

ГЛАСНИК ГЕОГРАФСКОГ ДРУШТВА

СЕПТЕМБАР, 1926.

СВЕСКА 12.

ЦИРКУЛАЦИЈА ВОДЕ И ЕРОЗИЈА У КАРСТУ

У в о д

Познато је да се атмосферска вода, која падне на површину карста, упија у пукотине. Ово се упијање врши и у хоризонталним слојевима, а још брже и потпуније у поремећеним. Оно је све јаче у колико се карсни терен развија, т. ј. у колико се пукотине проширују у поноре и пећинске ходнике.

Млазеви атмосферске воде у опште су растурени на површини карста, и као такви и ишчежавају. Ипак има случајева да се они сједињују на површини, и образују реке које пониру после дужег или краћег тока. Тако се на месту где се кречњаци додирују са лапоровитим или доломитским слојевима, јавља низ извора од којих постаје река; долина и река улазе потом у кречњачко земљиште, и у њему допиру до понора. Сем тога, има и „алогених“ река чије извориште лежи у непропустљивом земљишту, у флишу, у верфенским слојевима или, у Динарском Карсту, у пешчарима и палеозојским шкриљцима. Улазећи у кречњаке, реке прелазе преко неколико понора од којих им сваки одузима извесну количину воде, док последњи апсорбује и остатак. Идући одатле низ воду постоје само суве долине.

Осим садашњих долина, наилази се у свакој карсној области, чим се она детаљно проучи, на многе старе долине које су данас умртвљене, т. ј. потпуно суве, и измењене карсним процесима. На њиховом дну виде се стари понори, преобраћени у јаме. Ове су долине издубене у ранијој епоси, када пукотине, које апсорбују воду, нису још биле проширене.

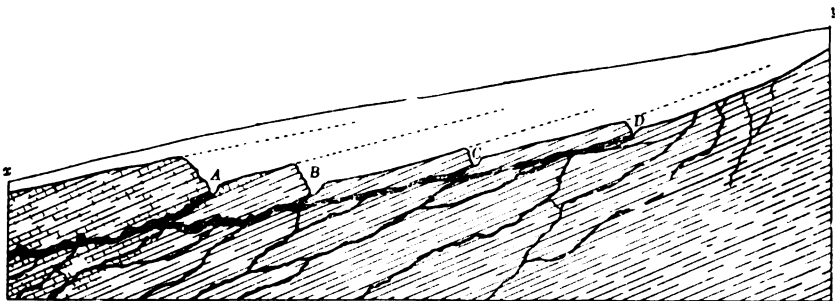
Скраћивање долина од ушћа према извору

У овим долинама, било живим било умртвљеним, запажа се један општи карсни процес који је изазвао њихову дезорганизацију. То је прогресивно скраћивање река и нормалних долина, скраћивање које иде од ушћа према извору, и које је праћено узводним померањем активних понора. Долина, раније нормална, измењена је низом вртача и увала које су постале на њеном дну утицајем карсне ерозије. Оне су уоквирене

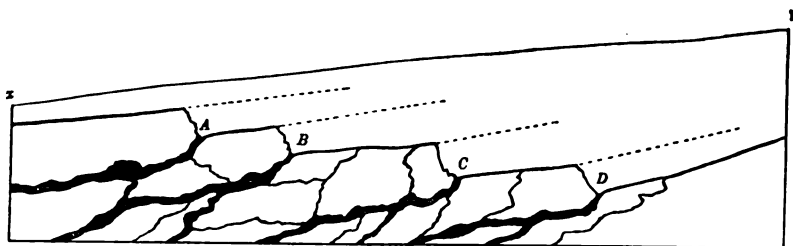
странама пређашње долине, и растављене једна од друге кречњачким пречагама које представљају дно старе долине. Уздужни профил је ступњевит, и, по правилу, ступањ који лежи најниже, представља највишу пречагу на дну пређашње долине. Сем тога запажа се, да су умртвљене долине старих притока остале све високо изнад дна главне долине. Процеси, који стварају овакав карсни рељеф, збивали су се на следећи начин :

Кад се пукотине у кречњаку једном прошире, нормална долина мора да се, услед понирања воде, преобрази у мртву долину. Најпре се дезорганизују споредне долине најслабијих притока. Главна долина од тада располаже само водом своје сопствене реке. У њеном кориту отварају се понори, и река их прелази, губећи на сваком од њих извесну количину воде. Али се ипак намеће једна граница : њу представља најнижи понор који ослабела река не може прећи, а који апсорбује остатак речне воде. Овај понор постаје једна врста доњег ерозионог базиса за реку која до њега тече на површини. Ерозија се врши само дотле, и једино се онај део долине, који лежи изнад овог понора, и даље удубљује. Услед тога се страна понора, окренута ушћу, преображава у пречагу. Али се за то време понор, који лежи на више, на дну долине, толико прошири да може абсорбовати сву речну воду. Најнижи понор је умртвљен, а око другог се врше горе описани процеси. Ови ће се исти процеси поновити на другим понорима, који су поређани од ушћа према извору, док река не буде потпуно уништена. На крају чисти карсни процеси преваладају, и стварају се вртаче на дну старе долине.

Такав је општи ток скаршћавања долина. Али, ако се уђе у детаље, примећују се два различна случаја : скраћивање се врши на тај начин што су сукцесивни понори, идући уз воду, све виши или све нижи. Скраћивање се, дакле, врши без спуштања сукцесивних понора или са њиховим спуштањем. Овај различан развитак зависи од интензитета речне ерозије : ако је удубљивање слабо, сукцесивни понори остаће све виши ; ако је оно јако, дно долина биће јако удубљено, и понори ће бити све нижи.



