

ВИСОКОМЕТАМОРФНИ КОМПЛЕКСИ В БЪЛГАРИЯ

Янко Герджиков¹, Анна Лазарова², Александър Кунов³, Диан Вангелов¹

¹ Софийски университет "Св. Климент Охридски", 1504 София; janko@gea.uni-sofia.bg

² Геологически институт, Българска академия на науките, 1113 София

³ Университет на Базел, Институт по геология и палеонтология, CH-4056 Базел

РЕЗЮМЕ. В южните части на Балканския полуостров се разкриват разнообразни по състав, степен на наложени изменения и възраст високостепенни метаморфни комплекси. До скоро всички те по презумпция се считаха за докамбрийски, но публикуваните в последните години геохронологични данни показваха, че доказаните прекамбрийски възрасти са твърде малко и се отнасят главно за протолити. Основавайки се на собствени теренни наблюдения, в съчетание с геохронологичните данни, предлагаме нова схема за подялба на високометаморфния фундамент на територията на България. За разлика от предишни схеми, тази подялба е базирана на възрастта на високостепенните метаморфни изменения, запечатани от скалите, а не на данни за протолитните възрасти. Малки по площ, кадомски корови фрагменти са установени единствено в херцинските нискостепенни метаморфни комплекси, разкриващи се в Краището и Старопланинската област. В югозападна България и Средногорието широко разпространени са мигматизирани гнайси, запечатали метаморфизъм с карбонска възраст. Ядрените части на Алпийския ороген на Балканите са засегнати от юрски, креден и терциерен метаморфизъм. С ранноалпийска възраст са метаморфните комплекси в Сакар и Осогово. Родопският метаморфен комплекс е сложна полиметаморфна единица включваща до-мезозойски и мезозойски протолити, засегнати от мезозойски и терциерни динамо-термални събития. Тектонското разслояване в Родопите е резултат от синметаморфни навличания и син- до постметаморфна екстензия. Фрагменти от домезозойски високометаморфни комплекси в Родопите уверено се установяват само в най-високо разположените в разреза единици.

HIGH-GRADE METAMORPHIC COMPLEXES IN BULGARIA

Ianko Gerdjikov¹, Anna Lazarova², Alexandre Kounov³, Dian Vangelov¹

¹ Sofia University "St. Kliment Ohridski", 1504 Sofia; janko@gea.uni-sofia.bg

² Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia

³ Basel University, Institute of Geology and Paleontology, CH-4056 Basel

ABSTRACT. Various in age, metamorphic overprint and rock compositions high-grade metamorphic complexes are exposed in the southern parts of the Balkan Peninsula. Until recently all the complexes were presumed to be Precambrian in age. Despite of this groundless assumption, the current geochronological data have shown that the Precambrian age clusters are quite rare and concern mainly the protoliths. To avoid the controversial views about the evolution of the high-grade complexes in Bulgaria we propound a new scheme of their subdivision based on both field and geochronological data. The main difference from the other available schemes is that we use only the ages of the metamorphic overprint and not of the protolithic age. Isolated Cadomian crustal fragments are distinguished only in low-grade metamorphic complex of Krayshte and Stara Planina Mountain. Carboniferous high-grade metamorphics are exposed in Southwestern Bulgaria and Sredna Gora. Rocks building up the core of the Alpine Orogen of the Balkans suffered Jurassic, Cretaceous and Tertiary high-grade metamorphic overprints. The metamorphics in Sakar and Osogovo are Early Alpine in age. The Rhodope metamorphic complex is a composite unit with polymetamorphic evolution comprising both pre-Mesozoic and Mesozoic protoliths affected by Mesozoic and Tertiary orogenic events. The tectonic structure of the Rhodopes has resulted from the processes of syn-metamorphic thrusting as well as syn- to post-metamorphic extension. Fragments of high-grade complexes with well constrained pre-Mesozoic ages are distinguished only in the uppermost parts of the Rhodopian metamorphic section.

