

## Дискусия

### Прекамбрийски обдуцирани серпентинити в Родопския масив

Евгения Кожухарова

Геологически институт, Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 24, София 1113

### Precambrian obducted serpentinites in the Rhodope Massif

*Evgenia Kozhoukharova*

Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria;  
E-mail: [ekozhoukharova@abv.bg](mailto:ekozhoukharova@abv.bg)

**Abstract.** The Precambrian metamorphic complex in the Rhodope Massif is built of two lithostratigraphic units: the lower is an ancient granite-gneiss continental crust – Prarhodopian Group (PRG), and the upper one – a Neoproterozoic metamorphosed volcano-sedimentary rock complex – Rhodopian Group (RG). The lower stratigraphic levels of the RG are occupied by an ophiolitic association consisting of serpentinites, amphibolites, and metagabbros. The serpentinites constantly occupy the same level between the continental gneisses surface of the PRG and the base of the RG. The high degree of serpentinitization (85–95%) indicates low temperature hydration metamorphism on the surface of an ultrabasic ocean plate. The formation of the Rhodope ophiolitic association has taken place in a Neoproterozoic supra-subduction zone in three stages: a. serpentinitization at the ocean floor; b. obduction of serpentinite fragments, scraped from soft and plastic hydrated coat of the sliding ultrabasic plate; c. SSZ-type autochthonous Neoproterozoic (610–566 Ma) basic volcanism, including and covering serpentinite bodies. This determines a heterogeneous nature of the ophiolitic association. The lower granite-gneiss complex – PRG may have been a part of some microcontinent after the breaking of the supercontinent Rodinia. The formation of a supra-subduction zone – SSZ and the obduction of serpentinite fragments started during ocean closure preceding the amalgamation of supercontinent Gondwana.

**Keywords:** serpentinites, supra-subduction zone, obduction, Rhodope Massif, Precambrian.

**Резюме.** Прекамбрийският метаморфен комплекс в Родопския масив е изграден от две литостратиграфски единици: долната е древна гранитогнайсва континентална кора – Прародопска група (PRS), и горната – неопротерозойски метаморфозирани вулcano-сидиментен комплекс – Родопска група (RS). Ниските стратиграфски нива на Родопската група са заети от офиолитова асоциация, съставена от серпентинити, амфиболити и метагабра. Серпентинитите винаги заемат едно и също ниво между континенталната гнайсва повърхност на PRG и основата на RG. Високата степен на серпентинизация (85–95%) указва за извършен нискотемпературен хидратационен метаморфизъм на повърхността на ултрабазична океанска плоча. Създаването на Родопската офиолитова асоциация в неопротерозойска супрасубдукционна зона е протекло в три етапа: а. серпентинизация в океанското дъно; б. обдукция на серпентинитови фрагменти, остъргани от меката пластична хидратизирана покривка на плъзгащата се ултрабазична плоча; в. автохтонен SSZ-тип неопротерозойски (610–566 Ma) базичен вулканизъм, който включва и покрива серпентинитовите тела. Това определя хетерогенен характер на офиолитовата асоциация. Долният гранитогнайсва комплекс – PRG, вероятно е бил част от някой микроконтинент след разпадането на суперконтинента Родиния. Формирането на супрасубдукционната зона – SSZ и обдукцията на серпентинитовите фрагменти започва при затваряне на океан, предшестващо амалгирането на суперконтинента Гондвана.

**Ключови думи:** серпентинити, супрасубдукционна зона, обдукция, Родопски масив, Прекамбрий.

## Въведение

Офиолитовите асоциации са главен елемент в изграждането на Земната кора. Те бележат пространства и времена на активни тектонски движения, съчетани със значителни веществени преобразувания. За разлика от магматизма

и седиментацията, изучавани от столетия, истинското всестранно изследване на офиолитите започна успоредно с утвърждаването на новата парадигма на тектониката на плочите и изследването на океанските дъна. Затова общата концепция за генезиса, механизма на внедряване в кората и последователността в развитието на

офиолитовите асоциации все още е в процес на доизграждане и уточняване.

Интересът към офиолитите и техния произход обаче винаги е бил голям. Той започва със серпентинитите – нискотемпературни скали, които съжителстват с базични магматити или още по-непонятно – с високотемпературни метаморфни скали: амфиболити, еклогити, пироксенити, шисти, мрамори, гнайси и мигматити. Основният въпрос – хидратацията на ултрабазичните скали до серпентинити, се обсъжда продължително в различни хипотези: автосерпентинизация от собствената магма (Lodochnikov, 1936; Hess, 1938), всмукване на вода от околните скали, гранитови интрузии или при зеленошистен метаморфизъм (Marakushev, 1973), докато се утвърди убеждението за единствено възможната серпентинизация в океански басейни в близост до рифтови зони (Coleman, 1977), потвърдено и от съвременните изследвания (Deschamps et al., 2013 и други автори).

Първото обобщение на офиолитовия проблем е Триадата на Steinmann (1927), която обединява трите типа скали: серпентинизирани перидотити, габра/диабазити и вулканити в обща геосинклинална комагматична асоциация. Еволюцията на офиолитовата концепция, проследена от Dilek (2003), преминава през противоречиви интерпретации на теренната и геохимичната информация, дебатирани между многобройните изследователи, достигайки до т. нар. Дефиниция на Пенроузката теренна конференция от 1972 г. (Anonymous, 1972). Дефиницията, базирана на плейттектонската парадигма, представя офиолитите като псевдостратиграфска последователност отдолу нагоре: 1) серпентинизирани тектонизирани ултрабазични скали; 2) габроидни кумулати; 3) базични „шиитит“ дайки; 4) базични пилоу-вулканити; 5) асоцииращи седименти, кварцити, фелзити и др. Контактите между скалите обикновено са тектонски. Пенроузката дефиниция не разглежда механизма на разполагане на офиолитовите тела. Въвеждането на идеята за „обдукция“ на серпентинитови фрагменти (Coleman, 1971, 1977) върху континенталните крайнини разширява значително офиолитовата концепция.