Сл. 1. Скраћивање река без сукцесивног спуштања понора.



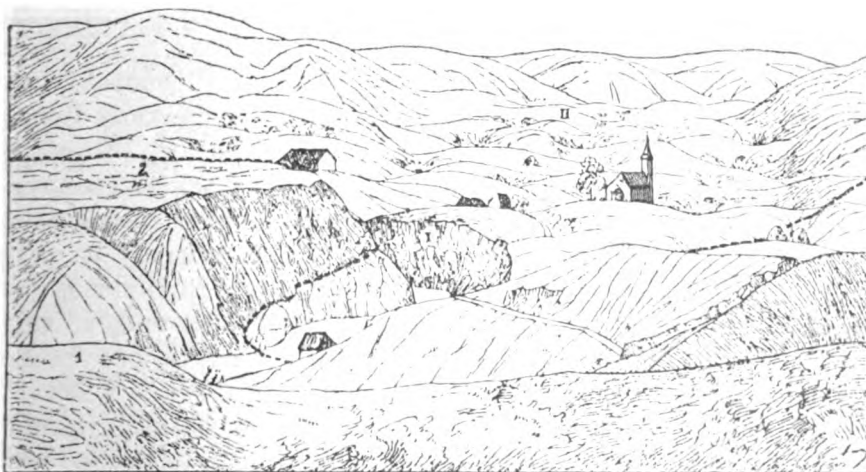
Сл. 2. Исто скраћивање као и у сл. 1., само са сукцесивним спуштањем понора.

ху, прекарсна нормална долина; А, први понор који апсорбује остатак речне воде; В, други понор који врши исту улогу; С, и D, два идућа понора.

У првом случају створила се пећина, састављена од четири дела, који допиру на површину јамама А, В, С, и D. У другом случају створиле су се четири пећине које одговарају четирма понорима, и леже једна изнад друге.

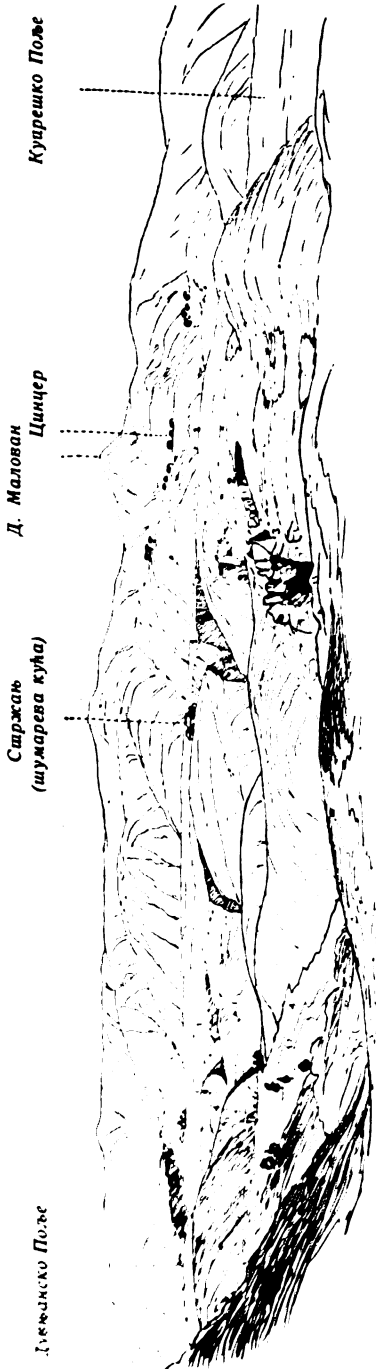
У првом случају образоваће се по правилу испод долине пећина коју чине више различних делова који нису исте старости, јер су нижи делови старији од виших; у опште прелази се од једног дела у други ступњевима; сваки део излази на површину главном јамом. Изгледа да је овакав случај са пећином Ријеке близу Трста. У другом случају развиће се пећине које леже једна изнад друге и које су спојене проширеним лукотинама. Такав је случај са слоупским пећинама у Моравској.

Ово правило о скраћивању река у карсту није без изузетка. Ако се земљиште у горњем делу долине састоји од кречњака, који је чистији и растворљивији, оно се може брже карстификовати но земљиште у доњем делу долине. Такав је случај са долином Слушнице у Динарском Карсту, близу Слуња. Њено извориште лежи у кречњаку, и било је скаршћено и преобраћено у широку депресију избушену вртачама. Њена вода, која се упила, појављује се наниже као воклиски извор. Он чини реку, која затим нормалном долином пролази кроз доломитску зону.



Сл. 3. Скаршћавање горњег дела у долини Слушнице.

Овај процес скраћивања долина и образовања мртвих понора често далеко одмакне: и саме стране се карстификују и измене, тако



Сл. 4. Слика долине, прекарсна, која је везивала Купрешко и Дувњанско Поље и фазе њеног скраћивања.

(1) Дно прекарсне долине између Купрешког (десно) и Дувњанског Поља (лево); прва фаза скраћивања: вода је понирала у Купрешком Пољу а избијала у Бабином Доцу (2), одакле је текла нормално; друга данашња фаза скраћивања, где река Шујица избија из пећина В. и Малог Стржња (3) и тече долином, дубоко усеченом (4) на дну прекарсне долине.

