ÑÏÈÑÀÍÈÅ ÍÀ ÁÚËÃÀÐÑÊÎÒÎ ÃÅÎËÎÃÈ×ÅÑÊÎ ÄÐÓÆÅÑÒÂÎ, ãîä. 65, êí. 1-3, 2004, ñ. 181-185
REVIEW OF THE BULGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY, vol. 65, part 1-3, 2004, p. 181-185

Varia

Âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè â îðîãåííèòå ïîÿñè

Åäíè îò íàé-àêòóàëíèòå òåêòîíñêè ïðîáëåìè ñà ñâúðçàíè ñ ôîðìèðàíåòî è èçíàñÿíåòî êúì ïîâúðõíîñòòà íà ñóáäóöèðàíè ôðàãìåíòè êîðîâ ìàòåðèàë. Äîêàòî çà âèñîêîáàðè÷åí ìåòàìîðôèçúì ñå ãîâîðè îò äåñåòèëåòèÿ, òî ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèÿò ìåòàìîðôèçúì è ïðîöåñèòå íà ñóáäóöèðàíå íà êîíòèíåíòàëíà ëèòîñôåðà ñà íîâè åëåìåíòè â òåêòîíñêèòå ìîäåëè. Àêòóàëíîñòòà íà ïðîáëåìàòèêàòà çà áúëãàðñêàòà ãåîëîãèÿ ñå îïðåäåëÿ è îò íàðàñòâàùèÿ áðîé äàííè çà ïðèñúñòâèå íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íè ñêàëè â êðèñòàëèíà íà Þæíà Áúëãàðèÿ. Òîâà íàëàãà êðàòêî ðàçãëåæäàíå íà íàé-íîâèòå äàííè è ìîäåëè, çàñÿãàùè (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòå ñêàëè. Ñòðåìåæúò å äà ñå ïîêàæå, ÷å (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèÿò ìåòàìîðôèçúì å íîðìàëíî ñëåäñòâèå íà êîëèçèîííèòå ïðîöåñè è ðåëèêòèòå îò òîçè òèï ìåòàìîðôèçúì íå òðÿáâà äà ñå ðàçãëåæäàò êàòî óíèêàòè â ÿäðåíèòå ÷àñòè íà îðîãåííèòå ïîÿñè.

Îáùè äàííè çà âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè

Ìåòàìîðôíèÿò ôóíäàìåíò, ñúäúðæàù âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè, ìîæå äà ñå ðàçäåëè íà äâå ãðóïè: äúãîâ òèï è êîëèçèîíåí òèï.

Çà ïúðâàòà ãðóïà å õàðàêòåðíî ïðèñúñòâèåòî íà ñèíüîøèñòåí è ïî-ðÿäêî åêëîãèòîâ òèï ìåòàìîðôèòè. Â ïîâå÷åòî ñëó÷àè âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè ñå ñðåùàò êàòî åêçîòè÷íè áëîêîâå è íå èçãðàæäàò èçäúðæàíè òåêòîíñêè åäèíèöè. Òèïè÷íà å ëèïñàòà íà íàëàãàíå íà ñëåäâàù ìåòàìîðôèçúì âúðõó òåçè âèñîêîáàðè÷íè ñêàëè èëè ïðîìåíèòå ñà íå ïî-âèñîêè îò çåëåíîøèñòåí ôàöèåñ. Ëèïñàòà íà ïîñëåäâàë ìåòàìîðôèçúì èíäèêèðà: (1) áúðçà åêñõóìàöèÿ, êîÿòî å ïîïðå÷èëà íà ïðåóðàâíîâåñÿâàíåòî íà ïúðâè÷íèòå âèñîêîáàðè÷íè ìèíåðàëíè àíñàìáëè (ïîðàäè áàâíà êèíåòèêà íà ðåàêöèèòå) è/èëè (2) ïðîäúëæàâàùîòî ïîíèæàâàíå íà èçîòåðìèòå ïðè åêñõóìàöèÿòà å äàëî âúçìîæíîñò äà áúäàò èçáåãíàòè âèñîêè òåìïåðàòóðè ïðè ïî-óìåðåíè íàëÿãàíèÿ. Äúãîâèÿò òèï ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè ñà òèïè÷íè çà ñóáäóêöèîííèòå çîíè è ôîðìèðàíåòî èì å âúçìîæíî â àêðåöèîííèòå êîìïëåêñè. Ðåäèöà ìîäåëè ðàçãëåæäàò äèíàìèêàòà íà ãîëåìè àêðåöèîííè êîìïëåêñè (Shi, Wang, 1987; Bousquet et al., 1997, Henry et al., 1997).

