

# High-resolution sequence stratigraphy of carbonates - theory and examples

Jelena Stefanović, Dejan Radivojević



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

**[ДР РГФ]**

High-resolution sequence stratigraphy of carbonates - theory and examples | Jelena Stefanović, Dejan Radivojević |  
Zapisi Srpskog geološkog društva za 2020. godinu | 2020 | |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0005435>

Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду омогућава приступ издањима Факултета и радовима запослених доступним у слободном приступу. - Претрага репозиторијума доступна је на [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

The Digital repository of The University of Belgrade Faculty of Mining and Geology archives faculty publications available in open access, as well as the employees' publications. - The Repository is available at: [www.dr.rgf.bg.ac.rs](http://www.dr.rgf.bg.ac.rs)

# ЗАПИСНИЦИ СРПСКОГ ГЕОЛОШКОГ ДРУШТВА

за 2020. ГОДИНУ

*COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ SERBE DE GÉOLOGIE*

*pour les année 2020*

*REPORTS OF THE SERBIAN GEOLOGICAL SOCIETY*

*for the year 2020*

*Beograd, 2020.*

Стефановић Јелена<sup>1</sup>, Радивојевић Дејан<sup>1</sup>  
Stefanović Jelena<sup>1</sup>, Radivojević Dejan<sup>1</sup>

## СЕКВЕНЦИОНА СТРАТИГРАФИЈА ВИСОКЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ У КАРБОНАТНИМ СЕДИМЕНТИМА - ТЕОРИЈА И ПРИМЕРИ

## HIGH-RESOLUTION SEQUENCE STRATIGRAPHY OF CARBONATES - THEORY AND EXAMPLES

ПРЕТХОДНО САОПШТЕЊЕ, СТРУЧНИ РАД  
PRELIMINARY REPORT, PROFESSIONAL PAPER

**Апстракт.** Циљ рада је да кроз теоријски аспект и примере примене представи секвенциону стратиграфију високе резолуције карбонатних седимената. У том смислу први део се односи на појам и значење високе резолуције у секвенционој стратиграфији. Од временских и просторних скала које одговарају сеизмичким профилима у последњих двадесет година метода је нашла примену на скалама које одговарају бушотинским подацима или изданцима. Као најпогоднији седименти за овај тип истраживања су се показали карбонати јер су осетљиви на еустатичке промене, а основе секвенционе стратиграфије карбоната су изнете у другом делу рада. Последњи део је посвећен примени секвенционе стратиграфије високе резолуције у карбонатима, која је приказана кроз неколико актуелних радова, а који се односе на јурско-кредне карбонате настале на платформама Тетиса.

**Кључне речи:** изданак, системска група, јура-креда, карбонатна платформа, плитководна средина

**Abstract.** The aim of the paper is to present high-resolution carbonate sequence stratigraphy through theoretical aspects and examples of its application. In that sense, the first part of the paper is related to concept and meaning of high-resolution sequence stratigraphy. From temporal and spatial scale corresponding to seismic profiles in last twenty years the method has found its implementation on scales equivalent to well data or outcrops. Carbonates proved to be the most convenient of all sediments for this type of investigation because of their sensitivity to eustatic changes. The basics of carbonate sequence stratigraphy are introduced in second part of the paper. The last part is committed to application of high-resolution carbonate sequence stratigraphy which is demonstrated through several up-to-date papers dealing with Jurassic-Cretaceous carbonates deposited on Tethyan platforms.

**Key words:** outcrop, systems tract, Jurassic-Cretaceous, carbonate platform, shallow-water environment

---

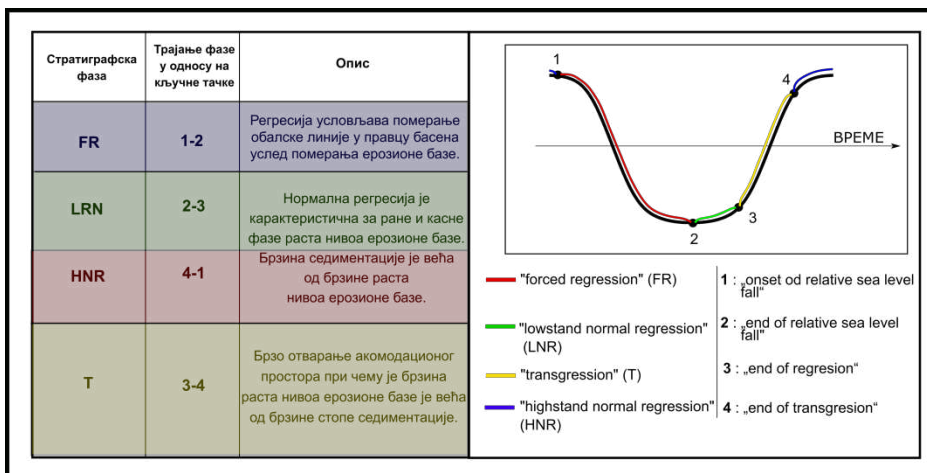
<sup>1</sup> Универзитет у Београду, Рударско-геолошки факултет, Каменичка 6, Београд;  
jelena.stefanovic@rgf.bg.ac.rs

## УВОД

Секвенциона стратиграфија представља геолошку методу која се 70-их година прошлог века развија из сеизмостратиграфије, када VAIL et al. (1977) издвајају секвенце на сеизмичким профилима и одређују њихове међусобне геометријске односе. Појам секвенце се први пут појављује двадесетак година раније и у употребу су га увели SLOSS et al. (1949) и LONGWELL (1949) који су њиме означавали стратиграфску јединицу ограничену ерозионом дискорданцом (*subaeral unconformity*). До данас појам секвенце али и дефиниција секвенционе стратиграфије су више пута мењали своје оквири (MITCHUM et al., 1977; GALLOWAY, 1989; и др.). Са интензивним развојем индустрије и науке постепено се јавила потреба за детаљнијом геолошком сликом тј. Повећањем резолуције података који се користе при истраживањима. Резолуција се у овом контексту односи на квалитативни и квантитативни карактер података. Из наведеног као последица настаје **секвенциона стратиграфија високе резолуције**, чије су временске и просторне скале знатно мање размере од оних које се подразумевају у контексту класичне секвенционе стратиграфије (CATUNEANU, 2006).