да их је понекад тешко распознавати. Дно долине постане вијугав низ вртача и увала; понори се преобрате у многобројне јаме које својим распоредом на површини показују стари речни ток. Ако није било врло компликованих тектонских покрета, правац старе дезорганизоване долине може се реконституисати. Такав је случај са Ријеком у Тршћанском Карсту: почев од њеног понора испод Шкоцијана, и идући преко Диваче до извора Тимава близу Девина стара нормална долина реке обележена је нижом платформом и серијом јама већина од њих су стари понори. Још бољи пример Вала између Сланог и Завале.

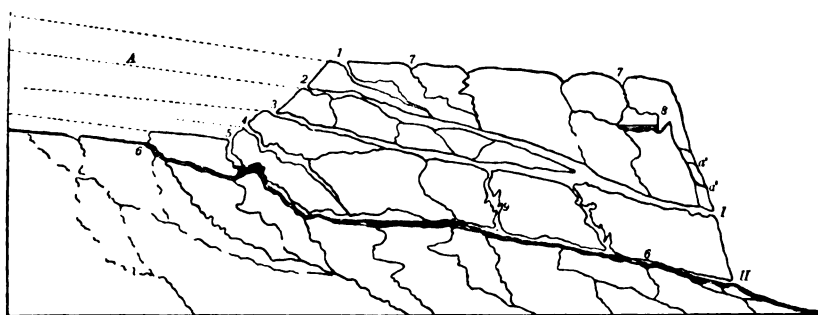
Мртва долина између Купрешког и Дувњанског Поља у Босни представљена је следећим цртежом. Види се јасно дно старе долине, вероватно плиоценске старости, којом је отицала вода из језера Купрешког Поља у језеро Дувњанског Поља. Од почетка скраћивања отворили су се понори у Купрешком Пољу, и, проширујући се, апсорбовали воду која је текла на површини. Вода је почела тећи подземно и избијала је најпре из пећине 1; затим су други понори, који леже ниже од првога, апсорбовали воду, и ова се појавила у пећини 2; и најзад се појавила у садашњој пећини 3,

чији се доњи део, близу излаза, стрпоштао на дужини од 400 м., и преобразио у клисуру. Дно старе долине избушено је многобројним

вртачама и скоро дезорганизовано. Почев од пећине 3 примећује се млада долина усечена у дну умртвљене долине (4).

Сукцесивно спуштање понора и врела

Има случајева да се спуштање понора извршило вертикално, скоро без скраћивања долине и реке. Пред реком, која понире, уздиже се стрма кречњачка пречага, на којој се виде многобројни понори распоређени од врха до дна, до садашњег понора. Сваки понор се продужује пећином. Тако су развијене пећине једна изнад друге, и оне се кадкад спајају. Њихови су отвори с друге стране кречњачког блока, било на ободу карсног земљишта, било у каквој долини која ово земљиште врло дубоко просеца. Они представљају раније изворе, ослабеле услед спуштања понора. Пећине у унутрашњости кречњачког блока спојене су једна с другом, било проширеним пукотинама било унутрашњим јамама које се отварају на дну пећинских ходника. Приликом поводњи асцендентне водене струје продиру овим јамама из нижих пећина у више. Спуштање понора и речних пећина није још завршено, ако се у кориту садашње реке, приликом ниског стања воде, налазе пукотине које усисавају воду, и представљају почетке нових понора.



Сл. 5. Сукцесивно спуштање понора и врела (према спуштању понора Боровштице у Пештеру).

1, 2, 3, 4, и 5 сукцесивни понори реке А.—6, садашњи понор и садашњи подземни ток. — Врела I. и II. — 7 вртаче и јаме. — 8 унутрашња шупљина која се по кадкад испуњава водом и храни интермитетне изворе а'. 9 јаме које воде од једне пећине до друге.

Спуштање понора и извора врло је јасно у Моравском Карсту: сукцесивним понорима код Слоупа, у горњем сливу Пункве, одговарају Катаринина Пећина, која је већ сува, и садашње врело Пункве, које лежи ниже. Близу Предјаме, у басену Постојне, примећују се један испод другога отвори трију пећина који су данас суви; њихова се вода спуштала у све ниже нивое. Исти је случај изнад садашњег врела Буне у Херцеговини. Спуштање врела врши се кадкад тако брзо да га

становништво може пратити. Тако је са спуштањем Моравичиног извора у Источној Србији. Ово се спуштање извршило у току последњих осам деценија.

Али ово спуштање понора нигде није чешће и нигде се боље не може посматрати но у карсним пољима. У Пештеру има седам група понора реке Боровштице, који воде у пећине. Услед сукцесивног спуштања понора овде се види група сувих пећина којима теку реке само приликом поводња, и најзад група пећинских ходника којима стално тече вода, и који одговарају шестом понору. Овај лежи 90 м. ниже но највиши понор. Група највиших понора одговара језерској тераси, вероватно дилuviјалне старости. Спуштање понора и одговарајућих пећина продужује се до непропустљивог слоја, који је овде представљен верфенским шкриљцима.



Сл. 6. Сукцесивно спуштање понора у Пештерском Пољу.

Седам група понора. Група 1 (најстарији понори) лежи у нивоу доње терасе 1, око 90 м. изнад групе садашњих понора 7.

У току развитка долине, услед премештања понора према изворишту, река пада у сваки понор водопадом, носећи шљунак и блокове, и вршећи знатну механичку ерозију. При великим кишама или наглом топљењу снега понор не може апсорбовати сву воду која притиче; у подножју пречаге створи се мало и привремено језеро, чија се вода ковитлачно креће, вршећи врло интензивну ерозију чак и на површини понора. Покад кад је понор зачепљен блоковима и глином; вода тада отиче у хиљадама млазева који нарочито хемијски еродирају, стварајући шкрапе на понору. Као крајњи резултат процеса јављају се многе јаме, које представљају старе поноре. Око њих се могу констатовати ерозиони трагови ранијих река понорница, нарочито циновски лонци а некад и шкрапе.