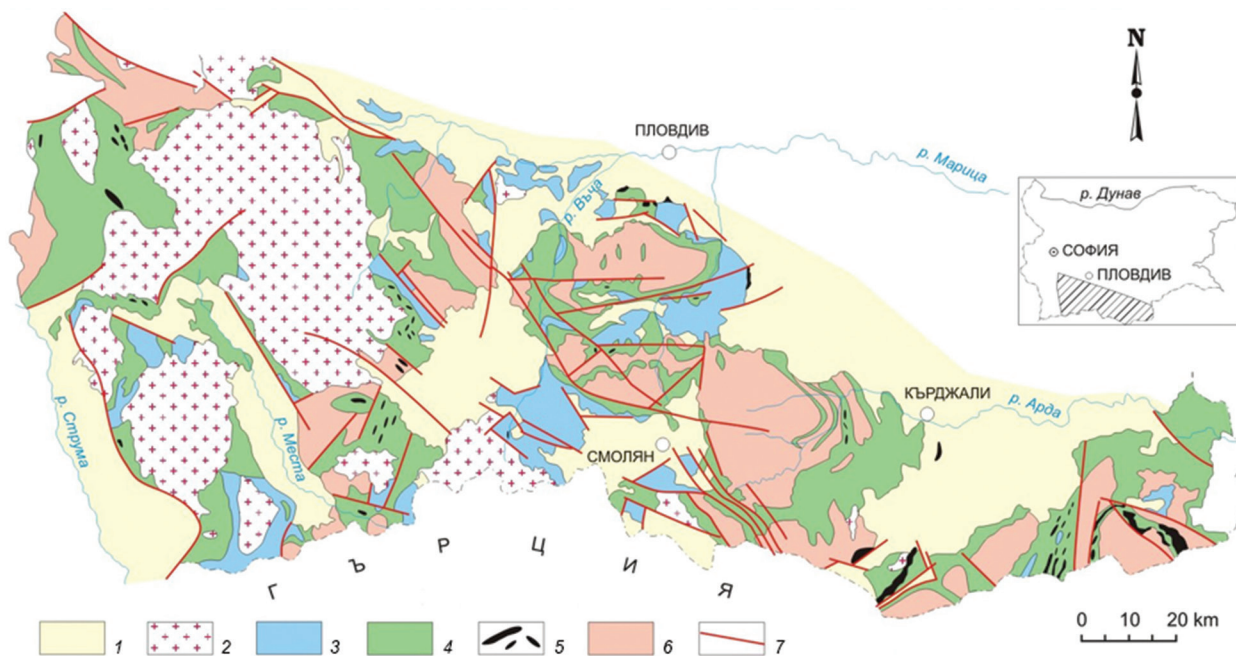
Последвалите изследвания на различни офиолитови терени и изводи от конференции изтъкват: сложната тектонска и геодинамична ситуация, общите черти и същевременно неповторимостта на всеки земен участък, както и широката времева продължителност от Архая до днес. Офиолити присъстват и в Родопския масив, представени от основните три вида: серпентинити, метагабродиабазити и базични метавулканити. Геологията на офиолитовата асоци-

ация от Родопския масив е незаслужено слабо отразена в световната литература. Родопската офиолитова асоциация, обаче притежава някои отличителни черти, които ѝ придават своеобразна уникалност: 1) постоянно стратиграфско положение в метаморфния комплекс – важно обстоятелство при интерпретациите за нейния произход и 2) разнообразни прояви на метаморфизъм, наложени върху първичните скали, което превръща офиолитовата асоциация от Родопите в специфичен пример за древна скална формация. Необходим е актуализиран преглед на отделни страни от геологията на офиолитите в Родопския масив и критично преосмисляне на данните за нея в светлината на най-новите концепции.

Статията е фокусирана предимно върху стратиграфското положение на серпентинитите в офиолитовата асоциация и в метаморфния комплекс. Прави се опит на тази база да се посочат детайли от създаването им в океанското дъно и механизма на имплантиране към континенталната кора.

## Геоложка обстановка

Родопският кристалинен масив (фиг. 1) е част от Моравско-Родопската тектонска единица, разположена между Динарско-Хеленидния и Балканидния клон на Алпийския ороген, което определя продължителния му тектонометаморфен живот – от Прекамбрия до днес. Офиолитовата асоциация в Родопския масив участва в общата стратиграфска последователност на кристалинния фундамент. Последният представлява единна стратиграфска постройка от два разновъзрастни, с различна литология, скални комплекса (Vergilov et al., 1963): долен – Прародопска надгрупа (PRS) и горен – Родопска надгрупа (RS) (Kozhoukharov, 1984, 1988). В настоящата статия разглеждаме тези две надгрупи в техния ревизиран вид, акцентиран главно върху литологията и корелацията им, предложен през 2008 г. (Kozhoukharova, 2008), където се потвърждава основната теза за два разновъзрастни и с различна литология метаморфни комплекса, но се представя нова визия за т.нар. пъстри свити, считани за една обща. Заключениеята се базират освен на данните от кондиционното геоложко картиране в Западните, Централните и Източни Родопи в М 1:25 000, с пряко участие на автора, също на самостоятелно извършените допълнителни детайлни картировки и профилни изследвания в М 1:5000 и М 1:10 000, резултатите от които са представени в публикации (Kozhoukharova, 1972, 1987, 1998, 1999;



**Фиг. 1.** Геоложка карта на метаморфния комплекс в Родопския масив (по Kozhoukharova, 2008, Fig. 7)

1 – Неозой; 2 – гранити; 3–5 – Родопска група (3 – мрамори, 4 – пъстра свита с офиолити, 5 – серпентинити); 6 – Прародопска група (гнайси, гранитогнайси, мигматити); 7 – разломи

**Fig. 1.** Geological map of the metamorphic complex in the Rhodope Massif (after Kozhoukharova, 2008, Fig. 7)

1, Cenozoic; 2, granites; 3–5, Rhodopian Group (3, marbles, 4, variegated formation with ophiolites, 5, serpentinites); 6, Prarhodopian group (gneisses, granite-gneisses, migmatites); 7, faults

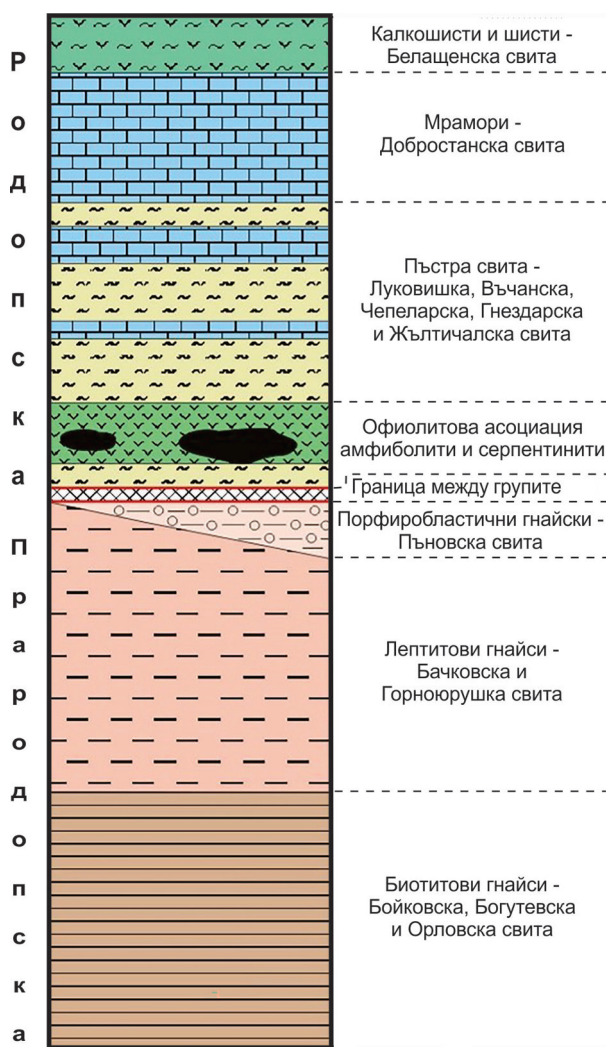
Pristavova, Kozhoukharova, 1999). В настоящата статия са внесени изменения относно ранга на надгрупите и пояснения за номенклатурата на някои от литостратиграфските единици при запазване на приетите вече имена (Kozhoukharov, 1988). Литостратиграфските единици досега носят различни имена в отделни локалитети, което е отразено в приложената генерализирана стратиграфска колонка (фиг. 2).