Âòîðàòà ãðóïà âêëþ÷âà ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè, ñúäúðæàùè ïðåðàáîòåíè â ðàçëè÷íà ñòåïåí (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè. Â ãîëÿì áðîé äîáðå èçó÷åíè îðîãåíè (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòå ñêàëè èçãðàæäàò åäèíèöè ñ ïëîù îò ïîðÿäúêà íà ñòîòèöè km². Òîçè òèï ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè ñà òèïè÷íè çà êîëèçèîííèòå çîíè, êúäåòî âèñîêîáàðè÷íèòå ïàðàãåíåçè â ðàçëè÷íà ñòåïåí ñà áèëè çàëè÷åíè îò ïîñëåäâàë ìåòàìîðôèçúì â ãðàíóëèòîâ, àìôèáîëèòîâ èëè çåëåíîøèñòåí ôàöèåñ. Îáîáùàâàíåòî íà ïåòðîëîæêèòå äàííè, ïîëó÷åíè îò èçñëåäâàíèÿ â Ðîäîïèòå (Ãåðäæèêîâ, 2004), ïîçâîëÿâàò ðàçãëåæäàíåòî íà Ðîäîïñêèòå ìåòàìîðôèòè êúì òàçè ãðóïà.

Åäíà îò îñíîâíèòå ïîñòàíîâêè íà êëàñè÷åñêàòà ïëåéò-òåêòîíèêà ñå îòíàñÿ çà íåâúçìîæíîñòòà äà ñå ñóáäóöèðà êîíòèíåíòàëíèÿò òèï çåìíà êîðà. Íî îòêðèâàíåòî íà êîåñèò â ñêàëè ñ êîíòèíåíòàëåí ïðîèçõîä â ìàñèâà Äîðà Ìàéðà, Çàïàäíè Àëïè (Chopin, 1984) è â íîðâåæêèòå Êàëåäîíèäè (Smith, 1984) ÿñíî ïîêàçà, ÷å â êîëèçèîííèòå çîíè êîíòèíåíòàëåí òèï çåìíà êîðà ìîæå äà áúäå ïîãðåáâàíà íà äúëáî÷èíà ïîä ãðàíèöàòà íà Ìîõî. Èíôîðìàöèÿòà îò òåðìîáàðîìåòðè÷íîòî ìîäåëèðàíå è ôàçîâèòå ðàâíîâåñèÿ ïîêàçâà, ÷å íàáëþäàâàíèòå â ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå òåðåíè ìèíåðàëíè àíñàìáëè ñà ôîðìèðàíè â îáñòàíîâêè, êúäåòî òåðìàëíèÿò ãðàäèåíò å áèë ìíîãî íèñúê – îò ïîðÿäúêà íà 8±3 îC/km. Òàêèâà îáñòàíîâêè ñà âúçìîæíè ñàìî â ñúñåäñòâî ñ ïîäïúõâàùà ñå ëèòîñôåðíà ïëî÷à (Oxburg, Turcotte, 1971).

Îïèñàíèòå äî ìîìåíòà ñëó÷àè íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè (UHP) òåðåíè ñà îñíîâíî îò Åâðàçèÿ – îò Êèòàé, Óðàë, Êàçàõñòàí, Àëïèòå, Ñêàíäèíàâñêèòå Êàëåäîíèäè è íàñêîðî îò Ðîäîïèòå (Chopin, 2003). Ñïîðåä õàðàêòåðà ñè èíäèêàòîðèòå çà âèñîêîáàðè÷íè óñëîâèÿ ìîæå äà ñå îáîñîáÿò â òðè ãðóïè: ìèíåðàëè-èíäèêàòîðè; ñïåöèôè÷åí õèìèçúì íà ìèíåðàëè; ñòðóêòóðè, èäèêèðàùè ðàçïàä íà âèñîêîáàðè÷íè ìèíåðàëè.