Въведение

Подялбата и възрастта на високометаморфните скали в България са обект на дългогодишни дискусии. До средата на 80-те години на миналия век съществува забележителен консенсус за докамбрийската (или поне дотриаската) възраст на високометаморфния фундамент. Иванов (1989) нарушава догмата, разграничавайки Родопски (алпийски) и Балканиден (херцински) тип метаморфни комплекси. В последствие алпийска възраст

се възприема и за високометаморфните скали от Странджа (Иванов, 1998), Сръбско-Македонската зона (Rico et al., 1998) и Сакар (Иванов и др., 2001). Тези идеи са подложени на честа и понякога основателна критика от поддръжниците на възгледите за докамбрийска възраст на фундамента (прим. Zagorchev, 1998, 2008). По този начин в геоложката общност у нас, аналогично на политическия живот, се наложи "двуполюсен модел", а именно съвместно съществуване на две напълно различни

виждания за еволюцията и възрастта на високо-метаморфните скали.

В последните години, в рамките на редица научни и научно-приложни проекти, се натрупаха много теренни, структурни, петроложки и геохронологички данни, които изискват нов поглед върху проблема. Целта на настоящото изложение е да синтезира съществуващата информация, използвайки съвременните познания за строежа и еволюцията на ядрените части на колизионните орогенни постройки. Този подход ще позволи предлагане на нова схема за подялба на високостепенните метаморфни комплекси в България и не на последно място ще покаже, че е възможно “конвергиране” на възгледите по редица дискуссионни въпроси. По този начин, нашите очаквания са „двуполусният модел“, прилаган при характеризиране на високостепенните метаморфни скали, да остане в историята.

Методичен подход

Високометаморфни са скалите претърпели метаморфизъм в амфиболитов (T 500-650°C; $0.5 < P < 1.3$ GPa; Oberhänsli, Goffé, 2004) и по-висок фацис. Утвърдени критерии за отделянето на високометаморфните комплекси у нас няма. Публикувани са само единични опити за тяхното дефиниране (Ivanov, 1988; Zagorchev, 2008; Саров и др., 2004).

Високометаморфните комплекси са привързани към обстановка на активна колизионна тектоника (прим. Platt, 1986; Handy, Oberhänsli, 2004, и др.). Най-важен критерий за тяхното отделяне е времето на проява на последния високостепенен метаморфизъм, но допълнителни критерии са още: специфичните минерални парагенези, присъствието/отсъствието на мигматити, регионално издържаната структурна рисунка, дефинирана от проникващи плоскостни и линейни структури.

Високометаморфните комплекси обикновено включват различни по генезис скали – магмени, седиментни и по-стари метаморфни скали, обединени в резултат на синхронна динамо-термална преработка. По-специално внимание изискват заварените метаморфни фрагменти, в които поради високостепенния характер на наложения метаморфизъм, геоложкия запис от по-стари събития е частично или напълно заличен. Структурите често са преориентирани и реактивирани, но в някои случаи са запазени в различни по мащаб, по-слабо деформирани домени (“low-strain domains”). При цялостна преработка, установяването на заварени метаморфни структури може да се осъществи единствено чрез прилагане на високотемпературна геохронология.

Друга важна особеност на високометаморфните комплекси е полифазната еволюция, която е следствие от формирането им в колизионна обстановка. Ранния етап на субдуциране на коров материал се маркира от спорадично запазени реликти от (свъх)високобарични минерални състави, върху които могат да бъдат наложени високобарични мигматити и парагенези, формирани в условия на гранулитов фацис. Последващият етап на високотемпературен, но ретрограден метаморфизъм, определя почти изцяло крайния облик на скалите – техния

минерален състав и проникваща структура. Като правило, ретроградните промени са относително локализирани най-вече в коровомасщабни зони на срязване, свързани с ексхумацията.

На базата на по-горе изложените характеристики, *високометаморфният комплекс* следва да се дефинира като регионално проследима, тектонски стратифицирана единица, в чийто състав участват скали с различен произход и геоложка история, обединени от процесите на високостепенен метаморфизъм. Считаме, че критерии като характер и възраст на протолитите, както и особеностите на метаморфната еволюция не трябва да се използват за дефиниране на метаморфни комплекси. Тези критерии са приложими само при разграничаване на литотектонски или литостратиграфски (в редките случаи на възстановима литостратиграфия, прим. Сакарския тип триас) единици.

Освен високостепенните метаморфни комплекси, характеризиращи се с устойчиви на значителни площи високотемпературни парагенези и структурна рисунка, в орогенните пояси често се срещат сравнително малки, изолирани находища на метаморфити, интензивно преработени от по-късни тектонски (\pm метаморфни) процеси. Те могат да се разглеждат като части от заварени големи метаморфни комплекси, фрагментирани при последвалите орогенни събития. В текста по-долу те ще бъдат означени като *корови фрагменти*.