Прародопската група е типичен континентален гранитогнайсов комплекс, съставен от биотитови, двуслюдени, лептитови и порфиروبластични гнайси, гранитизирани и мигматизирани в различна степен, съдържащи пластове и тела от гранитогнайси. В комплекса неколкратно са прониквали пегматитови и аплитови послойни и секущи жили, деривати на по-късно внедрени разновъзрастни гранитови плутони. Скалите се характеризират с гранодиоритова геохимична сигнатура. Отделят се три латерално издържани литостратиграфски единици във възходящ ред: Бойковска свита (биотитови гнайси), Бачковска свита (лептитови гнайси) и Пъновска свита (порфиروبластични гнайси). Последната е развита отчетливо в Източните и Западните и по-слабо в Централните Родопи.

Родопската група е първичен вулканогенно-седиментен комплекс, отложен нормално трансресивно върху Прародопската група и метаморфозиран в амфиболитов фациес в разнообразни по състав метаморфни скали. Поделя се на три свити: Луковишка пъстра свита, Добростанска мраморна свита и Белашенска карбонатно-силикатна свита (Kozhoukharova, 2008).

Предпочетени са имената на свитите, въведени за Севернородопската антиклинала (с изключение на Пъновската) по следните съображения: а) поделянето на цялата последователност по литоложки принцип беше извършено най-напред в този район (Boyanov, Kozhoukharov, 1961; Kozhoukharova, Kozhoukharov, 1962); б) представен е пълният вертикален профил от Бойковската до Белашенската свита без съществени тектонски нарушения; в) мигматизацията върху гнайсите е много по-слабо развита в сравнение с тази в Мадан-Давидковското подуване, което е запазило скалите и взаимоотношенията им по-близо до техния ранен облик.

Офиолитовата асоциация заема ниските стратиграфски нива на Луковишката пъстра свита, често в алтернация с метаседиментите, като последните доминират в по-високите части



Фиг. 2. Стратиграфска колонка на метаморфния комплекс в Родопския масив (по Kozhoukharova, 2008, Fig. 4)

Fig. 2. Stratigraphic column of the metamorphic complex in the Rhodope Massif (after Kozhoukharova, 2008, Fig. 4)

от профила на свитата. Самите серпентинити са разположени в основата на единицата, често директно върху гнайсите на Прародопската група, обикновено покрити и включени в амфиболити.

В общия структурен план на масива доминират отчетливо гънковите структури – линейни и куполни антиклинали, между които са разположени сравнително по-тесни синклинали, често силно притиснати между позитивните структури. В Централните Родопи гънките имат подчертано двупосочна – север-юг и изток-западна ориентация, докато в Източните и Западните Родопи те изменят посоката си съответно: югозапад-североизток и югоизток-северозапад (фиг. 1). Конфигурацията на гънките е естествено изразена чрез самите стратиграфски взаимоотношения

и очертания на литоложките разновидности. В ядрата на антиклиналите се разполагат гнайсите на Прародопската група, а в крилата им – Луковишката пъстра и Добростанската мраморна свита. Синклиналните пространства са заети от скалите на Родопската група, където са и офиолитите. Неголеми епидермални навлачни структури са известни в Централните Родопи – т. нар. Среднородопски навлак, както и отделни малки клипи в северната част на Централните и в Източните Родопи.

Burg (Burg et al., 1990; Burg 2011) лансира различна идея за строежа на кристалинния фундамент, определяйки го като млада алпийска навлачна постройка от „купчина“ различни скални пластини, споделена също от някои български геолози. В литературата обаче не се появиха фактологически аргументирани конкретни текстови и графични материали: карти, профили, колонки на „навлачните скални пластини“, ако те действително присъстват като реални физически тела, с изключение на няколко общи скици (Ivanov, 1988) на дискордантни клинове, разделени от (оказали се несъществуващи) юрско-кредни и палеогенски седименти. В интерпретацията на авторите е заложена методична и теоретична грешка, като се придава на разривните микродеформации (shear-in-sense criteria) значение от по-висок ранг и по този начин очевидните регионални пластични гънкови структури се заменят с навлечени скални пластини.

Sarov et al. (2004) се отказват от литостратиграфския подход в изследването на метаморфния фундамент и представят последния като отделни, неопределени като геоложко понятие „литотектонски“ единици. Избраната методика на поделяне на кристалина, обаче, не дава възможност да се корелират скалните формации и да се изгради единна стратиграфска схема, с което се загубва общата представа за строежа на масива.

За момента единствена цялостна структурно-литоложка схема за строежа и състава на кристалинния фундамент е представена в Геоложката карта на България в М 1:100 000, обобщила геоложката информация до 1990 г. Тя следва класическите принципи на всестранно теренно и лабораторно изследване, заложените от първите изследователи на метаморфните комплекси Георги Бончев и Страшимир Димитров, продължени и разработени на литостратиграфска и петрографска основа от Vergilov et al. (1963), Kozhoukharov (1988), Zagorchev (2008), Kozhoukharova (2008) и колектива, извършил геоложкото картиране. Един важен проблем от стратиграфията на кристалина е броят на първично заложените пъстри свити, за които в стратиграфските схеми са посочени повече от две.

