижу на температури и притиску под којима се живот несметано одвија. Зато се нимало нећемо изненадити над чињеницом да су старовремски природњаци мислили да отопљени метали имају одлике воде. Вода је посебна пре свега због свог стања – текућег – и зато ћу морати да зађем у свет физике течности, иначе скрајнут, како бих открио колико темељно вода разара теоријски крајолик.

Око сваке чувене личности плету се митске приповести. За воду се везују бројна предања и скоро сва знамо, те како је свет изникао

из пракеана, те како се одвијао библијски потоп. У поглављима 10 и 11 позабавићу се митовима из 20. века, митовима о истинској нарави воде, о необичним замислима и предањима чија је окосница управо та посебност воде. То је некакво погрешно скретање од псеудонауке до готовонауке, чак и до науке чврсте као стена у којој је нешто наопако протумачено или се није довољно пажње посветило проучаваном. Морате стално да будете обазриви уколико хоћете да откријете у шта се све вода преодева.

Пошто се о води може много говорити, ова биографија није свеобухватна. Остала су непоменућа обимна подручја истраживања, на пример, мотив воде у поезији и њени упливи на књижевност, а може се нешто више рећи и о њеној улози у друштву, историји и технологији. Вода није личност, пре би се рекло да је култура, са својим законитостима, својом уметношћу, јединственом историјом и географијом, и зато би њену биографију требало да састављају многи делатници. Ја сам решио да изнесем тајну у самој сржи природе воде, да објасним зашто је та материја толико посебна и зашто је, следствено томе, матрица живота.

Увек ме гане великодушност научника и колега кад су у прилици да посаветују, неретко веома подробно, премда им је награда тек моја захвалност. Својим саветима задужили су ме: Питер Аткинс, Вилијам Брок, Мари-Клер Белисан-Финел, Дејвид Чандлер, Крис Чиба, Пабло Дебенедети, Крис Доаки, Јан Енгбертс, Џон Фини, Питер Фишер, Феликс Френкс, Лора Гарвин, Мајкл Грезел, Џим Кастинг, Џон Ролинсон, Џин Стенли, Џон Стедник, Алерд Стикер, Крис Сариц, Ворен Вајт и Дејвид Вилијамс. Мој уредник Тоби Манди немерљиво је допринео дотеривању књиге својим здраворазумским опаскама, стрпљењем и пажњом. Хвала ти, Џулија, на подстицању, на предлозима, подршци и свему осталом.

Филип Бол
Лондон, фебруара 1999.

ДЕО I

Космички сок

1

Први потоп

Порекло воде

Наше достојанство сигурно је увелико плод [...] наше способности да сазнајемо и могућности да кроз нас материја може спознати себе; да смо ми, наставши од протона и електрона, изашавши из материце времена и бескрајне васионе, почели да разумевамо; да су, организовани у нама, водоник, угљеник, азот, кисеоник – од 16 елемената до 21 елемента – те вода и Сунчева светлост, поставши ми, почели да схватају шта јесу и како су настали.

Џорџ Волд, добитник Нобелове награде за медицину, 1964.

Те звезде су отелотворени преци
Тих тамних брда, погурених као радници,
И моје крви.

Тед Хјуз, *Гуџач вајре*

У почетку беше вода. Земља беше необликована и пушта и само „дух Божји дизаше [се] над водом“. Не беше ни неба, ни педља суве земље, све док Бог не предузе да „растави воду под сводом од воде над сводом“. И потом заповеди: „Нека се сабере вода што је под небом на једно мјесто“.¹ И тад се из бескрајног, праисконског океана указа копно.

Овај опис се понавља у сличним митовима по целом свету. У космогонијама из средње и северне Азије, у онима из Северне Америке, Индије и Русије, сталан је јунак Онај Што Изрони Земљу, односило се то на бога или на животињу. Јунак рони на само дно примордијалног океана и отуд доноси семе земље. Полинежанска космогонија

невероватно се детаљно подудара са старозаветном. Врховно биће Ио заповеда: „Нека се воде раздвоје, нека настану небеса, нека буде земља!“ Индијанци из Омахе приповедају да су некада давно сва створења, тужна и жалосна, плутала по води над потољеном земљом и онда је из дубина изронила огромна стена. По индуској митологији, онај празвук који је отелотворио Брам у испрва је био вода и ветар. Од те воде и ветра сплела се мрежа која чини овај свет. „Тама ту беше и све обавијаше и све беше Вода“, стоји у дивној химни о настанку из *Puī Bege* (3700. године п. н. е.).² И Хуракан, мајанско божанство, призвало је копно из васионе сачињене од таме и воде.

Зашто се та представа да на почетку би вода јавља у тако различитим културама, не обухватајући ни религијску традицију ни посебне географске одлике простора на којима обитавају носиоци тих култура? На крају крајева, можда можемо тражити порекло тог предања у психи људи: древни народи могли су да појме шта је и колико је копно, али море – тајанствено, недокучиво, прастаро – било је симбол несвесног. Не знам ни за један космогонијски мит по коме је прво настало копно које су потом, у свеопштем потопу, прелиле воде.

Међутим, у неким традицијским веровањима земља и море су испишници. Раздвајање крви и меса у јудео-хришћанској религији у ствари је раздвајање земљаног и воденог аспекта света. По нордијској митологији, копно је сачињено од костију и меса првог дива Имира. Кад му је Один зариио копље у срце, бризнула је слана крв и од ње је потекао океан. У кинеском миту је Пан-Ку, прво биће, од сопственог тела истовремено извајао копно и море.

Постоји ли зрнце материјалне истине у поменутиим митовима? Да ли је свет давно, прадавно заиста био покривен водом? И откуд изби та вода?

На почетку

У митовима најчешће у исти час настају и васиона и Земља. Кад погледамо уназад, пре настанка нашег света, задубимо се у размишљање о вечности па се сетимо Хаоса старих Грка, Гинунгагапа, викиншког леденог и огњеног понора, те Акшара-Браме, врховног индуског божанства. Питање кад је настала наша планета у наше време, у већ сазрелом космосу, тек је локалног карактера. Час стварања одиграо се пре барем шест милијарди година – тај податак је фантастичан као сваки мит.

Ретко је неоспорно како је и кад нешто настало. Сад је популарно сматрати Велики прасак за ултрамодерни културни мит, друштвену конструкцију једнаку приповести о погубљењу Имира. У једну руку, било би надмено оповргнути такав став, а опет, управо таква увереност подстиче науку. Гледано из позиције науке, теорија Великог праска за сада је без сумње најбољи модел настанка космоса и ослања се на неколико изванредних стубова. На питање зашто је вода то што јесте, савремена космологија одговара доследно и јасно, за разлику од предања о томе шта је било кад је Один усмртио Имира.

Замислите да гледамо филм о првим тренуцима после експлозије. Видимо својеврстан клубук који се увећава и у њему много фрагмената који беже један од другог. Године 1929. астроном Едвин Хабл уочио је да се галаксије понашају баш као у нашем филму. Сигурно је, као и ми, гледаоци, закључио да су на делу последице експлозије. Али Хабл је ту појаву посматрао изнутра, јер ми бродимо на једном од тих фрагмената, на галаксији званој Млечни пут (или Кумова слама). Како се галаксије међусобно брзо удаљавају, космос непрестано расте. Сасвим је нормално закључити да је свеукупна материја у космосу некад била обједињена у знатно мањем облику, па је тај облик праснуо. То је запазио Алберт Ајнштајн још 1917. Пошто је применио своју општу теорију релативности на космос, видео је да се, према његовим једначинама, космос или шири или сажима. Сопствено запажање учинило му се блескасто, па је хтео да укине то ширење. Стога је малко дотерао своје једначине: унео је фактор корекције. Међутим, на основу Хабловог открића 1931. године увидео је да је то дотеривање сувишно.³

После само милионитог дела једног милијардитог дела секунде, када је, према неким теоријама, пречник васионе могао бити тек један метар, температура је морала бити висока милијарду милијарди степени. У тако екстремним условима нису постојали ни атоми ни молекули, па ни нама знана материја.

Будући да се космос ширио, његова температура нагло је падала, те је, према проценама, пред крај првог дана стварања опала на десетак милиона степени – отприлике толико је врело у средишту звезде. Од те ватрене васионске лопте преостали су сиви, хладни делови: садашњи космос и све звезде, супернове и квазари у њему. Арно Пензијас и Роберт Вилсон из Белових лабораторија детектовали су 1965. године једва приметан „одсјај“ на небу. То је из свих смерова стизало униформно позадинско микроталасно зрачење просечне температуре

једва три степена изнад апсолутне нуле. Од жестоког Великог праска остала је само та микроталасна позадина.

Ткање воде

Потпуно се слажем са ставом Џорџа Волда с почетка поглавља. Збиља ћемо моћи да се држимо достојанствено уколико појмимо од чега смо саграђени и одакле је дошла наша грађа. Много нам више смерности треба да ишчитамо живот звезда у нашој крви и костима, него да себе прогласимо за плод божанске промисли. Него, одложимо за после крв и кости; засад само хоћу да пратим гестацијски процес развоја тих протона и електрона, те стварање водоника, кисеоника – и воде.

Пошли смо у потрагу за та два елемента, Н и О, који се тако спремно спајају да начине твар из наслова ове књиге. Вероватно сви на свету знају бар једну хемијску формулу – H_2O – формулу воде, која значи да су у њеном саставу два атома водоника спојена с једним атомом кисеоника. Управо тај спој називамо *молекул* – грозд атома. Рецимо, узео ћемо сечиво, тананије од најтањег хируршког скалпела, расцепићемо блок леда и цепкаћемо га док се не сведе на те троатомске гроздове. Уколико продужимо да ситнимо, нема више воде. Молекул H_2O је најмањи делић воде који се може добити – то је основна јединица воде.

Ето, учили смо најбитнију одлику карактера воде: она је *хемијско једињење*, спој атома, дељиво на атоме различите врсте. Будући да је вода толико основна материја, није ни чудо што се миленијумима грешило, те је проглашавана за *елементи*, то јест нешто што не може да се дели. Елементи су водоник и кисеоник јер сваки садржи само једну врсту атома. Али не постоји атом воде, већ само њен молекул, који чине две врсте атома.

Кад месимо хлеб, прво морамо набавити брашно; пре него што се у васиони појавила вода, морали су постојати атоми водоника и кисеоника. Међутим, да би се добило брашно неопходно је жито – па и атоми имају базичније састојке, управо оне Волдове *йроџоне* и *елекџроне*.

Протоне и електроне у атому можемо упоредити с ножевима и виљушкама на постављеном трпезаријском столу; колико год да је сто велики, увек се поставља исти број комада прибора за јело. Атоми елемената, рецимо атоми кисеоника и угљеника, разликују се само по броју протона. Стога је основни образац атома нумерички, пише Џејкоб Броновски у својој књизи *Усџон човека* (*The Ascent of Man*). Атом

водоника садржи један протон и један електрон; атом кисеоника гради осам протона и осам електрона. У хемији се, на одређеном нивоу, све своди на пребројавање.

Јасно, на другом нивоу није тако. Чисто књиговодство протона није кључ за разрешење загонетака. Зашто се атоми водоника спајају с атомима кисеоника баш у односу 2:1? Зашто је натријум (с једанаест протона) мек, реактиван метал? Зашто је хлор (са седамнаест протона) корозиван гас, а силицијум (с четрнаест протона) инертан, мрк кристал? Да бисмо ишта од овога разумели, ваљало би да погледамо распоред електрона. Тај распоред чини узорке који одређују хемијска својства елемента.

Крајем 19. и почетком 20. века, британски физичар Џ. Џ. Томсон мислио је да су протони и електрони у атому слепљени у хетерогено клупче. Међутим, није био у праву. Релација између елемената атома налик је на однос планета према Сунцу: електрони круже око средишњег, густог језгра у коме се налазе протони. Тај модел атома, назовимо га планетарни, осмислио је Новозеланђанин Ернест Радерфорд, Томсонов штићеник. Применимо ли тај модел и повећамо језгро атома до величине Сунца, тада би растојање између електрона и језгра атома било десет пута веће од растојања између Нептунове орбите и Сунца. Овај модел не треба узети превише озбиљно: премда прецизно одређујемо положај планета, не можемо врхом оловке тачно убости положај електрона јер се они не крећу по чврсто дефинисаним елиптичним путањама, него заузимају регионе које зовемо *орбитале*. Орбитале имају облик сфера, капи и прстенова, а средиште им је у језгру. Најлакше је схватити овај опис уколико се упореди с мутњикавим „електронским облацима“ сличним пчелама које се роје око кошнице. Целокупна хемија изводи се из распореда електрона по различитим орбиталама у атому.

Свакако треба поменути да језгра атома не одржавају електроне уз себе помоћу гравитационе силе него преко наелектрисања: електрон је негативно наелектрисан, а протон има једнако позитивно наелектрисање. Сам атом је електрично неутралан уколико садржи исти број обе врсте честица. Пошто електрони могу бити ишчупани из атома – као што звезда у пролазу може да повуче планету из Сунчевог система крај кога се креће – тај окрњени атом постаје позитиван, јер има више протона него неутрона. Исто тако, атом може имати више електрона него протона и онда је негативно наелектрисан. Такве наелектрисане атоме

(и молекуле) називамо *јони*. Премда у неутралном атому постоји исти број протона и електрона, основна одлика елемента јесте број протона. Кад бисмо хтели да истргнемо протон из атома, прво би ваљало да га ишчачкамо из густе масе језгра, а на то бисмо потрошили силну енергију. Што је још важније, тако би се атом претворио у други елемент.

Мада атоми водоника имају један протон, а атоми кисеоника осам протона, атом кисеоника је око шеснаест пута тежи од атома водоника. Тај феномен је настао зато што атом има трећи састојак, *неуџрон*. Он има масу скоро једнаку маси протона и електрично је неутралан. Сви атоми изузев водониковог обавезно имају у језгру и неутроне и протоне, отприлике у истом броју (да генерализујемо). Ова изјава је неодређена и подозревам да је то неизбежно из два разлога. Први се односи на тежину атома. У лаким атомима, какви су атоми угљеника, азота и кисеоника, однос између неутрона и протона отприлике износи 50:50. Међутим, што је атом тежи, број неутрона прилично превазилази број протона па тако атоми олова, примера ради, имају отприлике четрдесет посто више неутрона него протона. Други је разлог то што и атоми истог елемента могу садржати различит број неутрона. Атоми кисеоника уз осам протона имају седам, осам, девет или десет неутрона. У атому водоника или уопште нема неутрона или ту буде један или два. Ти различити облици атома истог елемента зову се *изоџоии*. Огромна већина атома водоника не садржи неутроне; од свих што их је у природи, неутроне има само 0,015 процената. Тај тежи изотоп назива се тешки водоник, водоник-2 или деутеријум.

Знам, знам: ово наликује на сувопарне уџбенике из хемије. Непријатно ми је што вас, можда преурањено, затрпавам толиким подацима. Ево, можда ћу вас утешити: ово је све што морате знати о атомима да бисте без тешкоћа ишчитали књигу. Изнео сам хемијску абецеду, бар то се мора научити. Осим тога, ако хоћемо да спознамо како је васиона скувала воду, морамо знати који се састојци сипају у лонац.

Чорба се хлади

Узмемо ли да је вода јело, рецепт је прост: измешајте водоник и кисеоник. Лако је набавити први састојак – чим се ситуација после Великог праска прохладила, ето њега. Дакле, протони – језгра атома водоника – кондензовали су се из ватрене лопте отприлике милионити део секунде после рођења времена и простора.

Претпоставља се да је у том трену температура била милион милиона степени, па је било превише врело да би протони могли да задрже електроне. Космос је тада био вариво од протона и електрона, зачињено неутронима и другим субатомским честицама, рецимо неутронима; сви састојци су пливали у вријућој супи од X зрака. И тако се јело крчкало читавих неколико минута: космос је био претерано врео да би био занимљив.

Протони још нису могли да се комбинују с електронима, али су се повезивали једни с другима и с неутронима. То је било могуће зато што је *јака нуклеарна сила*, она која повезује протоне и неутроне у језгру, вишеструко јача од електростатичке привлачне силе између протона и електрона. Сто секунди после Великог праска, при температури од отприлике три милијарде степени, почела је *нуклеосинтеза*: протони и неутрони спајали су се и формирали језгра тежих елемената. У фузији тих честица створена су језгра неколико лаких елемената: хелијума-4 (амалгам два протона и два неутрона),⁴ литијума (три протона и три или четири неутрона) и бора-11 (пет протона, шест неутрона). Скоро четвртину масе васионе чини хелијум-4, настао у процесу нуклеосинтезе, првих дана Великог праска.

Сви остали елементи сачињавају свега један-два процента масе космоса. Можемо то и овако представити: скоро три четвртине масе космоса отпада на водоник, а скоро све остало чини хелијум. Пошто се температура спустила до четири хиљаде степени, језгра су могла да грабе и задржавају електроне. Протони су се удружили с електронима и тако су се родили атоми водоника.

Атомско умеће

Да хемија има везе искључиво с Великим праском, на шта ли би личио периодни систем елемената? На краћушну, неструктурисану листу од пет-шест ставки – не би је било тешко савладати, једино што нас онда не би било па не би имао ко да ужива у тој лакоћи. Већ кад је настао бор, Велики прасак је био поприлично истрошио своју снагу за грађење атома.

На нашу срећу, нашла му се при руци гравитација. У разуђеним облацима материје која се синтетисала у Великом праску, гравитација је полако али сигурно кренула да ствара галаксије. Тамо где је гас био

гушћи, ма и за присенак, унутрашње повлачење гравитације било је за трунчицу јаче. Постепено су бивале све јаче варијације гравитације, иначе готово неприметне, и кондензовале су се у све компактнија клупка, слично као што се капљице кише на прозорском окну скупе у мрежу капи која клизи по стаклу. Те аморфне групе су претече огромних јата галаксија у којима су се мање гомилице кондензовале у одвојене галаксије; наступила је хијерархијска фрагментација све до величине маглина да би на крају коначно настале звезде.

Кад се материја урушила у саму себе, и загрејала притом, то је на делу била гравитациона сила привлачења. Звезде су се, једна по једна, палиле и синувале. По васиони су поново блеснула светла. Звезде су више него ватрене лопте – оне су мотори постања. Из њихових пламтећих срдаца настали су елементи од којих су саграђени светови.

Трансмутација њосијаје сиварносѝ

Астрономија је неопходна вештина; с правом је ваља високо уважавати и проучавати марљиво и подробно.⁵

Тако је у 16. веку зборио Парацелзус, луталица, лекар и алхемичар, а да ниједног тренутка није наслутио да су баш звезде веште у оном што је жудео да савлада. Звезде могу да претварају један елемент у други – оне су васељенски алхемичари.

У звездама се одвија *нуклеарна фузија*, што значи да се језгра водоника стапају и стварају теже елементе; на тај начин звезде обављају нуклеосинтезу. Младе звезде су углавном начињене од водоника, од кога у ланцу фузионих реакција настаје хелијум-4 и ослобађа се огромна количина енергије. У свом веку типична звезда спали тек дванаестак процената свог водоника и произведе хелијум.

Често се чује да је замисао о трансмутацији елемената сасвим модерна и да нема никакве везе с алхемијом (ако се те везе признају, тврди се да су пуке коинциденције) и веровањем алхемичара да елементи могу да се претварају један у други. У ствари, није тако: може се повући непрекидна линија, сачињена од логичних претпоставки, још од Парацелзусове метафизике све до прве атомске пећи коју је 1942. године у Чикагу начинио Енрико Ферми.

Године 1815. британски хемичар Вилијам Праут оглашава свој став да се атоми тежих елемената формирају тако што се групишу водоникови

атоми. Из тога следи да је водоник прва материја од свих то јест она Аристотелова чиста материја, праматерија, од које је сачињено све остало.⁶ Лако ћемо доћи у искушење да прогласимо како је Праут тиме наговестио достигнућа из 20. века: откриће нуклеарне фузије и структуре атома. Међутим, Праут није био извргнут руглу (премда је његова замисао свакако била контроверзна) само зато што се алхемијска традиција још провлачила кроз интелектуалну атмосферу. Чак је и угледни британски хемичар и физичар Мајкл Фарадеј целог свог века веровао у доктрину о трансмутацији елемената.

Четрдесетих година 19. века француски хемичар Жан Батист Дима разрадио је Праутову теорију. До тог доба већ су се знале релативне атомске масе неких елемената, и то чудесно до танчина, и Дима је уочио да те одлике елемената поуздано *нису* целобројни умношци релативне атомске масе водоника, што је значило да они нису могли бити начињени од гроздова водоникових атома. По његовом мишљењу, основна јединица материје могла је бити део водониковог атома – половина или четвртина. Он није знао да дискрепанција настаје зато што су елементи из природе мешавина изотопа, па њихова просечна маса не одговара целом броју протона. Седамдесетих година 19. века Норман Локјер повезао је те замисли и хемију екстратерестријалног космоса. Те и претходне деценије астрономи су, проучавајући светлост коју емитују звезде и Сунце, открили у њој отиске прстију многих земаљских елемената. Године 1868. Локјер (и упоредо с њим Француз Пјер Жансен) открива нови елемент искључиво на основу његовог изразитог отиска у Сунчевом спектру, то јест међу тамним тракама у којима тај елемент апсорбује светло извесних боја. Локјер је елемент назвао хелијум (према грчкој речи *ἥλιος*, што значи Сунце). Хелијум је откривен на нашој планети тек после двадесет седам година.