Фрагменти от кадомски високометаморфни комплекси

Все още данните за кадомските корови фрагменти са съвсем оскъдни, за разлика от добре документираното присъствие на късно докамбрийско–раннокамбрийски слабо метаморфозирани магматити (Graf, 2001; Kounov, 2002; Zagorchev et al., 2011; Kounov et al., 2012 и литературните справки в тях). Такива фрагменти се разкриват на малки площи и са установени единствено в херцинските нискостепенни метаморфни комплекси в Краището и Старопланинската област.

За района на Краището, индикатор за възрастта на високостепенния метаморфизъм са текущите взаимоотношения със слабо нашистени зеленошистни магмени скали, отнасяни към кадомската Струмска диоритова формация (обзор на възрастите в Kounov et al., 2012). Най-пълни са данните за фрагмента Вукан от Трънското Краище (Маринова и др., 2010), състоящ се от гнайси, амфиболити и метагранити. Изотопните данни потвърждават докамбрийската възраст на протолитите, но все още няма прецизни геохронологички данни за времето на метаморфизма. Друг вероятен кадомски фрагмент е т. нар. Гологлавски комплекс (Антонов и др., 2011), който се разкрива в южните “оградни” части на Радомирското поле. Изграден е от биотитови и двуслюдени гнайси и лещовидни тела от амфиболити. Възможно е съществуването на други подобни фрагменти в Кюстендилското Краище, които на геоложките карти са означавани като Струмска диоритова формация или Драгойчински метаморфен комплекс (Желев и др., 2010).

Към момента, в пределите на Стара планина са документираны прояви на кадомски магматизъм (Kiselinov

et al., 2009; Statelova et al., 2011), а данните ни сочат и за присъствието на корови фрагменти с вероятна докамбрийска възраст. Към този тип метаморфити следва да се причислят Стакевския масив в СЗ България, Лазовския комплекс в Твърдишко и отделни, малки и силно разкъсани фрагменти от мигматизирани гнайси в сред Рибаришките метагранити в Тетевенско, за които сведенията са все още твърде оскъдни. В сред метаморфитите от Стакевския масив (Haidutov, Ivanov, 1961; Ангелов и др., 2008) са внедрени едноименните гранити с раннокамбрийска възраст (Carrigan et al., 2003), което косвено указва старостта на високометаморфните изменения. Присъствието на високостепенни метаморфити с докамбрийска възраст в участъка на Балкано-Южнокарпатската дъга не се оспорва и в работата на Kräutner и Krstic (2002), където те са означавани като комплекс Neamtu-Stakevtsi.

Изброените по-горе фрагменти от докамбрийски (кадомски) метаморфни комплекси имат ясно изразена структурна позиция, като се разполагат встрани от арелите на проява на херцинския високостепенен метаморфизъм (фиг. 1). В регионален план попадат в дефинирания в по-ранни изследвания Балкански терен (Haydoutov, Yanev, 1997), но тук е важно да се отбележи, че за тази единица категорично се отхвърля присъствието на сиалична кора. Натрапва се и фактът, че кадомските фрагменти почти винаги са тълкувани като високотемпературни производни (процеси на "гранитизация", "мигматизация", вж. Хайдутков, 1979) на Диабаз-филитоидния комплекс (Хайдутков, 1991 и литературната справка там). Изключение правят Иванов и др. (1987), който разглежда фрагментите като част от стара континентална кора, интегрирани в херцинската орогенна постройка. Самото понятие Диабаз-филитоиден комплекс днес е лишено от смисъл и тази идея в последно време се споделя от повечето изследователи. Следващата важна стъпка е да се дешифрира характера на скалите, считани за негови "високометаморфни" производни.

Херцински високометаморфни комплекси

Херцинските високометаморфни комплекси се разкриват на широки площи, най-общо по периферията на Родопската зона, като изграждат самостоятелни единици или представляват преработени (най-често диафторизирани) фрагменти в сред алпийските комплекси (фиг. 1). На практика те представляват реликти от херцинското орогенно ядро, претърпяло високобаричен и последващ високотемпературен метаморфизъм. Твърде вероятно е да се допусне, че в доалпийско време тези комплекси са заемали значително по-голяма територия.