Дисперзија и бифуркација вода на површини

Понори нису увек сконцетрисани на дну долина или дуж страна, као у предходним случајевима. Покад кад се река рачва у два или више рукаваца, и сваки од њих, понирући, иде нарочитим подземним каналом, и затим се јавља на површини и утиче у какву реку. То је дисперзија и бифуркација карсних токова. Најпознатији такав пример јесте поток Сер (Авејрон у Француској) који се дели на два крака;

десни крак, напуштајући лијаске лапоре, губи се на додиру ових лапора са кречњацима доњег лијаса у вртаци која се зове Тру-д-Суси; његова се вода јавља један километар северно у извору Глосаку, од кога потиче притока реке Лоа. Леви рукавац носи своју воду Авејрону. Овакви су случајеви нарочито чести у карсним пољима. Скоро у сваком од њих има понора који леже у различним положајима, и често су јако удаљени једни од других. Воде које у њих пониру, пошто су текле подземним ходницима, јављају се понова на површини, и често се деле текући у сливове разних река.

Најразноврснији појави ове врсте виде се у Попову Пољу, чија је главна притока Требишњица, поред многих привремених врела и еставела, која функционишу само за време кишне периоде. Ово поље, велико 144 км², дубоко је усечено у површи, која се састоји од на-браних слојева кретацејских кречњака; његово дно је високо око 220 м., а од Јадранског Мора и дубровачког приморја далеко је само 10—15 км. У Попову Пољу скупља се најпре сва вода од атмосферских талоба који падну на карсну Херцеговину лево од Неретве. Она отиче подземним путевима било према овој реци било непосредно према мору: реч је о површини која захвата скоро 8000 км², и добија атмосферских талоба око 12 милиона кубних метара.

Услед киша које почињу падати почетком октобра, или још и раније, Требишњица надлази, привремени извори јављају се на дну и на странама Попова, и поље се преобрати у језеро дубоко 20 до 40 м. Највећа поплава је била 1915. године, када је језерско огледало достигло 259,8 м., а најмања 1903. год., кад је ниво био на 240 м. Најдужа је поплава била 1899. године: почела је 22. септембра, а завршила се 23. јула идуће године, и дно поља било је суво само 68 дана. Запремина воде у Попову достигала је, од 15. новембра до 24. децембра 1903. год., максимум од 1500 милиона кубних метара. Средња количина воде у Требишњици, чија два извора воклискога типа леже у подножју једног кречњачког одсека испод Билеће, износи, према проматрањима од 18 година, 2785,37 милиона м³. Највећа количина воде износила је 3936,6 милиона м³ (од 1. августа 1899. до 31. јула 1900), а најмања количина била је 1760,1 милиона м³. (од 1. августа 1908. до 31. јула 1909. године).

Њена вода се губи најпре непосредно испод Требиња пре но што Требишњица уђе у Попово. Како је лети количина воде врло мала (3,3 м³ у секунди), цела река понире, и после подземног тока око 10 км., јавља се на обали, чинећи Ријеку код Дубровника. Кад јој је количина воде средња или максимална, Требишњица прелази ове поноре, и њена вода, заједно са водом горе поменутом, изазива поплаву у Попову. У колико се могло до сада утврдити језерска вода понире у врло многобројне (око сто) поноре и пукотине.

Постоје три главне групе понора чија се вода појављује у долини Доње Неретве, нарочито у изворима Свитаве и Сопоту. Пониква је

најнижи понор зачепљен наносом, и њена је улога данас безначајна. Дољашница је главни понор; она лежи на 8 м. изнад дна поља, и апсорбује приликом поводња 115 m^3 у секунди. Истих је особина и исту количину воде прима понор Црнуља. Воде трију других понора јављају се у подморским изворима Јанске, близу Сланог. Главни понор је Провалија који апсорбује 60 m^3 воде у секунди. Најзад, на обали близу Клека јављају се врло моћни подморски извори Бистрине; држи се да је и њихова вода пореклом из Попова. Четврту групу чине понори испод Требиња, који су већ поменути и који хране Дубровачку Ријеку.

Тако вода Требишњице и Попова отиче у четири правца: у Дубровачку Ријеку, у подморске изворе Јанске, можда и у подморске изворе Бистрине, и најзад у изворе Сопота и Свитаве у сливу доње Неретве.

Осим дисперзије вода, овде се констатује и промена у капацитету понора. Пре 24 године Пониква је била главни понор Попова, а сада то више није. Провалија и нарочито Дољашница апсорбују данас највеће количине воде и носе је у разним правцима.

Према мојим проматрањима из 1921. године изгледа да отицање подземних река из Попова ка мору бива заустављено високим таласима које подиже Широко. Осим тога, као да се подземне воде тада пењу и поплаве за неколико дана мало поље Градац које се налази између Попова и Јадранског Мора, и у правој линији од мора је удаљено само 8 до 9 км.