Локјер је развио теорију о „еволуцији звезда и хемијских елемената“, директно изведену из Праутове хипотезе коју је разрадио Дима. Он је пратио боје звезда и закључио да тешки елементи настају од лакших елемената из унутрашњости звезда док се оне хладе и њихово плаво-бело блештавило прелази у црвену замагљеност. Британски хемичар Вилијам Крукс изнео је осамдесетих година 19. века сличну хипотезу, извевши је на запажању да се гасови изложени високом електричном напону могу разградити у плазму – мешавину јона и електрона. Он је прогласио плазму за четврто агрегатно стање материје састављено од субатомских честица сродних с онима чије су постојање одредили

Праут и Дима. Сматрао је да су звезде настале од плазме и на основу тога је направио егзотичну схему еволуције и трансмутације елемената.

На сцену сīуїа кисеоник

Физичар Франсис Астон, запослен у Кевендишовој лабораторији на Кембриџу, 1919. направио је *масени сīекїроїраф* (ми користимо термин *масени сīекїромеїаф*), којим је невероватно прецизно мерио релативне масе атомских језгара. Бавећи се тиме, увидео је да чак ни масе језгара појединачних изотопа нису сасвим тачно цели умношци маса језгра водоника; мање су, премда за тек делић једног процента. Та сїушна разлика у маси постоји зато што се велика количина енергије ослобађа кад се спајају протони и неутрони и формирају теже језгро. Њоме се објашњава „дефект масе“; он се израчунава према Ајнштајновој чувеној формули $E=mc^2$. Дакле, Астон је први запазио како се енормна енергија крије у језгру атома. Кад је Ернест Радерфорд, тада директор Кевендишове лабораторије, 1919. године показао да се нуклеарна трансмутација може индуковати на вештачки начин, научници су схватили да би се та енергија могла применити у техничке сврхе – на добро или зло по човечанство. Те године француски физичар Жан Перен иступа с претпоставком да Сунце и остале звезде добијају своју енергију из фузије водоника у теже елементе. Другим речима, није тачна Локјерова претпоставка да нуклеарна фузија настаје само као *їоследица* фуриозног Сунчевог окружења, него је тај процес његов *узрок*. Артур Едингтон је 1920. године то овако прокоментарисао: „Оно што је могуће у Кевендишовој лабораторији, можда није недостижно ни у Сунцу“.

Средином тридесетих година 20. века руско-амерички физичар Џорџ Гамов поставио је Перенову идеју на стабилнију подлогу: сматрао је да се водоник преображава у теже елементе хватањем низа протона и неутрона. Немачки физичар Ханс Бете доказује 1939. године како се фузија покреће искључиво уз постојање *каїализаїора*, мале дозе угљеника. Новонастала звезда, кондензована из гасовите маглине, типично садржи отприлике један проценат угљеника, највише у облику његовог изотопа угљеника-12. Тај изотоп бива семе из ког ничу нуклеарне реакције у којима се у шест узастопних корака водоник-1 преображава у хелијум-4. Угљеник-12 се рециклира у том процесу: на почетку се троши, а на крају избацује. Зато тај изотоп, по дефиницији, дејствује

као катализатор. Дакле, врло мала количина угљеника може да олакша фузију много водоника.

Овлаш гледано, не би се рекло да ћемо много одмаћи унапред знајући за тај циклус, јер је његов резултат претварање водоника у хелијум, а већ смо дознали да се то свакако збива и без помоћи угљеника. Али у корацима такве фузије настају други елементи: три различита изотопа азота и један изотоп кисеоника (ретки кисеоник-15). У Бетеовом циклусу СНО, кисеоник ступа на космичку позорницу.

Значајни део звездине енергије настаје у циклусу СНО (што је скраћеница енглеских назива хемијских елемената угљеника, азота и кисеоника). У звездама неколико пута масивнијим од Сунца тај циклус је много битнији извор енергије, него директне реакције из којих од водоника настаје хелијум. Пошто се тај циклус стално понавља у звезди, она у својој атмосфери одржава константну концентрацију угљеника, кисеоника и азота. Наравно, јасно је да ово није све. У циклусу СНО настаје само кисеоник-15, а у природи углавном постоје изотопи кисеоник-16, 17 и 18. А шта је с оним још тежим елементима?

Бете нам је открио макар део одговора, указавши на то да се при изузетно високим температурама одвија нови скуп нуклеарних реакција, онај у коме учествују и кисеоник-16, кисеоник-17 и флуор-17. За тај огранак циклуса СНО неопходан је прстохват кисеоника-16. Тачно, новонасталим звездама у данашњем космосу тај кисеоников изотоп стиже из међузвездане грађе из које се оне кондензују – али одакле он иначе стиже?

Одговорили су, 1957. године, Маргарет и Џефри Бербиц, Вилијам Фаулер и Фред Хојл. Њихов рад и дан-данас важи као дефиниција скоро свега што се зна о нуклеосинтези тешких елемената у звездама. Под дејством гравитације формира се звезда од прашине и гаса. Та звезда не наставља да се бескрајно урушава у себе, а разлог је то што интензивна радијација, настала у нуклеарној фузији, одржава гас. Прикажимо то овако: цела звезда се надува као балон с врелим гасом кад под њим потпалимо горионик. Кад звезда зађе у године, дотле је већ сагорела највећи део водоника и њена машина за фузију се хлади па звезда сплашњава и почиње да се сажима. У гравитационом колапсу загрева се звездино језгро, дотад већ углавном начињено од хелијума-4. Истовремено се звездина спољашња гасовита атмосфера шири и хлади до црвеног сјаја, те звезда постаје црвени џин. У својој врелој и густој сржи звезда креће да спаљује хелијум. Језгра се стапају и образују

нове елементе или изотопе чија се маса повећава за по четири јединице: бор-8, угљеник-12, кисеоник-16, неон-20, магнезијум-24, силицијум-28 и тако даље. Упоредо, у фузији хелијума-4 и азота-14, ствара се кисеоник-18.

И тако се истроши хелијум из звезданог језгра. Шта је звезди чинити? Почиње да сагорева све што јој је остало, углавном угљеник и кисеоник. За то су неопходне још више температуре и притисци, а они – тако погодно – настају кад све слабије резерве горива дозволе даље сажимање. Тада температура језгра отприлике расте до милијарду степени. У том тренутку креће фузија угљеника-12 и кисеоника-16 и ствара се низ скоро двоструко масивнијих елемената: натријум-23, силицијум-28, фосфор-31 и сумпор-32. Потом се силицијум-28 стапа с језгрима хелијума, насталим у другим реакцијама, и ето тешких елемената – гвожђа и тежих од њега. Кад се таквим звездама оконча еволуција, оне се састоје од централних љусака: језгро је од најтежих елемената, а у љускама има много силицијума, кисеоника/угљеника/азота, те хелијума и – коначно – водоника.

Има још тога! Звезде с масом отприлике 1,4 пута већом од Сунчеве могу врло спектакуларно да окончају свој век: у експлозији која истог трена засени светлост читаве њихове галаксије, те звезде постану *супернове*. Пошто таква звезда истроши своје залихе нуклеарног горива, нема шта да спречи катастрофално урушавање густог језгра под сопственом гравитацијом. Због налета материје у језгро подиже се ударни талас и звезда постаје нестабилна. Омотач звезде, у невероватном трзају, бива одбачен у васиону, а њено језгро имплодира до неизрециве густине и сама унутрашњост постаје течност сачињена од неутрона. Сада атомска језгра нису у стању да очувају своје засебне идентитете на толиким притисцима, него бивају здробљена у безобличну мијазму у којој се највећи део протона спаја с електронима и производи неутроне. Тако се супернова преображава у тамну, компактну неутронску звезду. Око ње се шири љуска материје богата разним елементима. Пошто се у експлозији супернове ослобађа силна енергија, покреће се нова нуклеосинтеза па се тај отпад пуни најтежим елементима, рецимо торијумом и ураном.

Ти елементи – цео-целцат периодни систем – разлете се наоколо по васиони. Као последица настанка супернових, сав простор између звезда бива попрскан сировином од које се саздају планете. Тај процес је још 1855. препознао Волт Витман. У надахнутом песничком избоју

написао је: „влат траве је ништа мање до дело марљивих звезда“.⁷ Тед Хјуз у свом *Гуѿачу ваѿре* у озвезданом небеском своду види праизвор земље и воде.

Мокра васиона

Кисеоник је по заступљености трећи елемент у космосу – без обзира на то што га има много мање него водоника и хелијума, који од настанка у Великом праску чине готово читаво ткање стварања. Али хелијум је нереактиван (инертан) гас, прави космички усамљеник. Зар је онда чудо то што посвуда има воде, тог једињења двају најпопуларнијих елемената у васиони, иначе склоних хемијским реакцијама? Тај молекул, тај зачетник живота, резултат је два најплоднија чина стварања. Први је Велики прасак, прапочетак свега, у коме је настао космос, углавном створен од водоника. Други је еволуција звезда, у којој се тај елемент преображава у кисеоник и све остале елементе који сачињавају свет. Водоник и кисеоник се сједињују у несагледивим ширинама међузвезданог простора и ето нам Нила, Арабијског мора, облака и пахуљица, хелијских течности, ледених пространстава на Нептуну и ко ће знати којих све река, океана и кишних капи на световима које никад нећемо обићи.

Свака супернова избаци у космос снажно пиће направљено од молекула и атома. Будући да је космос огроман, чак је и креативна сила звезде која експлодира као кап у океану. Међузвездани простор у нашој галаксији празнији је од најбољег вештачки направљеног вакуума, а опет се по њему нађе довољно разасуте материје да из ње настане још око десет милијарди звезда, то јест једна двадесетина оних што блистају по вијугавој Кумовој слами. Та разређена материја углавном се састоји од водоника, али током еона била је деликатно зачињена другим елементима и молекулима – да се човеку заврти у глави од тог менија. У том простору налази се мноштво водоникових молекула (H_2 , два атома руку под руку), али и угљен-моноксид, цијановодоник, метанол и етанол, амонијак, формалдехид и – дакако – вода. Буде тамо и чврстог материјала: мајушних зрнаца силикатних минерала, љуспица чађи и дијаманата – често ушущканих у капуте од леда. Речју, тамо има све грађе за планету.

У појединим деловима галаксије гас и прашина између звезда су грудvasti и од њих се стварају огромни молекуларни облаци. Те формације потпуно заклањају светлост звезда иза њих и пружају нам

фантастичне призоре – пример је маглина Коњска глава у сазвежђу Орион. У тим облацима могу се формирати звезде кад се материја кондензује под деловањем сопствене гравитације. Астроном Чарлс Таунс и његови сарадници открили су 1969. године да су та пространства пуна воде. Показатељ да има воде једва је уочен јер је то био тек један светли пик у микроталасном спектру хладног међузвезданог гаса. У међузвезданом простору молекули се обично детектују на основу линија које истискују из светлосног спектра удаљенијих објеката – свака врста молекула апсорбује светло карактеристичних боја. Међутим, вода коју је Таунс уочио није апсорбовала микроталасно зрачење – она га је емитовала. Вода је светлела! Ма колико се то чинило невероватним у васионском замрзивачу, молекули у међузвезданом облаку могу да се потпуно налију енергијом. Ти молекули се загревају до усијања док се сударају у густим подручјима облака, а затим се поново хладе тако што зраче енергију. Осим тога, могу да синхронизују то своје зрачење: радијација коју емитује један побуђени молекул може да заголица други да и он емитује зрачење и за тили час хорда угрејаних молекула испусти свој вишак енергије. У истим процесима емитује се енергија у ласерима. Пошто „светло“ тих молекуларних облака, напумпаних у сударима, припада микроталасном подручју спектра, они нису космички ласери него су масери (скраћеница од *Microwave-Amplified Stimulated Emission of Radiation*). Таунс и његове колеге видели су први познати астрофизички водени масер. Сада се зна да су ти големи астрофизички објекти у ствари простори у којима се гас скупља и образује нове звезде. Вода по целој васиони разашиле вест о стварању звезде.

Стварање звезде: то сваком свету треба. Да би настала планета, прво мора да се створи сунце.

Велики потоп

Древни Грци исправно су погодили како је створена наша планета: по њима се Геа (мајка Земља) издигла из примордијалног Хаоса. По етимологији, реч гас настала је од речи *χάος*. Земља и јесте створена од гаса и прашине, а с њом и Сунце и планете, њене сестре. То је још Имануел Кант надахнуто изјавио 1755. године.⁸

Кад се уруши грудва гаса у молекуларном облаку, облак се заротира и спљошти у диск. Највећи део масе скупи се у језгру и инкорпорира

се у новорођену звезду, али нешто ипак остане ван тога у диску, и то бива грађа за образовање планетарног Сунчевог система. У галаксији је већ примећено неколико заметака звезда облика диска. Неки дискови су пробушени а празнине су у облику прстена. Сматра се да су те бразде настале при кружењу новоформираних планета. То се већ догодило и у нашем звезданом диску – соларној маглини – пре отприлике 4,6 милијарди година, кад је Земља била једна од тих громуљица које су кружиле око Сунца.

Али из тих глобула кондензованих из соларне маглине не искачу потпуно формиране планете. Знамо то, јер у данашњој атмосфери има знатно мање одређених гасова – неона, аргона, криптона – него што их је, сматрају научници, било расуто по соларној маглини. Пошто су ти гасови хемијски инертни, очекивали бисмо да их и данас има у истој количини – што би важило да су наша планета и њена атмосфера тек грудвицица нетакнуте соларне маглине с друкчије распоређеним елементима.

Није тако. Формирање планета је много мање узвишено, а кудикамо је трауматичније. При накупљању прашине и гаса у соларној маглини обликовали су се *ѿланетѿезимали*. Величина тих омањих, стеновитих тела варира од громада до астероида који су као Месец. Планетезимали су се кретали у ројевима, страховито су ударили једни у друге и распадали се на комадиће. Међутим, ти њихови остаци су се, под силом сопствене гравитације, удруживали у један већи објекат. Баш као што се дешава с компанијама, већи планетезимали су расли на рачун мањих све док диск није био очишћен од остатака рушевина а остале су само планете, ти мултинационални конгломерати Сунчевог система. Унутрашње планете – Меркур, Венера, Земља и Марс – релативно су мале, густе стеновите кугле. Међутим, иза астероидног појаса остало је неухваћених мањих остатака и планете су задржале огромне омотаче од гасова и течности: зато постоје гасовити ѿинови Јупитер и Сатурн те Уран, Нептун и Плутон, оковани ледом.

Тих раних дана Земља није била погодна туристичка дестинација. При њеном стварању у сударима планетезимала развила се паклена топлота. Поврх тога, претпоставља се да се Земља пре отприлике 4,5 милијарди година сударила с планетезималом великим као Марс. Да се то сад деси, мирно бисмо могли да заборавимо на рате и камате. У поређењу с таквом катастрофом, глобални нуклеарни рат испао би љупки излет у природу. У тако силном судару планета би се готово разлетела на парампарчад и ништа живо не би претекло. Ево шта се

збило у поменутом судару. Од Земље се одломило таман толико парче да је настао Месец. Испарила је сва Земљина атмосфера. Наша планета се претворила у магму потпуно застрвену пламеним океаном и таква је остала милионима година.

Право речено, нису сви такви судари били разорни. Напротив! Управо су они планети дали атмосферу, воду и способност да се зачне живот. У делу соларне маглине где се кондензовала Земља, испарљиве материје као што су вода и угљен-диоксид биле су редак луксуз. Само по ободима, где је температура била довољно ниска и погодна да се кондензују и смрзну, оне су могле да постану претежни састојци планетезимала. Та хладнија тела могла су да пригрну капут од леда извучен из прашине и гасова, као што снежне пахуљице високо у атмосфери извлаче водену пару из ваздуха. Час залазећи у новорођени Сунчев систем, час излазећи из њега, такви објекти су вероватно додали воду у магму од које је постајала Земља.

Да би испитали држи ли та замисао воду (останемо при нашој теми), савремени планетолози проучавају састав метеорита. Те космичке громаде – хајде-де, више личе на облутке, а неке нису веће од зрнаца песка – углавном су остаци од стварања планета, парчићи који се нису у њих уградили. Стога се претпоставља да смеша елемената и једињења од којих се метеорити састоје одражава састав раних планетезимала. Они још попут кише падају с неба, премда их је знатно мање него кад је наша планета била млада. Многи метеорити збиља су покривени леденом кором, али она се не састоји искључиво од воде, него и од смрзнутог угљен-диоксида, амонијака и других испарљивих једињења. Угљенични хондрити (метеорити богати угљениковим једињењима) садрже и до двадесет пет процената воде, било као лед или запретену у кристалној структури својих минерала. Обични хондрити, који су уједно и најчешћа врста метеорита, носе много мање воде – око 0,1 проценат своје масе. Да је Земља била створена од планетезимала таквог састава, већ би и то било више него довољно да се напуне океани.

Не луњају само метеорити међу планетама. По космосу има скитница великих као планине, и оне би очас могле да доставе огромне количине воде и Земљи и њеним суседима. Да се зна, говорим о кометама, тој разудареној банди у спољном делу Сунчевог система. Највећи број комета потиче из не сасвим сферног облака који се простире много даље од најудаљеније планете – Плутона – вероватно и више од половине пута до најближег суседног звезданог система. Тај такозвани

Ортов облак, садржи око милион милиона комета. Крећући се по својим огромним, елиптичним орбитама, комете се понекад ступе у унутрашњи део Сунчевог система – 1997. године видели смо спектакуларан пролазак Хејл-Бопове комете. Оне су углавном сачињене од испарљивих гасова кондензованих у различите врсте леда; убедљиво је најзаступљенији водени лед. С ледом је измешано и нешто минералне прашине, па су комете налик на велике грудве прљавог снега. Пречник им, генерално гледано, износи од неколико стотина метара до неколико километара, што значи да је у њима и те како много воде. Халејева комета, гомољаста грудва од осам километара са шеснаест километара, има масу од око сто милијарди тона – и то углавном воде. Тек би милион таквих комета био довољан да се напуне сви наши океани.⁹

Мило ми је што ћу вам рећи да судари комета са Земљом нису ни приближно тако чести као судари ситних метеорита. По свој прилици, последњи велики судар био је пре шездесет пет милиона година и можда је убрзао изумирање диносауруса. Међутим, у оно време кад се формирала наша планета много више комета мувало се по Сунчевом систему и чешће им се пут сударао с путањом Земље. Оне су на грбачи довлачиле океане.¹⁰ Чини се да је гравитационо привлачење спољних планета Урана и Нептуна и оближњих звезда утицало на мењање орбита кометоликих планетезимала у Ортовом облаку и стога су чешће пролазили кроз унутрашњи Сунчев систем. У међувремену су те, а и друге џиновске планете, нарочито Јупитер, из Сунчевог система ишчистиле већину остатака и тако отприлике милијарду година након формирања планета прекинуле тај космички билијар. Да није тако било, можда би се због силних удара живот на Земљи јавио тек кроз милијарде година. Зато захвалимо својим комшијама на томе што имамо океане – из њих се испилио живот.

Мада, мало сам се залетео: океани су се појавили тек милионима година после стварања планете. Пре 4,5 милијарди година Земља је још била лопта магме, врела је, онако загрејана у судару при коме је избачен Месец. Планета се постепено хладила, а њени састојци су се раздвајали као млеко кад се згруша. За отприлике педесет милиона година у језгру се сталожило гвожђе од ког је сачињен велики део Земље. Као што шљака плута на растопљеном гвожђу у високој пећи, тако су лакши елементи – силицијум, алуминијум, калцијум, магнезијум, натријум, калијум, кисеоник и мало преосталог гвожђа – обликовали стеновиту корицу на површини.

Међу том стеновитом грађом нашла су се и испарљива једињења – водоник, азот, водоник-сулфид, угљеникови оксиди, вода – настали у сударима у доба акреције или срастања планете. Док је Земља била растопљена, та испарљива једињења отопила су се у магми, али кад су се стене охладиле и стврднуле, у процесу *гејасације* ослободила се пара и настала је атмосфера – додуше, друкчија од садашње, јер се углавном састојала од угљен-диоксида, азота и водене паре.

Водоник је превише лак па Земљино гравитационо поље не може да га задржи и стога је из те ране атмосфере постепено прешао у космос. Због те чињенице Земља и данас губи воду, премда врло лагано. Под дејством Сунчевих ултраљубичастих зрака у вишој атмосфери одвија се *фотоллиза*, то јест раздвајање молекула водене паре на саставне елементе – водоник и кисеоник. Водоник затим бежи у космос. У том процесу сваке године с наше планете нестане толико воде колико стане у језерце. Много, зар не? Било би, да сва та вода оде из једног јединог језера! Али кад тај губитак поделимо на целу Земљу, он испадне неприметан. Од настанка наше планете у фотолизи су се резерве воде смањиле за само 0,2 процента.