Тъй като въпросът има пряко отношение към разглеждания тук проблем – стратиграфското положение на серпентинитите в Луковишката пъстра свита, се налага накратко да се припомнят данните за положението на пъстрите свити и въведените корекции към Геоложката карта в М 1:100 000 след целенасочени детайлни изследвания в отделни участъци (Kozhoukharova, 2008). В Източните Родопи т. нар. Ботурчанска група (Гнездарска и Жълтичалска пъстра свита) са в лежаща гънка, което опровергава принадлежността ѝ към Прародопската група и съответства на Луковишката пъстра свита от Родопската група (Kozhoukharova, 1999). Въчанската свита по долината на р. Въча не изгражда „коруба“, а флексурно синклинално понижение сред гнайсите на Прародопската група. Въпреки че сложната геология по долината на р. Въча остана недоизяснена и след по-детайлното картиране в М 1:50 000 през 90-те години, при проследяване по долината, се установява единство между отделените като Чепеларска, Въчанска и Луковишка свита. Допълнителен тектонски аргумент е изразеното срязване на западната част на Севернородопската и Среднородопската антиклинала (фиг. 1). Профилът по долината на Чепеларска река между с. Хвойна и гр. Чепеларе, усложнен от вътрешни гънки, тектонски зони и интензивната мигматизация на т. нар. Богутевска свита, не представя неоспорими аргументи за присъствие на три последователни пъстри свити (Чепеларска, Въчанска и Луковишка) в смисъл на първично заложен вулканогенно-седиментни формации, което рефлектира и върху основанието за отделяне на Рупчовската група като отделна стратиграфска единица. В Западните Родопи полегналата Дебренска синклинала (Kozhoukharova, 1987) създава повтаряне на части от профила и илюзия за две пъстри свити. Корекции бяха направени и в Ардинския район на Централните Родопи, където една неголяма полегнала синклинала по долината на Егри Деро също причинява повтаряне на скалите от Луковишката пъстра свита в стратиграфската последователност (Pristavova, Kozhoukharova, 1999).

В заключение, поддържам извода за единство на Луковишката пъстра свита в целите Родопи. Вследствие гънковата и разривната тектоника на много места тя се повтаря в профила, поради което носи различни имена в отделните локалитети.

## Офиолитова асоциация

Офиолитовата асоциация е представена широко в Източните и Западните Родопи, докато в Централните нейното участие е ограничено. Заема

ниските стратиграфски нива на Родопската група. Офиолитите алтернират с шисти, кварцити, калкошисти и мрамори. В Източните Родопи (фиг. 3) серпентинитите заемат значителен дял от общия обем на асоциацията, докато в Западните Родопи амфиболитите покриват широки площи и преобладават над серпентинитите.

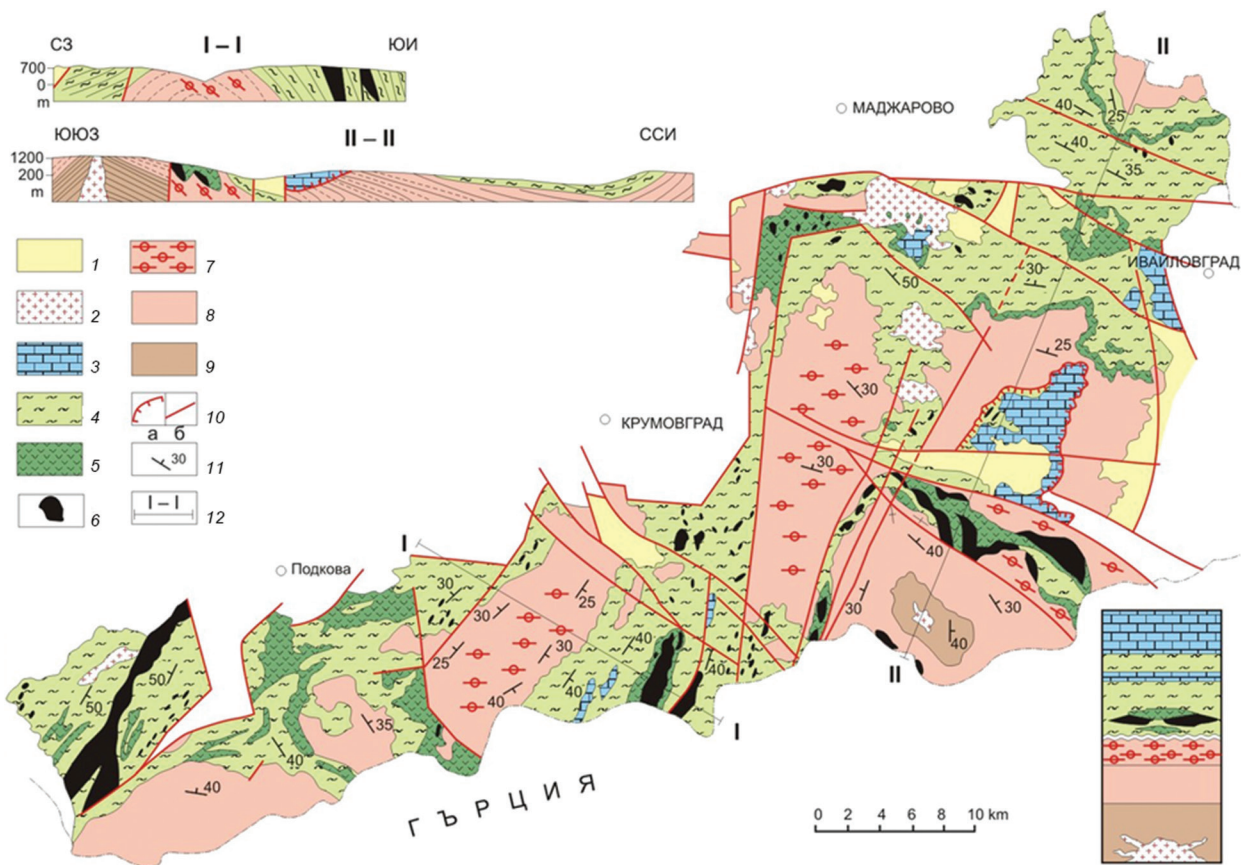
Първичните скали за офиолитовата асоциация са представлявали: а) серпентинити; б) високо до нормално магнезиеви толеитови вулканикти, с редки появи на пикритови разновидности, туфи и туфити; в) субинтрузивни габродиабази. Върху тях е наложен: а) регионален метаморфизъм в среднотемпературен амфиболитов фациес; б) локални прояви на еклогитов фациес по геотриболожки зони; в) метасоматични изменения, свързани с пегматит-аплитови и гранитови жили. Метаморфните скали по офиолитите са извънредно разнообразни: талк-хлорит-актинолит/тремолитови шисти, магнетит-хлоритови шисти, разнообразни биотитови, гранатови, рутилови, епидотови амфиболити с шистозна или масивна текстура, джеспилити, гондити, метагабра и метадиабази, еклогити, метаморфни пироксенити и гранатови лерцолити, фелдшпатизирани в различна степен мигматизирани амфиболити, метасоматични габроиди по серпентинити и други (Kozhoukharova, 1985, 1999).

## Серпентинити

Серпентинитите са постоянен елемент в офиолитовата асоциация. Те изграждат различни по размери тела – от тънки лещи с метрови размери до огромни удължени тела и мегабудини с дължина до 10–12 km. Най-големите тела се разкриват в Източните Родопи – района на Белоречкото подуване, Авренската синклинала и Дранговския хорст (фиг. 3). Серпентинитите в Западните Родопи формират неправилни и пластовидни тела сред амфиболитовата маса.