Високометаморфен комплекс на Централното Средногорие. Включва високометаморфния фундамент на Средногорието и Верила. За разлика от другите метаморфни комплекси, за него е типично доминиращо присъствие на парагнайсите. Структурата на комплекса е силно повлияна и фрагментирана от изобилния къснохерцински гранитоиден магматизъм. Основна характеристика на високостепенните метаморфити е площната диафтореза в зеленошистен фазиес, проявена в домени с дебелини от порядъка на стотици метри до 1-2 km (измерени напречно на фолиацията). Домените с

диафторизирани гнайси най-общо съвпадат с ограничаващите комплекса херцински зони на срязване, каквито са зоната Стъргел-Болуваня (Gerdjikov et al., 2007) и зоната на Габровдолския разлом (Bonev et al., 1995). За "преструктурирането" на високометаморфния комплекс на Централното Средногорие съществена роля е играла и алпийската тектоника. Напълно заличени са херцинските структури в метаморфитите, вместиращи алпийската Искърско-Яворишка отседна зона (Georgiev et al., 2009 и литературната справка там). Протолитните възрасти, получени за пара- и ортометаморфните части на разреза, се обособяват в две групи – кадомски (616.9 ± 9.5 ; 595 ± 23 Ma; Carrigan et al., 2006) и късно камбрийско-ранно ордовишки (460-500 Ma; Peytcheva et al., 2004, Антонов и др., 2010). Възрастта на високостепенния метаморфизъм е добре определена на базата на U-Pb and Ar-Ar данни: от еклогите е получена възраст 398 ± 5.2 Ma (Cortesogno et al., 2005; Gaggero et al., 2009), интерпретирана като възраст на ранна статична прекристализация в амфиболитов фазиес, последваща метаморфен пик в условия на еклогитов фазиес; термалният пик на метаморфизма е с възраст от 336.5 ± 5.4 Ma, получена от левкосома от мигматизирани гнайси (Carrigan et al., 2006); възрастта на интензивната ретроградна милонитизация в условия на зеленошистен до нискотемпературен амфиболитов фазиес (диафтореза) на мигматитовия разрез е фиксирана на 333.9 ± 0.2 - 334 Ma (Gerdjikov et al., 2010); постметаморфните възрасти на охлаждане на гнайсовия разрез варират между 317–305 Ma (Velichkova et al., 2004).

Комплекс Огражден-Вертикоос. За тези метаморфити, изграждащи югозападния ъгъл на България, са давани контрастни интерпретации – от тезата за най-долни нива на докамбрийския разрез (Zagorchev, 1994) до идеята за принадлежността им към алпийските Родопски метаморфити (Иванов, 1998; Ricou et al., 1998). Геохронологичките данни, получени от различни колективи, за метаморфитите както на българска, така и на гръцка територия, ясно показваха, че това са долнопалеозойски (Macheva et al., 2006; Peytcheva et al., 2009; Meinhold et al., 2010) магмени и седиментни скали, засегнати от високостепенен херцински (Peytcheva et al., 2009; Kourov et al., 2012) метаморфизъм. Комплексът е изграден основно от неравномерно мигматизирани ортогнайси, но присъстват още гранат-съдържащи двуслюдени шисти и тела от гранат-кианитови еклогити, амфиболити, гранат-кианитови шисти, метагаброиди и метаултрамафити (Zidarov et al., 2003; Macheva et al., 2006; Pristavova et al., 2007; Sarov et al., 2008; Zagorchev, 2008; Janak et al., 2011).

Странджански високометаморфен комплекс. Разкрива се под формата на два по-големи фрагмента в Централна Странджа и източната част на Дервентските възвишения, а също и в турската част на Странджа, северно и северозападно от Къркларели. Геохронологички данни на турски колеги (обзор в Natalin et al., 2012) насочват към палеозойска възраст на протолитите и не добре прецизирана възраст на метаморфизма (вероятно пермска). Поради високата степен на Алпийския метаморфизъм в Сакар планина, продължението на комплекса на запад от р. Тунджа е проблемно. По-ясни фрагменти от него се разкриват в т. нар. Маришка област

на север от Хасково, където Алпийския метаморфизъм е нискостепенен.