Дан кад је линула киша

Тих година кад се Земља формирала владала је грдна спарина, јер сва вода беше на небу. А једнога дана, између 4,4 и 4 милијарде година, температура је толико пала да је сва вода почела да се кондензује. Облаци су се згомилали и из њих су пљуснули океани. Право да вам кажем, није се то десило одједном, једног лепог дана у хадској ери – али свиђа ми се тај приказ. Каква год била наша представа о том догађају, не можемо а да не закључимо како је морао настати такав потоп да је према њему онај старозаветни тек пука априлска плаха кишица. Био је то Велики потоп и да се ико задесио у њему, никакве вајде не би имао од арке.

Овај потоп уопште није спрао живот, него је припремио позорницу за његово ступање на сцену. Од њега је лице Земље постало плаветно. Он је створио планету која је до данас опстала, према речима научника Џејмса Лавлока, као „необична, али прекрасна аномалија у нашем Сунчевом систему“.¹¹

2

Крв земље

Реке и мора на нашем свећу

Откуда стигоше мора? С ког места покуља извор? Одакле надиру реке?

Тит Лукреције Кар (56. године п. н. е.), *De rerum natura*

...као што човек носи у себи језеро крви – у њему се плућа шире и ску-
пљају како човек дише – тако и тело земље има свој океан, па док свет
дише, он се на сваких шест сати издиже и спушта...

Леонардо да Винчи, *Бележнице*

Ми живимо на плавој планети, али, како изгледа, решили смо да при-
кријемо ту чињеницу. На нашим мапама Северна Америка и Азија
протегле су се једна према другој, тек што се не додирну – као божји
и Адамов кажипрст на Микеланђеловој фресци – да би се повезале
источна и западна копнена маса. Ни да претпоставимо како Земља
изгледа анђелима који је гледају с неба: лопта скоро потпуно прекри-
вена морима. Рекло би се да су стандардне карте намерно такве какве
су. Наиме, копно је максимално проширено на рачун воде и не може се
бацити поглед на сву величину чудесне глатке површине Тихог океана.
Преко две трећине нашег света покривене су текућом водом, а више
од једне двадесетине окувао је лед. Свој дом зовемо Земља, премда
би му име Вода много више приличило.

Све је то тако због људске природе. Становник Лондона, Њујорка,
Токија, чак и онај из највеће забити, очас сметне с ума да друга места
на свету нису иста као његово боравиште. Ма где ми обитавали, сасвим
површно узимамо здраво за готово да је наше окружење типично.
Да ванземаљци слете на Земљу и крену насумице да купе узорке из

дивљине, они би, како смо склони да замишљамо, по тексашким равницама све брали каубоје и домаћице. Али много је извесније да би захватили канту алги из Тихог океана.

Давно, прадавно смо се прилагодили животу на копну и никад нисмо признали доминацију мора. Данас устукнемо пред бескрајним морским пространствима тек с малчице мање бојазни него што су од њих зазирали наши давни преци који су, из пустиг страха од бескраја иза хоризонта, испредали приче о чудовиштима у безданим недрима мора. Чак су и пустиње биле мање језиве. Нас има по бујним, спарним долинама крај Амазона, стигли смо на залеђена арктичка пространства, населили и пусте сибирске степе – али свеједно смо и даље на опрезу чак и због онога што лежи у дубинама шкотских језера, а да не помињемо како нас плаше бескрајни океански понори. Скоро да више знамо о Месецу, Венери и Марсу – успокојава ли нас то њихова безводна површина? – него о дну океана.

Чудноват је наш однос према води на нашој планети. Она јесте однеговала и одгајила цивилизацију – а само 0,1 промил све текуће воде отпада на слатководне токове који су отхранили древну Кину, Египат, Месопотамију и Индију. Преогроман део вода је слан, дакле погубан за жедног пустолова. Вода и даје и узима: кроз легендарне потоке који нас дозивају из многих традиција, кроз урагане и друге дивље природне појаве. Вода је носила истраживаче у далеке, незнате пределе, али је и гутала наша крхка, мала пловила, не остављајући ни трага од њих. Водени богови, на пример грчки Посејдон, имали су два лица: били су и невероватно добронамерни и страхотно окрутни. Кроз Књигу о Јову стално промиче песничка слика о неочекиваном владању воде, симболу људских искушења.

У свести наивних људи вода се повезује са животом; после њу навести још података који поткрепљују то интуитивно окретање води. По древним веровањима, човек водом отплови у смрт. Стикс је био пут у Хад. И данас у Ганг просипају пепео умрлих. У светим рекама Тигру и Нилу боравили су мртви, под влашћу полубогова који су имали моћ да васкрсавају. Из те асоцијације – текућа вода наликује на смрт и поновно рађање – настао је хришћански обред крштења.

Брођење водама пространих океана повезивало се и са залажењем иза границе између живота и смрти. Првобитним морепловцима та веза је била сасвим стварна. Следствено миту, погинули на мору имао је посебан статус: судба давленика била је много недокучивија од онога што чека почившег чије се тело враћа плиткој земљи. У неким старим културама био је обичај да се мртворођенчад бацају у реку или море, да

не би њихова зла коб лоше утицала на плодност земље. Лађа с мртвом посадом снажан је и врло заступљен симбол – довољно је поменути *Лейећеи Холанђанина* и *Мари Селесџи*. Из тих богатих слојева стално се обнавља наша фасцинација уклетим *Тийаником*; истовремено, заборавили смо многе страхотније катастрофе. Данас нове фантазме плове водама наше планете – показаћу их у последњем поглављу.

Вода изазива геолошке, еколошке и глобалне промене. Дође ли, донеће плодност у спржена подручја, оде ли, оставиће за собом пустињу на месту зелених поља. Она плаво небо претвара у сиво, тмурно у ведро. Због плима и осека океанске топлоте – доста је да се подсетимо на блажену топлоту Голфске струје и скоковит пулс Ел Ниња – настају необичне појаве у клими, велике суше или пљускови, па и екстремни, какав је прелазак на услове из леденог доба. Лед, сам по себи, није искључиво весник тих наизменичних ледених доба због којих Земља хиљадама година бива смрзнута, већ је један од директних узрока те појаве.

Вода је, управо зато што је течна, покретна, један од главних обликоватеља у природи. Она у брда усеца храпаве бразде, резбарећи интаља* од речних долина. Она изједа обале док се, подлокане, не обруше па настану плаже. Путујући низ планине до мора, за собом оставља изванредне камене скулптуре. У цикличном замрзавању и отапању расколjuje и најтврђе камење, читаве падине одроњава или издиже стене на површину, творећи чудесне, геолошке „вилинске кругове“. Вода својим ледним језицима риба тло правећи усеке – широке долине. Она преноси громаде стена надалеко.

У овом и наредном поглављу осмотрићу бројна лица природне воде. Воде која зачиње и укида живот на читавој планети. Вајарке. Тајанствене помагачице у вулканским ерупцијама. Мајке руда. Руке која осликава небо. Управо вода чини нашу планету јединственом.

Водени точак

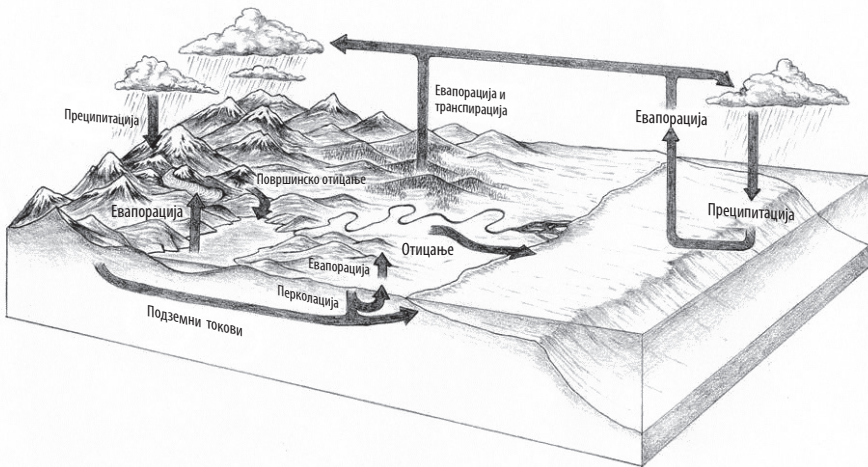
Браћа моја изневјерише као поток, као бујни потоци прођоше,
Који су мутни од леда, у којима се сакрива снијеж;
Кад се откраве, отеку; кад се загрију, нестане их с мјеста њиховијех;
Јов 6: 15–17

* Интаља је драги камен са урезаним украсом. (*Прим. њрев.*)

Сваког дана, сваке-свакцијате секунде, вода се креће. Реке теку, океани се успорено и елегантно њишу, облаци се лепе у грудве и плачу. Сваких 3100 година кроз атмосферу прође онолика количина воде колико је има у свим океанима; тамо доспе испаравањем, а бива уклоњена кроз падавине. Ипак, у атмосфери се у сваком тренутку нађе тек хиљадити део једног процента свеукупне воде с планете, таман толико да, кад би киша равномерно залила цео свет, свуда падне око 25 mm кише. То константно премештање воде по резервоарима на копну, у морима и на небу назива се *хидролошки циклус* или *кружење воде* (слика 2.1). Наравно, за одржавање живота у нашем свету најважније су текуће воде, али круцијалан је и хидролошки циклус.

Леонардо да Винчи је увидео да Земља рециклира своје течности. Мислио је да облаци настају због испаравања: „топлота сунца... дозива њихову влагу из морских пространстава“. Међутим, веровао је да падавине нису довољне како би се покренуле моћне бујице које се с висова сливају у долине, него је претпоставио да се реке углавном наливају водом која се из мора довлачи кроз „тело планине“, и то помоћу Земљине „природне топлоте“. За тај циклус који је Леонардо осмислио – кретање воде од мора до планинских висова – уопште није било неопходно испаравање.

...дакле, може се извести закључак да речна вода отиче у море па се из мора враћа у реке, и тако вазда укруг; стога су сва мора и све реке прошли кроз ушће Нила безброј пута.¹



Слика 2.1. Хидролошки циклус односи се на бесконачно путовање кроз потоке, реке и океане, кроз атмосферу, ледене покриваче, живе организме и Земљину утробу.

Добро-де, не безброј пута, али извесно огроман број пута. А с тиме никакве везе немају Земљина природна топлота и вулканске активности у њеној унутрашњости. Глобално кружење воде одвија се само под дејством Сунца.² Француз Пјер Перо, правник и геолог аматер, дао је Леонарду за право 1674. године; показао је да су испаравање и таложење „довољни да реке и потоци теку целу годину“ и није потребна „унутрашња дестилација у Земљи“.³ Он је проценио да у горњем делу долине Сене падне пет пута више кише од количине воде која отече том реком – то је била једна од првих примена квантитативних метода у геологији.

Највећи део киша што нам враћају воду с неба доспеле су с морске површине. Током године Сунчева топлота скине с океана површински слој до отприлике једног метра дубине, што је 875 кубних километара дневно. Сваког дана с копна испари 160 кубних километара. Наравно, брзина испаравања није свуда једнака, зависи од географског положаја и од годишњег доба: у топлим тропима вода четири пута брже испарава него на половима.

Вода доспева у атмосферу и у процесу *транспирације* (испаравање из тла и из биља; видети страну 225). Копно се снабдева водом у процесу *преципитације* (то јест из падавина, генерално из кише и снега). Од разлике између падавина и испаравања зависи колико слатке воде остаје за језера, потоке и остале резервоаре на копну. То отицање воде рекама па у океан у свету дневно захвати око 100 кубних километара. Пошто је у пустињама евапорација скоро једнака преципитацији – тамо и нема отицања. У Амазонији скоро пола падавина тако отиче и готово сва вода иде у грандиозну реку Амазон, а она у океане излива готово читаву петину укупне количине слатке воде.

Точкићи хидролошког циклуса врте се различитим брзинама. Падавине које се накупе у горњем току реке понекад тек кроз недеље и недеље доспеју до мора, а вода која испарава с површине мора најчешће се већ за десетак дана врати као киша. У *криосфери* – води заробљеној у леду – ти точкићи се врте поприлично споро. Вода у подножју поларних ледених покривача углавном је замрзнута већ стотине хиљада година. При данашњим условима, највећи број планинских ледника смањи се и склизне за неколико километара у десет година. Лед у поларним морима шири се и скупља сезонски.

Хидролошки циклус одвија се само зато што вода има уникатну особину: у околностима које важе на површини Земље може се појавити

у више агрегатних стања – течном, чврстом или гасовитом. Површина планете никад се не угреје толико да вода проври – разуме се, изузетак су вулканска подручја. Међутим, вода ипак испарава, зато што је количина водене паре у ваздуху нижа од притиска засићене паре, то јест од максималне влажности ваздуха изнад које почињу да се кондензују капи воде. Зато се океани увек помало диме. Кад се влажни ваздух охлади, водена пара се кондензује у течно стање и ето блиставобелих јастука од облака на небесима или непријатно влажњикавих ћебади од магле по планинама. О циклусу испаравања и кондензовања готово да не мислимо, јер тече савршено природно. Стога нам не пада на памет да се запитамо зашто ни код једне друге материје не видимо такав преображај. Скоро сва неводена грађа наше планете увек је у истом физичком стању.⁴ Ни кисеоник ни азот се не кондензују из ваздуха. Стене, песак и земља нити испаравају нити се топе (осим у врелој утроби планете). Такве материје мењају физичко стање само под дејством воде, јер она растапа многе гасове и минерале.

Залеђена вода због свог физичког стања бива хиљадама година искључена из циклуса евапорације и преципитације, а ипак је њена особина да може прећи у чврсто стање кључна за циклус. Кад се вода замрзне у периоду леденог доба, мора се повуку, клима је сушнија, пустиње се прошире, а екосистем се начисто промени.

Сродничка веза између промена физичког стања воде и услова на површини Земље, представља аномалију, необичну последицу јединствене природе молекула воде, но о томе ћу после. Само зато што је вода друкчија, киша спира улице, потоци жуборе, реке се бучно строваљују с планина, а таласи ударају о стење.

Хидролошки циклус, будући поновљив и обновљив, потцртава динамичност планетиног окружења. Не кружи само вода, већ и друге материје и то због геолошких и биолошких процеса. Угљеник из атмосферског угљен-диоксида уткан је у биљке. Одатле га, заједно с биљком, поједу животиње. Или се таложи по океанском дну као мртви органски отпад те при подвлачењу тектонских плоча доспе у дубине и отуда се рециклира у атмосферу преко вулканске емисије гасова. Азот из ваздуха бактерије претварају у ђубриво у земљи и ту га преузму живе ћелије. Микроби који се хране мртвом органском материјом претворе то ђубриво у молекуле азота и врате у ваздух. Та циклична одвијања хемијских и биолошких преображаја елемената називамо *биогеохемијски циклуси*.

У том биогеохемијском кружењу задатак воде је да подмазује. Будући савршен растварач и непрестано у покрету, она помаже у премештању других материја тамо-амо, из климатске зоне у климатску зону, из једног екосистема у други. Угљен-диоксид из атмосфере отапа се у води на површини мора и служи као извор угљеника у фотосинтези у морским организмима; затим тај биолошки раст у горњем слоју океана покреће остатак угљениковог циклуса у океану. У морима има фундаменталних хранљивих супстанци у растворљивом облику: нитрата, фосфата, сулфата и метала, рецимо гвожђа. У свом брзом кретању хидролошки циклус помаже и да се покрене кружење тих других супстанци. Кише и реке спирају неорганске нутријенте из минерала у стенама на копну и носе их у море. Нећемо много претерати уколико изјавимо да вода окреће свет.

Живот може да опстаје само у таквој динамичној средини која се непрестано мења и непрестано понавља. Како природни циклуси утичу на живот, тако живот може утицати на њих, понекад пресудно. Утицај живота нарочито је очигледан у циклусима, тј. кружењима угљеника и водоника. Повратна спрега која настаје у биогеохемијским циклусима може појачати или умањити поремећаје у животној средини, настале, рецимо, због промене интензитета Сунчевог зрачења или изразито јаке вулканске активности. На тај начин планети је омогућено да усаврши способност саморегулације: циклуси су стабилни и окружење остаје прилично неизмењено премда се околности мењају. Колико се то стварно дешава и колико у томе учествују живи организми, централно је питање у разматрањима хипотезе Џејмса Лавлока о Геи, по којој Земља има моћ саморегулације.

Дубоко плаветнило

Јеси ли долазио до дубина морских?

И по дну пропасти јеси ли ходио?

Јов 38:16

Шта ли се налази иза обода океана? Све древне морепловце копкала је та загонетка. Феничани и Викинзи пребродили су Атлантски океан много пре него што су се Колумбо и Магелан, у златно доба европског морепловства, отиснули на такво путовање. Кинески поморци

стигли су у 15. веку на обалу источне Африке, кудикамо пре Португалаца. Мапе Атлантика већ су на самом почетку 18. века биле скоро исто тако тачне као ове савремене. И мада су змајеви можда били прогнани за границе света, људе су на истраживања наводиле приче о баснословно богатим далеким крајевима, а не сјај плаветних мора. Док се британски истраживачки брод *Challenger* није отиснуо на чувено путовање од 1872. до 1876. године, ретка су била настојања да се морима пропутује како би се она сама проучила. С намером да се океани изуче као саставни део наше планете – а не као друмови до земаља погодних за експлоатацију – брод је послат да оплови свет, измери морске дубине и скупи узорке воде.

Од тог доба наовамо све што смо научили прилично нам је отворило очи. Отприлике половина Земљине површине лежи од три до шест километара испод нивоа мора, па би се могло рећи да су наша станишта као врхови санти леда. Најдубљи делови океана – зовемо их *бразде* – вртоглаво се спуштају и до једанаест километара, што за два километра премашује висину Монт Евереста. Преко средина самих дна океана распростиру се назубљени гребени високи неколико километара. Ти средњоокеански гребени означавају границе тектонских плоча: ту се магма издиже из мантла (омотача), расхлађује се на морском дну, стврдњава и гради ново океанско дно, док се на обе стране размичу тектонске плоче.

Планетарна њокрејна шрака

Сви океани су повезани. Ту повезаност одређују континенти који једва миле и узвишења на морском дну; због ње јасно учавамо посебне басене морске воде раздвојене ониским преградама. Некадашњи поморци сматрали су да се једри по седам мора: четири океана – Атлантук, Пацифик, Индијски и Арктички; два мора – Средоземно и Карипско, и Мексички залив. Данас разликујемо три океанска басена – Атлантски, Пацифички и Индијски. Међутим, рекло би се да постоји око Антарктика и четврти, Јужни или Антарктички, за који се сматра да обухвата најјужније делове важећа три океана. Мора су огромне масе воде на маргинама океана – поменућу Средоземно, Северно, Црвено, Арапско те Источно и Јужно кинеско море. Мора од океана раздвајају тесни мореузи (такав је Гибралтар) или високи гребени на морском дну.

Не леже воде у океанима тек само љуљшкајући се, него се њихове усклађене масе стално премештају и хоризонтално и вертикално, као што се потрошачи крећу у гужви покретним степеницама између спратова неке робне куће. Ту спору, церемонијалну поворку тамо-амо гурају силе из увек живе атмосфере: млазне струје, фронтови и вртлози. Ваздушне масе плове без икаквих ограничења, али водене се крећу у оквирима које чине континенти. Они су заузели своје данашње насумичне позиције услед *континенталној дрифти* изазваног врло спорим конвекцијским кретањима у Земљином омотачу. То спокојно кретање као да се одвија кроз античке елементе: ваздух, воду и земљу. Ово помало песничко поређење можемо заокружити, с мало слободе, додуше, додајући и четврти елемент – ватру – која се у облику растопљеног гвожђа окреће у Земљином језгру.

Тектонске плоче, у свом лаганом, одмереном стилу, и даље плутају и сударају се, те облик океана неће заувек остати фиксиран. У јури, дакле, пре 170 милиона година, постојала су само два велика океана: Панталаса и Тетис. Први је покривао скоро целу Земљу, простирао се од 30° западне географске дужине (данас је то средиште Атлантика) до данашње међународне датумске границе (средиште Пацифика). Други се простирао по источном делу, од 30° северне географске ширине (у равни с данашњом северном Африком) до 30° јужне географске ширине (што данас води преко јужне Аустралије). Од Панталасе је настао наш Пацифик. Тетис је био друкчије судбине: поступно је исцеђен кад су се сударили Азија и Индијски потконтинент и у тој колизији избацили увис Хималаје.

Распоред копна и мора на двема Земљиним хемисферама апсолутно је асиметричан. Готово две трећине светског океана лежи на јужној хемисфери. Погледамо ли антиподне тачке – оне које су повезане правом линијом повученом кроз центар планете – видећемо да 95 процената тачака на копну северне хемисфере има антипode у морима на јужној хемисфери. Само у Јужном океану можемо пловити, а да на целој паралели не видимо ни трага од копна.

