

КАРСТОВИТЕ ВОДИ – ГЛОБАЛЕН И ЧУВСТВИТЕЛЕН ВОДЕН ИЗТОЧНИК

Проф. д-р Зоран СТЕВАНОВИЧ - Белградски университет, Минно-геоложки факултет,
Катедра по хидрогеология/Център по карстова хидрогеология, e-mail: zstev_2000@yahoo.co.uk

РЕЗЮМЕ

Карстът като специфично явление се развива в разтворими карбонатни и евапоритни скали. Неговата площ заема приблизително 15-20% от световната суша, която не е покрита с лед. Около 10% от световното население консумира питейна вода от карстови водоносни хоризонти, но значението на този воден ресурс е още по-голямо във връзка с използването му за напояване и за местната индустрия. Главни ограничения за използването и управлението на тези води са нестабилният дебит и високият риск от замърсяване. Ситуацията е особено проблематична при карста в аридни области, където редките и оскъдни дъждове не осигуряват достатъчно вода за попълване на интензивно използваните извори. Затова в тези карстови области се стига до изтощаване на карстовите водоносни хоризонти. За разлика от тях, в ЮИ Европа и Средиземноморския басейн има богати карстови водоносни хоризонти. Те, макар и проблематични поради нестабилния им дебит и уязвимост към замърсяване, притежават висок потенциал за попълване от дъждовни води. Това налага да се прилагат различни технически решения за контрол и защита на тези важни водоизточници.

AN OVERVIEW ON KARST WATERS AS ONE OF THE GLOBAL AND SENSITIVE WATER SOURCES.

Prof. Dr. Zoran Stevanović

ABSTRACT

Karst as specific phenomenon develops in soluble carbonate and evaporitic rocks. It occupies some 15-20% of the world's ice-free land. Some 10% percent of global population is consuming drinking waters from karst aquifers, but utilization for irrigation or local industry rises up importance of this water resource. In well-karstified rocks unstable discharge regime and high risk of pollution are major constraints for water users and managers. The situation is most problematic in karst of arid areas where insecure and scarce rains do not provide sufficient replenishment of often heavily utilized sources. Therefore, over-exploitation of karst aquifers takes place in many karst regions worldwide. In contrast, SE Europe and Mediterranean basin have rich karst aquifers and although problematic because of their unstable discharge and vulnerability to pollution, sufficient replenishment potential from rainy water, enables engineers to apply various technical measures to control and protect these important water supply sources.

ВЪВЕДЕНИЕ

Терминът „карст“ се заражда в ЮИ Европа, в географската област между днешна Словения (бивша Югославия) и Италия. Славяните там използвали думата „кар“, означаваща „скала“, а италианците – „карсо“. Чрез германизация на двете думи този уникален терен става известен като „карст“ [1,2]. Карстът е специфичен феномен, който се развива основно в разтворими карбонатни и евапоритни скали и се характеризира с много характерни образувания на повърхността (кари, въртопи, ували, слепи долини, карстови полета) и във вътрешността на скалите (ями и пещери). Това също така е и уникална геоложка обстановка, позволяваща изследователите да влязат и да минат през вътрешните ѝ тайни, да потвърдят или ревизират собствените си идеи и да развият някои технически решения за използването на карстовите води.

Карстообразователният процес, като комбинация от механично и химично разрушаване на скалите, про-

тича в карбонатна среда (варовици и доломити) и в евапоритни скали (анхидрит, гипс, халит, силвин). Съществуват множество класификации и регионални подялби на карста. Класификационните принципи включват фактори и механизми на карстообразуване, литоложки типове, морфоложки форми, генетични или климатични условия [3].

Суитинг (Sweeting) [4], приемайки за основа класификацията на Цвиич (Cvijić) [5] – холокарст (напълно развит), мерокарст (частично развит) и междинен карст (между меро- и холо-), и включвайки също и климатичните фактори, отделя:

- ▶ Холокарст;
- ▶ Флувиокарст;
- ▶ Глациално-нивален карст;
- ▶ Тропически карст;
- ▶ Ариден и полуариден карст.