Алпийски високометаморфни комплекси

Отделяме три комплекса, различаващи се по вътрешен строеж и време на проява на метаморфните изменения.

Сакарски метаморфен комплекс. Основната му част е разположена между реките Марица и Тунджа, но към него също причисляваме и метаморфната подложка от Харманлийския блок и района на с. Тънково. Специфично е присъствието на метаморфозирани, интензивно пластично деформиран триаски разрез, запазил в обхвата на Тополовградската синклинала своя първичен стратиграфски ред. Алпийските деформации са проявени на границата юра-долна креда (Nebauer et al., 2010) и освен триаските скали, засягат и тяхната подложка - един слабо изучен разрез, тълкуван било като корелат на "докамбийските" метаморфити от Източните Родопи (Zagorchev, 1994), било като вулканогенно-седиментна подложка на фаунистично датирания триас (Иванов и др., 2001). Тази подложка включва фрагменти от херцински или дори по-стари комплекси, но тяхното отделяне към момента е проблематично, дори и за по-наситената с геохронологични данни (Natalin et al., 2012) турска част. Донякъде по-лесно е отделянето на този фундамент в Хасковско, където степента на алпийските промени пада до зеленошистен фациес.

Осоговски метаморфен комплекс. Разкрива се в планините Осогово и Лисец, като оформя прозорец под късноалпийски екстензионни алохтони (Kounov et al., 2010). Степента на метаморфните изменения съответства на долни нива на амфиболитовия фациес, а времето на проявата им съвпада с ранната креда. Възрастта на протолитите е неотличима от тази на скалите на Струмската диоритова формация.

Родопски метаморфен комплекс. Реално това е един "мега"-комплекс, но към момента данните не позволяват подразделяне на базата на възрастов принцип. Алпийските възрасти за метаморфните промени включват твърде голям времеви диапазон (Bug, 2012), което заедно с трудностите да се оцени значението на някои от получените геохронологични данни, прави дефинирането на мезозойски и терциерни единици невъзможна задача. Разпространението на комплекса е показано на най-новата геоложка карта на България (1:50000), като използваните идеи за литотектонското му разчленяване са изложени от Sarov (2012). Строежът на този комплекс се обуславя от субгоризонтални синметаморфни зони с коровомашабен характер, които водят до едно забележително тектонско разслояване. Типично за Родопските метаморфити е доминирането на протолити с орто-произход. Някои от единиците са почти изцяло изградени от еднократно метаморфозирани през алпийско време юрски (долна Асенишка, Старцевска и Боровишка единици) или пермски (единиците Арда, Кесибири, Бяла река-Кехрос, ортогнайсите от единицата Пирин-Пангеон) гранитоиди. Установяването на фрагменти от комплекса Огражден-Вертикос в обхвата на Местенския грабен (Sarov, 2012), показва възможността за присъствието на по-стари метаморфни комплекси в обхвата на Родопите.

Изводи

Преди около 40 години възприемането на модела на глобалната тектоника на плочите промени радикално възгледите за строежа на орогенните постройки. Интегрална част от тях са вътрешните зони на орогените, изградени от високостепенни метаморфити, които са запечатали интензивна динамо-метаморфна преработка. За разлика от пери-платформените гънково-навлачни пояси, където хронологията на събитията е сравнително лесно възстановима на базата на стратиграфски взаимоотношения, то дешифрирането на строежа и еволюцията в ядрените части на орогените са невъзможни без геохронологични изследвания. Новите данни ясно показват нуждата от цялостно преразглеждане на класическите идеи за докамбийската старост на високометаморфния фундамент в южна България. Нещо повече, демонстрира се необосноваността и на изложените през 90-те години на миналия век идеи за алпийската възраст на по-голямата част от фундамента в южна България. Разграничаването на алпийските от до-алпийските единици за значителни части от метаморфните комплекси (Сакар, Западна Рила и др.) все още е нерешен въпрос. Предложената подялба трябва да се разглежда само като една първа крачка в това направление.

Благодарности. Признателни сме на рецензента проф. В. Желев за конструктивната критика и бележки.