Серпентинитите поддържат постоянно стратиграфско положение във всички части на Родопите. Те определено заемат най-ниското ниво в офиолитовата асоциация (фиг. 2). Някои от големите тела лежат непосредствено върху лептировите гнайси на Прародопската група. На други места между тях и гнайсите се появяват тънки дециметрови пластове от мрамори, шисти или амфиболити. Малки метрови лещи и къси пластове от серпентинитите се срещат и в по-горни нива.

Съставът на серпентинитите е представен от лизардит-хризотил във вътрешността на големите тела и антигорит по периферията. Лизардитът е запазен в клетките на характерната решетеста структура, оконтурени от хризотилови



**Фиг. 3. Геоложка карта на метаморфния комплекс в Източните Родопи**

1 – Неозой; 2 – разновъзрастни гранити; 3 – мрамори; 4 – пъстра свита (редуване на шисти и амфиболити); 5 – амфиболити; 6 – серпентинити; 7 – порфиروبластични гнайси; 8 – двуслюдени и биотитови лептинити; 9 – биотитови гнайси; 10 – разломи (а – навлак, b – разсед); 11 – елементи на ориентировка; 12 – профилна линия

**Fig. 3. Geological map of the metamorphic complex in the Eastern Rhodopes**

1, Cenozoic; 2, granites of varied age; 3, marbles; 4, variegated formation (alternation of schists and amphibolites); 5, amphibolites; 6, serpentinites; 7, porphyroblastic gneisses; 8, two-mica and biotite leptinites; 9, biotite gneisses; 10, faults (a, thrust, b, normal fault); 11, elements on orientation; 12, line of geological cross-section

„шнурове“ с праховиден до финозърнест магнетит. Малките пластообразни и лещовидни тела са изградени изцяло от антигорит и хризотил. Реликтите от оливин, бастит и хромит не превишават 10–15%. Високата степен на серпентинизация (хидратация) на първичните перидотити е указание за претърпян нискотемпературен хидротермален метаморфизъм, възможен само при продължителен престой във воден басейн. Редица съвременни изследователи на океанските дъна в близост до Атлантическия срединно-океански хребет (Deschamps et al., 2013) описват подробно образуването на серпентина като покривка на първичните базични/ултрабазични скали от океанското дъно, която може да достигне дебелина, надвишаваща километър. Този факт оборва всички предишни хипотези за ав-

тосерпентинизация, зеленошистен метаморфизъм, дълбочинни протрузии и др., с които дълго време се обясняваше серпентинизацията, и е най-сигурното доказателство за океанския произход на серпентинитите. При литификацията на серпентинитите в континентални условия се появява характерната решетеста структура, а антигоритовите и различните талк-хлорит-актинолитови шисти се развиват по периферията на серпентинитовите тела по време на регионалния метаморфизъм.

#### Амфиболити и метагабродиабази

Амфиболитите изграждат различни по дебелина конкордантни пластовете с масивна или шис-

тозна текстура и основен състав: обикновен амфибол с хейстингситова, еденитова, чермакитова и актинолитова компонента и андезин. Допълнителни съставки в променливи количества са: биотит, епидот, пиемонтит, цоизит, гранат, кварц, рутил, магнетит. Алтернират с шисти и калкошисти. Метагабродиабази с реликтова магматична структура и масивна текстура, съдържащи включения от лептитови гнайси, изграждат на места субинтрузивни тела и дайки, пресичащи гнайсите на Прародопската група. Цялостната геоложка, петрографска и геохимична характеристика доказва автохтонния магматичен характер на скалите като метаморфизирани базични вулканити, туфи и туфити, свързани със субинтрузивни аналогични разновидности.

### Супрасубдукционна зона и обдукция на серпентитови фрагменти

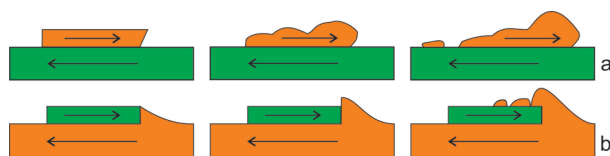
Супрасубдукционните зони в земната кора са грандиозни тектонски зони на триене, генератори на огромна енергия и значителни деформационни и веществени преобразувания, формирани между континентални и океански скални плочи в насрещно движение. Тук ще обърнем внимание само на процесите в една супрасубдукционна зона, която се създава на конвергентните граници между континентална и океанска плоча при затваряне на океаните и която има отношение към обдукцията на серпентинитите.

В чисто физичен смисъл, субдукцията е относително движение между две тела в неравномерно прекъснато плъзгане и триене при екстремно високо съпротивление. При подобни обстоятелства се създават условия за преразпределение и изменение на плътността на енергията, както и поява на различни деформации с пластично течение на маса. Всяко спиране и подновяване на плъзгането става „с със скок“, което предизвиква редуване на статична и динамична енергия и рязка промяна на напрежението в телата. В конвергентния контакт действат сили на компресия и деформация на материята с тенденция към уплътняване и концентрация, а в дивергентния – сили на екстензия, съпроводени с изтъняване и разкъсване на материята. Многобройни експериментални и теоретични разработки (Challen et al., 1984; Varnes et al., 1993 и др.) доказват, че видът на деформацията е пряко зависим от реологичните свойства на двете тела, като по-твърдото притиска, остъргва, дори откъсва части от по-вискозното. Например, ако долното тяло е по-твърдо, а горното – по-меко и пластично, де-

формацията засяга предимно горното тяло, като е изразена в натрупване на маса и удебеляване в предната му челна част, и съответно – изтъняване в противоположната (фиг. 4а). В случай, че долното тяло е меко и пластично, а горното – твърдо, то последното ще действа агресивно, остъргвайки (по ефекта на рендето) късове от долното тяло, които могат да се прехвърлят върху горното (фиг. 4б).

Аналогични процеси протичат в една супрасубдукционна зона. В етапи на затваряне на океаните, сблъсъкът между континент и серпентинизирана ултрабазична океанска плоча съответства на примера, показан на фигура 4б. Ръбът на гранитогнайсовия континент остъргва фрагменти от мекия серпентинизиран слой на океанската плоча, които се прехвърлят – обдуцират върху крайните части на континента (фиг. 5а). В същото време, океанската плоча продължава потъването, съпроводено със силно триене и повишаване на температурата и налягането. Достигайки определени дълбочини, във фрикционното пространство се появяват отделни огнища от топилки. Последните пресичат по канали континенталната кора и се изливат като вулканити върху обдуцираните серпентинити (фиг. 5б).