Íàé-ÿñíèòå äîêàçàòåëñòâà çà ñâðúõâèñîêîáàðè÷åí ìåòàìîðôèçúì ñà ïðèñúñòâèåòî íà ìèíåðàëè êàòî êîåñèò è äèàìàíò. Â ïîâå÷åòî ñëó÷àè ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå ìèíåðàëè ñà çàïàçåíè êàòî ðåëèêòè, âêëþ÷åíè â òðóäíîòîïèìè ìèíåðàëè – ãðàíàò, öèðêîí, êëèíîïèðîêñåí è äð. Ïðèñúñòâèåòî íà êîåñèò ïîêàçâà âúçìîæíîñòòà êîðîâè ìàòåðèàëè äà áúäàò òðàíñïîðòèðàíè äî äúëáî÷èíè îò ïîðÿäúêà íà 85–90 km (Ð=2,6-3 GPa, T=600–1100ºÑ – Hemingway et al., 1988). Îùå ïî-ãîëåìè äúëáî÷èíè íà êîíòèíåíòàëíàòà ñóáäóêöèÿ ñå èíäèêèðàò îò äèàìàíòèòå – 100–150 km (P=3,1–4,5 GPa, T=600–1100ºC – Chaterjee et al., 1998). Â ðåäèöà ñëó÷àè õèìèçìúò íà ìèíåðàëèòå å èíäèêàòîðåí çà âèñîêîáàðè÷åí ìåòàìîðôèçúì: áîãàò íà êàëèé êëèíîïèðîêñåí, ìàæîðèòîâ òèï ãðàíàò è äð.

Óñòàíîâåíèòå ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè òåðåíè ñà ìàëêî íà áðîé. Òîâà ñå îáÿñíÿâà ñ: (1) òðóäíîòî çàïàçâàíå íà òèïè÷íèòå çà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè óñëîâèÿ ìèíåðàëíè àíñàìáëè ïîðàäè èíòåíçèâíàòà ïðåðàáîòêà ïðè åêñõóìàöèÿòà; (2) íåñïîñîáíîñòòà çà ïúëíî ïðåóðàâíîâåñÿâàíå íà ìèíåðàëíèòå àíñàìáëè ïðè ïðîöåñèòå íà ñóáäóêöèÿ. Ò.å. íå ñëåäâà äà ñå î÷àêâà ïîâñåìåñòíî ðàçâèòèå íà òèïè÷íèòå çà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè óñëîâèÿ ïàðàãåíåçè ïðè äúëáîêîòî ïîãðåáâàíå íà êîðîâè ôðàãìåíòè.

Ïîñëåäíîòî çàêëþ÷åíèå íà ïðúâ ïîãëåä å àáñóðäíî. Êàê å âúçìîæíî ñóáäóöèðàí äî äúëáî÷èíà 100 km è ïîäëîæåí íà òåìïåðàòóðè îò ïîðÿäúêà íà 700–750 îÑ ìàòåðèàë äà íå ïðåòúðïè ïúëíà ïðåðàáîòêà? Íî çàïàçâàíåòî îò äåôîðìàöèîííà ïðåðàáîòêà è ïðîìÿíà íà ìèíåðàëíèòå àíñàìáëè ñå îêàçâà äîñòà ÷åñòî ñðåùàíî ÿâëåíèå â ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå òåðåíè (Wain et al., 2001; Bruno et al., 2001). Ïðåäïîëàãà ñå, ÷å îñíîâíà ïðè÷èíà çà òîçè ôåíîìåí å êðàòêàòà ïðîäúëæèòåëíîñò íà èíäèâèäóàëíèòå UHP ñúáèòèÿ – â ðàìêèòå íà íÿêîëêî ìèëèîíà ãîäèíè. Ïîðàäè òîâà, ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè ìèíåðàëíè àíñàìáëè âúçíèêâàò ñàìî ïðè áëàãîïðèÿòíè îáñòîÿòåëñòâà (íàëè÷èå íà ôëóèäè, äåôîðìàöèîííî ñòèìóëèðàíå). Çà òîâà ñâèäåòåëñòâàò èçñëåäâàíèÿòà íà Austrheim (1987) â Íîðâåæêèòå Êàëåäîíèäè, êîèòî ÿñíî äåìîíñòðèðàò êëþ÷îâàòà ðîëÿ íà ôëóèäèòå çà ïðîöåñèòå íà ìåòàìîðôíèòå òðàíñôîðìàöèè ïî âðåìå íà êîðîâîòî óäåáåëÿâàíå. Èçâúí êàíàëèòå, ëîêàëèçèðàùè ôëóèäíèÿ ïîòîê, „ñóõèòå“, ãðàíóëèòîâ ôàöèåñ ìåòàìîðôèòè ñà èçáåãíàëè âèñîêîòåìïåðàòóðíàòà ïðåðàáîòêà â åêëîãèòîâ ôàöèåñ (Ò>700îÑ). Òåçè äàííè èìàò âàæíè ïîñëåäñòâèÿ çà ðàçãëåæäàíåòî íà åâîëþöèÿòà íà ñóáäóöèðàíèòå ôðàãìåíòè îò êîíòèíåíòàëåí òèï êîðà.