Терминологија и основни модели у оквиру секвенционе стратиграфије су засновани на проучавању силицикластичних система и све до 80-их година прошлог века исти модели су се примењивали на карбонатне системе. Прву значајну модификацију силицикластичног модела ка карбонатним направио је SARG (1988) и тиме поставио основе савремене **секвенционе стратиграфије карбоната**. Он је дефинисао поједине геометријске карактеристике секвенци али и факторе који утичу на депозицију карбоната. Савремена истраживања ових творевина су на нивоу који одговара секвенционој стратиграфији високе резолуције, а тренд примењивања ове методе на карбонатима откривеним на изданицима отпочео је осамдесетих година прошлог века.

Иако постоји општи модел који се користи у секвенционој стратиграфији, услед одређених недоумица поставља се питање да ли је уопште могуће увести један униформан општи модел. У поједностављеном облику модел је приказан на Слици 1, и ослања се на промену нивоа мора у функцији времена. Да би се лакше одредиле фазе које су везане за процесе трансгресије и регресије, дефинисане су кључне тачке: почетак пада нивоа мора (*onset of relative sea level fall*), крај пада релативног нивоа мора (*end of relative sea level fall*), крај регресије (*end of regression*) и крај трансгресије (*end of transgression*) (редом 1-4 на Слици 1). Током временског периода између две тачке одвијају се процеси седиментације. У зависности од тога да ли се одвија процес трансгресије или регресије, односно каква је равнотежа између промена у нивоу ерозионе површи и процеса седиментације, могу се разликовати четири основне фазе: високи ниво нормалне регресије (*highstand normal regression*; HNR), принудна регресија (*forced regression*; FR), ниски ниво нормалне регресије (*lowstand normal regression*; LNR) и трансгресија (Т) (Слика 1, Табела 1). Општи модел је представио CATUNEANU (2019) интеграцијом модела различитих аутора (Слика 1; MITCHUM et al., 1977; VAN WAGONER et al., 1988; HUNT and TUCKER, 1992; GALLOWAY, 1989; JOHNSON and MURPHY, 1984; и др.).

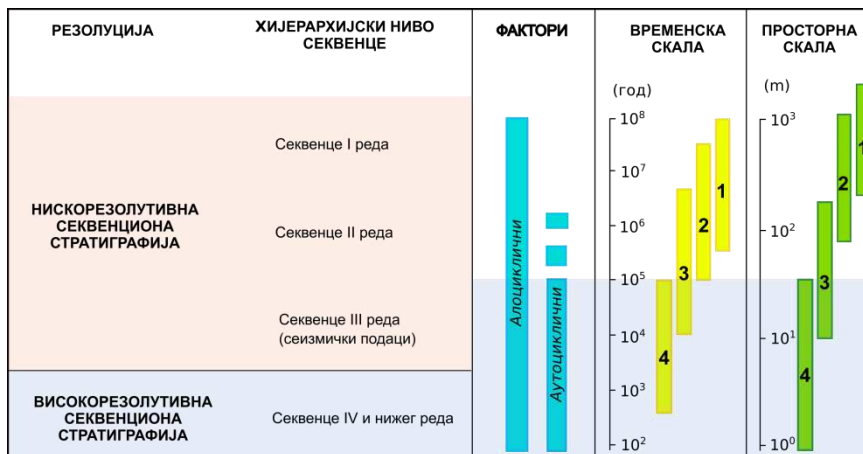


Слика 1. Поједностављени основни модел секвенционе стратиграфије (модификовано према CATUNEANU, 2019). Крива одговара промени ерозионе базе која се налази у функцији времена. Дефинисане су четири основне тачке тј. догађаја (1-4). Период између сваког догађаја је карактерисан одређеним стратиграфским процесом: FR, LRN, T и HNR.

## РЕЗОЛУЦИЈА У СЕКВЕНЦИОНОЈ СТРАТИГРАФИЈИ

Потреба да се што детаљније и јасније одреде стратиграфски циклуси током којих настају седиментне творевине у басену захтевала је крупнију размеру која се не може ефективно постићи сеизмичким подацима. Већа резолуција се постиже применом методе секвенционе стратиграфије на бушотинским и подацима са изданка. Анализа ових података је временске и просторне скале сеизмичких профила ( $10^4$ - $10^7$  година и  $10^4$ - $10^6$  m) заменила скалама које су реда величине  $10^2$ - $10^5$  година и  $10^0$ - $10^1$  m (Слика 2). Секвенционом стратиграфијом високе резолуције дефинишу се секвенце IV и мањег реда.

Бољу резолуцију података секвенциона стратиграфија је постигла повећањем размере простора на коме се врше истраживања (Слика 2). У том смислу еволуција ове методе подразумева примарно интеграцију сеизмичких података са оним из бушотина или са изданка све до развоја високорезолутивног приступа када се бушотински и подаци са терена користе индивидуално. На овај начин није промењен методолошки приступ већ је отворена могућност да се на мањем географском подручју (скале мање од  $10^1$  m) одређене седиментне творевине интерпретирају у контексту стратиграфских циклуса који одговарају временским оквирима од  $10^2$ - $10^5$  година (CATUNEANU, 2019). Истовремено метода секвенционе стратиграфије се значајно приближила седиментологији па се поставља питање где су границе ова два приступа, односно седиментних и стратиграфских циклуса.



Слика 2. Подела секвенционе стратиграфије на основу размере на секвенциону стратиграфију ниске и високе резолуције (модификовано према CATUNEANU, 2019). Секвенцама различитог ранга одговарају различите вредности просторних и временских скала (1-4 ред секвенце). Бројеви у правоугаоницима временске и просторне скале указују на ранг секвенце.