В Родопския масив взаимоотношенията между серпентинитите и амфиболитите са сравними с този модел. Високата степен на серпентинизация е безспорно доказателство за океанския произход на серпентинитите, образувани като слой от мека серпентинитова глина върху предполагаема древна перидотитова океанска плоча. Въвлечени в супрасубдукционната зона, те, по механизма на обдукцията, се прехвърлят върху повърхността на гранитогнайсовата Прародопска

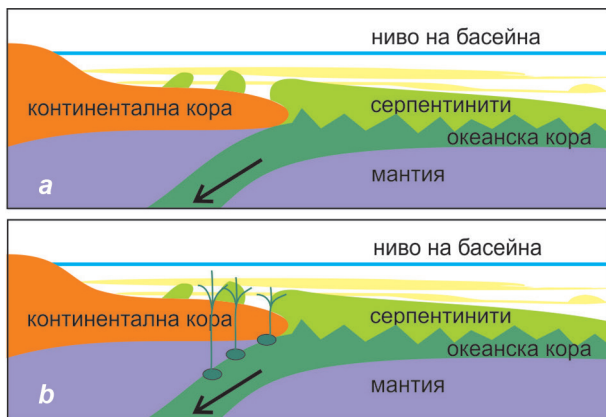


**Фиг. 4. Деформация при триене на тела с различни реологични свойства**

*a* – горното тяло е по-пластично и по-меко и то се деформира, натрупвайки маса в конвергентния контакт; *b* – долното тяло е по-пластично и меко, то се деформира и остъргва от горното, образувайки стружки и люспи

**Fig. 4. Deformation during friction of bodies with different rheological properties**

*a*, the upper body is more plastic and soft, it is deformed by accumulating mass in the convergent contact; *b*, the lower body is more plastic and soft, it is deformed and scraped by the upper one forming shaving and chips.



**Фиг. 5.** Скица на супрасубдукционна зона (по Kozhoukharova, 2019, Fig. 1)

*a* – обдукция на фрагменти от серпентинити; *b* – формиране на вулкански огнища във фриксионната зона; поява на ерупции над ерозионната повърхност на континента

**Fig. 5.** Sketch of supra-subduction zone (after Kozhoukharova, 2019, Fig. 1)

*a*, obduction of serpentinite fragments; *b*, formation of volcanic centers in the frictional zone; appearance of eruption on the erosion continental surface.

група и биват покрити от материалите на автохтонен вулканизъм, зародил се в субдукционната зона. Отделни субинтрузивни тела от габродиабази пресичат също гранитогнайсовия комплекс. Последователността на процесите характеризира офиолитовата асоциация като хетерогенна. Серпентинитите са чужди тела – пришълци от океана, имплантирани в континенталната кора и пространствено съчетани с автохтонните високомагнезиеви толеитови вулканити и субинтрузиви.

## Възраст на офиолитите

Най-старите възрасти по U-Pb датирание на циркони от хромититите на Добромирския серпентинитов масив посочват Палеопротерозой –  $2257 \pm 80$  Ma и  $1952 \pm 82$  Ma (Gonzalez-Jimenez et al., 2013), което е възраст на океанската плоча в древния океан, откъдето са откъснати серпентинитовите фрагменти.

Най-старите възрасти за метамагматичния компонент на офиолитите, определени по U-Pb върху циркони от ортоамфиболити са Неопротерозой: 610 Ma (Arkadakyski et al., 2003), 572 Ma (Carrigan et al., 2003) и 566 Ma (von Quadt et al., 2010), интерпретирани като възраст на протолити, респективно на базичния магматизъм. От аналогични опробвани орто-

амфиболити в същите или близки локалитети са получени различни фанерозойски възрасти – Ордовик (Bonev et al., 2013), Девон (Peytcheva et al., 2018), също Юра, Креда, дори Еоцен, които отразяват късни термални или тектонски въздействия, предизвикали изменение на изотопното съдържание в изследваните минерали. Тези резултати не могат да се приемат за възрасти на протолити. Всички опробвани образци са от стратиграфски една и съща скална формация на базичните метамагматити на офиолитовата асоциация, проследявана латерално в пространствена и корелативна връзка в целия Родопски масив. Следователно те не могат да бъдат разновъзрастни. Самите автори не представят никакви геоложки аргументи за по-късно внедряване на офиолитови фрагменти. Геохимичните вещества и изотопните данни не дават информация за пространствените взаимоотношения между скалите и не са достатъчни за решаване на въпроса за образуването и развитието на една офиолитова асоциация. Така че, всички разсъждения за фанерозойски субдукции и възрасти по отношение на офиолитовата асоциация в Родопския масив остават без значение.

Регистрираните изотопни възрасти за гранитогнайсовия (PRG) комплекс покриват много широк времеви диапазон, поради процесите на „подмладяване“ и не дават еднозначен отговор за възрастта на протолита. Правдоподобно и неоспоримо е обаче, че серпентинитите са разположени върху повърхността на древна скална формация, претърпяла продължителен емерзионен период, която е по-стара от неопротерозойската вулканогенно-седиментна формация.

Неопротерозойските възрасти съвпадат с времето, когато суперконтинентът Родиния е бил разпаднал на отделни дрейфувачи микроконтиненти и блокове (Bogdanova et al., 2009), част от които вероятно е бил и гранитогнайсовият (PRG) комплекс. По същото време се предполага, че е започнало затваряне на океаните, предшествашо амалгирането на бъдещия суперконтинент Гондвана. Затварянето на океаните предизвиква насрещното движение между континенталните и океански плочи и формирането на супрасубдукционните зони по конвергентните граници.

## Метаморфизъм на серпентинитите

Попадналите по-късно по обдукционен път серпентинитови фрагменти върху континенталната кора се литифицират, частично дехидратизират,



вследствие на което развиват характерната решетеста структура на изсъхване. По-късно те, заедно със заобикалящите ги скали, биват подложени на регионален метаморфизъм в амфиболитови фацис. Първата стъпка е образуването на антигорит по периферията на телата и шистозност, съответстваща на общата на заобикалящите скали. С напредването на метаморфните изменения се развиват зонални обвивки от талк-хлоритови, талк-хлорит-актинолит/тремолитови шисти и амфиболити.

Локални прояви на високотермобаричен еклогитов фацис са установени само в контактни зони между серпентинити и гнайси с поява на тънки сантиметрови лещообразни и жилообразни тела и гнезда от омфацитови, диопсидови и авгитови пироксенити с гранат, епидот, цоизит. Особено характерни са гранат-лерцолитовите ивици, редуващи се с ивици от непроменени серпентинити в Авренската синклинала (Kozhoukharova, 1996), което се обяснява с триене по контактните повърхности между серпентинити и гнайси по време на синметаморфни и постметаморфни сеизмотектонски движения. Последните предизвикват енергийни вълнови импулси, които оказват дълбоки изменения в структурата на серпентина, разкъсване на кристалохимичните връзки, формиране на ивици на топилки и прекристализация на последните в нови високотермобарични скали.