Îñíîâíèòå ÷åðòè íà UHP òåðåíèòå ñå ñâåæäàò äî (ïî Ernst et al., 1997 ñ äîïúëíåíèÿ):

- Ðàçâèòè ñà âúðõó ñòàðà, ñòóäåíà ñèàëè÷íà êîðà è ñà ïðèâúðçàíè êúì ìåæäóêîíòèíåíòàëíè ñóòóðíè çîíè, ò.å. ñâúðçàíè ñà ñ ïðîöåñè íà êîíòèíåíòàëíà êîëèçèÿ.
- Ðàçìåðèòå íà UHP òåðåíèòå ñà îòíîñèòåëíî ìàëêè (100–400 km äúëæèíà è 8–75 km øèðèíà).
- UHP òåðåíèòå êàòî ïðàâèëî íå àñîöèèðàò ñ åäíîâðåìåííî àêòèâíè êàëöèåâîàëêàëíè âóëêàíî-ïëóòîíè÷íè ïîÿñè.
- Ïðîÿâàòà íà âèñîêîáàðè÷íèÿ ìåòàìîðôèçúì å ÿñíî ïðèâúðçàíà êúì åäèíèöèòå íà ïîäïúõâàùàòà ñå ïëî÷à. Âúçìîæíî å íàé-äîëíèòå òåêòîíñêè åëåìåíòè íà íàâëè÷àùàòà ñå ïëî÷à ñúùî äà ñúäúðæàò âèñîêîáàðè÷íè ïàðàãåíåçè (Ernst, 1973).
- Èçíàñÿíåòî íà ìåòàìîðôèòèòå êúì ñðåäíîêîðîâè íèâà ñå å îñúùåñòâèëî ñ ìíîãî âèñîêè ñêîðîñòè: îò 2 äî 12 mm çà ãîäèíà.

Òåêòîíñêîòî ñâðúõíàëÿãàíå – ôàêò èëè ôèêöèÿ?

Íÿêîè èçñëåäîâàòåëè çàñòúïâàò ìíåíèåòî, ÷å áàðîìåòðè÷íèòå äàííè ñà ïîâëèÿíè îò åôåêòè íà ïîâèøàâàíå íà íàëÿãàíåòî, ïîðîäåíè îò ðàçëè÷íè òåêòîíñêè ïðîöåñè èëè îáñòàíîâêè. Òîçè òèï ãåîëîæêè ôåíîìåí ñå îçíà÷àâà ñ òåðìèíà òåêòîíñêî ñâðúõíàëÿãàíå.

Îáåêòèâíèÿò àíàëèç íà ìîäåëèòå çà òåêòîíñêî ñâðúõíàëÿãàíå ïîêàçâà òÿõíàòà íåïðèëîæèìîñò çà ðåàëíèòå ãåîëîæêè îáñòàíîâêè:

- Àíàëèòè÷íèÿ ìîäåë íà Mancktelow (1995) ïðåäïîëàãà ïîòîê íà êîðîâ ìàòåðèàë â òåñåí êàíàë, ðàçïîëîæåí ìåæäó íàâëè÷àùàòà ñå è ñóáäóöèðàùàòà ñå ïëî÷à. Îñíîâíèòå íåäîñòàòúöè íà ìîäåëà ñà: (1) ïðåíåáðåãâàíå íà ïðîöåñèòå íà ðåöèêëèðàíå íà ôëóèäèòå; (2) íåâúçìîæíîñò çà îáÿñíåíèå íà òåðìàëíàòà åâîëþöèÿ; (3) èçèñêâàíèÿòà çà ïîñòîÿíåí ïîòîê íà ìàòåðèàëà, óñòîé÷èâà ãåîìåòðèÿ è ðåîëîãèÿ íà ñòåíèòå íà êàíàëà. Ñïîðåä Burov et al. (2001) òåêòîíñêîòî ñâðúõíàëÿãàíå â ñóáäóêöèîííèÿ êàíàë ìîæå äà ïðåâèøè ÿêîñòòà íà ëèòîñôåðàòà, êîåòî ùå äîâåäå èëè äî ðàçïàäàíå íà êàíàëà, èëè äî íåãîâîòî ðàçøèðÿâàíå. È â äâàòà ñëó÷àÿ ïîääúðæàíåòî íà ñâðúõíàëÿãàíå íå å âúçìîæíî.
- Ìîäåëà íà Petrini, Podladchikov (2000) ïðåäïîëàãà ïëàñòè÷íî òå÷åíèå â äîëíàòà êîðà, êîÿòî ñå ðàçãëåæäà êàòî îáõâàíàòà îò òâúðäèòå ãîðíà êîðà è ìàíòèéíà ÷àñò íà ëèòîñôåðàòà. Ìîäåëúò ñå áàçèðà íà ïðàêòè÷åñêè íåîñúùåñòâèìè óñëîâèÿ â ðåàëíè îáñòàíîâêè: (1) íåâúçìîæíîñò çà ìèãðèðàíå íà ìàòåðèàëà îò äîëíàòà êîðà è (2) ëèïñà íà ëîêàëèçàöèÿ íà äåôîðìàöèÿòà â îòäåëíè çîíè.