Океанске површинске струје, које померају и по сто метара дебеле горње слојеве воде, углавном покрећу ветрови. Воде се крећу кад преко њих дувају ветрови као кафа у шољици кад пиримо у њу. Тако су те струје препуштене на милост и немилост атмосфери, а оне су суштински битне и за одржавање рибљег фонда и за преношење топлоте по нашем свету. По важећој, додуше конфузној конвенцији, океанске

струје се одређују према смеру у ком се крећу, а ваздушне струје – ветрови – према смеру из ког долазе. Зато се каже да западни ветар покреће источну океанску површинску струју, а у ствари се обе масе крећу у истом смеру. Између 30 и 60 степени географске ширине, на обе хемисфере, углавном дувају западни ветрови. Ближе екватору, до 15 степени географске ширине, источни пасати покрећу западне океанске струје. Ветрови слабе око полутара, у појасу екваторијалних тишина, и тамо су углавном источни.

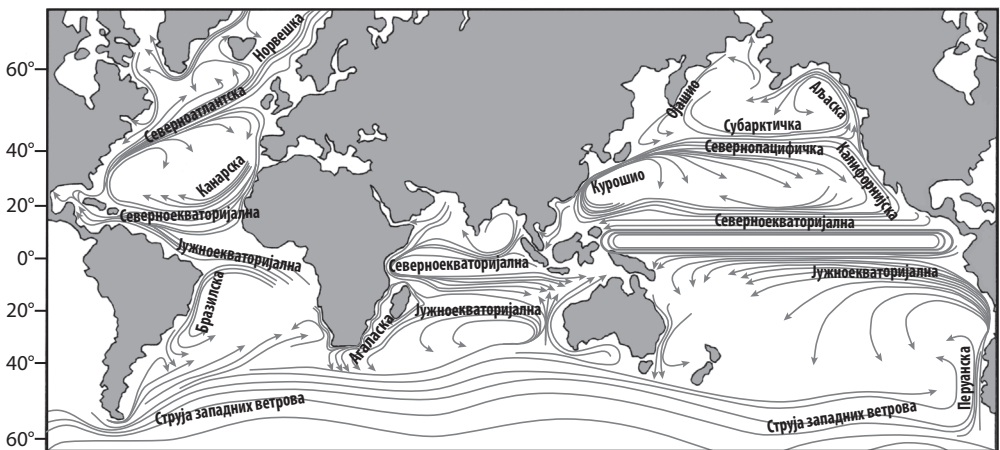
Ипак, два фактора мењају то зонско стварање површинских океанских струја (исток–запад), скоро симетрично на обе хемисфере. Прво, Земља се окреће, а друго, водене масе на свом путу набасају на континенте. И на истоку и на западу све струје, осим у Јужном океану, оивичене су копном. Због тих ограда од копна струје скрећу на север и југ и праве *гире*, огромне затворене петље (слика 2.2). То кружно кретање водених маса дефинише и управља њиме ефекат Земљине ротације, кроз деловање силе која је добила име по Гаспару Кориолису, француском инжењеру из 19. века. *Кориолисова сила* делује на објекат који се креће у ротационом систему.⁵ Ако се крећемо праволинијски ка ивици платформе која ротира, видећемо како делује Кориолисова сила: стално нас скреће с наше путање. На северној хемисфери та сила наводи струје да скрећу надесно са свог првобитног курса, а на јужној хемисфери тера их да скрећу налево.

Хајде да видимо какав је ефекат Кориолисове силе на океанске струје. Узећемо за пример севернопацифичку гиру (слика 2.2). Источни пасати покрећу западну струју у јужном делу гире (око 15°С), док западни ветрови на око 30°С стварају источну струју на тој географској ширини. Пошто Кориолисова сила делује тако да скреће струју удесно, та струја удара збијена у азијску обалу на западу, али се растеже и шири како наставља северно ка америчкој обали. Услед таквог деловања силе, западни део гире претвара се у изузетно снажну северну струју, звану Курошио, док је јужни огранак гире, уз калифорнијску обалу, много распршенији. Брзина протицања у Курошио струји достиже и метар у секунди, што је од три до десет пута брже од протицања које обично опажамо у океанима.

Иста ова појава присутна је и у северном Атлантику у виду Голфске струје, снажног тока према северу, из Мексичког залива и Флоридског мореуза дуж источне обале Северне Америке. То узано струјање напослетку постаје дифузнија северноисточна (северноатлантска) струја

која се креће ка британским острвима и Норвешкој. Због Голфске струје у западној Европи вода је топлија, а клима блажа него на истим географским ширинама на северноамеричком континенту. Слично фокусирање суптропских гира бележи се и на јужној хемисфери, услед којих се ствара снажна Бразилска струја у јужном Пацифику, односно Агаласка струја уз југоисточну обалу у јужном Индијском океану (слика 2.2).

У оваквим уопштавањима, самим тим и поједностављивањима, узимају се у обзир само просечна протицања на годишњем нивоу. Али током целе године једино су источни пасати непроменљивог интензитета. Поврх тога, нестална протицања понекад украсе системе гира струјањима која личе на вирове. Таква непостојаност океана најоучљивија је у Индијском океану. Тамо уочавамо кружно кретање површинских струја у разним смеровима и у различито доба године, што је последица промена азијских монсонских ветрова. Отприлике између јуна и септембра, југозападни монсун који дува над Индијом покреће кружење у смеру кретања казаљке на сату и са средиштем око полутара; од новембра до марта североисточни монсун који дува над југоисточном Азијом обрће смер протицања.

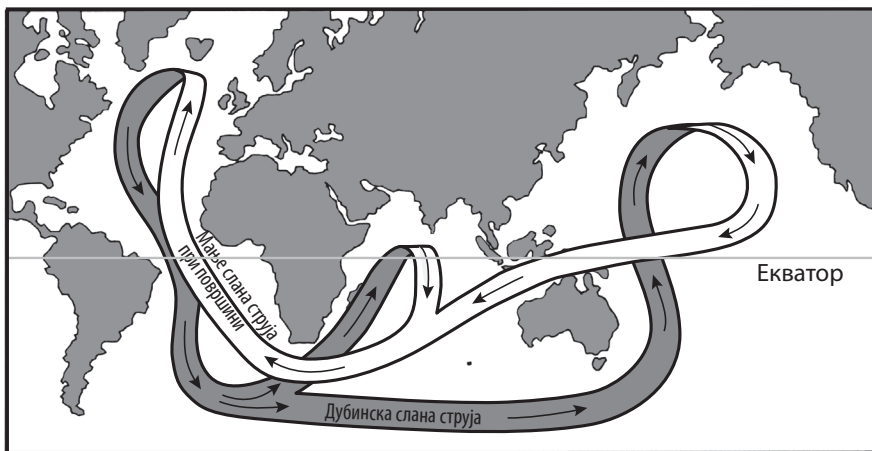


Слика 2.2. Велики точкови непрестано клопарају. Ветрови покрећу глобалне океанске површинске струје. Континенти, будући на путу струја и сила насталих услед Земљине ротације, обликују те струје у кружне петље – гире. Кружење вода у Индијском океану мења смер током лета и зиме због сезонских промена азијских монсонских ветрова.

Слана сила њокрејшач

Ветрови покрећу циркулацију тек до стотинак метара у дубину океана. За дубинску циркулацију битније је нешто друго: разлика у температури воде. При тим покретима у дубинама од једног до пет километара, топла вода се разноси по хладнијим морима и топлота се распоређује по целом свету. Дубинска циркулација налик је на покретну траку која преко Јужног океана повезује сва три светска океана (слика 2.3). Хајде да се провеземо том покретном траком па ћемо лепо видети како тече та циркулација. Полазимо од екваторијалног појаса Атлантског океана. Горњи део покретне траке, сав од воде загрејане у тропима, иде на север. На том путу воде се хладе и згушњавају. Постају и све сланије јер с површине океана испарава само вода, а не и со. Што је вода сланија, то је гушћа, а самим тим и тежа. Како се примиче полу, струја бива тежа од воде испод себе и на крају тоне близу Лабрадорског мора, јужно од Гренланда.

Та хладна, слана, густа водена маса постаје северноатлантска дубинска струја (дубинска вода) и понире до дубине од отприлике хиљаду метара. Онда на доњем делу покретне траке полази назад, ка полутару, прелазећи на том путу са севера на југ цео Атлантук. Коначно стиже у Јужни океан и заплъусне обале Антарктика. Током антарктичке зиме извесна количина те воде се замрзне и у Веделовом мору. Текућа вода остане још хладнија и сланија (као што испарава вода без соли тако се



Слика 2.3. Планетарна покретна трака. Приликом циркулације на пространим океанима горњи део покретне траке преноси топлију, мање слану воду, а доњи хладнију и сланију.

и замрзава углавном чиста вода, а не и со у њој). Та густа вода, најгушћа у океанима, пада на дно и постаје *вода антиарктичкој гна* (АВW, скраћено од енгл. *Antarctic Bottom Water*). Дубинска слана струја која стиже из Атлантика у Антарктички океан продужава на исток. Позната је као Антарктичка циркумполарна струја. Поред Аустралије завија на север и улази у Пацифик. У тропима се загрева и, самим тим, разређује. На уздигнутом делу покретне траке долази у средиште северног дела Тихог океана, а отуда бива однесена на запад, према Атлантском океану.

Из овога што смо рекли да се одвија у дубинама океанâ под дејством разлика у температури и салинитету воде, изводимо следећи закључак: океани нису хомогена маса воде него се деле на резервоаре у којима воде иду различитим правцима и мало се мешају. Стручни термин за покретну траку о којој говоримо гласи *термохалинска циркулација*, што је изведено од грчких речи *θερμός* (температура) и *ἄλας* (салинитет). Овом покретном траком топла површинска долази у северни Атлантук. Кад се на северу вода прохлади и потоне, ослободе се велике количине топлоте. Та топлота која стигне далеко од полутара, у северноатлантски океан, једнака је отприлике четвртини па чак и трећини топлоте која тамо стиже директно од Сунца. Дакле, термохалинска циркулација изразито утиче на климу. За ледених доба та циркулација је била кудикамо слабија, како се претпоставља, јер су разлике у температури између тропа и подручја високих географских ширина биле мање драстичне него данас.

Пре 10.000 до 12.000 година последње ледено доба окончавало се и клима у целом свету постајала је топлија. Одједном, пре око 10.500 година све се нагло опет стропоштало у хладноћу. Како изгледа, незамисливом брзином свет се вратио уназад, из климатских услова скоро сличних данашњим – право у ледено доба. Та промена климе, у такозваном периоду млађег тријаса, по неким проценама одиграла се за пола века. Према појединим океанолозима узрок те појаве било је делимично заустављање термохалинске циркулације, настало зато што су се на северу отопили невероватно велики ледени покривачи, те је у океан покуљала слатка вода. Тако разређене слане површинске воде у северном делу Атлантског океана нису лако тонуле и покретна трака је готово сасвим стала. Ову теорију поткрепују сличне брзе климатске промене које опажамо у записима из још даље прошлости. Следи закључак да дубинска циркулација океанâ може бити осетљив

осигурач, па ако он искочи, ето целог света замрзнутог. Порука је отрежњујућа.

У риџму Месеца

Осим тих големих протицања у океанима, постоје и струје које настају приликом свакодневног смењивања плиме и осеке. На неким обалама плима подигне ниво мора и за четрнаест метара. Будући да су плиме и осеке изузетно битне за становништво приобаља у много чему – у транспорту рекама, у риболову, у искоришћавању земље на копну – људи врло интензивно прате циклусе плиме још од прадавних времена и већ дуго се зна за њихову повезаност с Месечевим менама. Веома танано, јапански песник Шосами Суејоши наговештава ту везу у стиховима објављеним у антологији *Шинкокинишу* (из 1205. године):

Кричећи у ноћи,
Беле спрутке примичу се
Жалу у Наруми;
Док се Месец утапа у небо
Плима се издиже до свог врхунца.⁶

Тек је Исак Њутн, године 1687, изнео механичко објашњење тих кретања водâ под утицајем Месеца. Он је схватио да се Земља деформише због деловања Месечеве гравитације.

Месечева гравитација издиже из океана грудву која је највиша у оној тачки где је Земља најближа Месецу (а која се зове *зенић*).⁷ Али то није једина веза Месеца с плимом и осеком, јер се Месец окреће око Земље. Прецизније речено, Земља и Месец окрећу се око заједничког центра масе – тачке у којој би се нашле својеврсне космичке теразије кад бисмо на њене тасове поставили ова небеска тела. Пошто је Земља много масивнија од Месеца, њихов центар гравитације налази се у планети, на 4729 километара од њеног центра према Месецу.

При ротацији око те тачке на површини Земље ствара се центрифугална сила. На позицији где је Земља најудаљенија од Месеца (и која се зове *надир*), та центрифугална сила превладава над Месечевом гравитацијом и ствара друго плимно испупчење. Месец привидно ротира око Земље за мало више од једног земаљског дана, тачније за 24 сата и 50 минута, и вуче са собом тачке у којима се плима налази у зениту,

односно надиру, стварајући тако седмијурналне (полудневне) плиме. Због те разлике од педесет минута између земаљског дана и периода Месечеве ротације, свака плима сваких пола дана касни за двадесет пет минута.

Плиму и осеку не изазива искључиво Месец, премда јесте главни узрочник те појаве. И Сунце ствара плимне силе, апсолутно исти феномен, само више него упола слабије. Главна, полудневна соларна плима дешава се на сваких дванаест сати. Тако Сунце и Месец, и засебно и заједнички, остварују још тананије ритмове морске плиме и осеке, слично надтоновима на виолини. Постоје велике плиме, приликом којих вода достигне највиши ниво. То се дешава зато што соларна и лунарна плима појачавају једна другу и за време младог Месеца, кад су Земља, Месец и Сунце у конјункцији. Ниске, мале плиме, подижу се кад Месец расте у првој четврти, или се смањује у трећој, а правац Земља–Месец је нормалан на правац Земља–Сунце.

Да је наша планета сва покривена водом, лако би се и савршено прецизно предвидело кад надиру, а кад се повлаче океанска плимна испупчења. Међутим, не може се само на основу астрономских прорачуна знати кад ће се у некој области у океану догодити плима. Предвидљиво кретање плима и осека ометају континенти, топографија морског дна и она поменута Кориолисова сила која скреће плимне струје у супротном смеру на обе хемисфере. Будући да на токове плиме утичу сезонске и друге варијације климатских услова, следи да је подухват састављања мапа плимних фаза и амплитуда у океанском басену сложен и углавном емпиријски. Јесте Њутн, без трунке сумње, веровао да су плима и осека прецизне као сатни механизам, али истина је, као и обично, много сложенија. Стога рибарима више користе приручници с плимним табелама, него џепни калкулатори.

Велике жиле куцавице

Гле, уставља ријеку да не тече.

Јов 40:18

Већ само помињање великих река оставља на нас утисак. Све да нисмо видели ни Конго, Амазон, Нил, Волгу, Сену, Дунав, одједном помислимо на истраживачке подухвате и познате авантуристичке

приповести, замислимо романсе и интриге. Можда су те асоцијације које покрене име реке површне. Ипак, питам се је ли то ехо прадавних тумачења значаја река. Тим воденим друмовима одлазило се и долазило много пре него што су авиони полетели, оне су доносиле изобиље пре супермаркета и глобалне агроиндустрије. Историчар Сајмон Шама види у томе још дубље корене:

...видети реку значило је уронити у големи ток митова и успомена, толико снажан да отпловимо до првог воденог елемента у коме смо обитавали, до плодове воде у материци. А уз ту струју родиле су се неке од наших најинтензивнијих социјалних и анималних страсти: тајанствене трансмутације крви и воде; животност и смртност јунака, империја, нација и богова.⁸

Корене људске цивилизације оплакивала је и хранила слатка вода. Све четири најстарије велике цивилизације настале су уз реке, на њиховим плодним плавним равницама. Месопотамија, како јој име каже, развила се између Еуфрата и Тигра. Харапска култура изникла је у долини Инда. Кина је израсла крај силних река Јангце и Хуанг Хе што долазе с Тибетанске висоравни. Египат, зна се, с једне и друге стране Нила. Колико је велика и важна зависност од вода, види се и у лингвистици. Персијски речник почиње речју *ab*, што значи вода. У истом речнику може се наћи корен енглеске именице *abode* (боравиште), а то је реч *abad*, из које се изводи придев *abadan* – цивилизован. Дословце схваћено, вода је почетак цивилизације.

И дан-данас реке нам доносе свакојачко благостање: и перемо се и чистимо водом и хладимо се; користимо је у индустрији и за наводњавање; производимо од ње енергију у хидроцентралама. Многима по целом свету оне су извор протеина, кроз исхрану рибом. Ма колико величали њихов значај у транспорту – и људи и роба – нећемо претерати. Оне надахњују уметнике и поете, али и научнике. Метафора о реци стално се провлачи кроз митове и књижевност. Колико су реке укорене у самој нашој бити, дочарао је француски песник Пол Клодел у хипнотичком набрајању:

Знајући сопствени квантитет,
Ја сам тај, ја вучем, па призивам све своје корене, Ганг, Мисисипи,
Густо ткање Оринока, дугу нит Рајне,
И Нил с две бешике...⁹

Нашироко су испредане бајке о истраживањима највећих река. Архетип свих река је Нил, обавијен египатским митовима о смрти, васкрсењу и плодности, и сматран до пред крај 17. века за лековиту воду. У потрагу за извором Нила малтене се ишло као у потрагу за легендарним Светим гралом. Цезар је рекао да ће дићи руке од ратовања уколико буде могао да баца поглед на извориште Нила. Истраживачима из 19. века, опседнутим западњачком идејом да су реке носиоци велике моћи, главни порив беше да „продру до самог извора“.¹⁰ Али ту је настао проблем: Нил нема један извор – о томе говори Клодел у наведеним стиховима. Стари Грци су знали откуда доходи Плави Нил – с етиопских висова. Код Картума се спаја с Белим Нилом, који извире у самом срцу Африке. Џон Спек је 1858. године установио да Бели Нил истиче из Викторијиног језера, а после две године проценио је да је његова најјужнија тачка река Кагера у Бурундију. Дејвид Ливингстон се отиснуо на своју чувену експедицију 1866. године и нашао је извор Конга. Није доспео до још увек спорног извора Нила – умро је од маларије 1873. године. Ево како је добио име Амазон, који извире у перуанским Андима, на само 160 километара од Тихог океана. Шпански истраживач Франсиско де Орељана пловио је том реком четдесетих година 16. века и наводно су га напале жене из племена ратница. Пошто је Де Орељана био европоцентричан, реку је назвао по Амазонкама из грчке митологије.

Друге реке одавно су велике трговачке артерије. Рајна тече 1320 километара, од аустријских Алпа, и улива се у Северно море код Ротердама. Њоме се може пловити све до Базела, повезана је каналом с немачком индустријском Рурском облашћу, а преко канала Рајна–Мајна–Дунав и с Дунавом, најдужом средњоевропском реком, те тако и с Црним морем. Али најважнију улогу у историји човечанства одиграле су паралелне нити Тигра и Еуфрата (обе реке се уливају у Персијски залив). У равницу коју су плавиле те две реке, и стога је била изузетно плодна, око 8000. г. п. н. е. стигли су номади, настанили се и постали први пољоделци и сточари откад је света и века. Ту земљу знамо по старогрчком имену Месопотамија, што значи „између река“. Потом су се развиле још три велике цивилизације. У нижем делу равнице Вавилон (око 5000. г. п. н. е.), чије је становништво пристигло из подручја близу обале Персијског залива. У јужној Месопотамији Сумер (око 3100. г. п. н. е.). И на крају, на североистоку, Асирија (око 2000. г. п. н. е.). Пошто је било неопходно у правилним размацама наводњавати

земљу да би опстала вавилонска насеља, ваљало је копати и одржавати систем канала па се развила једна од најранијих државних служби – служба за одржавање канала и за извођење радова – а уз њу и занатство и спољна трговина сировинама. Сумерци су копали канале уз Тигар још 2400 година п. н. е. На основу археолошких налазишта у тој некад плодној земљи ми сасвим јасно поимамо како је вода у стари свет донела културу, знање, друштвено уређење и технички просперитет.

Снага њприроде

И као што вода спира камење
и поводањ односи прах земаљски,
тако надање човјечије обраћаш у ништа.

Јов 14:19

Многострука је улога река и потока у геологији.¹¹ Њима, у просеку, оде око тридесет процената кише или отопљеног снега који падну у подручју одакле отичу. Та подручја, зовемо их *сливови*, дефинише топографија земљишта: готово увек их оивичавају какве узвишице. С друге стране тече други поток и улива се у другу реку. Лик слива обликује мрежа реке и њених притока, које пејзаж гравирају својим коритима. Корита се лагано укопавају у стеновиту подлогу, односећи материјал у процесу ерозије. Типичан пример таквог дејства јесте широки слив Амазона, разгранат као корен стабла.

Ипак, реке се прилично разликују по изгледу. Нил јесте најдужа река на свету – од извора Белог Нила у Бурундију до ушћа у Средоземно море пређе 6650 километара – али је врло прав и узан, а слив му нигде не премашује 2000 километара у ширину. Амазон је краћи за пуких 200 километара али му је слив дупло већи од Ниловог. Слив Амазона, од седам милиона квадратних километара, заузима невероватних пет процената површине копна наше планете. Наведене разлике донекле настају и због климатских зона кроз које протичу реке. Највећи део Нила тече скоро целе године кроз суву земљу коју пржи сунце. Влажне амазонске прашуме заливају обилне кише, па није чудо што Амазон има и већи слив и већи годишњи проток од Нила.