Влиянието на гранитния магматизъм върху родопските метаморфити чрез температура, флуиди и най-осезателно от пегматит-аплитовите жили, предизвиква значителни веществени метасоматични преобразувания. Те са особено отчетливо проявени в реакциите между контрастните по състав послойни и секущи пегматит-аплити и офиолитите, вследствие на което възникват десилицирани пегматити, дайкообразни метасоматични габроиди, коронарни габронорити, мигматизирани амфиболити и други.

## Основни изводи

1) Обдуцираните серпентинити в метаморфния комплекс на Родопския масив са важен стратиграфски маркер, който бележи границата между двата разновъзрастни метаморфни комплекса – Прародопска и Родопска група.

2) Обдукцията на фрагменти от океански серпентинити е палеотектонски индикатор за времето и геоложката обстановка при формиране на супрасубдукционна зона, вследствие затваряне на басейн.

3) Офиолитовата асоциация в Родопската група е хетерогенна формация от скали, възникнали на различни места по различно време и съчетани пространствено посредством тектонски движения в неопротерозойска супрасубдукционна зона.

4) Формирането на офиолитовата асоциация е осъществено в три етапа: а) статичен – продължителна повърхностна серпентинизация на ултрабазична океанска плоча; б) динамичен – тектонско движение и субдукция на плочата, остъргване на фрагменти от горния серпентинизиран слой и обдуцирането им върху континенталния гнайсов (PRG) комплекс; в) зараждане на магмени огнища във фрикционното пространство на субдукционната зона, развитие на автохтонен вулкански и субинтрузивен базичен магматизъм.

5) Серпентинитите са важен метаморфен указател за условията на метаморфизъм. Запазената лизардит-хризотилова парагенеза в големите тела свидетелства, че фоновата температура на общия регионалния метаморфизъм никога не е превишавала 600 °C. В противен случай всички серпентинитови тела биха се превърнали в огромни пироксенитови масиви и никога повече, при какъвто и евентуално последвал регресивен метаморфизъм, те не биха се върнали отново в облика на серпентинити. Следователно, метаморфизмът в Родопския масив никога не е достигал всеобщ еклогитов или гранулитов фацис, а установените еклогитови минерализации са резултат на локални прояви на високотермобарични условия, свързани с тектонски зони на триене.

6) Офиолитовата асоциация в целия Родопски масив е единна и единствена скална формация, с определено стратиграфско ниво и общо развитие, която отразява едноактен тектоно-магматичен съзидателен процес през Неопротерозоя.

Появата на офиолитовите асоциации в земната кора бележи епохи на активни движения на тектонските плочи и развитие на базит-ултрабазитови формации. Сложната геодинамичната обстановка на създаване на офиолитите, както отбелязва Kusky (2004), изисква интеграция на данните от много различни области, включващи структурна геология и тектоника, геофизика, петрология и геохимия, седиментология, различни мащаби на изследване от глобални през регионални, мезо- и микроскопски до молекулярно ниво. За решаването на подобен интердисциплинарен и мултимасщабен проблем е необходимо също сравнително изучаване на прекамбрийски и фанерозойски провинции със съвременни аналогични терени.