Литература

- Ангелов, В., М. Антонов, С. Герджиков, П. Петров, Х. Киселинов, Г. Айданлийски, Р. Маринова, С. Приставова. 2008. *Обяснителна записка към геоложка карта на България, М1:50000. Картен лист К-34-22-В (Горни Лом).* С., Геокомплекс, 48 с.
- Антонов, М., С. Герджиков, Л. Методиев, Х. Киселинов, С. Сираков, В. Вълв. 2010. *Обяснителна записка към геоложка карта на България, М1:50000. Картен лист К-35-37-В (Пирдоп).* С., Геокомплекс, 96 с.
- Антонов, М., П. Милованов, А. Попов, С. Герджиков, М. Дюлгерев. 2011. *Обяснителна записка към геоложка карта на България, М1:50000. Картен лист К-34-59-В (Дрен).* С., Геокомплекс, 46 с.
- Желев, В., П. Милованов, Е. Горанов, В. Вълв, И. Петров, Е. Илиева. 2010. *Геоложка карта на България в М1:50000. Картен лист Райчиловци и Драговищица.* С.
- Иванов, Ж. 1989. Строежие и тектоническа еволюция на централните части на Родопския масив. – В: *Строежие и геодинамическа еволюция на вътрешните зони на Балканите – Крайщиди и Родопска област. Путевод. екскурсии Е-3, XIV Конгрес на КБА.* С., 53-118.
- Иванов, Ж. 1998. *Тектоника на България.* Хабилиционен труд.
- Иванов, Ж., К. Колчева, С. Московски, Д. Димов. 1987. За особеностите и характера на "диабазово-филитоидната формация". – *Сп. БГД*, 48, 2, 1-24.
- Иванов, Ж., Я. Герджиков, А. Кунов. 2001. Нови данни и съображения за структурата и тектонската еволюция на Сакарската област, ЮИ България. – *Год. Соф. унив.*, 91, 1, *Геол. и геогр.*, 35-80.
- Маринова, Р., В. Гроздев, Д. Иванова, Д. Синьовски, П. Милованов, И. Петров, А. Попов. 2010. *Обяснителна*