Реке и потоци су разнолики, али су најчешћа два облика: меандрирајући и разуђени. Реке које теку низ благе падине, кроз муљевито или глинасто земљиште – такво је гло многих плавних равница – увијају

се у широким, симетричним кривинама, отприлике једнаке таласне дужине. Реч меандар потиче од старогрчког имена турске реке Мендерес, које је гласило Меандрос. Она је чувени пример вијугавог тока. Меандрирајуће реке с времена на време мењају смер, крећући се змијолико; понекад су меандри толико згуснути да је изузетно тешко бавити се пољопривредом на таквим обалама. Примера ради, Мисисипи годишње помери своје стазе и за двадесет метара. Кад се меандри померају формирају се мртваје на местима где су се завоји довољно приближили једни другима да се споје. Ево које појаве узрокују та спајања. Прво, спољне стране сваке петље шире се увек ка споља и тамо је ерозија најјача. Друго, струја је најспорија с унутрашње стране петље, те њу насипа муљ који река ваља. Разуђене реке теку по сложеној, преплетеној шари од корита раздвојених острвима и ртовима. Рекло би се да су тог облика зато што носе веће количине седимента – такву појаву, у малом, запажамо у разуђеним токовима танушних водених струја на пешчаној плажи.

У промицању река и потока по долини настаје равна плавна равница по којој се разлије вода кад река покуља преко својих обала. После сваке поплаве у равници остају нове количине седимента и долина, редовно се обнављајући и влажећи, постаје све плоднија – зато је Нил био отац хранилац старог Египта. Живот у плавним равницама није сасвим безбедан. Реке успут остављају талог по обалама и тако се стварају природни насипи који их обуздавају. Међутим, река зна да подивља, прелије се и стушти се у плавну равницу. Ако река покуља преко тих насипа, последице могу да буду катастрофалне.

Реке и потоци су велика обликујућа геолошка сила. Ти токови за годину пренесу тамо и овамо око шеснаест милијарди тона седимената – овај број се упадљиво увећао од праисторијског доба и то због наших активности: бављења пољопривредом и подизања брана. Наталожени седименти које реке наносе у своје делте могу постепено да прошире границе континената. Реке у разним процесима засецају планинске стене и праве на зубљене пејзаже. Струја ваља песак и каменчиће по речном дну, и тако се, у процесу абразије, стварају фини кривудасти облици. Велико камење, па чак и читаве громаде, какви се ковитају у снажним бујицама, могу да разбију бокове речног корита. Пошто је вода универзални растварач, она и хемијским путем еродира стене; елементе минерала које притом раствара емитује у биогеохемијски циклус.

Зађимо под земљу

Ниче ли сита без влаге? Расте ли рогоз без воде?

Јов 8:11

Чак ни најсушнија подручја нису увек толико сува као што бисмо помислили. У пустињама има оаза, а крајеви и километрима удаљени од потока или реке снабдевају се водом из дубоког кладенца. Како то вода избија из опржене земље?

На скривеним местима леже врло мале, али за нас врло битне количине воде. У атмосферу, кроз евапорацију и транспирацију, врате се око две трећине кишнице. Највећи део онога што преостане отече у потоке и реке. Али једна мања количина иде у земљу, пролази кроз честице растреситог тла док не стигне до непропусног слоја од камене подлоге или густе иловаче и ту тражи себи пут кроз поре или пукотине и процепе. То је *подземна вода*, а пропусни материјал кроз који протиче назива се *аквифер*, *издан* или *водоносни слој*. Канали у издани засићени су водом; горња граница тог засићеног региона назива се *ниво подземних вода*.

Будимо прецизни. Подземна је само вода у тој засићеној регији. Вода изнад, која доспева у земљу, али је не засићује, носи назив *вадозна вода* – она одржава већину копнених биљака и биолошку активност тла. Кад се подземне воде подигну до површине земљишта, оно постаје поплавно. Онда на њему расту само биљке којима годи да им је корен у води, рецимо, трске и шаш. Такви засићени екосистеми, тресаве, ритови, баре и мочваре, богате су и погодне животне средине, круцијалне за биогеохемију копнених маса.

Ниво подземних вода не може се прецизно одредити јер се та вода губи постепено. Уз то, дубина подземне воде зависи од облика пора у којима лежи. Уколико су вертикалне, изразито узане, ниво воде се више диже него да је на делу само гравитација. Та вода бива усисана у поре због *капиларне појаве*, а она је последица деловања молекулских сила између зидова пора и течности. Због те исте појаве мало је издигнута течност у чаши на месту где се додирује с чашом. Што су поре у тлу уже, то је виша *капиларна елевација*. У збијеној глиници, у којој су честице сићушне а поре између њих уске, под дејством капиларне појаве ниво воде може да премаши три метра.

Кад се, бушећи земљу, спустимо испод нивоа подземних вода, доспемо до издани. Вода која сама нађе излаз, рецимо кроз пукотине

у водонепропусној подлози, начини извор. Неке издани су затворене између два слоја водонепропусне стене, тако да заправо није прецизно рећи ниво подземних вода. Вода не може сама да га одреди, него нема куд – мора да остане испод горњег слоја. Она у том слоју може бити и под притиском, нарочито у дољама где се проток воде каналише у слив. Уколико се буши земља до таквог слоја, вода под притиском избије на површину па настаје извор или, ако смо намерно бушили у потрази за водом, направимо артески бунар.

Приликом пробијања кроз стене, подземне воде сперу из њих разноврсне минерале. Воде постану благо киселе јер садрже и отопљени угљен-диоксид – он је доспео у земљу из атмосфере или је продукт распадања биљака. Кад кисела вода доспе у додир с кредом или кречњаком – они су углавном сачињени од калцијум-карбоната у комбинацији с нешто магнезијум-карбоната – онда киселина реагује с тим нерастворљивим карбонатима и ствара донекле растворљиве бикарбонате, па подземне воде постају благо алкални раствор бикарбоната. То је *тврда вода*, она од које се таложи каменац по цевима, бојлерима и посуђу. По хемијском саставу, каменац је смеша калцијум-карбоната и магнезијум-карбоната, а они се поново излучују кад вода прокључа па је оставимо да се охлади. Мека вода настаје из издани које пролазе кроз стене као што су шкриљац и гранит у којима нема калцијума и магнезијума или их има у траговима.

Вода богата отопљеним минералима лековита је. Још су Римљани одлазили у бање на лечење, поменимо Бат на југозападу Енглеске. Ти минерали преносе изворској води и нешто сланости. Лековита вода постаје још благотворнија уколико се при проласку кроз земљу загреје, јер се тако повећава њена способност отапања. У бањама као што је Бат вода продире дубоко кроз стене и загрева се због термалног градијента тла – Земља је све топлија како се иде у дубину, око 20–40°С по километру.

Температура воде из термалних извора често је врло пријатна – остаје на двадесетак степени – али у Бату се пење скоро до 50°С. Најтоплији извори, они у којима се радо брчкају на Исланду и у Јапану, не загревају се на исти начин. Те земље леже на ивицама тектонских плоча или близу њихових ивица. Ту се врела магма уздиже кроз Земљин омотач и на површини се формирају вулкани. Коморе с магмом су врло близу површине и због њих је геотермални градијент много стрмији него другде. Зато се подземне воде загреју чак и до тачке врења.

Тамо где избију настају базени с врелом водом или пуни муља који пућка од топлоте. Кад је кључали резервоар подземне воде готово сасвим затворен са свих страна, а до површине води само уски вертикални тунел, притисак који се развија при загревању делује као детонатор и вода избија у облику *гејзира* (од исландске речи *geysa*, куљати, шикљати). Такви притисци бивају и невероватно силни. Навешћу пример. У Вајмангуу на Новом Зеланду 1900. године избио је гејзир који је и до висине од 500 метара избацивао камење и муљ (ишчезнуо је већ после четири године).

Ако забраздимо, па црпемо из издани више воде него што у њих стиже из падавина, ниво опада. Последица је слегање тла: дотле наводњено земљиште почиње да се суши и сабија се. Управо због снижавања нивоа подземних вода, земља испод Лондона улегла је између 1865. и 1931. просечно за 6–8 центиметара. Данас се чују гласине да се у неким деловима града поново диже ниво подземних вода, а сматра се да је разлог то што су се велике пиваре, које су вукле много воде из градских издани, преселиле из града или престале да раде. Град Лондон више не производи своје пиво и зато је изложен опасности, изливањима подземних вода.

Како су настале руде

Леонардо да Винчи се у својим поређењима рада планете и рада људског организма само ослањао на дугу традицију. Таква компарација била је извођена и пре а и после њега. Георг Агрикола, немачки научник из 16. века, разматрао је функционисање Земље, али је био много поткованији у геологији него Леонардо. У својој књизи *О металима* (*De re metallica*) из 1556, студији о минералима и металима која је сада чиста класика, изнео је следећу претпоставку о настанку жила руда. Подземне воде пролазе кроз стење и носе соли које су успут истопиле. Кад се „под дејством подземне топлоте испеку и згусну“, од њих се створе налазишта металне руде. Агрикола је имао на уму преображај једног класичног елемента у други, то јест воде у земљу. Уколико преведемо ту теорију на језик модерне науке, видећемо да је тачна. Многе руде настају тако што подземне воде отопа минерале у тлу и стени и они се наталоже на другом месту у новој комбинацији елемената.

Подземне воде које прођу до извора топлоте, рецимо до места где се одвија вулканска активност, претварају се у *хидројермални флуид*.

Што је топлија, вода је јачи растварач и зато флуиди постају презасићени пошто се поново охладе, те се формирају кристали соли растворених јона метала. Многи топли извори ушущкани су у богатим минералним налазиштима која су настала на местима где се вода охладила на површини. Кад се вода много расхлади пре него што избије напоље, минерали се наталоже у процепима кроз које пролази флуид и створе се жиле руда.

Агриколину хипотезу да су подземне воде – накупљена кишница – извор дубинских флуида од којих се образују минерали, оповргнуо је Рене Декарт. Он је сматрао да ти флуиди потичу из растопљених стена. И Декарт је био у праву: магма је заиста други извор хидротермалних флуида. Када се у дубинама Земље магма хлади, од ње се кристализује вулканско стење; преостали флуид је све богатији испарљивим једињењима, на пример угљен-диоксидом и водом, и јонима који немају места у кристалној решетки минерала који се стврдњава. Кад се хидротермални флуиди пробијају кроз пукотине и притом се охладе, од њих се стварају жиле руда.

Хидротермални флуиди могу да настану и као последица померања тектонских плоча када се стене савијају и стискају. У том процесу се истисне, и потом загреје, вода из хидратисаних стена, то јест оних које садрже молекуле воде у кристалним решеткама својих минерала. Минерали наталожени на тај начин хемијски су сродни с деформисаним изворним стенама. На пример, лежишта кварца настану кад се истисне вода из пешчара: и пешчар и кремен су два облика силицијум-диоксида.

Хидротермални флуиди нису неопходни за таложење баш свих минерала. Наслаге евапорита – минералних соли – стварају се у процесу евапорације стајаћих вода. При испаравању вода засићена минералима постаје све више и више концентрисан раствор и на крају остане само минерални талог. Налазишта евапоритних минерала распоређена су у сланим мочварама и око сланих језера, а нарочито их има у полусушним преријама крај сезонских језера – *илаја*. Она се акумулирају у кишној сезони, а у сушној испаре. Плаја има од неколико метара до више километара у пречнику; од великих плаја познато је Велико слано језеро у Јути. Воде које доспевају у језеро издвајају минерале из околног стења и земље и обогаћују језеро раствореним солима. Од евапоритних минерала који се могу тако наталожити, поменућемо три: халит (натријум-хлорид, то јест кухињска со), гипс (калцијум-сулфат, од ког се прави „париски гипс“) и боракс (натријум-борат).

Нарочито битан извор комерцијалних руда метала настаје кад се образују раствори богати солима, кад вода што продире с дна раствори евапоритне минерале. Како се седименти сабијају под сопственом тежином, тако под новонасталим талозима падају све дубље; из њихових пора се истискује вода, загрева се због геотермалног градијента и постаје добар растварач за евапорисане соли. Тако створена једињења богата су јонима хлорида и сулфата, али и јонима метала попут бакра, олова и цинка. Она пролазе кроз порозну стену пре него што се јони наталоже као сулфидне руде као што су галенит (олово-сулфид) и сфалерит (цинк-сулфид). Такве жиле руда метала зовемо налазишта типа долине Мисисипија, због бројних налазишта тих руда која су први пут откривена дуж те америчке реке.

Због испаравања изолованих маса морске воде настају аналогна налазишта морских евапорита. Истраживачки брод *Glomar Challenger*, опремљен за вађење језгара из морског дна зарад проучавања морске геологије, 1970. године боравио је у Медитерану. Научници с брода били су запрепашћени кад су испод седиментних стена с дна Средоземног мора нашли слојеве евапорита скоро цео километар дебеле. Толико масивни слојеви могли су да се накупе на само један начин: давно, прадавно испарило је цело Средоземно море. По нашем знању, то се вероватно десило пре шест милиона година, у доба нарочито суве климе. Ниво мора је опао, прекинула се веза између Средоземног мора и Атлантског океана кроз узани Гибралтарски мореуз и Средоземно море је постало затворено. Воде из океана више нису пристизале у Медитеран, море се сушило и преобратило у пустињу прекривену гипсом и другим евапорисаним солима – ту епизоду прозвали смо *Месинска криза салинијетета*. Дно новонастале пустиње спустило се на две хиљаде метара испод светског нивоа мора. Европске и афричке реке више се нису мирно уливале у море него су се обрушавале у пустињу, клешући у стенама огромне кланце. Отприлике пре пет милиона година попустила је гибралтарска брана. Вода се одједном сјурила из Атлантског океана. Према тој количини воде која је покуљала, Викторијини водопади изгледају као капуцкање из неисправне славине, будући да су по количини стопут мањи од ње. У басен се сваког дана уливало стотинак кубних километара океанских вода и већ је за сто година био поново пун.

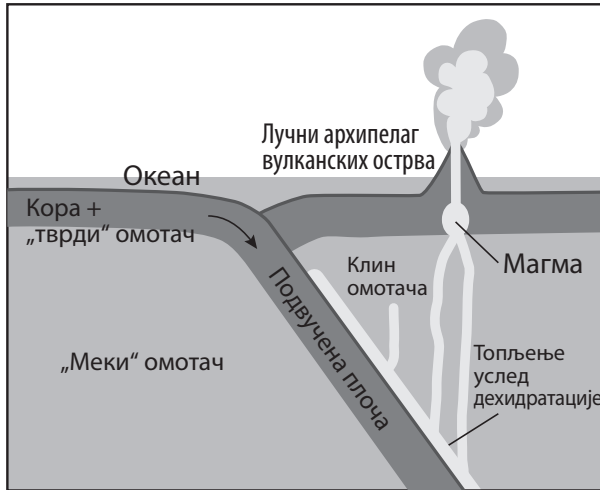
Ишчезли океани

Вода фино прожима Земљу, а врло је делотворна и у томе залази и под бесконачне океанске поноре. Тамо влада велика врелина, што ниже, то врелије. Доњи слој океанске коре у просеку је дебео око седам километара и температура ту достиже и 150°С. У прелазној зони, на дубини од 660 километара – у том подручју се горњи омотач видно разликује од доњег због промене минералне структуре стена – температура се већ пење до 1500°С. Не би нам ни на крај памети пало да тамо има воде.

Таман тако. До пред крај осамдесетих година 20. века међу геолозима је владало уверење да нема воде у дубинама Земље. Недавно је тај став драматично пољуљан. Неки савремени истраживачи мисле како у недрима наше планете има толико воде да се тридесет пута напуне океани. Како се претпоставља, вода је закључана у кристалним решеткама хидратисаних минерала омотача.

Откуд вода тако дубоко? Површинска вода се преноси у Земљину унутрашњост у зонама подвлачења, где се једна тектонска плоча подвлачи под другу. Тврди горњи део подвучене плоче, у облику великог блока, тоне у мекши и топлији део омотача. У том блоку готово увек има много хидратисаних минерала, на пример глина и лискуна насталих сабијањем материјала наталоженог на плочи на океанском дну. Док тај блок тоне у омотач, подижу се и температура и притисак, и у процесу *дехидрајзације* истискује се вода из кристала. Ослобођена вода пресудна је за понашање клина омотача који лежи изнад подвученог блока. Пошто се вода увлачи у стење омотача, до тада стабилно на високим температурама и притисцима, знатно му снижава тачку топљења. Све више воде продире у клин, он постаје засићен и стење се топи, чинећи магму.

Растопљене стене су, подразумева се, ређе од оних чврстих, па магма плута у омотачу, диже се с горње површине блока, на коме се ослобађа вода и спектакуларно излеће кроз вулкане на врху клина омотача. Кад се две плоче сударе испод океана, иза зоне подвлачења образује се лучни архипелаг вулканских острва (слика 2.4). Кад се подвучена тектонска плоча спусти испод ивице континента, настаје континентални вулкански лûк, као што су Анди. Ова рискантна вулканска активност, најуочљивија у такозваном ватреном појасу Пацифика, у ствари је древно, у вео тајне завијено, садејство трију елемената: ватре, земље и воде.



Слика 2.4. На местима где се тектонске плоче сударају вода из Земљиних дубина ствара вулкане. Та вода бива истиснута из минерала у блоку који се спушта и она покреће топљење стења у клину изнад тог блока. Кад се две плоче сретну усред океана, стварају се архипелази вулканских острва, као у Јапану. На месту судара океанске и континенталне плоче, на ивици континента, настаје луџ вулканских планина – тако су створени Анди.

Зоне подвлачења стварају огранак хидролошког циклуса који се одвија дубоко у Земљи. У том циклусу вода се извлачи из океана, али надоле и унутар хидратисаних стена. Одатле се ослобађа кроз дехидратацију блокова, потом се рециклира кроз магму па се враћа било у литосферско стење или у атмосферу преко ужарених вулкана. Неки геолози размишљају да ли вода доле може остати, то јест може ли да се пренесе из блокова који се дехидратизују у хидратисане минерале који остају стабилни и не топе се на таквим дубинама.

Истраживање дубина нашег света истински није лак подухват; у ствари, све своје знање о томе стекли смо индиректно. Стена која до нас доспе као магма није истог састава као таква стена која почива у Земљиној утроби. Она се мења зато што се на њеном успону постепено мењају температура и притисак, а и због садејства с другим стенама. Међутим, ситуација се изменила јер се у последњим деценијама Земљин омотач може проучавати и експериментално, у лабораторији. Сада постоје *дијамантски наковњи*, апарати у којима се материје излажу изузетно високим притисцима. Наиме, узорци стена се

стављају међу дијамантске зупце и подвргавају притисцима једнаким онима на дну омотача, тамо где се спаја с растопљеним гвожђем из Земљиног језгра.

Будући да је било укореењено веровање како су високе температуре и притисци у омотачу изагнали сву воду из стена, у поменутиим инструмен-тима су, по традицији, истраживане само оне „безводне“ стене у чијој структури кристала нема заробљених молекула воде. Крајем осамдесе-тих, приликом проучавања хидратисаног оливина (тог минерала има свуда у омотачу), видело се да се он, подвргнут условима у прелазној зони омотача, трансформише у сродни минерал весељит, али притом не отпушта воду коју садржи. Значи, ако се у прелазној зони налази весељит, он би потенцијално могао послужити као резервоар заробљене воде. Постоје процене да чак три четвртине омотача на дубини од 400 до 525 километара чини весељит – дакле, ту би биле огромне и преогромне резерве воде, запремине преко десет пута веће од запремине свих океана.

Последице постојања таквог „мокрог“ омотача могле би бити драма-тичне. Можда је „мокра“ магма одговорна за катастрофалне изливе вул-канског стења у прошлости. Данас то кристализовано стење покрива тло у пространим стеновитим равницама, као континентални изливни базалти који настају из перјаница омотача. У тој перјаници врела магма се диже увис и притом притисак око ње опада, јер је све мање стења при-тиска – зато јој се снижава тачка топљења. Уколико у магми има воде, било да је сама носи или да ју је успут скупила, онда јој се још више снизи тачка топљења па се магма навелико топи и у ерупцији излеће као огромни излив базалта. Можда је описано топљење магме које вода подстиче узрок чудних карактеристика тог базалта у Бразилу и Нами-бији. Наравно, све су ово пуке претпоставке, али оне потцртавају потен-цијалну важност воде чак и у дубинама где, наизглед, само ватра влада.

Вода уништитељка

Гле, устави воде, и пресахну; пусти их, и испреврћу земљу.

Јов 12:15

Кроз скоро све цивилизације провлачи се легенда о катастрофалном потопу у ком је страдао цео свет изузев неколицине од бога одабра-них. На западу је свима знана судбина Ноја и Атлантиде. Међутим,

сличне приповести испредале су се и преносиле и у другим културама: у Кини, Перуу, на Новој Гвинеји те међу домородачким становништвом Северне Америке. Корени предања о Нојевој пловидби до врха Арарата зачели су се најмање 2100 година п. н. е. у асирској легенди, преузетој из сумерског Спева о Гилгамешу. Наравно, има разлике међу њима. Јахве је послао потоп да спере грешнике с лица Земље. Енлилу, врховном богу из Гилгамешових времена, бучни људи нису дали да спава и зато је послао велике пљускове на њих. Еа, бог мудрости, унапред је обавестио Утнапиштима, краља града Шурипака на Еуфрату, шта се спрема и рекао му да направи арку. Тако су се од потопа спасли само краљ, његова породица и дворска свита.