У својој основи метода секвенционе стратиграфије се заснива на класичним принципима седиментологије (POSAMENTIER and ALLEN, 1999; CATUNEANU, 2006) који се односе на процесе транспорта и акумулације седиментног материјала, процес ерозије као последице промене релативног нивоа мора, али и принос материјала, као и агенса који врши транспорт. На основу наведеног секвенциона стратиграфија се не може посматрати као нова метода већ као метода новог приступа анализи седиментних стена. Као таква, метода се такође може посматрати из угла интегрисаног и мултидисциплинарног приступа (CATUNEANU et al., 2009) али са новим освртом на генезу и архитектуру басенског простора (CATUNEANU, 2006). Једна од интегрисаних метода које секвенциона стратиграфија користи је фацијална анализа, која је првобитно третирана као седиментолошка метода која пружа увид у депозиционе услове а самим тим и даљу интерпретацију која води ка палеогеографским и палеоеколошким реконструкцијама.

Разлика седиментологије и секвенционе стратиграфије лежи и у приступу депозиционим циклусима. На нивоу седиментолошког приступа слојеви и групе слојева настају као последица промене приноса материјала или енергије средине (ZECCHIN et al., 2017). Секвенциона стратиграфија прати промене у акомодацији (простору за запуњавање седиментима) и условима седиментације који су првенствено везани за настанак системске групе (ST; *system tracts*; ROKSANDIĆ, 2001). Ове промене се могу одвијати у два правца, ка центру басена или ка обалском делу. У том смислу слојеви и пакети слојева улазе у састав депозиционих система најнижег ранга (CATUNEANU, 2019). Док се са аспекта седиментологије промене обалске линије могу дешавати и услед дејства таласа или морских струја, промене које региструје секвенциона стратиграфија морају бити на нивоу системске групе или саме секвенце. У дубоководним условима те разлике су теже уочљиве.

Најзначајнија промена коју са собом носи повећање размере при стратиграфским истраживањима је критеријум по коме се дефинишу секвенце, а самим тим и системске групе и дискорданце. Према CATUNEANU (2019) промена резолуције води и ка смањеним могућностима опсервације дискорданци што води већем значају у препознавању и дефинисању одређених конкордантних површи као граница секвенци. Секвенце, системске и депозиционе групе су независне од

временских и просторних скала јер се могу опсервирати на различитим хијерархијским нивоима, а генетски повезани седименти који одговарају одређеном режиму седиментације се могу развити током временског периода од  $10^2$ - $10^3$  до  $10^7$  година, док се у простору могу опсервирати до  $10^3$  m. Аутор се у овом контексту највише ослања на пример депозиционих система и чињенице да се они нижег ранга (Слика 2) поистовећују са седиментним јединицама и дефинисани су као депозициони системи *sensu stricto*. За оне депозиционе системе који су на вишем хијерахијском нивоу користи се одредница *sensu lato* и они се као такви састоје од депозиционих система нижег ранга. Овако дефинисани депозициони системи се могу испратити у приобалним деловима где су промене најочљивије. ZECCHIN et al. (2017) су одредили неколико критеријума по којима се могу разликовати слојеви од депозиционих система, ST или секвенци: седиментолошки и стратиграфски, микропалеонтолошки, минералолошки и дијагенетски (Табела 1). Сваки од ових критеријума се може примењивати засебно, али већа учинковитост се постиже применом неколико или свих критеријума. У секвенционој стратиграфији је битно дефинисати граничне површи (нпр. површина максималне регресије – *maximum regressive surface*; MRS), а проблем у њиховом одређивању се јавља када су настале услед циклуса малих магнитуда (Миланковићеви циклуси –  $10^4$  година, краткотрајни аутоциклични процеси) јер их је тада теже разликовати у односу на слојне површи. Једна од разлика између ова два типа површи се односи на седименте који се налазе изнад а указују на значајне промене у дубини. Такође, граничне површи секвенци имају веће бочно распрострањење и изнад њих се у појединим случајевима могу формирати релативно танки слојеви богати љуштурицама мекушаца (кондензовани седименти). Анализа асоцијације фораминифера изнад граничних површи може показати средину промењене енергије у односу на ону испод површи у смислу дубине и положаја у басену. Истовремено, у седиментима непосредно изнад граничне површи долази до промене у минералном саставу, као и дуж саме површи где може доћи до повећања концентрације тешких минерала.

Секвенца се независно од размере увек састоји од системских група и депозиционих система, а секвенциона стратиграфија високе резолуције подразумева да се секвенце вишег реда састоје од секвенци нижег реда, а самим тим и депозиционих система или системских група нижег реда. Главна разлика између секвенци вишег и нижег реда је временски период током кога су настали и просторне скале у оквиру којих се могу идентификовати и анализирати.

Табела 1. Седиментолошки, стратиграфски, палеонтолошки, минералолошки и дијагенетски критеријуми за одређивање и разликовање високорезолутивних секвенци и слојева (модификовано према ZECCHIN et al., 2017).