КРАТКА ИСТОРИЯ НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА НА КАРСТА

Най-ранните концепции за хидроложкия цикъл, източника, появата и качеството на водата са развити във връзка с карстови обстановки [6] от Емпедокъл през 400 г. пр. н.е. и Аристотел през 300 г. пр. н.е., които правят първите теоретични построения за хидроложкия цикъл. Ератосфен през 100 г. пр. н.е. описва понори и карстови полета. Сенека, римски философ, през 50 г. съобщава за извори, пещери и изчезващи извори. Витрувий, вероятно, е първият хидрогеолог, който през 40 г. описва как се търсят подземните води. Съществуват множество легенди за подземни водни потоци. Например, Овидий, Вергилий и други знаменити поети дават обяснение за мистериозното изчезване на реката Алфей на полуостров Пелопонес. Те предполагат, че реката минава под Йонийско море и след това се появява отново във вид на изворите Чаине и Аретуза в Сиракуза, Сицилия [7]. Правенето на каптажи е древно изкуство и е старо колкото и възрастта на първите цивилизации: в древен Китай, Вавилон, Персия, Израел и Египет се намират множество останки от водосборни структури около крупни извори. Акведуктите като архитектурни шедеври са проектирани и изградени от римляните за пренос на питейна вода на големи разстояния. В разцвета на Римската империя няколко такива акведукти докарват около 13 m³/s вода главно от карстови извори от планината Симбруини и басейна на река Аниене и други водосборни площи за снабдяване на центъра на Рим [6].

Пещерите като природен феномен и най-ранно жилище на човека винаги са привличали вниманието на изследователи и пътешественици. Чу Чиаке (Ху Чиаке), живял в епохата на династията Мин между 16 и 17 век, е пионер в изследването на пещерите в Китай, но истинският баща на съвременната спелеология е френският юрист Едуард-Алфред Мартел (Édouard-Alfred Martel) (1859-1938), който посещава и описва хиляди пещери във Франция и много други



Фиг. 1. Йован Цвиич, портрет от Урош Предич, 1923 г.

държави. „Баща на съвременната карстология“ е Йован Цвиич (Jovan Cvijić) (фиг. 1) – сръбски географ и геолог, който през 1889-1895 г. прави първите си изследвания на карста в масива Кучай на Карпато-Балканската планинска дъга в Източна Сърбия [8]. Той публикува пет обширни труда за особеностите на карста в района, от които „Пещери и подземна хидрография в Източна Сърбия“ [9] и „Извори, торфени блата и водопади в Източна Сърбия“ [10], публикувани от Сръбската Кралска Академия, са особено важни.

През 1892 г. Цвиич завършва докторантура по география във Виенския Университет с дисертационен труд „Феноменът карст“ („Das Karstphänomen“) [11] под ръководството на професор Албрехт Пенк (Albrecht Penk). През следващата година дисертацията е публикувана от Академията на науките във Виена, предизвиквайки голям интерес сред учение-геолози по целия свят. Заслугата на Цвиич е в приемането на концепцията за химичната корозия като водещ процес при морфогенеза на карстови ями, за разлика от общоприетата по онова време теория за срутване на пещерите като главен генетичен фактор. Той също така класифицира пещерите, карстовите реки и въртопи [12]. След тези публикации много локални славянски термини като „полъе“ (карстово поле), „долина“ (въртоп), „увала“, „понор“ започват широко да се използват за обяснение на морфоложки и хидрогеоложки процеси в карста.

„Бащата на карстологията“ обикаля целия Балкански полуостров. През октомври 1909 г. той е придружител и водач в екскурзията на българския цар Фердинанд в планината Копанник в Централна Сърбия. Той е и първият учен, който намира следи от залежаване значително по-на юг от това, описано по-рано от европейските геоморфолози. Цвиич установява следи от залежаване не само във високите Динарски планини, а също така в Стара планина, Рила (фиг. 2) и Витоша в България. И накрая, Цвиич има решаваща роля за развитието на карстовата хидрогеология. Неговият труд „Подземна хидрография и еволюция на релефа на карста“ („Hydrographie souterraine et évolution morphologique du Karst“) [13], публикуван в Гренобъл