Дно дубоког поља Градца високо је 90 до 100 м., дуго 2,5 до 3 км., а широко 300 м. Његова се уздужна осовина поклапа са правцем кречњачких, кретацејских слојева; дно је потпуно равно, обрађено, и услед утицаја медитеранске климе, овде успевају винова лоза, смокве и маслине, само дуж југоисточне стране има бунара чија се вода налази у току лета на 1,5 до 2 м. од површине (Барица, Доброштик, Бунар и Јавич). Али главни извор који ствара поплаву јесте јама Градница. Њен отвор има пречник од 5 до 6 м., и лежи на висини од 100 м. Ова се јама продужује управно у дубину, дуж једног раседа, до пећине која лежи скоро 80 м. испод површине. Из ове пећине нарочито се пење вода и плави мало поље, у исто време када се воде почињу јављати из пукотине око Граднице. Поплава се догађа само за време кишне периоде, када је и Попово поплављено. Поплава је неправилна; пре 1921. године није је било кроз 15 година. Уопште поплава траје 2 до 3 дана, врло ретко 7 до 10; становници сагласно тврде да она пада увек у исто време са Широком који подиже јаке таласе на јадранској обали. Такав је случај био и 1921. године. Изгледа да се подземно отицање воде из Попова према мору врши каналима који леже испод дна Градца. Таласи Широка, који сузбијају подморска врела, задржавају привремено отицање ових вода. Као да отуда наступа поплава у пољу.

Начин отицања подземних вода

Спуштање површинских вода врши се, дакле, било понирањем растурених млазева, било апсорбовањем речних токова. Услед понирања, у унутрашњости карста ствара се мрежа од млазева који се спајају у реке, или притичу рекама које су се са површине изгубиле у понорима.

Карст апсорбује велику количину воде. Најпре апсорбује скоро сву воду од атмосферских талога која тако брзо понире да је испаравање незнатно. Однос између количине воде која отекне по површини и количине која испари или се упије нема интереса за карсне области; овде скоро сва вода, која падне на одређену површину, одмах понире. Шта више и реке које долазе из непропустљивих области понире, улазећи у карсно земљиште. Ово тако добија воду и од оних талога, који су пали ван карсне области.

У унутрашњости карста влада богатство у води много веће но у другим теренима. Подземне реке су многобројне, а на ивицама карста избијају извори и сталне реке, које су моћне нарочито после киша или топљења снега. Овим богатством подземних вода објашњава се што на пр. количина воде воклиског врела у Јужној Француској никад није мања од 4.5 m^3 у секунди, чак и после великих суша. Најмања количина воде на извору Требишњице износи у септембру $3,3 \text{ m}^3$, а средња количина у јулу износи $7,4 \text{ m}^3$. Дубровачка Ријека има најмању количину воде од $3,3 \text{ m}^3$ у септембру, а средњу од 16.3 m^3 у јуну.

Пећине, кроз које теку подземне реке, имају често скоро хоризонталне ходнике и простране шупљине, где је вода за време суше врло спора. У другим деловима пећина дно је јако нагнуто; ту се виде водопади и клисуре издубене на дну ходника; чести су и циновски лонци. Речно корито, зидови, а некад чак и таван, углачани су и искрцани; све су то знаци механичке ерозије, какви се виђају у нормалним долинама на површини.

Али начин отицања воде у подземним каналима сасвим је друкчији него у нормалним долинама. У пространим шупљинама за време суше вода више или мање мирује; сем тога, услед многобројних пукотина, пећинске реке су најчешће спојене. Услед оног првог факта за време суше отицање је врло успорено, а кадкад чак потпуно обустављено. Услед овог другог факта јавља се дисперзија воде код подземних река, и њихове различне струје могу се спојити са другим токовима. Ако се приступи бојењу приликом ниског стања воде, — како је количина воде у реци слаба према запремини шупљина које се налазе у пећини, требаће врло дуго времена, да би најмањи обојени млаз могао показати боју, коју има цела водена маса, нагомилана у овим резервоарима. Ако вода у шупљинама стагнира, бојење не може дати резултата. Форел је то показао проучавајући подземни Орб у Јури. Требало је 12 дана да се боја, усута у вртачу Рошреј, појави у извору Орба, далеко 11 км:

толико су шупљине и језера у току подземног Орба успориле отицање. Проучавајући изворе Мон-Шамблона, помоћу флуоресцеина, Шарт је показао да су се сви извори у овој области обојили, кад се флуоресцеин усую у поноре Маре-д-Бома; они су, дакле, сви у вези помоћу анастомозираних пукотина. Оваква су искуства многобројна. Тако 5. маја 1926. године у 18 сати обојена је уранином вода понора Дољашнице у Попову и она се већ 7. маја од 4—12 сати појавила у врелу Свитави у долини Неретве, у врелу које је 11,5 км. далеко од понора Дољашнице.