Критеријуми	Високорезолутивне секвенце (IV и нижег ранга)	Слојеви	
<i>Седиментолошки и стратиграфски критеријум</i>	Промене у условима средине изнад граничне површи	ВЕОМА ЗАСТУПЉЕНЕ	СРЕДЊЕ ЗАСТУПЉЕНЕ
	Значајне промене у дубини нивоа воде изнад граничне површи	РАЗВИЈЕНЕ	НЕРАЗВИЈЕНЕ
	Површи се могу јасно одредити и развијени су ихнофосили	ВЕОМА РАЗВИЈЕНИ	СРЕДЊЕ РАЗВИЈЕНИ
	Бочно развије граничних површи	ВЕОМА ЗАСТУПЉЕНО	СРЕДЊЕ ЗАСТУПЉЕНО
	Кондензовани седименти	РАЗВИЈЕНИ	НЕРАЗВИЈЕНИ
	Дебљина	m - dm	dm - m
	Клиноформе	РАЗВИЈЕНЕ	НЕРАЗВИЈЕНЕ
<i>Палеонтолошки критеријум</i>	Промена фораминиферске асоцијације изнад граничне површи	ПРИСУТНА	НЕМА ПРОМЕНЕ
<i>Минералолошки критеријум</i>	Заступљеност тешких минерала изнад граничне површи	ПОВЕЋАВА СЕ	НЕМА ПРОМЕНЕ
<i>Дијагенетски критеријум</i>	Дијагенетске промене	ВЕОМА ЗАСТУПЉЕНЕ	СЛАБО ЗАСТУПЉЕНЕ

## СЕКВЕНЦИОНА СТРАТИГРАФИЈА КАРБОНАТА

Најранији концепти секвенционе стратиграфије почивају на кластичним системима, а 80-их година уводе се значајне промене на овом пољу када се први пут појављују основни модели карбонатних система. Ове моделе су посебно обрадили SARG (1988) и HANDFORD and LOUCKS (1993), али су SCHLAGER (1981), KENDALL and SCHLAGER (1981), READ (1995), KERANS and TINKER (1999) и KENTER et al. (2005) посебну пажњу обратили на карбонатну продукцију, типове карбонатних система, утицај орбиталних циклуса на „карбонатне фабрике“ (*carbonate factory*) као аутономне јединице. Значај, распрострањење и еволуцију карбонатних платформи кроз период фанерозоика обрадио је MARKELLO et al. (2008).

Карбонатне платформе представљају значајно различите депозиционе системе у односу на силицикластичне на којима је првобитно почела да се развија секвенциона стратиграфија. Најзначајнија разлика се огледа у пореклу материјала као и начину депоновања. Наиме, за разлику од силицикластичних система у којима се материјал допрема дејством неког агенса, седиментација на карбонатним платформама се обавља процесом таложења карбоната из морске воде или биогеном активношћу. Овај сложени хемијско-биолошки процес је у функцији бројних фактора као што су: клима, принос кластичног материјала, дубина и прозачност, богатство хранљивих материја, салинитет и стопа промене нивоа мора (SCHLAGER, 2005). Још један од значајних фактора је и геометрија басенског простора. Захваљујући овим разликама секвенциона стратиграфија је почетком 1990-их година претрпела промене према којима су постављене основе секвенционе стратиграфије карбоната.

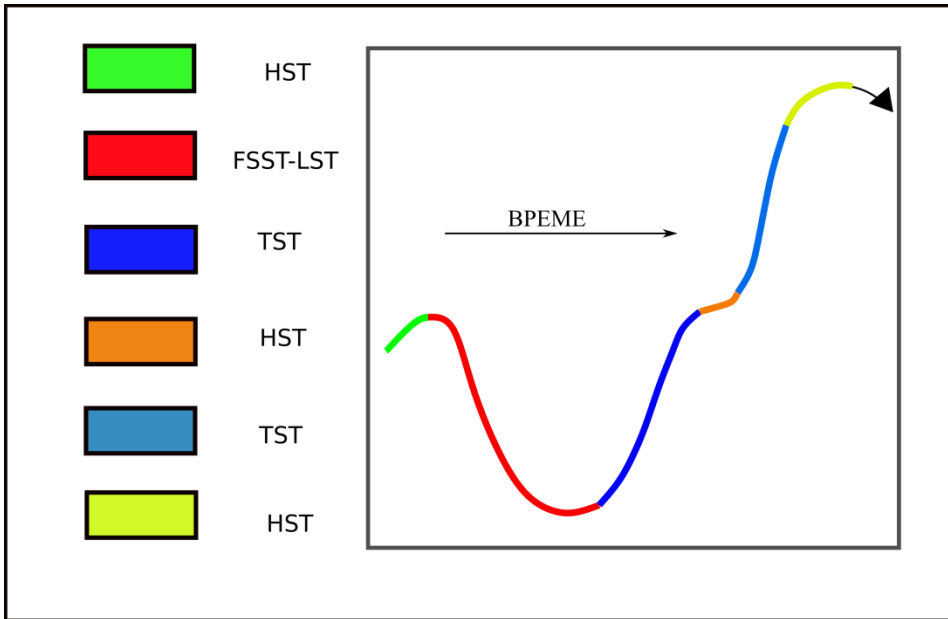
## Основе секвенционе стратиграфије карбоната

SCHLAGER (2005) наводи три правила карбонатне депозиције: карбонатни седименти су великим (или већинским) делом органског порекла, могу формирати структуре које се отпорне на дејство таласа и лако подлежу дијагенетским променама јер су минерали нестабилни. У зависности од начина таложења карбоната, минералног састава, дубине и потенцијала раста могу се разликовати три типа „карбонатних фабрика“: Т (*tropical and top-of-the-water-column*), С (*cool water and controlled precipitation*) и М (*mud-mound, micrite and microbes*) тип.

Појам карбонатне платформе обухвата све појаве дебелих маса плитководних карбоната, а у зависности од геометрије, нагиба и удаљености од маргиналног дела басена, разликује се неколико типова карбонатних платформи: карбонатна рампа, карбонатни шелф и изолована платформа. Независно од типа - продукција карбоната је уско повезана са нивоом морске воде. У случају када дође до пада нивоа „карбонатна фабрика“ престаје да функционише, а даљим спуштањем нивоа воде може доћи до субаерске ерозије. У случају када ниво мора расте повећава се акомодациони простор и стварају се услови за већу продуктивност. Наравно, условљеност да се простор депозиције налази у фотичкој зони потиче од чињенице да се депозиција највећим делом одвија биолошком активношћу (SCHLAGER, 2005). Из ове условљености произилази правило карактеристично само за карбонатне системе: при брзој трансгресији и плавлјењу може доћи до нарушавања равнотеже и потапања карбонатне платформе при чему настају дискорданце које се у стратиграфији препознају као дискорданце потапања (*drowning unconformities*; DU) и означавају карактеристичну промену и прелазак из карбонатног у кластични режим седиментације (CATUNEANU, 2006).