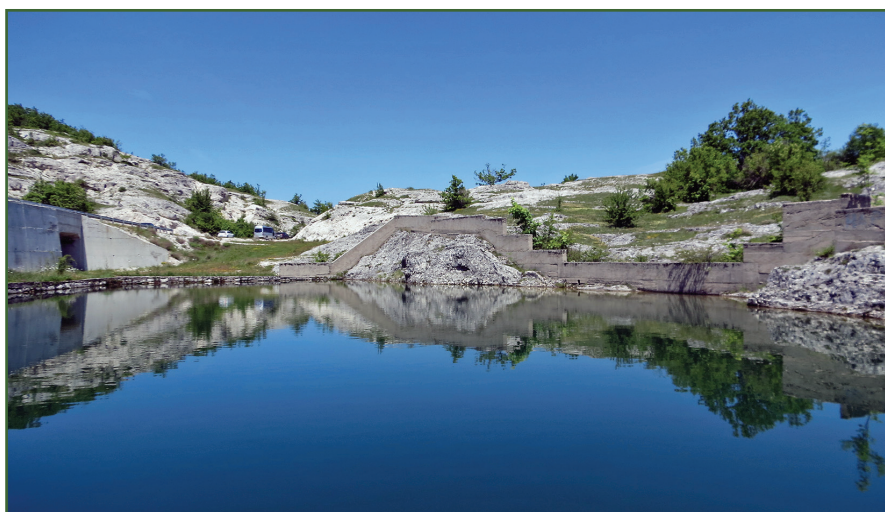
Фиг. 2. Йован Цвиич (първия вдясно) по време на пътуването му до Рила

(1918), е принос в теорията за водната циркулация и функцията на карстовите водоносни хоризонти, и преодолява разногласията между две взаимно противоположни теории, съществували в края 19 век – тази на Кацер и Мартел (Katzer, Martel) и другата на Грунд и Пенк (Grund, Penck). Цвиич също така описва собствената си теория за суперпозицията на „хидрографските зони в карста“ като резултат от влиянието на хидроложките и климатичните фактори.

След втората световна война карстовата хидрогеология бележи значителен напредък, получавайки нова енергия и нови квалифицирани експерти в условията, когато се правят инвестиции в различни проекти по водоснабдяване и за изграждане на язовири за хидроцентрали и напояване. Много успешни проекти са реализирани в различни карстови региони по света, но поради сложността на карстовите водоносни хоризонти като следствие от нееднородността и анизотропията на скалите и водоносните пластове, фразата „Очаквай неочакваното“ започва да се използва от много хидрогеолози и инженери, занимаващи се с карста и неговите свойства [14, 15]. През последните години на 20-тия век висококвалифицирани специалисти от различни научни дисциплини се насочват към изследване на сложните проблеми на карстовите обстановки по света [6]. Разнообразни по тематика изследвания, проведени от специалисти по хидрогеология, геология, спелеология, химия, биология и математика, дават резултати благодарение на сътрудничеството в областта на трасиращата (проследяваща) техника, изотопните изследвания, геоморфологията, геохимията, спелеологията, седиментологията и условията на образуване на карбонатни скали.



Фиг. 3. „Каменно море“ край гр. Рисан в залива Бока Которска, Черна гора. Повече от 300 дълбоки понори са регистрирани на площ от 8 km²



Фиг. 4. Малък язовир и отводнителен канал от висящи карстови водоносни хоризонти в интензивно карстифициран район близо до Граховско карстово поле (Grahovsko polje), Черна Гора

БОРБА ЗА ВОДАТА В КАРСТА

Водата е основният фактор за създаването на карста посредством механични и химични (корозивни) сили. Но наличието на карст не отразява автоматично присъствието на вода. Дори обратно, съществуват много райони по света, където водата напълно отсъства върху карстови повърхности или нивото на грунтовите води е локализирано много дълбоко. Това е резултат от карстообразуването и свързаните с него висока вторична пропускливост, съчетани със спомнатите по-горе хетерогенност и анизотропия. Екстремален пример за това е планинският район над залива Бока Которска в Черна Гора (фиг. 3). Тук средната годишна сума на валежите достига 5000 mm, но за сметка на бързата инфилтрация, единствената събрана дъждовна вода при обичайна пълна липса е само на повърхността, с изключение на малки извори, дрениращи редки висящи водоносни хоризонти (фиг. 4). „Борбата за вода“ в такива екстремални усло-