Лако је докучити зашто су се легенде родиле на Средњем истоку, пре настанка библијских записа: Еуфрат и Тигар стално су плавили сумерске градове око те две моћне реке. На страну саме легенде, изгледа да их је било посвуда зато што су древни људи зазирали од вода. И не само они – и данас опстаје тај страх, не без разлога. Многа многољудна места и даље угрожавају поплаве.

Уколико уопштимо, видимо да постоје две врсте поплава: речне и морске. Прве се десе кад река провали насипе. Друге су опасност у приморским крајевима, а изазивају их плиме и урагани који подижу високе таласе. Будући да су се знатно измениле и делатности и демографија, у целом свету су порасли ризици и штете од поплава. Од свих погибија, четрдесет процената деси се у поплавама, од све штете у природним катастрофама четрдесет процената настане због поплава. У Сједињеним Државама кише и олује изазвале су преко половину непогода (и то на федералном нивоу) у периоду од 1965. до 1985. Само у САД поплаве годишње нанесу штету од 2 до 4 милијарде долара и у њима изгине отприлике 200 људи. Колико год те бројке варираше, оне стално расту. У САД тај тренд раста није последица учестлости поплава (према има и тога), већ чињенице да се у изградњи све више продире у угрожена подручја.

Ваља знати да су бројеви жртава у Северној Америци неупоредиво мањи од броја страдалих у мање развијеним земљама. У САД постоји добро организована инфраструктура за одбрану од поплава: обавештења и упозорења стижу становништву од педесет државних канцеларија при националном хидрометеоролошком заводу. У Индији, Бангладешу и Кини, где многобројно људство стално страхује од поплава, сличне службе нису тако делотворне. Навешћу два примера

из Сједињених Држава. Кад је ураган Агнеса изазвао огромне провале облака, поплављена је источна обала, од Џорџије до Њујорка. Штета је износила отприлике 3,5 милијарди долара, али смртно је страдало свега око 120 људи. Поплава Мисисипија из 1993. била је најгора у последње две деценије: штета је премашила 15 милијарди долара, само у Ајови је без својих домова остало 50.000 људи, али погинуло је само 487 особа. Као контраст навешћу чињенице о поплавама у северном Пакистану и Индији из 1992. године: изгинуло је 2000 људи, а стотине хиљада се нашло на улици. Највећи део плодне бангладешке низије, која је једва три метра виша од нивоа мора, удружено угрожавају Ганг, Брамапутра и Мегна. Те три реке сваке године изазову поплаве више од деведесет центиметара.

Снажан утисак о тим страхотама скоро да избледи кад се помисли на речне поплаве у Кини: њихове последице није надмашила ниједна катастофа о којој постоје макар какви писани трагови. Око 2297. године п. н. е. Јангце, Веј и Хуанг Хе провалиле су кроз насипе и у поплави митских размера од скоро читаве севернокинеске равнице начинило се унутрашње море. Кад се река Хуанг Хе излила 1332. године, подавило се седам милиона људи, а ко зна колико је помрло од силне глади настале после поплаве. Не баш толико далеке 1887. у сличној катаклизми смртно је страдало шест милиона људи.

Реке се увек изливају кад кише долазе и корита им се препуне. У пустињама пљусну кратке и врло јаке кише па могу нагло кренути „муњевите поплаве“. Таквој опасности изложена су и планинска подручја јер се низ стрмине сјуре читаве бујице. Највеће су опасности од поплава кад вода од падавина не доспе у земљу него се слије у потоке и реке – тој појави погодује рашчишћавање земљишта од биља, нарочито зарад формирања грађевинског земљишта. Још неки подухвати знатно увећавају опасност од поплава, а то су заливање тла бетоном и асфалтом, и постављање одвода за падавине.

Поплаве настају и кад се нагло отопе велике количине снега или кад се по речним коритима створе ледене препреке. Често се та два феномена преклопе па бујица од надирућег отопљеног снега нагло пробије ледене преграде. Године 1936. у Новој Енглеској збила се поплава изазвана топљењем снега и леденим препрекама; том приликом је изгинуло 107 особа.

Ваља рећи да речне поплаве нису увек доносиле штету. У старом Египту Нил се изливао једном годишње и пошто се повуче, за њим

је остајало плодно тло – зато је у делти те реке цветала култура. Што је врло занимљиво, египатска цивилизација спада у веома ретке културе без легенде о потопу. Вероватно зато што је Нил толико огroman да је увек деловао као заштитна баријера против снажних метеоролошких догађаја. Готово су се поуздано очекивале велике поплаве које су наносиле плодни муљ у делту. Гаранте су биле оне Клоделове „две бешике“: ако закаже Бели Нил, Плави неће, и обрнуто. У јужном Египту поплаве су почињале средином августа и већ је до средине или краја септембра поплавни талас стизао на север. На југу се вода повлачила у корито у октобру, на северу у новембру, и почињала је сетва. Око 3100. г. п. н. е. Египћани су начинили иригациони систем и тако продужили плодну сезону и повећали површину родног подручја: копали су и продубљивали канале и ширили њихову мрежу не би ли дуже чували воду и боље је разводили по пољима. Обим поплаве и летина били су у тако јасној вези да се пажљиво надгледао водостај и према њему одређивао порез дотичне године.

Неколико појава изазива приобалне поплаве. Оне су разорне као речне, али у њима страда много више људства, јер су морске обале обично густо насељене (пример су обале Сједињених Држава). Изразито високе плиме буду опасне, али су заиста катастрофалне само кад се покlope с изразито лошим временским приликама. Примера ради, 1953. године у источној Енглеској и Холандији страдало је више од две хиљаде људи у великим приобалним поплавама насталим кад је вода истовремено нарасла због високе плиме и због олује у Северном мору. Кад река надође од силних кишурина и сјури се до мора, висока плима која истовремено наступи може да спречи изливање реке у море те подручје естуара бива поплављено.

Али за приобална подручја главна опасност од поплаве наступа кад наиђу тропски циклони. Тај апсолутно најстрашнији атмосферски феномен дешава се над океанима у тропима, између 23° и 5° ширине, од јуна до новембра. По Сједињеним Државама и Карибима користи се термин ураган (енгл. *hurricane*, од карибског *huracan*, што значи јак ветар), а на западном Пацифику тајфун (од кинеске речи за велики ветар). Ураган је вртложан, то јест ветар се спирално креће према средишту, а захвата простор пречника и до четири хиљаде километара. Због Кориолисовог ефекта, ветар се на северној хемисфери окреће у смеру кретања казаљке на сату, а на јужној у супротном смеру. У самом средишту тајфуна постоји стуб прилично чистог ваздуха под ниским

притиском који је широк од десет до педесет километара – то фатално око олује пиљи право у васиону. Око њега се диже зид од олујних облака који изазивају кишу и бесне ветрове што дувају и преко триста километара на сат док упадају у средиште спирале и избијају из ње.

Тропски циклони зачињу се због евапорације с морске површине топлије од 27°С. Због тако обилног испаравања и топлог мора, ваздух је изразито влажан и из њега се кондензују пљускови. При кондензацији водене паре ослобађа се *латентна топлота* (видети страну 148). Формирање кишних капи додатно загрева ваздух и он се диже у конвективном струјању. Зато настаје подручје врло ниског атмосферског притиска које усисава све више влажног ваздуха. Та појава интензивира саму себе: што више кише пада, ослобађа се све више латентне топлоте, па се диже све више ваздуха, па опада притисак и на крају стиже све више ваздуха спремног за кондензацију. Ветрови који се завитлају под Кориолисовим ефектом полагано формирају застрашујућу неман из које се за цигло један дан ослободи онолико енергије колико једна индустријска држава потроши за целу годину.

Кад тај вртлог груне на обалу, за ужасним тајфунским ветрушти-нама остане пустош. Али деструктивна снага урагана у највећој мери је последица његовог деловања на морску површину. Низак притисак у средишту урагана диже воду у кресту висине и до три метра; још је опасније то што ветрови пред тајфуном који се покренуо гурају грдан олујни талас. Он је обично висок око осам метара, али зна се да су неки досезали и дванаест метара. Од свих страдалих у налетима тајфуна, деведесет процената изгине у приобалним поплавама.

Приобална подручја Карипског архипелага и источне Америке на удару су урагана из тропског дела Атлантског океана. Најсмртоноснија катастрофа у историји САД збила се 1900. године. Ураган је изба-цио талас на Галвестон у Тексасу и у поплави је изгинуло око десет хиљада људи. На сличан начин је ураган Хети 1961. напросто опусто-шио Белизе Сити у Средњој Америци, па је тај град потом премештен осамдесет километара дубље у копно. Два највећа налета урагана у америчкој историји збила су се у последњих десет година и нанели су штету од скоро 30 милијарди долара. Хјуго се стуштио 1989. а Ендру 1992. године.*

* У урагану Катрина, 2005. године, настрадало је више од 1800 људи, а материјална штета је премашила 80 милијарди долара. (*Прим. њев.*)

Вероватно Бангладеш највише страда од тропских циклона. Године 1737. обалу Бенгалског залива као метлом је очистио олујни талас од дванаест метара и однео око милион људи. Слична поплава догодила се 1876. На Бангладеш (тада Источни Пакистан) сручио се 1970. талас висок четири и по метра, поплавио милион јутара пиринчаних поља, а бар двеста хиљада људи је погинуло. Преко сто хиљада људи је страдало у сличној катастрофи из 1991. Није мука само то што је држава Бангладеш многољудна и недовољно богата да подигне насипе и евакуише становништво. Тло је толико ниско да чак и омањи олујни таласи, високи тек два метра, оставе страшне последице – то је прави и нерешив проблем. Збиља, тропски циклони су најопакија заједница воде на небу и у океанима.

Велики ѿалас

Отићи ће љетина дома његова, расточиће се у дан гњева његова.

Јов 20:28

Од свих природних катастрофа које покреће вода, по страхотности једва која може да се мери с цунамијем, циновским обалским таласом. Тај феномен најпогубнији је за становништво пацифичких обала на Далеком истоку. Пошто циновски таласи најчешће угрожавају Јапан, није чудо што су постали општезаступљени мотив у култури те земље – сетимо се чувене Хокусаијеве слике *Велики ѿалас*. *Tsunami* је јапанска реч, а значи дугачки заливски талас; некад се односила на све гигантске таласе који грувају о јапанску обалу. Данас означава искључиво таласе који се подижу због ослобађања сеизмичке енергије у земљотресима и ерупцијама вулкана.

Висок талас који се, наизглед, из чиста мира дигне из мора глатког као свила, делује натприродно. Из те појаве излегу се предања. Рекло би се, рецимо, да се цунами уплео у Херодотову причу о томе како је спасен град Потидеја од персијске опсаде 479. п. н. е. Море се беше повукло, приповеда историчар, Персијанци су угледали одједном доступну морску страну града и јурнули у напад, али море се вратило и сви су се нападачи подавили. Та појава повлачења мора често се наводи у историји, у извештајима о цунамијима.

О цунамију у Херодотовој причи први је говорио 1907. Вилијам Хобс. Он је претпостављао да се због цунамија раздвојило Црвено

море те су Мојсије и Израиљци умакли Египћанима. После су неки коментатори сматрали да Израиљци нису прешли Црвено море него Море шеvara на Средоземној обали, а да је цунами настао након ерупције вулкана Санторини у Егејском мору која се догодила у 15. веку п. н. е. Узгред, можда је у тој катастрофи била потопљена и северна обала оближњег Крита, па је зато пропала минојска цивилизација. У источном Медитерану цунамији нису ретка појава – од 2000. године п. н. е. избројан је барем 141 циновски талас. Напросто се не усуђујем да истражујем у колико се теорија о судбини Атлантиде потеже сличан аргумент.

Јапан лежи у сеизмички најактивнијој области у целом свету – ето, зато се на ту земљу толико често обрушавају циновски таласи. Застрашујућ је списак жртава. Године 1896. у само једном цунамију погинуло је 27.000 особа. Кад је цунами 1792. ударио о полуострво Шимабара усмртио је 15.000 људи.*

Веза између цунамија и земљотреса позната је још од 5. века п. н. е. – поменуо ју је Атињанин Тукидид. Земљотреси (или вулканске ерупције, јер и оне изазивају подрхтавање тла) на неколико начина стварају гигантске морске таласе. Приликом клизања тла – десило се оно на копну или у седиментима испод мора – бивају истиснуте огромне количине воде. Године 1958. десио се земљотрес у заливу Литуја на Аљасци; због клизања тла настао је талас висок 60 метара и обрисао све дрвеће с обале, до 530 метара у дубину. Експлозивне ерупције могу да створе и ударни талас. У експлозивном цунамију, последици ерупције Кракатауа 1883. године, подавило се преко 36.000 становника приобаља Јаве и Суматре. И само морско дно може да издигне талас јер се помера због клизања линије раседа. Управо тако настане највећи број цунамија, на пример онај из 1964. који је био последица земљотреса у мореузу Принц Вилијам на Аљасци.

Пре него што исцрпе своју енергију, цунамији пређу велике раздаљине преко океана; зна се да су неки пребродили Пацифик с краја на крај. Рецимо, у земљотресу магнитуде 9 који се збио на северозападној обали Северне Америке 1700. године, настао је талас који је прешао Пацифик и своју разорну моћ показао у Јапану. Земљотрес који се 1960. догодио у Чилеу разаслао је цунамије до Хаваја, Јапана

* У цунамију који је уследио након земљотреса у Јапану 11. марта 2011. године живот је према званичним подацима изгубило 15.833 људи, а 2.654 особе воде се као нестале. (Прим. њрев.)

и Аљаске. Ни не чуди нас што становништво острвља̂ усред океана – Хавајци, на пример – мора да буде на опрезу. Сва срећа, цунамији се крећу кроз море много спорије од сеизмичких таласа који их стварају – ови други се брзо преносе кроз много чвршћу средину: Земљину кору и омотач. Зато се мреже за откривање цунамија могу ослонити на праћење сеизмичких таласа, јер из њих се уочава знак упозорења. Мука је то што се не може рећи хоће ли конкретни сеизмички догађај генерисати цунами – а океан је превелики простор за претраживање. Кад се размишља о системима заштите, треба имати у виду с једне стране спасавање људства, а с друге проблеме при масовној евакуацији, покренутој због претеране опрезности.

Вода се може обуздати, али се не може укротити. Каже се да је вода добар слуга а рђав господар, наиме, натераћемо је да нам служи у ситним подухватима, али отргне ли се, својом силином лако ће нас савладати. Ту двогубост воде добро је дочарао јапански песник Ки но Цурајуки у свом поетском дневнику *Тоса Ники* (из 936. године):

У пустој жељи да појмимо ум разгневног бога, ми бацамо
огледало у олујно море. Оно нам приказује слику бога.

Свакако то није бог ког обично повезујемо с „благошћу бистре воде“, „мелемом који доноси заборав“ и „боровима крај обале“. Својим очима у огледалу сагледасмо какав је то бог.¹²

Колико је важно умилоствити тог бога, знамо из историје морепловства. Вода, мирне површине налик на огледало, наводи на сањарење, нуди спокој.

Чини се да је шара звана набрани таласи исткана
на разбоју од одраза врбових грана у потоку.¹³

Али, ражести ли се – уздигнуће се, обрушити и све нас прогутати.

Индекс

- Агаси, Луј, 69, 71
Агрикола, Георг, 43
Адемар, Жозеф Алфонс, 71
Азија, потрошња воде, 320
азијски монсун, 31
азот, биогехемијско кружење, 26–27
Ајнштајн, Алберт, 5, 11, 119, 253, 254, 256, 301
алге
 изливања нафте, 334
 као извор водоника, 278
 као рани облици живота, 213, 214, 217
 у језерима и приобалним областима, 332–333, 349
Александар Велики, 119–120
Александрија, 119–120
Ален, Лиланд, 272
алергије, 290–292
Алиса у земљи иза ојледала (Керол), 102, 154
алкали, у води, 170–171
Алтман, Јохан Георг, 67
алхемија, 113–115, 125, 127–128, 131
Аљаска, цунамији, 53, 54
Амазон, река, 25, 37, 38–39
амерички Индијанци
 мит о стварању, 3
 право на ресурсе воде, 340–344, 347
аминокиселине, 212, 215, 237–238
аморфни лед, 191, 195
Вигетии и стакласти лед
аморфни лед велике густине (HDA), 191
Анаксагора из Клизоменије, 115, 118
Анаксимандар (јонски филозоф), 209
Анаксимен (јонски филозоф), 113
Андре, Мајнрат, 64
аномална вода (поливода), 263–267, 273
Антарктик, 174
 ледени покривачи, 25, 66–67, 74, 75–76
Антарктичка циркумполарна струја, 33
Антарктички (Јужни) океан, 28, 29, 30, 32, 145, 175
 температура воде и риба у, 197–198, 200
антифризни протеини, и риба
 хладних вода, 200
Аралско језеро, 325
арапско-израелски конфликт, 347–351
Аренијус, Сванте, 92, 163
Аризона, 331
 конфликт због воде реке Колорадо, 344–347
Аристотел, 10, 11, 118–119, 120, 121–122, 229–230
арктички региони, и биљке, 224
Армстронг, Хенри, 159, 162
артески бунари, 41
Архимед, 120

- Асимов, Исак, 92
 Асирија, 38
 Астон, Франсис, 11–12, 275
 астрофизички водени масери, 15–16
 Атлантида, 48, 53, 74
 Атлантски океан, 28, 32–33
 атмосфера
 на Венери, 93–94, 96
 на раној Земљи, 210–211
 атмосферска вода, 57
 Вигејии и облаци
 атмосферски притисак
 ефекти на кључање и мржњење, 148
 атоми, 6–8, 11–16
 водоник, 6, 7, 8, 9, 10–11, 12
 и састав воде, 138–141
 кисеоник, 6, 7, 8
 у грчкој филозофији, 115–120
 у Декартовој теорији, 124–125
 аутотрофи, 214–215, 216
 Африка
 дезертификација, 324
 ерозија гла, 323–324
 Афродита (грчка богиња љубави), 115

 базофили, 290–292, 300–301, 302–314
 Бајен, Пјер, 132
 Бакланд, Вилијам, 71
 бактерије
 биоразградња органског отпада,
 329
 и изливања нафте, 334
 и протеини, 250
 као извор водоника, 278
 као рани облици живота, 214, 215,
 217
 Балард, Ц.Г., *Кристалини свети*, 162
 Балзак, Оноре де, 134
 Балтимор, Дејвид, 309
 Банвенист, Жак, 290, 291–292, 294,
 299, 300–301, 302–314
 Бангладеш
 поплаве, 49
 тропски циклони, 52
 бање, 41–42
 баре, мржњење, 142, 144–145
 Барнс, Чарли, 287
 Бароуз, Едгар Рајс, 82
 Бартолин, Еразмус, 179, 181
 Бат, термални извори, 41–42
 Бауден, Ф.П., 183–184
 Башлар, Гастон, 111, 115, 230, 274, 276,
 321, 336
 бебе, нитрит и „синдром плаве бебе“,
 332
 Беген, Жан, 122
 Бекон, Франсис, 124
 Белами, Лајонел, 266
 Бен-Гурион, Давид, 348
 Бенкс, сер Џозеф, 137
 Бентли, Вилијам, 180
 Бербиц, Маргарет и Џефри, 13
 Бернал, Џ. Дезмонд, 142, 154, 164–165,
 246, 265, 269
 Бертоле, Клод, 138, 300
 Бертон, Е.Ф., 190
 Бертон, Ралф, 266
 Берцелијус, Јонс Јакоб, 140, 141
 Бете, Ханс, 12–13
 Бехер, Јохан, 127–128
 биљке, 219–225
 васкуларни систем, 221
 ефекти мржњења на, 202
 и фотосинтеза, 215, 216, 222–223
 колонизација Земље, 219–220
 прилагођавање проблему губитка
 воде, 223–225
 стома, 223, 224
 биогеохемијски циклус, 27
 биоремедијација, 334
 Бјевр, река, 330
 Бјерум, Нилс, 168

- Благден, Чарлс, 136
Блејк, Вилијам, 110
Блек, Џозеф, 129, 134, 137
Блиски исток
 и десалинизована вода, 312
 и наводњавање, 321, 322
 израелско-палестински сукоб,
 347–350
Блондло, Рене-Проспер, 259
богиње, и вода, 115
Бојл, Роберт, 109, 125–127, 129, 130, 132,
 135–136, 230
Бокрис, Џон, 286
болести, од загађене воде, 317–320,
 330, 336
Болцман, Лудвиг, 155–157
Бонд, Питер, 289
Бонини, Серђо, 274, 308
Бразилска струја, 31
Бредбери, Реј, *Марсовске хронике*, 83
британски истраживачки брод
 Challenger, 28
Бриџман, Перси, 186, 189
Бројгел, Питер, 142, 143, 144, 145, 182
Броновски, Јакоб, *Уџион човека*, 6
Бруер, *Водич кроз научна знања о
 знаним сиварима*, 145
будистички храмови, ступе, 147
бунари, 40–42