- записка към геоложка карта на България, М1:50000. Картен лист Цръвена Яълка, Власотинци и Трън. С.
- Саров, С., З. Чернева, К. Колчева, Е. Войнова, Я. Герджиков. 2004. Литотектонска подялба на метаморфните скали от източните части на Централнородопската екстензионна структура. – *Сп. БГД*, 65, 1-3, 101-106.
- Хайдутков, И. 1979. Мигматични и анатектични явления в Старопланинската палеозойска евгеосинклинала (по примера на Бързийския мигматитов масив). – *Геотект., тектонофиз. и геодинам.*, 8-9, 39-54.
- Хайдутков, И. 1991. *Произход и еволюция на Докамбрийския Балкано-Карпатски офиолитов сегмент*. С., Изд. БАН, 179 с.
- Bonev, K., Z. Ivanov, L. E. Ricou. 1995. Denudation tectonique au toit du noyau metamorphique rhodopi en macedonien: La faille normale ductile de GabrovDol. – *Bull. Soc. Geol. France*, 166, 47-55.
- Burg, J.-P. 2012. Rhodope: From Mesozoic convergence to Cenozoic extension. Review of petro-structural data in the geochronological frame. – *J. Virtual Explorer*, 39 (1), 44 p.
- Carrigan, C., S. Mukasa, I. Haydoutov, K. Kolcheva. 2003. Ion microprobe U-Pb zircon ages of pre-Alpine rocks in Balkan, Sredna Gora, and Rhodope terrains of Bulgaria: Constrains of Neoproterozoic and Variscan tectonic evolution. – *J. Czech Geol. Soc.*, 48, 1-2; 32.
- Carrigan, C., S. Mukasa, I. Haydoutov, K. Kolcheva. 2006. Neoproterozoic magmatism and Carboniferous high-grade metamorphism in the Sredna Gora Zone, Bulgaria: An extension of the Gondwana-derived Avalonian-Cadomian belt? – *Precamb. Research*, 147, 3-4, 404-416.
- Cortesogno, L., L. Gaggero, I. Haydoutov, L. Buzzi. 2005. The Eclogite to Amphibolite metamorphic path from the Sredna Gora terrane in the Variscan orogenic segment of Bulgaria (SE Europe). – *Geophys. Res. Abstracts*, 7, 01802.
- Gaggero, L., L. Buzzi, I. Haydoutov, L. Cortesogno. 2009. Eclogite relics in the Variscan orogenic belt of Bulgaria (SE Europe). *Int. J. Earth Sci.* 98, 8, 1853-1877.
- Georgiev, N., B. Henry, N. Jordanova, N. Froitzheim, D. Jordanova, Z. Ivanov, D. Dimov. 2009. Emplacement mode of Late Cretaceous plutons from the southwestern part of Sredna Gora zone, Bulgaria: structural and AMS study. – *Geol. Carpath.*, 60, 1, 15-33.
- Gerджиков I., N. Georgiev, D. Dimov, A. Lazarova. 2007. The different faces of supposedly single thrust: a reevaluation of the Vezhen thrust, Central Balkanides. – *Proc. Bulg. Geol. Soc.*, 24-26.
- Gerджиков, I., G. Ruffet, A. Lazarova, D. Vangelov, E. Balkanska, K. Bonev. 2010. contemporaneous 40Ar/39Ar geochronologic constrains of a Variscan transpression in Central Stara Planina Mountain. – *Proc. Bul. Geol. Soc.*, 109-110.
- Graf, J. 2001. *Alpine Tectonics in Western Bulgaria: Cretaceous Compression of the Kraishite Region and Cenozoic Exhumation of the Crystalline Osogovo-Lisets Complex*. ETH Zurich, Ph.D. Thesis. 183 p.
- Handy, M. R., R. Oberhänsli. 2004. Explanatory notes to the map: metamorphic structure of the Alps age map of the metamorphic structure of the Alps. Tectonic interpretation and outstanding problems. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 149, 201-225.
- Haidutov, I., Z. Ivanov. 1961. Notes on structural and petrographic particularities of Stakevski pluton and its metamorphic mantel. – *Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 14, 4, 377-380.
- Haydoutov, I., S. Yanev. 1997. The Protomoesian microcontinent of the Balkan Peninsular – a peri-Gondwanaland piece. – *Tectonophysics*, 272, 303-313.
- Ivanov Z. 1988: Apercu general sur l'evolution geologique et structurale du massif des Rhodopes dans le card des Balkanides. – *Bull. Soc. Geol. France*, 8, 4, 2, 227-240.
- Janak, M., N. Froitzheim, N. Georgiev, T. Nagel, S. Sarov. 2011. P-T evolution of kyanite eclogite from the Pirin Mountains (SW Bulgaria): implications for the Rhodope UHP Metamorphic Complex. – *J. Metam. Geol.*, 29, 317-332.
- Kiselinov, H., A. von Quadt, I. Peytcheva, S. Pristavova. 2009. U-Pb zircon dating and field relationships of the Protopopintsi metagranite with Sredogrive metamorphites (NW Bulgaria). – *Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.*, 62, 12, 1571-1580.
- Kounov, A. 2002. *Thermotectonic Evolution of Kraishite, Western Bulgaria*. Zurich, ETH 14946, PhD Thesis, 219 p.
- Kounov, A., D. Seward, J.-P. Burg, D. Bernoulli, Z. Ivanov, R. Handler. 2010. Geochronological and structural constraints on the Cretaceous thermotectonic evolution of the Kraishite zone (Western Bulgaria). – *Tectonics*, 29, TC2002.
- Kounov, A., J. Graf, A. von Quadt, D. Bernoulli, J.-P. Burg, D. Seward, Z. Ivanov, M. Fanning. 2012. Evidence for a "Cadomian" ophiolite and magmatic-arc complex in SW Bulgaria. – *Precamb. Res.*, 212-213, 275-295.
- Kräutner, H. G., B. Krstić. 2003. *Geological map of the Carpatho-Balkanides between Mehadia, Oravita, Niš and Sofia*. Ministry for Science and Environmental Protection of Republic of Serbia, Directorate for Environmental Protection, "Geoinstitut", Belgrade.
- Macheva, L., I. Peytcheva, A. von Quadt, N. Zidarov, E. Tarassova. 2006. Petrological, geochemical and isotope features of Lozen metagranite, Belasitsa Mountain – evidence for widespread distribution of Ordovician metagranitoids in Serbo-Macedonian massif, SW Bulgaria. – *Proc. Bulg. Geol. Soc.*, 209-212.
- Meinhold, G., D. Kostopoulos, D. Frei, F. Himmerkus, T. Reischmann. 2010. U-Pb LA-SF-ICP-MS zircon geochronology of the Serbo-Macedonian Massif, Greece: palaeotectonic constraints for Gondwana-derived terranes in the Eastern Mediterranean. – *Int. J. Earth Sci.*, 99, 813-832.
- Natalin, B., G. Sunal, M. Satir, E. Toraman. 2012. Tectonics of the Strandja Massif, NW Turkey: History of a long-lived arc at the northern margin of Palaeo-Tethys. – *Turkish J. Earth Sci.*, 21, 755-798.
- Neubauer, F., S. Bilyarski, J. Genser, Z. Ivanov, I. Peytcheva, A. von Quadt, 2010. Jurassic and Cretaceous tectonic evolution of the Sakar and Srednogorie zones, Bulgaria: 40Ar/39Ar mineral ages and structures. – *Geologica Balc.*, 273-274.
- Oberhänsli, R., B. Goffé. 2004. Explanatory notes to the map: metamorphic structure of the Alps. Introduction. – *Mitt. Österr. Miner. Ges.*, 149, 115-123.
- Peytcheva, I., A. von Quadt. 2004. The Palaeozoic protoliths of Central Srednogorie, Bulgaria: records in zircons from basement rocks and Cretaceous magmatites. – *5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Thessaloniki, Greece, Conference Volume, Extended abstract*, T11-9.