Фиг. 5. Използване на води от долните части на алувиални отложения в обкръжение на карстов водоносен пласт в скали на юрския комплекс Хаманлей (Източна Етиопия)



Фиг. 6. Врело Буне (селище Благай, близо до гр. Мостар, Босна и Херцеговина). Възходящ карстов извор, един от най-големите в света (дебит 3 - 380 m³/s)

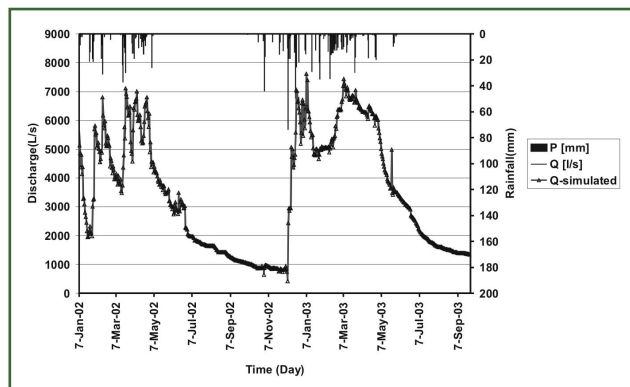
вия може да доведе до миграция на местното население, намаляване на броя на едрия рогат добитък и дребни преживни животни и ограничено отглеждане на земеделски култури [3]. Има много места в аридната част на света, където подземните водни потоци от карстовите водоносни хоризонти могат да бъдат намерени и каптирани само от асоцииращите с тях дънни части на алувиалните отложения (фиг. 5).

Друг проблем при оползотворяването на карстовите водоносни хоризонти е голямата вариация в оттока и колебанията на нивото на водите през цялата хидроложка година. Колебанията на нивото на водите и вариациите в налягането на водоносните системи зависят от много фактори, като интензитет на водното захранване, пропускливост, реално насищане (съхраняване), хидравличен напор, като и разлика между входната (захранване) и изходната (отток) точки [16]. Режимът на дрениране на водоносния слой и типът на извора обикновено са тясно свързани. Възходящите извори имат по-стабилен режим (фиг. 6), докато гравитационните (низходящи) извори се характеризират с големи вариации в дебита (фиг. 7). Оттук следва, че хидрограмата на извора е резултат от разнообразни процеси, протичащи върху земната повърхност или вътре във водоносната система [16]. Когато главното водно захранване е от погребани водни потоци, хидрограмите на извора и потока могат да бъдат със сходна форма. Когато главното захранване е от процеждащите се дъждовни води и/или от топенето на снега, то разликите между епизодите на максималното захранване и пиковия отток представляват „времето за пътуване“, необходимо за оценка на характера на водоносните хоризонти. Стохастичният (вероятностният) анализ на хидрограмите на извора и корелативната диаграма валежи/дебит на извора (фиг. 8) са необходимите инструменти за разбиране на поведението на карстовите водоносни хоризонти [17, 18, 2].

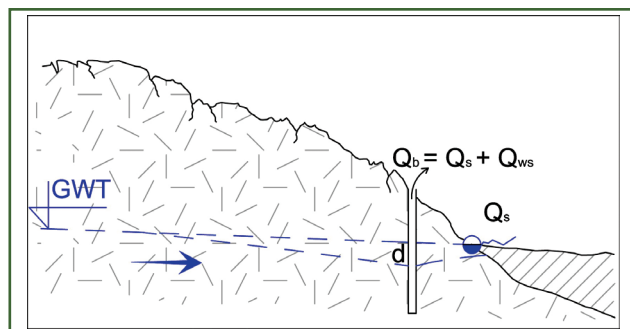
През периоди на минимален водосток и повишено търсене, които могат да продължат с месеци, особено в аридните части на света, водният недостиг за населението и за зависимите екосистеми по-скоро е правило отколкото изключение [19]. Ето защо глав-