Вавилонија, 38, 112
вадозна вода, 40
ваздух
 гасовити азот, 129, 130, 138
 гасовити водоник, 130–131
 производња воде, 133–135
Валс, Јоханес Дидерик ван дер, 155,
 157, 165, 242
Ват, Џејмс, 134, 135, 136, 137
ватра, и вода, 112
Вебстер, Џон, 253
Везалијус, Андреас, 226
Велики анадолијски пројекат, 338
Велики прасак, 4–5, 8–9, 14
Велс, Х.Џ., 82, 89
Венера (планета), 92–96
весељит, 47
ветрови, и океанске струје, 30–31
Вигинс, Филипа, 233, 246–247
Видал, Гор, *Сиварање*, 118
Викс, Џон, 248
Викторијино језеро, 37
Вилијамс, Дејвид, 286
Вилсон, Роберт, 5
витализам, 297–298
Витман, Волт, 14
Витфогел, Карл, 340
власништво земље, 339–340
вода антарктичког дна, 33
водена пара
 и водоземци, 220
 и ефекат „зелене баште“, 62
 и облаци 56, 57–58, 59
 и транспирација, 225
 у атмосфери Венере, 95, 96
 у атмосфери Марса, 87, 88
водени богови, 22
водоземци, 220
водоник, 12, 14
 атоми, 6, 7, 8, 9, 10–11, 12
 гас, 132–133
 и Бојлова истраживања, 126
 и молекул воде, 140, 141, 158–161
 и снага воде, 276–280
 и формирање воде, 133, 134, 135, 136,
 137–138, 279
 и фотосинтеза, 216–217
 издвајање воде, 276–278
 јони, 170, 171, 229, 249
 као гориво, 276–280
 први лет балоном, 133
 сагоревање у ваздуху, 134
 у космосу, 15, 19

- водоник-сулфид, и порекло живота на Земљи, 215–216, 217
- водоничне везе, 160–161, 162, 163–165, 171
- и „меморија воде“, 306, 307
- и антифризни протеини, 200
- и кристали леда, 185, 189
- и метан растворен у води, 242
- и неполярни молекули, 243–244
- и протеини, 238, 239, 250
- рачунарски модели, 169–170
- водонично-кисеоничне горивне ћелије, 279–280
- Волд, Џорџ, 3, 5, 6
- Волта, Алесандро, 137, 276
- Вонегат, Курт, 103, 187
- Колевка за мацу*, 174, 268
- Вордсворт, Вилијам, 57
- Ворен, Стивен, 64
- Ворлтајр, Џон, 134, 135
- Ворстер, Доналд, 344
- „врућ лед“ (лед-VI), 186
- врући извори, 42
- вулканска активност, 46
- и кисеоник, 218
- и цунамији, 52, 53
- на Венери, 93, 96
- на Европи, 102
- на Земљи пре појаве живота, 210
- на Ју, 97
- на Марсу, 83, 89
- Гален (грчки лекар), 229–280
- Галилеј, 97, 118, 124, 253, 254
- Галилејско језеро, 349
- Гамов, Џорџ, 12
- Ганг, река, 22, 49, 337
- Ганимед (Јупитеров месец), 97, 98, 99
- гасови стаклене баште, 61–62, 67
- и возила која иду на водоник, 280
- на Венери, 94–95
- на Марсу, 89, 91
- гасови
- водоник, 132–133
- и вулканска активност, 218
- и критична тачка, 150–151, 155
- и фазни прелази, 147–149, 155
- кинетичка теорија, 155
- на Земљи пре појаве живота, 210–211
- Пристлијево откриће гаса кисеоника, 130–131
- развој концепта, 124, 129
- разликовање течности од, 155
- хлор, 132
- честице у, 152
- Видејџи и гасове јонаособ нџр. кисеоник*
- гасовити хидрати, 244
- Видејџи и клатрат*
- Геа, хипотеза о, 27, 62, 63–64
- Гебер (Џабир ибн Хајан), 119, 130
- гејзири, 42
- Гелер, Ури, 310
- Герстин, Марк, 234
- Геснер, Конрад, 122
- Гетар, М., 181
- Гибралтарски мореуз, 44, 45
- гире (океан), 30–31
- гличери, 25, 67–71, 72
- на Марсу, 85–86
- топљење, 76
- глобално загревање, 61–64, 74–76, 275, 326
- глукоза
- и хетеротрофи, 215–216
- у фотосинтези, 215, 221–223
- гмизавци, 220–221, 232
- Голфска струја, 23, 31, 146
- гориво, вода као, 274–280
- гравитација
- Месец, 34–35
- формирање звезда, 9, 13, 16
- гренландски ледени покривачи, 67, 74, 76

- Гринспун, Дејвид, 95
 Гротус, Теодор фон, 171
 Гроув, Вилијам, 279
 Грчка, древна, 16
 опсада Потидеје, 53
 филозофија, 111–114, 115–120
 густина супстанци, 142–144
 аморфни лед, 191
 ефекти мржњења воде, 143–144
 лед на високом притиску, 187–189
- Давенас, Елизабет, 310
 Далтон, Џон, 138–141
 Дарвин, Чарлс, 209, 248
 ддТ, 327–328, 348
 Де Морган, Огастас, 109
 дезертификација, 324–326
 Дејвис, Роберт, 271
 Декарт, Рене, 43, 124–125, 179, 181
 Демокрит, 116, 117, 118, 124, 134, 141
 дендритски кристали леда, 177–178, 182
 Дерјагин, Борис В., 261, 263, 264–266, 267, 270, 271, 272, 309
 десалинизација, 336–337
 деутеријум, 8
 нуклеарна фузија, 280, 281, 282, 288, 290
 у Венериној води, 96
 дефорестација, 225, 324
 „дигитална биологија“, 314
 дијамантски наковањ, 47
 Дилејни, Џон, 102
 Дима, Жан Батист, 10, 11
 диметил-сулфид (DMS), 58, 63–64
 ДНК, 210, 211, 218, 234
 и водоничне везе, 161
 долина Тигра, салинизована земља, 323
 Донахју, Ф. Ц., 268–269
 Донахју, Џон, 340
Др Сјрејнцлав (Кјубрик), 229
- дрвеће, проблем губитка воде, 224
 Дрескин, Стивен, 308
 Дугорочно истраживање, картографисање и предвиђање климе, пројекат СЛИМАР, 73
 Дунав, река, 37
- Еванс, Марџори, 243, 244
 евапорити, минерални, 43–45
 Еверет, Даглас, 269
 Европа (Јупитеров месец), 97, 98, 99–101, 102
 Европска комисија, и загађење воде, 330, 332
 Египат, 338
 Видејти и Нил, река
 Едингтон, Артур, 12
 Ејнцел, Остин, 192, 193, 195
 екватор, и ветрови, 30
Ексон Валдез, изливање нафте, 289, 333, 334
 Ел Нињо, 23
 електрони, 6–8, 9
 јонски парови, 158, 159, 160, 161
 елементи, 6
 Бојлова теорија, 125–127
 воде, 133–134
 Декартова шема, 124–125
 и грчка филозофија, 111–114
 и западна херметичка филозофија, 121–122
 и кинеска филозофија, 114–115
 периодни систем, 9, 14
 скраћенице, 141
 трансмутација звездама, 9, 10–11, 14
 Видејти и водоник; кисеоник
 емисије сумпор-диоксида, 335
 Емпедокле (грчки филозоф), 113–114, 115–116, 118, 121, 122
 Ендрус, Томас, 150
 енергија
 земља као извор, 274–280

- и нуклеарна фузија, 280–290
- хидроелектрична, 338–339
- ензими, 237
- ентропија, 243
- Епикур, 118
- Еплјард, Брајан, 257
- еритроцити (црвена крвна зрнца), 227–228
- ерозија гла, 323–324
- еукароити, 218
- еутрофикација, 332–333
- Еуфрат, река, 36, 37–38, 48, 338
- жабе
 - и урин, 232
 - толеранција на мржњење у хибернацији, 201–202
- Жансен, Пјер, 11
- желудачни сокови, 231
- жене, и вода, 115
- Живе енергије* (Коутс), 315
- живин оксид, загревање, 131–132
- живот, порекло, 208–221
- животиње
 - колонизовање Земље, 220–221
 - отпорне на смрзавање, 199–202
- Жута река, 36, 49, 337
- загађење живом, 333
- загађење залиха воде, 319, 326–335, 351
 - изливања нафте, 333–334
 - канализација, 329–331
 - киселе кише, 334–335
 - киселе рудничке (дренажне) кише, 333
 - нитрат, 331–332
 - полихлоровани бифенили (ПХВ), 328, 329
 - тешки метали, 333
 - токсичне хемикалије, 327–329
 - фосфати, 332–333
- загревање услед трења, и скијање, 184
- залихе воде, 317–320
 - болести због загађене воде, 319–320, 330, 336
 - загађење, 319, 326–335
 - и десалтификација, 324–336
 - и десалинизација, 336–337
 - и наводњавање, 321–323, 326, 338, 341, 345
 - и оскудица, 318–321, 337–338
 - и салинизација, 322–323
 - одржива потрошња, 318, 351
 - рециклирање, 335–336
 - сукоби због, 339–351
 - флаширана вода, 326, 327
- Западна Европа, потрошња воде, 320
- Западноантарктички ледени покривач, 66, 68, 75
- звезде
 - и „молекуларни облаци“, 15–16
 - и трансмутација елемената 9, 10–14
 - као супернове, 13–14, 15
- Земља
 - вода дубоко у, 45–48
 - Геа, хипотеза о, 27, 62, 63–64
 - колонизовање, 219–221
 - Онај Што Изрони Земљу (мит о стварању), 3
 - почетак живота на, 208–219
 - равнотежа зрачења, 61
 - формирање планете, 16–19
- земље у развоју. *Vugейи* мање развијене земље
- земљотреси, и цунамији, 52, 53–54
- Зимбабве, власништво земље, 339–340
- издани, 40, 41, 42, 338, 343
 - у Израелу, 348
- изливања нафте, 333–334
- изливни базалти, 47–48
- изотопи, 8, 11
 - кисеоника, 12, 13
 - у поларном леду, 67

- Израел, 336, 337, 338, 347–350
 Имир (нордијски див), 4, 5
 имуни систем, базофили, 290–291
 Инд, река, 36
 Индија, загађење воде, 319, 329, 330
 Индијски океан, 28, 31
 индустријско загађење, 333–335
 инсекти, и криопротектанти, 199
 „интерстицијални“ модели воде, 165–166
 Ио (Јупитеров месец), 97, 98
 ислам
 и аристотеловска филозофија, 118
 и прочишћавајућа моћ воде, 350
 испаравање воде
 Ван Хелмонтово истраживање, 123
 и аристотеловска филозофија, 120
 и хидролошки циклус, 25, 26
 Источноантарктички ледени покривач, 66, 67
 Итаипу, брана, 338

 Јангце, река, 36, 49, 337, 338, 339
 Јапан, 46
 загађење воде, 332–333
 цунамији, 52, 53
 Јармук, река, 349
 језера
 и кисела киша, 334
 и минерални евапорити, 43–44
 мржњење, 142, 145, 176
 црвене плиме у, 332–333, 349
 Јејтс, В. Б., „Хладна небеса“, 55
 јони, 7
 водоник, 170, 171, 229, 249
 градитељи структуре и рушитељи структуре, 240–241
 и вода у близини хидрофилних површина, 246–247
 јонска филозофска школа, 113–114, 115–116, 122
 Јордан, река, 349

 Јорданско-израелски мировни споразум (1994), 350
 Јужна Америка, дезертификација, 326
 јужна полулопта, 29, 30, 31, 51
 Јужни океан. *Vigeiti* Антарктички океан
 Јупитер, 77, 103
 месеци, 97–102
 јура, океани, 29
 Јури, Харолд, 211, 215
 Јута, Велико слано језеро, 44

 Калисто (Јупитеров месец), 97, 98, 100, 101–102
 Калифорнија, и конфликт због воде реке Колорадо, 344–347
 канали, и Сумерци, 38
 канализација
 загађење залиха воде услед, 329–331
 пољопривреда, 336
 Кант, Имануел, 16
 капацитет загревања воде, 146, 171
 капиларна акција, 41, 224
 Кар, Мајкл, 99
 Кардано, Ђироламо, 122
 Кариби, урагани, 51, 52
 Карлајл, Ентони, 137, 138, 276
 Карсон, Рејчел, *Немо ѝролеће*, 327, 328
 Картер, Џими, 346–347
 Касини, Ђовани Доменико, 178, 181
 Кастинг, Џејмс, 91
 Касторп, Ханс, *Чаробни бреј*, 174, 179
 Каузман, Валтер, 244, 245
 Кевендиш, Хенри, 132, 134, 135, 136, 137–138
 Кембел, Ентони, 298–299
 Кеплер, Јохан, 179
 Ки но Цурајуки, 54
 Кина
 брана Три клисуре, 338–339
 дезертификација, 326
 ерозија гла, 323–324

- наводњавање, 322
 речне поплаве, 49
 кинеска природна филозофија,
 114–115, 178
 кинески митови, 4
 кисела киша, 334–335
 киселе рудничке (дренажне) воде, 333
 киселине, додавање води, 170–171, 229
 кисеоник, 14
 атоми, 6, 7, 8
 и аеробно дисање, 217, 218
 и Бојлова истраживања, 126
 и СНО циклус, 12–13
 и Лавоазје, 134–135, 136, 137, 138
 и органски отпад, 329
 и рана Земља, 210, 216
 и синтеза воде, 133, 134–135, 135, 136,
 137–138, 279
 и флогистонска теорија, 128–129,
 132
 и фотосинтеза, 217, 218, 222, 223
 и хетеротрофи, 216
 Пристлијево откриће, 130–131
 у крви, 227, 228
 у молекулу воде, 6, 140, 141, 158, 159,
 160
 киша на Венери, 93–94
 Кларк, Артур, 83, 97
 клатрат, 166
 Вигеји и гасовити хидрати
 Клаузијус, Рудолф, 155
 Клерк, Џејмс Максвел, 155
 клизишта, и цунамији, 53
 клима
 и биљке, 223–224
 и циркулација океана, 146
 Вигеји и ледена доба
 климатске промене, 33–34
 глобално загревање, 61–64
 ледена доба, 33, 64–66, 71–74
 на Марсу, 88–89
 Клодел, Пол, 36–37, 226, 233
 Клоуз, Френк, 287, 288, 289
 кључање, и фазни прелаз, 148, 149
Колевка за мацу (Вонегат), 173, 268
 Колорадо, река, 337, 344–347
 комете, 18–19, 79, 103
 Конго, река, 37
 кондензација, 134, 147
 и облаци, 50, 57–58, 64
 и фазне границе, 155
 Коноли, Џером и Елма, 208
 континентални дрифт, 29
 Коперник, Никола, 118
 копно и море, 4
 Кориолисова сила, 30, 35, 51
 корозивна природа воде, 146
 Коутс, Калум, *Живе енергије*, 315
 Кракатау, ерупција, 53
 кратери
 на Јупитеровим месецима, 97–98,
 100
 на Марсу, 83–85, 86
 на Месецу, 79
 крв, 225–229
 Крик, народ, 344
 Крикс, Вилијам, 11
 криопрезервација, 202–203
 криопротектанти, 199, 201
Крисџали лега (Бентли и Хамфрис),
 180
 кристали, леда и снега, 176–182
 кристалинитет воде, 162–163, 165, 169
 критична тачка, 150–151, 155, 157
 суперохлађене воде, 195
 Крол, Џејмс, 71
 крштење, 22
 Кувајт, дезертификација, 326

 Ла Тур, Шарл Кањар де, 150
 Лавлок, Џејмс, 20, 27, 62, 64, 91
 Лавоазје, Антоан, 124, 127, 131–132,
 134–135, 136–137, 138, 139
 Лазар, Филип, 313

- Лајел, Чарлс, 71
 Лангмјур, Ирвинг, 192, 253, 258–260, 273, 287, 289
 Ланин, Џонатан и Синтија, 95
 Лао Цу, 114
 Лаплас, Пјер, 136
 латентна топлота
 и фазни прелазни, 148–149
 и циклони, 51
 Латимер, Вендел, 160
 Лауел, Персивал, 77, 82, 83, 89, 93, 98
 Лаури, Т. Мартин, 163
 Ле Шатљеов принцип, 228–229
 лед, 56, 64–76, 173–204
 аморфни, 191, 195
 вештачко узгајање кристала снега, 181
 и изливање река, 50
 и стари Грци, 112
 и структура воде, 161–167, 169, 170–171
 и суперохлађена вода, 191–197
 и хидролошки циклус, 25, 55
 иње, 60
 као метафора за смрт, 174
 клизање по, 182–184
 на Европи, 102
 на Марсу, 85–87
 на Месецу, 79
 планете у спољном соларном систему, 103
 планински глечери, 25, 67–71, 72, 76
 стакласти, 190–191
 структура, 184–191
 и атмосферски притисак, 186–189
 кристали, 175–182
 топљење, 163, 164, 165, 183–184
 ширење при мржњењу, 143–145, 175–176
 Видети и ледени покривачи
 лед-I, 187
 лед-IV, 189–190, 191
 лед-V, 190
 лед-VI, 186, 189
 лед-VII, 173, 186–187, 189, 191
 лед-VIII, 187, 189
 лед-X, 189
 лед-XII, 190
 ледена доба, 33, 64–66, 71–74, 175
 и најраније копнене биљке, 220
 ледени покривачи, 25, 66–67
 и замрзавање, 145
 и климатске промене, 74–76
 Леонардо да Винчи, 21, 23, 24, 42, 43, 226
Лешћећи Холанђанин, 22
 Леукип, 116, 138
 Либиг, Јустус фон, 141
 Ливингстон, Дејвид, 37
 Ливит, Мајкл, 234
 лимфни систем, 226–227
 Линг, Џ. Н., 240, 246
 Липинкот, Елис, 266, 267, 270, 273
 Локјер, Норман, 11, 12
 Луис, Гилберт, 160
 Луис, Нејтан, 287
 Лукреције (Тит Лукреције Кар), 21, 118–119
 Лум, Ка, 248
 људски органи, смрзавање, 203
 магма, 43, 46, 47–48
 Магнус, Албертус, 178
 Маје, мит о стварању, 4
 Макај, Кристофер, 91
 Маке, Пјер Жозеф, 134, 135
 мало ледено доба, 142, 145
 Ман, Томас, *Чаробни бреј*, 174
 Мансон, Олаф, 178
 мање развијене земље
 загађење воде, 330
 и ДДТ, 327
 коришћење воде, 318–320

- наводњавање, 321
 поплаве, 49
 Мара, Жан, 138
 Маргулис, Лин, 217, 218
Мари Селестī, 22
 Мари, Брус, 83
 Марија (Христова мајка), 115
 Марс, 77–78, 81–92
 анализе „тераформирања“, 91–92
 „каналџи“, 77, 81–82
 климатске промене, 88–89
 кратери, 83–85, 86
 поларне ледене капе, 86–87
 Мартенс, Фридрих, 179–180, 181
 масена спектрометрија
 (спектрометар), 11
 маховина, 219
 меандри река, 39
 медији
 и дебата о поливоди, 268, 272–273
 и хладна фузија, 289
 Медокс, Џон, 290, 294, 301, 309, 310,
 311, 312
 Међувладин округли сто о
 климатским променама (IPCC), 75
 Мејоу, Џон, 129
 Мексико Сити, 337–338
 Мексико, канализациона
 пољопривреда у, 336
 Мер, Бенџамин, 346
 Мерчант, Керолин, 115
 Месец, 77, 78–81, 85, 275
 и људско насељавање, 80–81
 и плиме, 34–35, 112
 и поливода, 268
 Месинска криза салинитета, 45
 Месопотамија, 36, 37–38
 метали, сагоревање, 126, 129, 131, 134,
 138
 метан, растворен у води, 242–243
 метастабилна стања
 и вода у високим биљкама, 224
 као стратегија избегавања
 мржњења, 200
 леда, 189–190
 суперохлађена вода, 191
 метеорити, 17–18, 79, 212
 мефитичан ваздух (азот), 129, 130, 140
 Мецгер, Хенри, 308
 микрофотографија, и кристали снега,
 180
 Миланковићеви циклуси, 71, 72, 74
 Милер, Стенли, 211, 215
 Милиган, Спајк, 207
 минерали
 депозити соли (евапорити), 43–45
 и подземне воде, 41–42
 на Месецу, 80
 формирање, 43–44
 Мисисипи, река, 39, 49
 митови
 вавилонски, 112
 нордијски, 4, 5, 174
 поплаве, 19–20, 48
 постање, 3–4, 16
 Мишима, Осаму, 197
 млеко, 230
 Млечни пут, 5, 15
 модел атома према „соларном
 систему“, 7
 модел санте леда, 244–245
 молекули
 воде, 6, 139–141, 158–171
 „везани“ и „слободни“, 239,
 249–250
 везани за протеине, 248–250
 и водоничне везе, 160–161, 162,
 163–166, 170–171, 243–244
 и хидратацијске сфере, 240
 рачунарски модели, 167–171
 и густина супстанци, 142–143
 метана, 242–243
 поларни, 236, 242
 у међузвезданом простору, 15–16