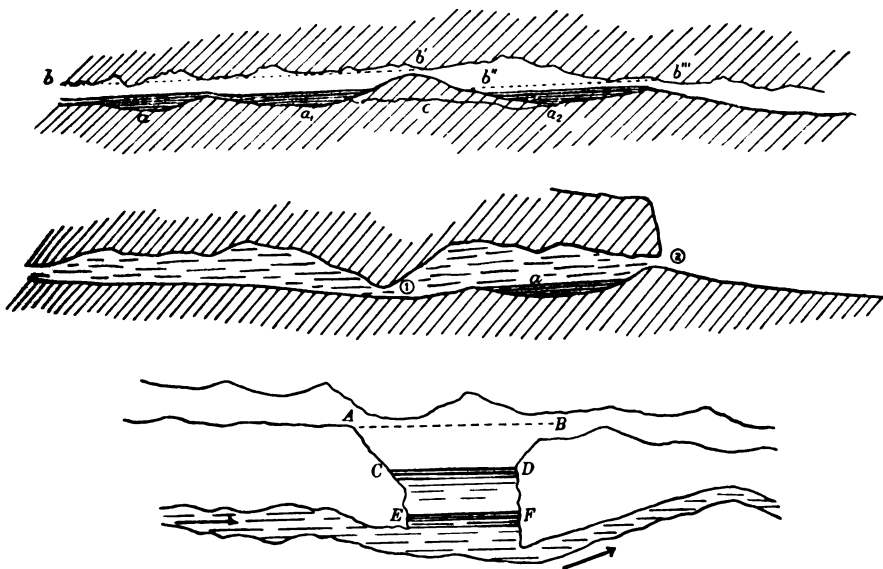
Следећи факат је још значајнији са морфолошког гледишта. Док се у нормалним долинама, приликом поплава, воде често изливају из речног корита и плаве околину, — у каналима унутрашњости карста овакво изливање није могућно. Вода, пошто је испунила подземне шупљине, продира у све пукотине, и, под хидростатичким притиском, пење се за више десетина метара, јављајући се по кад-кад чак и на површини земљишта, нарочито у најдубљим депресијама, највише у извесним карсним пољима. Неки особити облици пећинских ходника појачавају ове струје и хидростатички притисак. То су зачепљавања, сифони и узине. Зачепљавања су привремена, али је њихово дејство ипак врло знатно. Она настају кад глине и блокови испуне сужења и отежају или потпуно спрече отицање подземних вода. Ако је ниво подземних река врло низак, образују се пред овим чеповима подземна језера, чија вода отиче врло споро, процеђујући се кроз пукотине. Подземне воде при високом стању имају природну тежњу да се излију из канала. Али, пре него што се ова акција, више или мање експлозивна, изврши, воде које притичу, нагомилавају се пред описаним чеповима, испуњавају пећине, продиру у пукотине њеног тавана и зидова, и врше огроман хидростатички притисак. Кад се ова сужења одчепе, пећинска вода, црвена или жута услед глине, хучно отекне у ниже канале.

Нема скоро речних пећина без сифона; они се налазе и у сувим пећинама. Близу излаза Тимокове Пећине у Сврљигу јавља се инверсан сифон чија се једна грана спушта и увек је испуњена водом. Испитујући Рајкову Пећину, кроз коју протиче Пек, нашао сам такође близу излаза више сифона. У сувој Сесалачкој Пећини има два сифона близу излаза, а пећински таван изнад њих пробијен је трима јамама. Сифони су многобројни у пећини којом тече Пивка између Постојне и Планине; овде су они били, као и свуда на другом месту, највећа препрека испитивању. Понор Карловца, који представља једну отоку Циркнишког Језера, има сифон са два канала који леже један изнад другог. Доњи је увек пун воде; горњи, дуг 30 м., и са отвором чији је пречник 0-90 м., спаја две простране пећине којима отиче вода из Циркнице у долину Рака. У пећини подземне Пункве у Моравској, између Мацохе и речног излаза, констатована су два сифона од којих је један дуг 20 м.. У пећини Марбл-арш, близу Енисколена у Ирској, има више сифона са сводовима који се спуштају, а најмањи од њих

дуг је 5 м. Врло интересантан сифон јавља се у подземној реци Биш (Ардеш), који је при ниском стању воде отворен.

Има нормалних сифона, са луком навише, и инверсних, са луком наниже. Ови последњи су далеко многобројнији. Испитивачи пећина помињу често да су били задржани сводовима који се спуштају; они у ствари представљају сифоне.

Отвор сифона или празнина између пречаге и плафона увек је малих димензија; изнад пречаге отицање воде се задржи, и тако се формира резервоар. Приликом поводња, кад подземне воде обилно притичу, не могу отећи кроз мали отвор сифона; отуда настаје хидростатички притисак који сузбија воду на више од сифона и приморава је да се пење у пукотине. Исте ове појаве виде се и изнад сужавања.



Сл. 7. Сифони.

Тип I. Два сифона у пећини Ветреници, који се јављају услед две пречаге што се дижу са дна.

a , a_1 , a_2 мртва вода или мала језера. — b , b' и b'' b''' висине до којих треба вода да достигне да би могли отицати. — C , подземни канал који води кроз сифонску пречагу.

Тип II. Два сифона од којих је први настао услед спуштања свода, а други се јавља на излазу пећине, и настао је услед пречаге која се диже са дна и унеколико услед свода који се спушта (пећина Врило, Бушко Блато у Босни).

Тип III. Сифон пећине Динан (у карбонском кречњаку у Белгији).

Ови јаки покрети стварају нарочите облике, а особито ерозионе канале. Вода у пећини, носећи шљунак и блокове, и крећући се, услед хидростатичког притиска ковитлачно, буши и проширује пукотине, сужења и сифоне; овом су акцијом пробушени и уништени многобројни сифони. Посматрао сам у многим пећинама ерозионе канале, најдуже 60 м., чији су тавани и зидови покривени углачаним и искрцаним површинама, као

у циновским лонцима. Таква је Катаринина Пећина у Моравској, пећина Врило близу Бушког Блата, Дубочка Пећина у источној Србији и т. д. Неки делови тавана и зидова пећинских богатији су пукотинама но други, и разједени водом која прокапљује. Ако асцендентне воде допру до те висине, услед хидростатичког притиска веза између блокова ће ослабити, и они ће затим клизити и стропоштавати се. Тако се проширују пећински канали и стварају пространи дџови. Ако таван није далеко од површине, он ће се стропоштати; тако ће постати јаме које зјапе: вигледи. Најзад, у доњим деловима јама јављају се нарочити облици, и они не пролазе границу до које се вода пење. То су шупљине или проширења која најчешће следују дијастромама. Она су широка у доњем а уска у горњем делу, имају облик изврнуте вртаче. Вероватно је да су се образовала под притиском асцендетне воде, услед које најпре веза између кречњачких слојева олабави, а затим настану обурвавања. Оваквог је облика пећина Бџм-Шод у јужној Француској.