Фиг. 7. Водопадът Маргон – гравитационен карстов извор (близо до гр. Шираз, Иран)



Фиг. 8. Корелация между валежите и хидрограмата на извор Сарчинар (Сулаимани, Североизточен Ирак). Районът се характеризира с липсата на валежи между май и октомври. Дебитът на извора е измерен в реални условия и моделиран чрез вероятностен анализ



Фиг. 9. Сонда за изпомпване, разположена около карстов извор. Скоростта на изпомпване (Q_b) включва прехванатия дебит на извора (Q_s) плюс допълнителна вода, необходима за снабдяване на зависимите екосистеми (Q_{ws}). Изпомпването, обаче, води до понижаване на нивото (d) на грунтовите води (GWT) във водоносния хоризонт



Фиг. 10. Група понори от Никшичко поле (Nikšičko polje), (гр. Никшич, Черна Гора), контролирани чрез възвратни клапани и непроницаеми бетонни одеяла на дъното на язовира Въртац



Фиг. 11. Напълно изпразнен язовир Хамам Гроуз в Северо-източен Алжир. Функционира добре повече от 20 години до голямото наводнение през 2006 г., което причинява отваряне (отмиване) на големи кухини в дъното на язовира и създава големи водовертежи

ното предизвикателство за голям брой водни съоръжения е осигуряването на стабилно водоснабдяване, без ограничения или пълни прекъсвания през тези критични периоди. Ако водоносният хоризонт е добре карстифициран и има задоволително хранилище в неговите по-дълбоки части, често е възможно с различни инженерни решения да се регулира и да се управлява минимален водосток. Могат да бъдат отделени две главни групи **инженерни регулативни мерки за контрол на карстови подземни води:**

- ▶ Регулиране на зоната на отток;
- ▶ Регулиране чрез намеса в по-широка водосборна площ.

Регулиране на потока на грунтови води в зоната на отток е възможно с помощта на [19, 20]:

- Временно повишено изпомпване на извора;
- Сондиране на кладенци и други допълнителни участъци на водосбор (фиг. 9);
- Изграждане на подповърхностен (подземен) резервоар (язовир);
- Изкуствено подхранване.

В целия водосборен район са възможни различни мероприятия за подобряване и стабилизиране на режима на водоносния хоризонт. Сред тях са:

- Регулиране (затапване) на понорите (фиг.10);
- Пренасочване на потоците;
- Изграждане на малки бентове и язовири;
- Прехвърляне на водата в други водосборни площи.

Неправилният контрол на извличане на подземните води от карстови водоносни хоризонти често води до изтощаване и изчерпване на водните запаси (например в Югозападната част на САЩ, Севернокитайския басейн, Арабския полуостров) или развитие на техногенни процеси като формиране на свлачища, земни провадания и срутвания (например, Флорида).

Изграждането на бентове и язовири в карста е особено деликатна задача. Миланович [21] прави оценка на състоянието на повече от 100 бента и язовира, изградени в карст и имащи някои проблеми с просмукване на водите от язовира. Той установява, че 10% от тях са напълно изоставени, докато 30% имат значителни загуби в диапазона 2 - >50 m³/s (фиг. 11). Подобен е процентът на язовирите (30%), при които са приложени мерки против просмукване (противофилтрационни циментови завеси, запушване на каверни, непромокаеми покрития, и други подобни), които съществено намаляват водните загуби. Сериозен проблем при управление на карстовите водоносни хоризонти е тяхната уязвимост към замърсяване. Поради наличието на големи празнини и кухини, предизвикващи турбулентни потоци, карстовите води могат много лесно да бъдат замърсени и замърсителите да бъдат бързо транспортирани на големи разстояния. Затова рискът от замърсяване тук е много по-висок спрямо други водоносни формации, но по-проблематичен е фактът, че карстът притежава много ограничен капацитет за самоочистване [16]. През последните 30 години се развиват множество методи с използване на ГИС инструменти за оценка на уязвимостта на водоносните хоризонти и установяване на базиса за очертаване на санитарно защитени зони и определяне на необходимите превантивни и защитни мерки. Сред най-често използваните методи за оценка на карстовите водоносни хоризонти са: DRASTIC [22], ЕРІК [23], РІ [24].