Еволуција карбонатне платформе може се сагледати кроз неколико фаза (Слика 3). Током фазе високог нивоа нормалне регресије (*highstand normal regression*; HNR) постоји највећа могућност продукције карбоната јер ову фазу прати и највећа стопа трансгресије а самим тим отвара се акомодациони простор (CATUNEANU, 2006). Продукција седимената ће се повећавати уколико се трансгресија не одвија великом брзином и у равнотежи је са процесом седиментације. Даљом седиментацијом запремина творевина ће надмашити акомодациони простор у смислу површине басена који карбонати покривају. Често се у каснијим фазама под утицајем гравитације и дејством других агенаса може нарушити равнотежа депонованих седимената и они се затим редепонују у дубље делове басена. Током даље еволуције карбонатне платформе може доћи до поновног успостављања режима високог нивоа (*highstand*; HS), а CATUNEANU (2006) наглашава да се прелазак из карбонатног у силицикластични систем одвија такође у фази режима високог нивоа када је стопа трансгресије већа и продукција карбоната је не може испратити. Исти аутор наглашава значај формирања DU у тој фази јер ова дискорданца означава границу секвенце. Могу се издвојити три типа системских група високог нивоа мора (*highstand system tracts*; HST) и то: иницијални, унутрашњи и завршни (Слика 3) у зависности у ком делу секвенце се налазе.





Слика 3. Трансгресивно-регресивне фазе циклуса карбонатне платформе и одговарајуће системске групе: системска група високог нивоа мора (*highstand system tract*; HST; 1,4 и 6); системска група ниског нивоа мора (*falling-stage and lowstand system tract*; FSST и LST; 2); трансгресивна системска група (*transgressive system tract*; TST; 3 и 5) (модификовано према CATUNEANU, 2006).

После HS режима долази до регресије чиме отпочиње режим пада нивоа мора (*falling-stage system tract*; FSST) (Слика 3). Изнад првобитно формираних седимената водени стуб је мале дубине и стога свака промена у смислу смањења нивоа воде може довести до прекида седиментације али и субаерске изложености творевина. Утицај спољашњих агенаса у хумидним условима може довести до карстификације или у аридним до формирања карбонатних бреча. Овако настале дискорданце представљају границе секвенци. Због слабе продукције седимената нема довољно материјала којим би се хранили дубљи делови басена па се у тим деловима формирају углавном хемогене творевине.

Фаза којом отпочиње стварање следеће секвенце се односи на трансгресивни (Т) режим који се везује за повећање нивоа воде. Трансгресија је функцији продукције „карбонатне фабрике“ само у случају када се одвија малом брзином и када је прелаз ка HS режиму постепен, односно када му претходи мањи пад нивоа ерозионе површи. Случај када прелаз није постепен резултира потапањем „карбонатне фабрике“ и престанком депозиције.

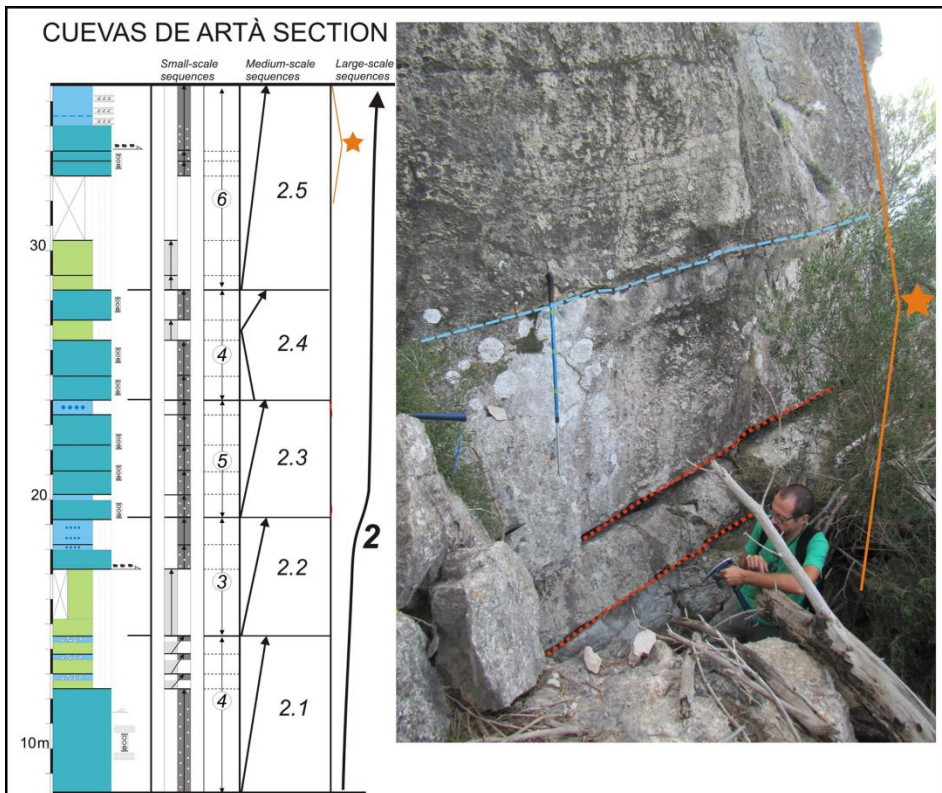
## ПРИМЕНА СЕКВЕНЦИОНЕ СТРАТИГРАФИЈЕ ВИСОКЕ РЕЗОЛУЦИЈЕ У КАРБОНАТНИМ СЕДИМЕНТИМА

Новине у области секвенционе стратиграфије су испратили бројни радови у последњих неколико година који приступају са теоријског (ZECCHIN et al., 2017; CATUNEANU, 2019) и примењеног аспекта (BOVER-ARNAL et al., 2009; BELKHEDIM et al., 2019; BONVALLET et al., 2019; SEVILLANO et al., 2019, 2020, AISNER-WILLIAMS & KERANS 2020).