Вода река понорница врши механичку ерозију и хидростатички притисак око понора, на површини, и у горњем делу пећина. Има случајева, у осталом ретких, где се на улазу у пећине врши јак хидростатички притисак који убрзава бушење тавана и његово стропоштавање. Тако је на пр. у почетку пећине Реке близу Шкоцијана (стропоштавање Јаме и Јамице). Уопште узев улази у пећине развијају се слободно или бар без великих препрека: у колико се количина воде, која притиче, повећава, у толико се улази проширују. Али кад већ једанпут узме подземно тећи, вода наилази на препреке које јако ометају њен слободан ток; ово бива све више у колико се она приближује излазу. Шујица, река Дувњанског Поља, нормално понире у Великом Понору у току кишне периоде (у октобру), и понова избија у Бушком Блату. Она се ту најпре појављује на излазу једне сифонске пећине и избацује знатне количине облутака, потпуно углачаних. Приликом високог стања воде пећина је до тавана пуна, и вода избија тада и из других двеју пећина. Уски отвори ових пећина налазе се на 10 и 15 метара изнад првог и 80 м. даље. Најзад вода отиче на више места кроз пукотине у кречњаку. Тада се чује кључање, подземно рикање, прштање воде и јак шум, који подсећа на огроман млин. У току лета подземна река не излази и највећи део пећине је сув, изузев сифонско језеро; али у њега се скоро не може ући услед великих блокова, између којих су масе шљунка и свежег песка. На зидовима и тавану пећине виде се многобројне свеже површине које сведоче о клижењу и стропоштавању појединих комада слојева. Све ово показује да је подземна река претрпела на излазу огроман хидростатички притисак, пошто капацитет излаза није прилагођен великим количинама воде које притичу у доба киша.

Ово посматрање није усамљено. Код многих пећинских отвор на излазу није довољно израђен. Најчешћи је случај да је онај део пећине, одакле се јавља река, сифон. Уз овај сифон јављају се скоро непосредно више других, чинећи тако канал са сифонима (Обод у Фат-

ничком Пољу и пећина Пункве у Моравској). У ретким случајевима, где на излазу нема сифона, отвор пећине се карактерише сужењем. Овде се констатују велики џиновски лонци (као у Дубочкој Пећини) и многобројни знаци врло јаког хидростатичког притиска, нарочито јаме, чији је таван пробијен. Поред тога се јавља и хаос од блокова који покривају дно пећина (излаз Унца у Крањској).

Близу излаза речних пећина врши се, дакле, најјачи хидростатички притисак. Он је праћен ковитлачним кретањем и механичком ерозијом, чија је интензивност већа но и у једном другом делу пећине. Пошто отвор није прилагођен великим масама воде које притичу, притисак постаје огроман и, ако овај део пећине није јако удаљен од површине, отварају се кадкад напрасно нови излази. Због тога се клисуре, постале стропоштавањем пећинских тавана, налазе нарочито испод оваквих сифонских излаза.

Мора се приписати нарочити морфолошки значај и комбинованој акцији карсне ерозије на површини, подземне ерозије и хидростатичког притиска. Вода која падне на карсну површину понире врло брзо у дубину. Денудовање и спуштање карсне површине врше се много спорије него на непропустљивим слојевима. Али са овом се акцијом спаја нормална подземна ерозија која проширује пукотине и ствара пећине, припремајући тако стропоштавања. С друге стране, под притиском асцендентних подземних вода које продиру у пукотине и проширују их, веза између кречњачких блокова постаје све лабавија. Тиме се убрзава стропоштавање пећинских тавана. Они се најпре пробуше на неколико места, било одоздо на више стропоштавањем, било у супротном правцу удубљивањем вртача. За тим се стропоштају на великим дужинама, покривајући дно пећине. Површинска ерозија, ма колико безначајна, и подземни процеси тако се удружују и снижавају карсну површину.

Однос између хемијске и механичке ерозије и подземна пиратерија

Акција атмосферске воде на површини кречњачког земљишта врши се најпре и поглавито као хемијска ерозија. Она настаје услед растварања кречњака водом што садржи угљене киселине. Како се ова вода инфилтрује у сваку пукотину, то хемијска ерозија делује нарочито око пукотина. Тако ограничена акција атмосферске воде слабо се осећа на другим деловима карсне површине. И ако на површини карста, чак и на земљишту које се састоји од најчистијих кречњака, има донекле механичке ерозије, њена акција је секундарна. Она се снажно осећа само у затвореним или слепим долинама, нарочито приликом високог стања воде. Напротив, у дубинама где се млазеви који долазе са површине спајају у праве реке, механичка ерозија превлађује и често је као код бујних потока.

Ипак се хемијска ерозија осећа свуда и стално у унутрашњости карста вршећи огромне хидрографске и морфолошке промене. Она одређује путеве и промене које се затим врше дејством механичке ерозије. Разоравајуће дејство хемијске ерозије осећа се нарочито приликом ниског стања воде.

Хемијска ерозија преиначава нарочито облик сифона. Вода оног језера, које лежи на више од сифона, инфилтрујући се у пукотине и проширујући их, ствара бочни канал којим се обилази сифон. Под утицајем поменутог хидростатичког притиска овај се канал још више проширује, и најзад постаје нормално корито реке. Још чешће се проширују пукотине које леже у основи сифонске пречаге, нарочито под утицајем хемијске ерозије. Тако се пробуши стена испод сифона. Повратни и пробушени канал могу се у толико више проширити у колико више њима протичу високе воде. Сифон тако губи своје функције и постаје умртвљен.