Карстът също е важен резервоар и източник на нефтени ресурси и геотермална енергия. Многобройните нефтени полета на Арабския полуостров и Средния Изток са привързани към карбонатни и евапоритни скали. Важността на карстовите и пукнатинните водоносни хоризонти като геотермален източник намира своето потвърждение в Панонския, Аквитанския и други басейни в Европа.



Фиг. 12. Детайл от водосбора при карстовия извор Пескиера, осигуряващ над 60% от потребностите от вода на гр. Рим

РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ И ВАЖНОСТ НА КАРСТОВИТЕ ВОДОНОСНИ ХОРИЗОНТИ

По данни на Форд и Уилямс (Ford & Williams) [1], карстът и неговите водоносни хоризонти заемат около 15-20% от земната повърхност, не покрита с лед. Съгласно данни, получени при изпълнение на проекта WOKAM (World Karst Aquifer Map, Световна карта на карстови водоносни хоризонти), в цялата Европа карстът има същото разпространение (21,6%) [25].

По оценки на Форд и Уилямс, 20% и дори няколко процента повече от населението в световен мащаб до голяма степен зависи от карстовите подземни води. Някои от последните ни изчисления, базирани на информационни източници на ООН и данни от проучвания на национални експерти показват, че в действителност световното население, консумиращо карстови подземни води, е по-малко и вероятно е между 9 и 10%. Въпреки това карстовите води остават един от основните глобални източници, не само защото са почти единствен източник на вода в някои страни като Куба, Ямайка, Черна Гора, но и поради отличното качество на водата, осигурено от многобройните извори, дрениращи незаселените планински райони. Дори шест столици от Югоизточна Европа – Виена, Рим, Сараево, Скопие, Тирана и Подгорица, изцяло или основно зависят от карстова изворна вода (фиг. 12).

Югоизточна Европа и Средиземноморският басейн са известни със своите богати водни запаси. Напри-

мер, базата-данни на проекта WOKAM показва, че най-големият брой карстови извори в света е в Динарския карст: плътността на изворите в Хърватия, Словения, Черна Гора и Босна и Херцеговина, които дават най-малко 200 l/s, съответства на един такъв извор на 2000 km² [26]. Тук и в други съседни територии на югоизточната част на Средиземноморския басейн, които включват планинските вериги Хелениди и Тавриди, има 28 извора, които имат минимален дебит по-голям от 2 m³/s, което представлява ключово доказателство за наличието на запаси от вода. Най-голямото количество извори, които постоянно осигуряват дебит от над 2 m³/s, са установени в Босна и Херцеговина и Турция (по 8 извора във всяка държава), следвани от Черна Гора (5) [26].

България също принадлежи към групата държави с голямо разпространение на карст на своята територия.

Д-р Алексей Бендерев е със съществен принос към проекта WOKAM, обезпечавайки важни данни за разпределение на карста в Предбалкана и в Стара Планина, както и за най-важните извори и пещери в България. От 12-те извора, предложени от д-р Бендерев, четири отговарят на установените много рестриктивни критерии и ще бъдат показани в печатната версия на WOKAM картата в мащаб М 1:40. Това са: термален извор в Девня, карстови извори Глава Панега, Искрец и Куманица. Общо карстови разкрития от различни типове са разпространени на площ 30,200 km² или 27,2% от територията на България [25]. Повечето от тези карстови площи са изцяло на карбонатни скали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Карстовите водоносни хоризонти са едни от най-важните глобални източници на вода. Устойчивото им управление може да предложи перспективи за експлоатация на техните водни запаси за много столетия напред и дори може да намали последиците от климатичните промени поради огромния абсорбиционен капацитет на карста (това е причина за много редките наводнения в карстови райони). В същото време, нестабилният режим на водоносните хоризонти и тяхната уязвимост от замърсяване изискват прилагането на подходящи инженерни решения и мерки за опазване на околната среда. В допълнение към това, систематичният мониторинг на количеството и качеството на водата в карста е предпоставка за по-нататъшно успешно оползотворяване на карстовите водоносни хоризонти, особено в безводни и слабо развити страни.