У табели 2 је кроз четири категорије (област истраживања, број и дебљина стратиграфских секција, старост и методе) приказано неколико новијих радова. Фокус ових радова је на примени методе секвенционе стратиграфије високе

резолюције и делом циклостратиграфије на плитководне карбонатне седименте настале на платформама Тетиса (острво Мајорка, Швајцарски Алпи, Румунија, Трарас планине у Алжиру) током периода јуре и креде. Број секција у издвојеним радовима варира од 4 до 12 (Табела 2) и расте у складу са повећањем временског оквира (осим за BODIN et al., 2006). Како се метода примењује на мање временске опсеге током којих се прате промене, радови које се налазе у табели 2 су фокусирани на дефинисање секвенци нижег реда који су стварани током геолошких периода од 6 до 17 милиона година. Дебљина истраживаних седимената варира у опсегу од 27-1200 m.

У табели 2 су уједно представљени резултати примене метода секвенционе стратиграфије, фазијалне анализе и геохемијских метода. Секвенциона стратиграфија је у комбинацији са циклостратиграфијом у радовима дала различите резултате у зависности од циља истраживања. У складу са тим SEVILLANO et al. (2020) су издвојили осам секвенци вишег ранга, а у оквиру сваке ове секвенце разликују 3-5 секвенци средњег ранга (Слика 4). Аутори наглашавају да су се границе секвенци вишег ранга могле пратити на две или више стратиграфских секција, што није био случај са оним нижег ранга. Сваки седиментациони циклус су објаснили анализом фазија које су груписали у шест фазијалних асоцијација.



Слика 4. Узорковање и издвајање секвенци нижег реда на терену (Мајорка, Шпанија). Секвенца вишег реда обухвата пет секвенци средњег реда које су дебљине око 10-15 m. На профилу су тачкастом линијом приказане границе секвенци нижег реда а испрекиданом само површи слојевитости (SEVILLANO et al., 2020).

MIRESCU et al. (2019) су такође разликовали секвенце нижег и вишег ранга, док су BODIN et al. (2006) и BONAVALLET et al. (2019) извојили само секвенце једног

ранга. Изузетак у том контексту су BELKHEDIM et al. (2019) и POMONI and KARAKITSIOS (2016) који су разликовали симетричне и асиметричне циклусе, односно циклусе у функцији глобалних догађаја. Свако дефинисање секвенци, поред теренских опсервација, почива на анализи фација. Број препарата као и број издвојених фација зависио је од простора који је истраживан, а узорковање је у највећем броју случајева било на сваких пар десетина cm или слој по слој (Слика 4). Геохемијске анализе су се највећим делом односиле на одређивање изотопских односа угљеника и кисеоника (POMONI and KARAKITSIOS, 2016; BELKHEDIM et al., 2019; BONAVALLET et al., 2019; MIRESCU et al., 2019) и анализе садржаја фосфора (BONAVALLET et al., 2019).

Територија наше земље, као и регион, обухватају области које би погодовале за овакав тип истраживања. Динариди се у ширем смислу састоје од дебелих карбонатних седимената мезозојске старости, док су на истоку у Карпато-Балканидима развијене карбонатне јурско-кредне творевине. MIRESCU et al. (2019) су вршили истраживања карбонатних горњојурских-доњокредних творевина на простору источног дела Гетикума (такође припада подручју Тетиса), чиме су показали да на ширем простору региона постоје одговарајући геолошки услови за примену методе.

## **ЗАКЉУЧАК**

Повећање резолуције и примена секвенционе стратиграфије на карбонатним седиментима представљају важно достигнуће у области геологије у последњих двадесет година. Резолуција је унапређена у временском и просторном смислу. Од почетне временске скале од  $10^8$  година дошло се до нивоа од 100 година, док је просторна скала унапређена од нивоа који је био већи од 1000 m до нивоа од 1 метра.

Издавање високорезолутивних секвенци IV и мањег реда има исти методолошки приступ као и онај приликом издавања секвенци вишег хијерархијског нивоа и своди се на издавања краћих временских циклуса али на мањем географском подручју. Иако сама метода секвенционе стратиграфије има доста сличности са седиментологијом она се од ње значајно разликује у приступу генези седимената, депозиционим циклусима и архитектури басенског простора.

Највећа разлика између секвенционе стратиграфије у силициклоститима и карбонатима је у пореклу материјала и начину депоновања. Најбољу примену високо резолутивна секвенциона стратиграфија има у плитководним седиментима карбонатне платформе. По начину постанка ови седименти су уско повезани са променама у нивоу мора и јако су осетљиви на њих.

Значајни научни резултати секвенционо стратиграфских истраживања јурско-кредних карбоната су публиковани последњих година. Карбонатни седименти исте старости имају широко распрострањење у Карпато-Балканидима у Србији и могу представљати геолошки интересантан простор за примену ове методе. Нова сазнања и приступи на пољу ове методе отварају могућности да се дефинишу локални и глобални фактори који су контролисали процесе седиментације, што би омогућило боље разумевање настанка и еволуције карбонатних платформи на простору наше земље.

Табела 2. Примена секвенционе стратиграфије високе резолуције у карбонатима (BODIN et al., 2006; POMONI and KARAKITSIOS, 2016; MIRESCU et al., 2019; BONAVALLET et al., 2019; BELKHEDIM et al., 2019 i SEVILLANO et al., 2020). Кроз четири категорије приказани су област истраживања, број и дебљина секвенци, старост и методе.