Друго дејство хемијске ерозије јесте подземна дисперзија, или дисперзија пећинских река у млазеве који се инфилтрују у пукотине што воде у дубину. Ова је дисперсија општи појав. Она се може посматрати у свима речним пећинама и има различне особине. По кадкад је то спуштање извесне количине воде у горњем делу пећине, и њено поновно јављање у кориту или на странама доњег дела. Чешће се река дели близу излаза у више рукаваца који избијају на ободу карста као извори. А још се чешће подземна река у унутрашњости пећине разилази у пукотине, од којих једне воде изворима на површини, а друге у подземне реке што леже дубље у унутрашњости карста. Ако се овај процес развије интензивно, речна пећина се преобрати у суву.

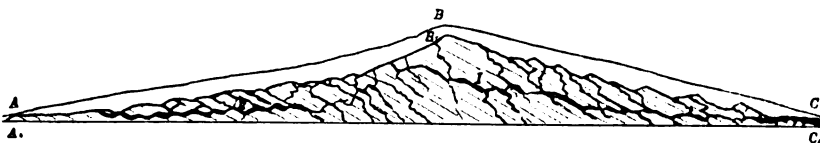
Као последице ове дисперсије јављају се подземне пиратерије, врло честе у дубинама карста. Оне могу бити последица хемијске ерозије која нормално делује, без интервенције друге подземне реке. У овом случају подземна река врши пиратерију сама на себи.

Сува пећина Постојне, од њеног улаза па до Тартара, јесте стари канал Пивке. Услед понирања њене воде у дубину она је премештена према Западу на рачун друге реке која тече кроз пећину Оток. Сем тога је вероватно да је стара река Циркнице и Рака, подземна притока Пивке, некада текла кроз пећину ерц-херцога Јохана, а затим ишчезла још дубље.

Према плану Мамутове Пећине од Х. Ц. Ховеја ова се пећина састоји из читаве мреже пећина које се налазе у различним нивоима. Ово се не може објаснити без пиратерија и прогресивног удубљивања река.

Изгледа да чак и праве подземне пиратерије нису ретке. Један од најчешћих случајева представља слика 8. С обеју страна развођа В развиле су се две подземне реке чији доњи ерозиони базис лежи на истој висини.

Али је ерозија реке I наспорена тиме што она тече дуж нагиба слојева и користи се равнима стратификације. Међутим ерозија реке II, која тече супротно нагибу слојева, мање је наспорена. Река I удупшће брже своје корито и окренуће воду реке II која ће тиме бити обезглављена. До истог се резултата долази ако је једна страна развођа



Слика 8. Један случај подземне пиратерије.

A B C, прекарсна површина, са два рекама *A B* и *B C*.

A, B, C, скаршћена површина. Обе предходне реке постале су подземне пошто им је доњи ерозиони базис на истој висини. Река I следује равнима слојевитости, док река II отиче супротно нагибу слојева. Како је ерозија дуж слојева лакша и бржа, река I продужила се с друге стране развођа *B*, захватајући изворну област реке II.

састављена од кречњака који је чистији и богатији пукотинама но друга страна. Врло је вероватно да ће се реке њених пећина спустити у дубину и прећи у област подземне реке на оној другој страни, где је теже вршење хемијске ерозије у кречњацима. Најзад, доћи ће се до истог резултата ако је кречњак на једној страни подземног развођа мање испросецан пукотинама но на другој.

Једна подземна река, која има пространији слив или располаже већом количином воде, удубла би корито своје пећине брже него река мањег слива на другој страни. Реке и млазеви ове стране, пошто се губе у пукотинама, појавиће се у пећинама прве реке, које су се удубле јаче.

Још општије: ако издан, која се налази на непропустљивом слоју, лежи ниже у сливу једне подземне реке но у сливу друге, извесно је да ће интензивнија ерозија, која се развија у првом сливу, приморати реку на бржу ерозију, и привући њене растурене токове. Овај ће се процес продужити до потпуног уништења друге реке.

Нарочит је случај у пећини Деманови у Словачкој. Ова је пећина издубена у тријаским кречњацима и била је корито подземне притоке нормалне реке Демановке. Као све притоке ове реке, и пећина Деманова има правац Југоисток-Северозапад, држећи се великих дијаклаза. Али близу свог отвора пећина прави лакат скрећући изненада према Југозападу. Мислим да је овај лакат створен пиратеријом. Пиратерију је извршила нека подземна притока Демановке која је употребила дијаклазу правца СИ-ЈЗ.

Подземне пиратерије нису тако јасне као површинске. То долази услед компликација које изазивају хемиска ерозија и проширивање пукотина. Ове се компликације често врше услед растворљивости кречњака, без обзира на другу подземну реку.

Као резултат свих ових процеса јавља се исушивање виших пећина. Али чак и од овог правила има изузетака. Од двеју пећина које леже у истом нивоу, једна ће постати сува а другом ће и даље тећи река, ако је прва издубена у кречњаку који је чистији и богатији пукотинама.

По правилу развође на површини карста не служе се са подземним развођима: прво је мртав облик, а друго се стално мења и од њега све више удаљује.

Корито оних пећина које су постале суве није правилно. У њему се виде мали басени и вртаче као на површини карста. Они представљају места, која су раније апсорбовала подземну воду. Ови басени и вртаче и даље апсорбују воду која прокапљује, и ако леже у пећинама које се све више испуњавају производима хемијске седиментације.

[Са француског рукописа пишчева превео
проф. Д-г *Б. Ж. Милојевић*].

Јован Цвијик.