БЛАГОДАРНОСТИ. Изразявам искрена благодарност на д-р Евгения Тарасова, председател на Българското геологическо дружество, за оказаното доверие и поканата да подготвя настоящата статия. Също така високо оценявам общата работа с д-р Алексей Бендерев и резултатите, които получихме по трансграничния българско-сръбски водоносен хоризонт в Стара Планина и неговия ценен принос за проекта WOKAM.

ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ:

- Ford, D., Williams, P. Karst hydrogeology and geomorphology. Wiley, Chichester, 2007. 562 p.
- Kresic, N. Water in karst. Management, vulnerability and restoration. McGraw Hill, New York, 2013. 708 p.
- Stevanović, Z. Karst environment and phenomena. In: Karst Aquifers – Characterization and Engineering (Stevanović Z. ed), Series: Professional Practice in Earth Science, Springer Intern. Publ. Switzerland, 2015. p. 19-46
- Sweeting, M.M. Karst landforms. Macmillan, London, 1972. 362 p.
- Cvijijć, J. La géographie des terrains calcaires. Emm.de Martonne (ed.), Dept. of Natur.Sci and Math. of the Serb Acad. Sci. CCCXLI. publ. Naučno delo. Belgrade, 1960. 212 p.
- LaMoreaux, J., Stevanović, Z. Historical overview on karst research. In: Karst Aquifers – Characterization and Engineering (Stevanović Z. ed), Series: Professional Practice in Earth Science, Springer Intern. Publ. Switzerland, 2015. p. 3-18
- Aureli, A., Di Pasquale, M., Privitera, M.G.A. The regular temporary occlusion in karst aquifers following earthquakes, the case of Ciane-Aretusa Springs (Sicily). In: Water resources and environmental problems in karst, Proceedings of intern. conf. KARST 2005 (Stevanović Z. and Milanović P., eds) University of Belgrade, Institute of Hydrogeology, Belgrade, 2005. p. 719-726
- Stevanović, Z., Mijatović, B. (eds). Cvijijć and karst / Cvijijć et karst, Monograph: Spec. ed of Board of Karst and Speleology Serb. Acad. of Sci. Belgrade, 2005. 405 p.
- Cvijijć, J. Caves and subterranean hydrography in Eastern Serbia (in Serbian), Glas of the Serbian Royal Academy, XLI 6, Belgrade, 1895. 101 p.
- Cvijijć J. Springs, peat bogs and waterfalls in Eastern Serbia (in Serbian), Glas of Serbian Royal Academy, LI 18, Belgrade, 1896. 122 p.
- Cvijijć, J. Das Karstphaenomen. Versuch einer morphologischen Monographie, Geograph. Abhandlungen Band, V, Heft 3, Wien, 1893. 114 p.
- Stevanović, Z., Milanović, S. Karst in Serbian hydrogeology: A tradition in research and education, European Geologist 35, 2013. p. 41-45
- Cvijijć, J. Hydrographie souterraine et evolution morphologique du Karst, Recueil Trav. Inst. geogr. alpine, VI, fascicule 4, Grenoble, 1918. p. 40
- Atkinson, T.C. Soluble rock terrains. In: Handbook of engineering geomorphology (Fookes P. and Vaughan P.R., eds) Chapman and Hall, New York, 1986. p. 241-257
- Milanović, P. Karst hydrogeology. Water Resources Publications, Littleton, CO, 1981. p. 434
- Stevanović, Z. Characterization of karst aquifer. In: Karst Aquifers – Characterization and Engineering (Stevanović Z. ed), Series: Professional Practice in Earth Science, Springer Intern. Publ. Switzerland, 2015. p. 47-125
- Mangin, A. Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques. 2eme partie. Concept méthodologiques adoptés. Systèmes karstiques étudiés. Ann. Spéléol. 29/4, 1974. p. 495-601
- Bonacci, O. Karst spring hydrographs as indicators of karst aquifers. Hydrological sciences journal, 38/1, 1993. p. 51-62
- Stevanović, Z. Utilization and regulation of springs. In: Groundwater hydrology of springs. Engineering, theory, management and sustainability (Kresic N. and Stevanovic Z., eds). Elsevier Inc. BH, Amsterdam, 2010. p. 339-388
- Stevanović, Z., Milanović, P. Engineering challenges in karst, Acta Carsologica, 44/3. 2015. p. 381-399
- Milanović, P., 2015: Catalog of engineering works in karst and their effects. In: Karst Aquifers – Characterization and Engineering (Stevanović Z. ed), Series: Professional Practice in Earth Science, Springer Intern. Publ. Switzerland, 2015. p. 360-398
- Aller, L., Bennet, T., Lehr, J.H., Petty, R.J., Hackett, G. DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeological setting. US EPA, 1987. 622 p.
- Doerfliger, N., Zwahlen, F. EPIK: A new method for outlining of protection areas in karstic environment, In: Proceedings of the intern. conf. Karst Waters and Environmental Impacts (Gunay G. and Johnson I., eds), Balkema, Rotterdam. 1995.
- Goldscheider, N., Klute, M., Sturm, S., Hötzl, H. The PI method—a GIS-based approach to mapping groundwater vulnerability with special consideration of karst aquifers. Z Angew Geol, 463, 2000. p.157-166
- Chen, Z., Auler, A.S., Bakalowicz, M., Drew, D., Griger, F., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Richts, A., Stevanović, Z., Veni, G., Goldscheider, N. The World Karst Aquifer Mapping Project – Concept, Mapping Procedure and Map of Europe. Hydrogeology Journal, 25, 2017. p. 771-785
- Stevanović, Z., Goldscheider, N., Chen, Z. & The WOKAM Team. WOKAM – The world karst aquifer mapping project, examples from South East Europe, Near and Middle East and Eastern Africa, In: Karst Without Boundaries, (Stevanović Z., Kresic N., Kukuric N., eds.), CRC Press/Balkema, EH Leiden; Taylor & Francis Group, London, 2016. p. 39-51