Радови	Област истраживања	Број стратиграфских секција и дебљина истражених седимената	Старост седимената	Методе		
				Секвенциона стратиграфија	Фацијална анализа	Геохемија
SEVILLANO et al, 2020	Острво Мајорка	Четири стратиграфске секције (максимална удаљеност између секција је 25 km) Укупна дебљина 125 m	д синемур – г синемур (~6 милиона година)	Издвојено је осам секвенци вишег ранга (LS) У оквиру њих препознато је 3-5 секвенци нижег ранга Просечне дебљине LS су око 16,5 m	Шест фацијалних асоцијација: <i>tidal flat (facies 1–3), restricted lagoon (facies 4), internal bars and shoals (facies 5), and open lagoon (facies 6)</i>	//
BELKHEDIM et al, 2019	Трас планине, Алжир	Шест стратиграфских секција Просечна дебљина 60-65 m (максимална 80 m)	д пленсбах – д бат (~17 милиона година)	Симетрични и асиметрични перитајдални и тајдални циклуси су препознати	Укупно двадесетпет издвојених фација	Анализа садржаја С и О Изотопски садржај за 75 узорка
BONAVALLET et al, 2019	Швајцарски Алпи (Француска)	Дванаест стратиграфских секција Дебљина седимената је 70-310 m	г отрив – д апт (~10 милиона година)	Издвојено осам секвенци	Анализирано више од 1958 препарата	Анализа садржаја С и О (изотопски садржај за 1958 узорка) Анализа садржаја Р (1182 узорка)
MIRESCU et al, 2019	Источни део Гетских навлака (Румунија)	Седам стартиграфских секција Дебљина седимената је 160-1200 m	кимериц - валендин (~13 милиона година)	У оквиру двадесет секвенци "средњег" ранга издвојена је 71 секвенца нижег ранга	Укупно двадесетседам типова литофација (1163 узорка са резолуцијом узорковања м до цм)	Анализа садржаја С и О (изотопски садржај за 37 узорка)
POMONI and KARAKITSIOS, 2016	Грчка, екстерни део Хеленида	Дебљина седимената је 27 m	г лијас (пар милиона година)	Издвојено је 10 циклуса Укључена су и три глобална догађаја: екстензија у области Тетиса и две биотске кризе	Анализирано 53 узорка	ХРД- одређивање степена доломитизације
BODIN et al, 2006	Источни део Швајцарске	Једанаест стратиграфских секција Максимална дебљина ~60 m	г отрив – д барем (2-3 милиона година)	Дефинисане четири секвенце	Седам типова фација	//

## SUMMARY

From the 70s and the development from the seismic stratigraphy - sequence stratigraphy has become powerful tool in modern scientific research. Science has encouraged the development of the method and biggest advances can be seen in resolution improvement and application of the original siliciclastic model to other types of sediments. The transition from low-resolution data (seismic profiles) to high-resolution (outcrops, cores, geological sections) has enabled geologists outside the industry to implement the method without hindrance. Probably the most suitable sediments for the application of high-resolution sequence stratigraphy are carbonates. In the last twenty years, several papers dealing with this issue have been published.

The Jurassic-Cretaceous period stands out as a particularly interesting time in geological history, when a large part of the planet was covered by the sea. The method of high-resolution carbonate sequence stratigraphy has been shown to give the best results in shallow carbonate platform environments since these sediments are very sensitive to sea level changes. In Serbia and neighboring countries, Mesozoic age carbonate platform sediments can be found in the orogenic belts of the Carpatho-Balkanids and Dinarides. Sequence stratigraphy research of these sediments in our area would enable regional and local correlations and could serve for paleogeographic reconstructions.

## ЛИТЕРАТУРА – REFERENCES

- AISNER-WILLIAMS, R. & KERANS, C. 2020. *Facies and sequence stratigraphic architecture of the Mural Limestone (Albian), Arizona: Carbonate response to global and local factors and implications for reservoir characterization*. *Sedimentology*. 67. pp.1-34.
- BELKHEDIM, S., JAROCHOWSKA, E., BENHAMOU, M., NEMRA, A., RADOUANE, S. & MUNNECKE, A. 2019. *Interplay of Autogenic and Allogenic Processes On the Formation of Shallow Carbonate Cycles in a Synrift Setting (Lower Pliensbachian, Traras Mountains, NW Algeria)*. *Journal of Sedimentary Research*. 89. pp.784-807.
- BODIN, S., GODET, A., VERMEULEN, J., LINDER, P. & FÖLLMI, K.B. 2006A. *Biostratigraphy, sedimentology and sequence stratigraphy of the latest Hauterivian – Early Barremian drowning episode of the Northern Tethyan margin (Altmann Member, Helvetic nappes, Switzerland)*. *Eclogae Geologicae Helvetiae* 99, 157–174
- BONVALLET, L., ARNAUD-VANNEAU, A., ARNAUD, H., ADATTE, T., SPANGENBERG, J., STEIN, M., GODET, A. & FÖLLMI, K. 2019. *Evolution of the Urgonian shallow-water carbonate platform on the Helvetic shelf during the late Early Cretaceous*. *Sedimentary Geology*. 387. 10. pp.18-56.
- BOVER-ARNAL, T., SALAS, R., MORENO-BEDMAR, J.A. & BITZER, K. 2009. *Sequence stratigraphy and architecture of a late Early–Middle Aptian carbonate platform succession from the western Maestrat Basin (Iberian Chain, Spain)*. *Sedimentary Geology*. Vol.219. pp. 280-301.
- CATUNEANU, O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, pp. 375.
- CATUNEANU, O. 2019. *Scale in sequence stratigraphy*. *Marine and Petroleum Geology*. 106. pp.128-159.
- GALLOWAY, W.E. 1989. *Genetic stratigraphic sequences in basin analysis, I. Architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units*. AAPG (Am. Assoc. Pet. Geol.) Bull. 73, pp.125–142.