- Peytcheva, I., A. von Quadt, S. Sarov, E. Voinova, K. Kolcheva. 2009. Ordovician protoliths of metamorphic rocks in eastern Pirin – Western Rhodopes: Are they part of the Ograzhden Unit?. – *Proc. Bul. Geol. Soc.*, 17-18.
- Platt, J. P. 1986. Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. – *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, 1037-1053.
- Pristavova, S., M. Ichev, M. Komsalova. 2007. Garnet-kyanite schists from the Ograzhden Mountain, SW Bulgaria. – *Geochem., Mineral. and Petrol.*, 45, 97-107.
- Ricou, L.-E., J.-P. Burg, I. Godfriaux, Z. Ivanov. 1998. Rhodope and Vardar: the metamorphic and the olistostromic paired belts related to the Cretaceous subduction under Europe. – *Geodinam. Acta*, 11, 6, 285-309.
- Sarov, S. 2012. Lithotectonic subdivision of the metamorphic rocks in the area of Rila and Rhodope Mountains – results from geological mapping at scale 1:50 000. – In: *Proceedings of International Conference “Geological Schools of Bulgaria. The School of Prof. Zhivko Ivanov”*, 43-47.
- Sarov, S., N. Georgiev, K. Naydenov, E. Voinova, K. Kolcheva. 2008. Lithotectonic subdivision of the Western Rhodopes and parts of Eastern Pirin. – *Proc. Bul. Geol. Soc.*, 89-90.
- Statelova, J., A. von Quadt, P. Machev, S. Georgiev. 2011. Cadomian igneous rocks from Europe’s Variscan belt, Lazovo complex. – *Goldschmidt Conference Abstracts, Mineral. Mag.*, 75, 3, 1930.
- Velichkova, S., R. Handler, F. Neubauer, Z. Ivanov. 2004. Variscan to Alpine tectonothermal evolution of the Central Srednogorie init, Bulgaria: constraints from $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ analysis. – *Schw. Mineral. Petrol. Mitt.*, 84, 133-151.
- Zagorchev, I. 1994. Alpine thrust and fault tectonics in South Bulgaria. – *Bull. Geol. Soc. Greece*, 30, 2, 487-496.
- Zagorchev, I. 1998. Rhodope controversies. – *Episodes*, 21, 3, 159-168.
- 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.
- Zagorchev, I., C. Balica, I. Balintoni, E. Kozhoukharova, G. Sâbâu, R. Dimitrescu, E. Negulescu. 2011. New isotopic data on the Cadomian age of the Frolosh metamorphic complex and the Struma diorite complex. – *Proc. Bul. Geol. Soc.*, 77-78.
- Zidarov, N., I. Peytcheva, A. von Quadt, V. Andreichev, L. Macheva, R. Titorenkova. 2003. Timing and magma sources of metagranites from the Serbo-Macedonian massif (Ograzhden and Maleshevaska mountains, SW Bulgaria): constraints from U-Pb and Hf-Zr and Sr whole rock isotope studies. – *Proc. Bulg. Geol. Soc.*, 89-91.