Зоран Стеванович е професор и ръководител на Центъра по карстова хидрогеология към катедра Хидрогеология на Минно-геоложкия факултет на Белградския университет, Белград, Сърбия. Притежава обширен опит в изпълнение на изследователски проекти в Сърбия и чужбина (Алжир, Ирак, Грузия, Бутан, Сейшелските острови, Сомалия,

Етиопия и страните от Балканския полуостров) по управление на подземните води, използването и контрола на водите в общинското водоснабдяване, въздействието върху околната среда, напояването, херметичността на язовирите, създаването на общи и подробни хидрогеоложки карти. Участник е в много международни изследователски програми и научни обмени с Франция, Словакия, Румъния, България, Китай, Словения. Поканен лектор е в университети и институции в Румъния, Ирак, Италия, Унгария, Китай, Иран, Германия, САЩ, България. Организатор и ръководител е на международен курс към ЮНЕСКО "Характеристика и инженерство на карстовите водоносни хоризонти", който от 2014 г. традиционно се провежда в Требине, Босна и Херцеговина. Почетен член и председател е на много международни мероприятия. Съпредседател е в Управителния съвет по карста и спелеология на Сръбската академия на науките и изкуствата. От 2012 до 2016 г. е председател на Сръбското геологическо дружество (СГД) и на сръбския Национален комитет към Международния съюз по геологически науки (IUGS). Настоящ председател е на Комисията по карста към СГД. Консултант е към Организацията за храните и селското стопанство (FAO) и ЮНЕСКО. Член е на Българското геологическо дружество от 2016 г.

Публикувал е 305 статии, автор и редактор е на 15 монографии и 3 учебника. Последните му монографии са: "Хидрология на подземните води и изворите: инженерство, теория, управление и устойчивост" ("Groundwater Hydrology of Springs: Engineering, Theory, Management and Sustainability") (заедно с Н. Крешич, Elsevier, 2010), "Характеристика и инженерство на карстовите водоносни хоризонти" ("Karst Aquifer Characterization and Engineering") (Springer, 2015) и "Карст без граници" ("Karst without Boundaries") (заедно с Н. Крешич и Н. Кукуруч, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2016). Повече подробности на www.karst.edu.rs.