- HANDFORD, C.R. and LOUCKS, R.G. 1993, *Carbonate depositional sequences and systems tracts - responses of carbonate platforms to relative sealevel changes*, in LOUCKS, R.G. and SARG, J.F., eds., *Carbonate sequence stratigraphy – recent developments and applications: American Association of Petroleum Geologists Memoir 57*, p.3-41.
- HUNT, D. and TUCKER, M.E. 1992. *Stranded parasequences and the forced regressive wedge systems tract: deposition during base-level fall*. *Sediment. Geol.* 81, pp.1–9.
- JOHNSON, J.G. & MURPHY, M.A. 1984. *Time-rock Model for Siluro-Devonian Continental Shelf, Western United States*, vol. 95. *Geological Society of America Bulletin*, pp.1349–1359.
- KENDALL, C.G.ST.C. and SCHLAGER, W. 1981, *Carbonates and relative changes in sea level: Marine Geology*, v. 44, p. 181-212.
- KENTER, J.A.M., HARRIS, P.M. AND DELLA PORTA, G. 2005, *Steep microbial boundstone-dominated platform margins – examples and implications: Sedimentary Geology*, v. 178, p. 5 - 30.
- KERANS, C. and TINKER, S.W. 1999, *Extrinsic stratigraphic controls on development of the Capitan reef complex*, in SALLER, A.H., HARRIS, P.M., KIRKLAND, B.L. and MAZZULLO, S.J. eds., *Geologic framework of the Capitan Reef: SEPM (Society of Sedimentary Geology) Special Publication No. 65*, p. 15-36.
- LONGWELL, C.R., 1949. *Sedimentary facies in geologic history*. *Geological Society of America Memoir 39*, 171.
- MIRCESCU, C., BUCUR, I., EMANOIL, S., PLEȘ, G., UNGUREANU, R. AND OPRISA, A. 2019. *Facies evolution of the Jurassic-Cretaceous transition in the Eastern Getic Carbonate Platform, Romania: Integration of sequence stratigraphy, biostratigraphy and isotope stratigraphy*. *Cretaceous Research*. 99.
- MITCHUM, JR., R.M., VAIL, P.R. AND THOMPSON III, S. 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis*. In: In: Payton, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration*, vol. 26. *American Association of Petroleum Geologists, Memoir*, pp.53–62.
- POMONI-PAPAIOANNOU, F. and KARAKITSIOS, V., 2016. *Sedimentary facies analysis of a high-frequency, small-scale, peritidal carbonate sequence in the Lower Jurassic of the Tripolis carbonate unit (central western Crete, Greece): Long-lasting emergence and fossil laminar dolocretes horizons*. *J. Palaeogeogr.* 5, 241–257.
- POSAMENTIER, H.W. and ALLEN, G.P., 1999. *Siliciclastic sequence stratigraphy: concepts and applications. Concepts in sedimentology and Paleontology*, vol. 7. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM)*. 210.
- READ, J.F. 1995. *Overview of carbonate platform sequences, cycle stratigraphy and reservoirs in greenhouse and ice-house worlds, Part 1*, in J.F.
- ROKSANDIĆ, M. 2001. *Stratigrafska interpretacija reflektivno-seizmičkih podataka: principi, problemi i primeri*. DIT NIS-Naftagas, Novi Sad, 133.
- SARG, J.F., 1988. *Carbonate sequence stratigraphy*. In: WILGUS, C.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, C.G.ST.C., POSAMENTIER, H.W., ROSS, C.A., VAN WAGONER, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes -An Integrated Approach*. *Special Publication*, vol. 42. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM)*, pp. 155–181.
- SCHLAGER, W. 2005. *Carbonate Sedimentology and Sequence Stratigraphy*. *SEPM Concepts in Sedimentology and Paleontology #8*, pp.200.
- SCHLAGER, W. 1981, *The paradox of drowned reefs and carbonate platforms: Geological Society of America Bulletin*, v. 92, p. 197–211.

- SEVILLANO, A., BÁDENAS, B., ROSALES, I., BARNOLAS, A., & LOPEZ-GARCIA, J. 2020. *Orbital cycles, differential subsidence and internal factors controlling the high-frequency sequence architecture in a Sinemurian shallow carbonate platform (Mallorca Island, Spain)*. *Sedimentary Geology*. pp.407.
- SEVILLANO, A., ROSALES, I., BÁDENAS, B., BARNOLAS, A., LÓPEZ-GARCÍA, J.M., 2019. *Spatial and temporal facies evolution of a Lower Jurassic carbonate platform, NW Tethyan margin (Mallorca, Spain)*. *Facies* 65, 3. pp.34.
- SLOSS, L.L., KRUMBEIN, W.C. AND DAPPLES, E.C., 1949. *Integrated facies analysis*. In: LONGWELL, C.R. (Ed.), *Sedimentary Facies in Geologic History*. vol. 39. Geological Society of America Memoir, pp.91–124.
- VAIL, P.R., MITCHUM JR., R.M., THOMPSON III, S., 1977. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part: relative changes of sea level from coastal onlap*. In: PAYTON, C.E. (Ed.), *Seismic Stratigraphy Applications to Hydrocarbon Exploration*. Memoir, vol. 26. American Association of Petroleum Geologists, pp. 63–81.
- VAN WAGONER, J.C., POSAMENTIER, H.W., MITCHUM, R.M., VAIL, P.R., SARG, J.F., LOUTIT, T.S. AND HARDENBOL, J., 1988. *An overview of sequence stratigraphy and key definitions*. In: WILGUS, C.K., HASTINGS, B.S., KENDALL, C.G.STC., POSAMENTIER, H.W., ROSS, C.A., VAN WAGONER, J.C. (Eds.), *Sea Level Changes—An Integrated Approach*. vol. 42. SEPM Special Publication, pp.39–45.
- ZECCHIN, M., CATUNEANU, O. & CAFFAU, M. 2017. *High-resolution sequence stratigraphy of clastic shelves V: Criteria to discriminate between stratigraphic sequences and sedimentological cycles*. *Marine and Petroleum Geology*. 85.