## Литература References

- Anonymous, 1972. Penrose field conference on ophiolites. – *Geotimes*, 17, 24–25.
- Arkadakskiy, S. V., C. Bohm, L. Heaman, Z. Cherneva, E. Stancheva, M. Ovtcharova. 2003. Remnants of Neoproterozoic oceanic crust in the Central Rhodope metamorphic complex, Bulgaria. – *Soc. Am. Vancouver Ann. Meet., 2003, Isotope Geology and Geochronology*, GS3, 62.
- Barnes, H. A., J. F. Hutton, K. Walters. 1993. *An Introduction to Rheology*. Amst.-Lon.-N. Y.-Tok., Elsevier, 198 p.
- Bogdanova, S. V., S. A. Pisarevsky, Z. X. Li. 2009. Assembly and breakup of Rodinia (some results of IGCP Project 440). – *Stratigraphy and Geological Correlation*, 17, 3, 259–274, <https://doi.org/10.1134/S0869593809030022>.
- Bonev, N., M. Ovcharova-Schaltegger, R. Moritz, P. Marchev, A. Ulianov. 2013. Peri-Gondwana Ordovician crustal fragments in the high-grade basement of the Eastern Rhodope Massif, Bulgaria: evidence from U-Pb La-ICP-MS zircon geochronology and geochemistry. – *Geodinamica Acta*, <https://doi.org/10.1080/09853111.2013.858942>.
- Boyanov, I., D. Kozhoukharov. 1961. New metamorphic suite on the northern slopes of the Rhodope between Markovo and Topolovo villages, District of Plovdiv. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 22, 1, 75–79 (in Bulgarian with English abstract).
- Burg, J.-P. 2011. Rhodope: From Mesozoic convergence to Cenozoic extension. Review of petro-structural data in the geochronological frame. – *J. Virtual Explorer*, 39, 1, <https://doi.org/10.3809/jvirtex.2011.00270>.
- Burg, J.-P., Z. Ivanov, L.-E. Ricou, D. Dimov, L. Klain. 1990. Implications of shear-sense criteria for the tectonic evolution of the Central Rhodope Massif, Southern Bulgaria. – *Geology*, 18, 451–454, [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1990\)018<0451:IOSSCF>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1990)018<0451:IOSSCF>2.3.CO;2).
- Challen, J. M., L. J. MacLean and P. L. B. Oxley. 1984. Plastic deformation of a metal surface in sliding contact with a hard wedge: its relation to friction and wear. – *Proc. Royal Soc., London, Ser. A*, 394, 161–181, <https://doi.org/10.1098/rspa.1984.0074>.
- Carrigan, C., S. Mukasa, I. Haydoutov, K. Kolcheva. 2003. Ion microprobe U-Pb zircon ages of pre-Alpine rocks in the Balkan, Sredna Gora, and Rhodope terranes of Bulgaria: constraints on Neoproterozoic and Variscan tectonic evolution. – *J. Czech Geol. Soc., Abstracts of the International Conference "Geology without frontiers: Magmatic and metamorphic evolution of Central European Variscides"*, 48, 1–2, 32–33.
- Coleman, R. G. 1971. Plate tectonic emplacement of upper mantle peridotites along continental edges. – *J. Geophysical Research*, 76, 1212–1222, <https://doi.org/10.1029/JB076i005p01212>.
- Coleman, R. G. 1977. *Ophiolites*. New York, Springer Verlag, 229 p., <https://doi.org/10.1007/978-3-642-66673-5>.
- Deschamps, F., M. Godard, S. Guillot, K. Hattori. 2013. Geochemistry of subduction zone serpentinites. A review. – *Lithos*, 178, 96–127, <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.019>.
- Dilek, Y. 2003. Ophiolite concept and its evolution. – In: Dilek, Y., S. Newcomb. (Eds). *Ophiolite Concept and the Evolution of the Geological Thought*. Boulder Colorado, Geol. Soc. of Amer., Spec. Pap. 273, 1–16, <https://doi.org/10.1130/SPE373>.
- Hess, H. H. 1938. A primary peridotite magma. – *Am. J. of Sci.*, 35, 321–344, <https://doi.org/10.2475/ajs.s5-35.209.321>.
- Gonzales-Jimenez, J. M., M. Locmelis, E. Belousova, W. I. Griffin, F. Gervilla, Th. Kerestedjian, S.-Y. O'Reilly, N. J. Pearson, I. Sergeeva. 2014. Genesis and tectonic implications of podiform chromitites in the metamorphosed ultramafic massif of Dobromiritsi (Bulgaria) – *Gondwana Research*, 27, 2, 555–574, <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.09.020>.
- Ivanov, Ž. 1988. Aperçu général sur l'évolution géologique et structurale du massif des Rhodopes dans le cadre des Balkanides. – *Bull. Soc. géol. France*, 8, 4, 227–240, <https://doi.org/10.2113/gssgfbull.IV.2.227>.
- Kozhukharov, D. 1984. Lithostratigraphy of the Precambrian metamorphics from Rhodope Supergroup in the Central Rhodopes. – *Geologica Balc.*, 14, 1, 43–88 (in Russian with English abstract).
- Kozhukharov, D. 1988. Precambrian in the Rhodope massif. Lithostratigraphy. – In: Zoubek V. (Ed.). *Precambrian in Younger Fold Belts – European Variscides, the Carpathians and Balkans*. J. Wiley & Sons, Chichester, 726–746.
- Kozhoukharova, E. 1972. Precambrian metamorphosed basic volcanites from the Central Rhodope Mountains. – *Bull. Geol. Inst., Ser. Geochem., Mineral. and Petrol.*, 21, 147–165 (in Bulgarian with English abstract).
- Kozhoukharova, E. 1985. Origin and structural position of the serpentinitized ultrabasic rocks from the Precambrian ophiolite association in Rhodope Massif. III. Development stages and age of the ophiolite association. – *Geologica Balc.*, 15, 5, 53–69 (in Russian with English abstract).
- Kozhoukharova, E. 1987. Lukovica Variegated Formation in the Goce-Delčev area, West Rhodopes. – *Geologica Balc.*, 17, 1, 33–45 (in Russian with English abstract).
- Kozhoukharova, E. 1996. Eclogitized layered serpentinites in the East Rhodope Block. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 49, 6, 69–71.
- Kozhoukharova, E. 1998. Eclogitization of serpentinites into narrow shear zones from the Avren syncline, Eastern Rhodopes. – *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 35, 25–46 (in Bulgarian with English abstract).
- Kozhoukharova, E. 1999. Metasomatic gabbroids – markers in the tectono-metamorphic evolution of the Eastern Rhodopes. – *Geologica Balc.*, 29, 1–2, 89–109.
- Kozhoukharova, E. 2008. Reconstruction of the primary stratigraphy and correlation of the Precambrian metamorphic complexes in the Rhodope massif. – *Geologica Balc.*, 37, 1–2, 19–32.
- Kozhoukharova, E. 2019. Obducted serpentinites in the Rhodope Massif and their stratigraphic, paleotectonic and metamorphic significance. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 80, 3, 72–74.
- Kozhoukharova, E., D. Kozhoukharov. 1962. Untersuchungen über die Gesteine und den Bauplan der Nordrhodopischen Antiklinale im Gebiet von Assenovgrad. – *Bull. Geol. Inst.*, 11, 125–162 (in Bulgarian with German abstract).
- Kusky, T. M. 2004. Introduction. – In: Kusky T. M. (Ed.). *Precambrian Ophiolites and Related Rocks*. Elsevier St. Louis, USA, 1–34, [https://doi.org/10.1016/S0166-2635\(04\)13027-2](https://doi.org/10.1016/S0166-2635(04)13027-2).
- Lodochnikov, V. N. 1936. *Serpentini i Serpentiniti Ilchirenskie i Drugie (The Serpentine and the Serpentinities of Ilchiren Area and Others)*. Trudi TSNIGRI, 38, 105 p. (in Russian).
- Marakushev, A. A. 1973. *Petrologiya Metamorficheskikh Gornih Porod (Petrology of Metamorphic Rocks)*. Moscow, Moscow Univ., 320 p. (in Russian).

- Peytcheva, I., A. von Quadt, L. Macheva, K. Kolcheva, S. Sarov. 2018. Relics of Devonian oceanic lithosphere in Byala Reka dome, Eastern Rhodopes: Evidence from zircon U-Pb dating and Hf-isotope tracing. – *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 71, 12, 1657–1664, <https://doi.org/10.7546/CRABS.2018.12.10>.
- Pristavova, S., E. Kozhoukharova. 1999. Structural position of the Chepelare Formation in the Ardino area, Central Rhodopes. – *Abstracts of Jubilee Sci. Conf., NII "Geology and Geophysics"*, Sofia, 1999, 87–89 (in Bulgarian).
- Quadt, A. von, I. Peycheva, S. Sarov, A. Liati. 2010. Late Cretaceous subduction and magmatism in the Rhodopes: geochronological and isotope-geochemical evidence. – In: *Proc. Nat. Sci. Conf. "Geosciences 2010"*. Sofia, Bul. Geol. Soc., 13–14.
- Steinmann, G. 1927. Der ophiolitischen Zonen in der Mediterranean Kettengebirgen. – *Materials of the 14th International Geological Congress in Madrid*, 2, 638–667.
- Sarov, S., Z. Cherneva, K. Kolcheva, E. Voinova, I. Gerdjikov. 2004. Lithotectonic subdivision of the metamorphic rocks from the eastern parts of the metamorphic rocks of the Central Rhodope extension structure. – *Rev. Bulg. geol. Soc.*, 65, 1–3, 101–106.
- Vergilov, V., D. Kozhoukharov, I. Boyanov, B. Mavrudchiev, E. Kozhoukharova. 1963. Notes on the Pre-Paleozoic metamorphic complexes in the Rhodopian Massif. – *Bull. Geol. Inst.*, 12, 185–211 (in Bulgarian with English abstract).
- Zagorchev, I. 2008. Amphibolite-facies metamorphic complexes in Bulgaria and Precambrian geodynamics: controversies and "state of the art". – *Geologica Balc.*, 37, 1–2, 33–46.

Постъпила на 10.01.2020 г., приета за печат на 26.02.2021 г.  
Отговорен редактор Борис Вълчев