- у течностима, 153
- у ћелијама, 234–235
- хидрофилни и хидрофобни, 236, 237, 242–243, 244, 245–248
- шећера, 241, 242, 250, 292–294
- монсунски ветрови 31
- Морво, Гитон де, 138
- морене, 69
- морска вода
 - Антарктик, 33, 67
 - и десалинизација, 336–337
 - и порекло живота, 208–209, 213, 219–221
 - и хидролошки циклус, 25, 26, 317–318
 - морски евапорити, 44–45
 - обалске поплаве, 48, 50–52
 - повезаност између океана, 28–31
 - поларни, 25
 - смрт на мору, 54
 - у поређењу с крвљу и ћелијском течношћу, 227
 - хидротермални извори, 209, 213
 - Вигејии* и океани
- морски евапорити, 44–45
- мочваре, 40
- мржњење
 - воде, 26, 143–145, 194, 198
 - ефекти на биљке, 202
 - ефекти на жива бића, 198–204
 - и атмосферски притисак, 148
 - људских органа у медицинске сврхе, 203
 - људских тела (криопрезервација), 202–203
 - стицање отпорности на, 200–202
 - суперохлађене, 191–197
 - тачка мржњења аномалне воде, 264
 - течности, 142–143, 147
 - Вигејии* и лед
- Мртво море, 349
- Н-зраци, 259–260
- наводњавање, 321–323, 326, 338, 341, 345
 - у Израелу, 348, 349, 350
- Накаја, Укичиро, 181
- Насерово језеро, 338
- Немо њролеће* (Карсон), 327, 328
- Нептун, 103
- неутрони, 7, 8, 11, 14
 - и хладна фузија, 285–286
- ниво мора
 - подизање, 74–76
 - у леденом добу, 64
- нивои подземних вода 40, 41, 42
 - и салинизација, 322–323
- Николсон, Вилијам, 137, 138, 276
- Нил, река, 22, 36, 37, 38–39, 225–226, 276, 337
 - Асуанска брана, 338
 - поплаве, 50
- ниске плиме, 35
- нитрат, 331–332
- Нови Зеланд, гејзир Вајмангу, 42
- нордијска митологија, 4, 5, 174
- нуклеарна енергија, 275
- нуклеарна фисија, 281
- нуклеарна фузија, 12, 13, 280–281
 - Вигејии* и хладна фузија
- нуклеарни отпад, бачен у море, 327
- нуклеосинтеза, 8–9, 10
- Њутн, сер Исак, 34, 35, 118, 125, 138, 139, 168, 256, 301
- објављивање научних радова, и стручна рецензија, 256–257
- облаци, 55–56, 57–61
 - и глобално загревање, 63–64, 95
 - и кондензација, 57–58, 59
 - и преципитација, 60–61
 - и сунчева светлост, 59–60
 - кумулонимбус („кишни кумулус“), 60
 - кумулус, 59

- од суперохлађене воде, 191–192
 стратуси, („слојевити“) облаци, 59
 „облици протицања“, 315
 Один (нордијски бог), 4, 5
 одмрзавања, 143
 одрживо коришћење воде, 318
 озон, 331
 озонски омогач, 89
 Окамова оштрица, 253–254
 океани, 27–35
 гребени посред дна океана, 28
 и глобално загревање, 62
 и хидролошки циклус, 26
 истраживање, 28
 кружење, 32–34
 и глобална клима, 145–146
 на Венери, 95, 96
 на Европи, 101
 плиме, 34–35
 струје, 29–31, 146
 формирање, 19–20
 Вигеџи и мора
 оксиди метала, 138
 Оливер, В.Ф., 190
 Опарин, Александар, *Порекло животиња*, 215
 Ор, Дејвид, 340
 органеле, 218
 органска једињења, и витализам, 297–298
 Орељана, Франсиско де, 37
 Ортов облак, 18, 103
- падавине
 глобална расподела, 318, 319
 и глобално загревање, 63
 и дезертификација, 324–326
 и облаци, 58
 и хидролошки циклус, 24–27
- Пакистан
 наводњавање, 322
 поплаве у, 49
- паладијум, и хладна фузија, 282, 286, 288
 палестинско-израелски конфликт, 347–350
 „меморија воде“, 305–314
 Пан-Ку (кинеско божанство), 4
 Панталасни океан, 29
 Парацелзус (Филипус Ауреолус Теофрастус Бомбастус фон Хоенхајм), 10, 121, 122, 124, 127, 132, 230, 331
 Парменид, 118
 парне машине, 120
 Пастер, Луј, 216
 патолошка наука, 257–260, 287
 пахуљице, 176–182
 и кинеска алхемија, 114–115, 179
 пацифички „ватрени прстен“, 46
 Пацифички океан, 28, 33
 и цунамији, 54
 Пензијас, Арно, 5
 Перен, Жан, 12
 пермафрост на Марсу, 86, 89
 Перо, Пјер, 25
 перуански Анди, 46
 пестициди, 327–328, 348
 пет (број), и кинеска природна филозофија, 114
 Петика, Брајан, 265, 266, 271–272
 Питагора, 116
 плавне равнице, 39
 плаже, 44
 планете
 Венера, 92–96
 вода на другим планетама, 81–104
 Јупитер, 77, 97–102, 103
 Марс, 77–78, 81–92
 спољни соларни систем, 102–104
 формирање, 16–19
 планински глечери, 25, 67–71, 72
 топљење, 76
 планктон, и морски облаци, 58, 63

- Платон, 117–118, 127, 139, 158
- плиме, 34–35, 112
- плимско загревање, и Јупитер, 97, 102
- Плутон, 103
- пљувачка, 230–231
- По, Едгар Алан, 226
- површинско топљење леда, 183, 184
- Погендорф, Ј.К., 141
- подземна вода, 40–42, 43
- поларне ледене капе, на Марсу, 86–87, 91
- поларни глечери, 68
- поларни молекули, 236, 242
- поливода, 260–261, 267–273
- полимери, биомолекуларни, 210
- Полинг, Лајнус, 159–160, 165, 166
- полинезијски мит о стварању, 3
- Пољакоф, Стивен, *Сунце их је заслeйило*, 275, 276, 277, 278
- пољопривреда, 321–326
- каналizaciona пољопривреда, 336
- на Блиском истоку, 348
- примена хемикалија, 327–328
- Понс, Стенли, 280, 282, 284, 285, 287–288, 289, 309, 312
- поплаве, 48–52
- библијска 19–20, 69–71
- и канали на Марсу, 85
- и топљење ледених покривача, 74–76
- обалска, 48, 50–52
- претња у Лондону, 42
- реке, 48, 49–50
- Постел, Сандра, 335, 351
- празнина, и атомска теорија, 116, 117–118, 124
- Праут, Вилијам, 10, 11
- преципитација, 25, 60–61
- Видеџи* и падавине, снег
- пречишћена вода
- Лавоазјеов експеримент са, 131
- пречишћавање морске воде, 337
- приобални региони
- еутрофикација, 332–344
- поплаве, 48, 50–52
- салинизација, 322–323
- природа, 253, 254, 266, 268, 272, 285, 290, 303, 305, 308, 309–310, 312
- Пристли, Џозеф, 130–132, 133–134, 135, 222
- прокариоте, 218
- пролећне плиме, 35
- промене у млађем дријасу, 33
- протеини
- у ћелијама, 209–210, 237–240
- хидратација, 242, 246–250
- протони 6–8, 9, 11, 14
- пругасте формације гвожђа, 218
- Пруст, Жозеф Луј, 139
- Пул, Питер, 194
- пурпурна сумпорна бактерија, 215
- пустиње, 40, 49, 207
- Радерфорд, Данијел, 129
- Радерфорд, Ернест, 7, 12
- радиоактивност, и загађење вода, 327
- Рајли, Дејвид Тејлор, 299–300
- Рајна, река, 37
- Ранди, Џејмс, 309–310
- растворљивост, ефекат водене структуре на, 240–241
- рачунарска симулација
- молекула воде, 167–171
- суперохлађене воде, 194–197
- Рејнолдс, Озборн, 183
- реке 22, 35–40
- загађење, 329–330
- каналы на Марсу, 85
- мржњење, 142, 145
- поплаве, 48, 49–50
- Рентген, Вилхелм, 162–163, 259
- речни седименти, 39–40
- риба
- и загађење воде, 329, 333, 334

- и урин, 232
у сланој води и слаткој води, 227
у хладним водама, 198, 200
Риг Веда, 207
Рихтер, Јеремијас, 139
РНК, 210, 211
Робинсон, Ким Стенли, 91
Розје, Пилатр де, 133
Роквуд, Чарлс, 345
Роудбуш, Ворт, 160
рударство, 333, 341–343
руде метала, и минерални
 евапорити, 44
Русо, Денис, 270, 271
- Садерланд, Вилијам, 163
Саламон, Мајкл, 287
салинизација, 322–323
Салих, Мухамед, 326
Самојлов, О., 165–166
Сан лејње ноћи (Шекспир), 112
санитација, и загађена вода, 319, 320
санте леда, 143
Санторини, вулканска ерупција, 53
Сатурн, месеци, 103
Саудијска Арабија, 337, 338
свемирске мисије
 на Венеру, 93, 94
 на Јупитер, 97, 99–100, 102
 на Марс, 81, 82, 83, 89–91
 на Месец, 78–81
свемирски брод, и водонично-
 кисеоничне горивне ћелије, 279
свете воде, 276
свети извори, 340–344
северна хемисфера, 30, 51, 74
Северно море, и обалске поплаве,
 50–51
Северноатлантска дубока струја,
 32–33
Северноатлантска струја, 31
Севернопацифичка гира, 30
- Сеган, Карл, 91, 301
Сендис, Џорџ, 226
Сент-Ђерђи, Алберт фон, 233
Серветус, Мигел, 226
Сигрејв, Џин Клер, 308
Сједињене Државе
 Агенција за заштиту животне
 средине, 329, 343
 амерички Индијанци, 3, 340–344,
 347
 Аризона, 331, 344–347
 загађење воде 327
 и десалинизована вода, 312
 и кисела киша, 334, 335
 поплаве, 49, 50
 потрошња воде, 320
 схема наводњавања у Калифорнији,
 323
 урагани, 51, 52
Скандинавија, и кисела киша, 334–335
скијање, 183–184
Скјапарели, Ђовани, 81
Скорсби, Вилијам, 181
смеђи патуљци, 105
смрт на мору, 22
снег, 50, 66, 67
 на Марсу, 86
снежне грудве, 183
Сноу, Џон, 320
со, и тачка мржњења воде, 198
Совјетски Савез, и научна
 комуникација, 165–167, 261, 263–265
Сократ, 117
соларна енергија, и Месец, 80
соларни систем, вода у, 77–105
Спадис, Пол, 79
Спек, Џон, 37
Спенсер, Херберт, 248
сперма, 230
Средоземно море
 загађење, 329
 и салинизација, 323

- и штетан утицај Нила, 338
 испаравање, 44–45
 стакласти лед, 190–191
Видејти и аморфни лед
 Стари завет
 Књига о Јову, 22, 23, 35, 38, 48, 57, 58
 мит о стварању, 3
 раздвајање Црвеног мора, 53
 Стегнер, Волас 317
 Стенли, Џин, 194, 197
 Стивенсон, Вилијам Форд, 137
 Стикс, река, 22
 Стјуарт, Волтер, 309, 310
 стока, и потрошња воде, 324
 Стопард, Том, *Аркадија*, 147
 Стромберг, Роберт, 265, 266, 267
 струје (океани), 29–31, 146
 стручна рецензија, и објављивање
 научних радова, 256–257
 Суејоши, Шосами, 34
 сулфидни минерали, 333
 Сумер, 38, 48
 Сунце
 вода у атмосфери, 104–105
 и нуклеарна фузија, 10–13, 280
 и облаци, 59–60, 63
 и плиме, 35
 и хидролошки циклус, 23
 UV светлост, и биљке, 220
 формирање, 16
Сунце их је заслејило (Пољакоф), 275,
 276, 277, 278
 супернове, 13–15
 суперохлађена вода, 191–197
 и бића отпорна на смрзавање,
 201–202
 и вода у антарктичким водама, 198
 и облаци, 191–192
 суперугрејана вода, 224
 Таанг Чин, 178
 тајфуни, 51
 Талес, 112–113, 122
 Таман, Г., 186
 таоизам, 114
 Таунс, Чарлс, 15
 тачка кључања воде, 159, 161, 194, 264
 „тврда вода“, 41
 тектонске плоче, 28, 29, 42
 и вода дубоко у Земљи, 45–46
 Телезио, Бернардино, 122, 230
 Темза, река, 142
 температура ваздуха и пахуљице, 181–182
 теорија хаоса, 147
 термални (топли) извори, 42
 термално ширење, 75, 144
 термохалинска циркулација, 33–34
 Тетис, океан, 29
 течности, 146–157
 и критична тачка, 150–151, 155, 157
 и фазни прелази, 147–149
 мржњење, 142–143
 течне воде, 26, 143–145, 148,
 191–197, 198
 теорија, 154–157
 тешка вода
 и нуклеарна фузија, 289–290
 и хладна фузија, 280
 Тибетански плато, 73
 Тигар, река, 22, 36, 37–38, 48, 338
 Тиндал, Џон, 183
 Титан (Сатурнов месец), 103
 Титаник, 22, 143
 Томсон, Вилијам, 183
 Томсон, Џ. Џ., 7
 Томсон, Џејмс, 183
 топљење, 142, 147, 149, 161
 леда, 159, 163, 164–165
 и скијање, 183–184
 транспирација, 25, 225
 трихлоретилен, као загађивач, 327
 тропске кишне шуме, 225
 тропски циклони, 51, 52
 Трошин, А. С., 239–240

- Трувло, Е. Л., 83
 Тукидид, 53
 Тун, Овен, 91
 Тунг Чунг-шу, 56
 Турска, Велики анадолијски пројекат, 338
 Тусон, Аризона, 331, 346, 347
- Ћелије
 биљака, 221–223
 бића отпорних за замрзавање, 200–201, 202
 ДНК, 210, 211, 218, 234
 нуклеинске киселине у, 209–210, 211–212
 органеле у, 218
 протеини у, 209–210, 237–240
 смрт смрзавањем, 198, 200–201
 суперхлађење, 203
 улога воде, 208, 233–250
 фосфолипидни молекули, 236, 237
 цитоплазма, 233–234, 235, 239–240
- угљен диоксид
 аутотрофија, 215, 216
 глобално загревање, 61, 62, 95
 крв, 228, 229
 критична тачка, 150
 рана научна истраживања, 124, 129
 у Венериној атмосфери, 94
 у Марсовој атмосфери, 91–92
 фотосинтеза, 222, 223
- угљена киселина, 229
 угљеник тетрахлорид, 327
 угљеник
 аутотрофија, 215
 биогеохемијско кружење, 26
 хемијска својства, 207–208
- Уисманс, Жорис Карл, 329–330
- универзум
 вода у, 78
 порекло, 4–5, 8–9
- „униформистички“ модели за структуру воде, 164–165
 урагани, 51–52, 52
 Уран, 103
 урин, 231–232
- фазна промена, 147–149
 суперохлађене воде, 195, 196
 фазни дијаграм, 148, 149
 воде, 151
 у леду, 185–186
 факултативни аероби, 218
Фанџасџично љушовање, 153
 Фарадеј, Мајкл, 10, 183, 184, 257, 276, 317, 329
 Фаулер, Вилијам, 13
 Фаулер, Ралф, 164–165
 Федјакин, Николај, 261–263, 264, 273
 ферментација, 216, 298
 Ферми, Енрико, 10
 Фернел, Џин, 230
 филозофија
 западна херметичка традиција, 121–122
 кинеска, 114–115
 старих Грка, 111–114, 115–120
 филтрирање воде, 336
 Фини, Џон, 265, 266
 Флајшман, Мартин, 280, 282, 284, 285, 287–288, 289, 309, 312
 флаширана вода, 326, 327
 флогистонска теорија, 128–130, 131, 132–133, 134–135, 136, 258
 фосфати, 332–333
 фосфолипидни молекули, 236
 фотокаталитичко разлагање воде, 277
 фотолиза, атмосферских гасова, 19, 95
 фотосинтеза, 214, 215, 216–217, 218, 222–223
- Фрај, Кристофер, 231
 Френк, Хенри, 243, 244
 Френкс, Фелика, 143, 269, 272

- Фуркруа, Антоан Франсоа, 138
- Хабл, Едвин, 5
- Хаваји, и цунамији, 54
- Хагинс, Морис, 160
- Хаксли, Томас, 142, 180–181
- Хамфриз, В. Ц., 180
- Хан Линг, 114, 179
- Ханеман, Самуел, 295–297, 300
- харапанска култура, 36
- Харви, Вилијам, 226
- Хатон, Џејмс, 69
- Хег, Петер, 173
- Хејл-Бопова комета, 18
- хеленистичка култура, 120
- хелијум, 10, 11, 12, 14
- Хелмонт, Јохан Баптист ван,
122–124, 125–126, 132, 230
- Хелмхолц, Херман фон, 173, 204
- хемоглобин, 227–228
- Хендерсон, Лоренс, 248
- Хераклит (јонски филозоф), 113
- Херодот, 53
- Херон, 120
- Хершел, Џон, 150
- хетеротрофија, 214, 215–216, 217, 218
- Хигинс, Вилијам, 140
- хидратацијске љуске, 244–245, 249,
306, 307
- хидроелектрична снага, 338–339
- хидроксилне групе, 241
- хидролиза („разлагање воде“), 212
- хидролошки циклус, 24–27, 55, 57,
317–318
и вода дубоко у Земљи, 46–47
и глобално загревање, 63
- „хидронска“ теорија воде, 163
- хидростатика, 120
- хидротермални извори, 209, 213
- хидротермални флуиди, 43
- Хималаји, 73
- Хинденбург, катастрофа (1937), 278
- хиндуистички мит о стварању, 3–4
- Хјуел, Вилијам, 77
- Хјуз, Ричард, 298
- Хјуз, Т. П., 183–184
- хладна фузија, 285–290, 307–308, 309
- Хладни рат, и научна комуникација,
165–167, 261
- хлор, 132, 331
- хлоропласти, 218, 222–223
- Хобс, Вилијам, 53
- Хојл, Фред, 13
- Хокинс, Марвин, 284
- Хокусаи, Кацушика, 52
- Холдејн, Џ. Б. С., 209
- Холцапфел, Вилфрид, 189
- хомеопатија, 294–300, 306, 313
- Хопији, домороци Америке, 340–343
- Хофмајстер, Франц, 241
- хришћанство, и аристотеловска
филозофија, 118
- Хуверова брана, 346
- Хук, Роберт, 129, 179
- Хулех, језеро, 349
- Хусеин, јордански краљ, 349–350
- Цезар, Јулије, 37
- целулоза, 215
- Централна Азија, дезертификација, 326
- циклони, 51, 52
- циклус СНО, 12–13
- цитоплазма, 233–234, 235
- Црвено море, раздвајање, 53
- Цу Јен, 114
- цунамији (огромни обалски таласи),
52–54
- Чарлсон, Роберт, 64
- чврста тела
и фазни прелази, 147–149
- кристална
густина, 142
и лед, 185

- структура, 152
 неуређена, 190
 Чендлер, Дејвид, 248
 Черкин, Артур, 270
 Чефи, Џорџ, 345
 Чиба, Крис, 212
 Чиле, канализациона
 пољопривреда у, 336
 чистоћа воде, 326–327
- Џејкобс, Џ. А., 102
 Џонсон, Линдон, 346
 Џонсон, Торенс, 98
 Џонстон, Барбара Роуз, 340
 Џоунс, Стивен, 284–286
 Џоунс, Харолд Спенсер, 77–78
- Шама, Сајмон, 36
 Шарл, Жак, 133
 Шаубергер, Виктор, 315, 351
 Швенк, Теодор, 315
 Шелбурн, лорд, 131
 Шеле, Карл Вилхелм, 131, 132
 Шели, Перси Биш, 57
 „Облак“, 55
 шест (број), у кинеској алхемији,
 114–115, 179
 Шиф, Мишел, 309, 313
 Шопф, Вилијам, 208
 Шпанија, рударство и загађење воде,
 333
 Штајнер, Рудолф, 315
 Штал, Георг Ернст, 128, 135

Филип Бол
H₂O: Биографија воде

Превод са енглеској
Ана Имшировић Ђорђевић

Сћручна редакћура
Биљана Стојковић

Издавачи
Хеликс, Смедерево
Центар за промоцију науке, Београд

За издаваче
Бранкица Стојановић
Александра Дрецун

Уредници
Бојан Стојановић
Добривоје Лале Ерић

Координатор
Ана Јешић

Лекћура
Весна Ђукић

Редакћура
Александра Драгосављевић
Ивана Смоловић

Технички уредник
Љубомир Златановић

Дизајн корице
Александар Савић

Штампа
Newpress, Смедерево

Тираж
1000 примерака

Прво издање

Смедерево, Београд, октобар 2013.

ISBN 978-86-86059-40-6 (Хеликс)

ISBN 978-86-88767-11-8 (ЦПН)

www.heliks.rs

www.cpn.rs