Íåäîñòàòú÷íî îáîñíîâàíèòå ìîäåëè çà òåêòîíñêî ñâðúõíàëÿãàíå íàñî÷âàò êúì èíòåðïðåòèðàíå íà áàðîìåòðè÷íèòå äàííè êàòî îòðàçÿâàùè ðåàëíàòà äúëáî÷èíà íà ïîãðåáâàíå íà êîðîâ ìàòåðèàë.

Ñúâðåìåííè ïðåäñòàâè è ìîäåëè çà êîíâåðãåíöèÿ â êîëèçèîííèòå çîíè

Íàìèðàíåòî íà çåìíàòà ïîâúðõíîñò íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè å ñâèäåòåëñòâî, ÷å êîíòèíåíòàëåí òèï çåìíà êîðà å ñóáäóöèðàíà íà äúëáî÷èíè, ïî-ãîëåìè îò 100 km, à ñúùî òàêà óêàçâà è çà ñúùåñòâóâàíåòî íà ìåõàíèçìè, ÷ðåç êîèòî òåçè ñêàëè ñà áèëè èçíåñåíè êúì ïîâúðõíîñòòà. Óñòàíîâÿâàíåòî íà ðåëèêòè îò òåçè ñïåöèôè÷íè ñêàëè â ãîëÿì áðîé ìåòàìîðôíè êîìïëåêñè å ÿñíî ñâèäåòåëñòâî çà ÷åñòàòà ïðîÿâà íà ïðîöåñèòå íà êîíòèíåíòàëíà ñóáäóêöèÿ. Íåùî ïîâå÷å, äàííèòå íà Burtman, Molnar (1993) çà ðàéîíà íà Ïàìèð ÿñíî ïîêàçâàò, ÷å êîíòèíåíòàëåí òèï çåìíà êîðà â ñåãàøíî âðåìå ñå ñóáäóöèðà äî ãîëåìè äúëáî÷èíè â çîíèòå íà îðîãåííèòå ïîñòðîéêè. Searle et al. (2001) ðàçãëåæäàò ñåèçìè÷íàòà çîíà Õèíäóêóø êàòî ñúâðåìåííà îáñòàíîâêà íà ôîðìèðàíå íà êîåñèò-ñúäúðæàùè åêëîãèòè è äèàìàíò-ñúäúðæàùè ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè ñêàëè. Òåçè ôàêòè íàëîæèõà äîðàçâèâàíå íà ïðåäñòàâèòå çà ïðîöåñèòå íà êîíâåðãåíöèÿ â êîëèçèîííèòå çîíè.

Íà ñúâðåìåííèÿ åòàï íà ðàçâèòèå íÿìà åäèííà òåîðèÿ çà ïðîöåñèòå íà êîíâåðãåíöèÿ íà ïëî÷è, èçãðàäåíè îò êîíòèíåíòàëåí òèï çåìíà êîðà. Ðåäèöà àâòîðè è àâòîðñêè êîëåêòèâè ñà ïóáëèêóâàëè ìîäåëè, íàé-÷åñòî áàçèðàíè íà ïðèìåðè íà äîáðå èçó÷åíè îðîãåííè ïîñòðîéêè. Íåçàâèñèìî îò ðàçëè÷èÿòà ïîðîäåíè îò: (1) ìåòîäèêàòà íà ñúçäàâàíå íà ìîäåëèòå è (2) èçõîäíèòå äàííè, íà êîèòî ñå áàçèðàò ìîäåëèòå, ìîãàò äà ñå îòáåëåæàò îáùè ÷åðòè ìåæäó òÿõ:

- Ñúùåñòâóâàíå íà ïðîäúëæèòåëåí åòàï íà ñóáäóöèðàíå íà êîíòèíåíòàëíà çåìíà êîðà.
- Ïðåõîäúò êúì åòàïà íà êîëèçèÿ çàïî÷âà, êîãàòî ïðîöåñèòå íà ñóáäóêöèÿ íå ìîãàò äà ïðîäúëæàò. Íà÷àëîòî íà êîëèçèîííèÿ åòàï ÷åñòî ñå áåëåæè îò ôîðìèðàíåòî íà áèâåðãåíòåí îðîãåí (Beaumont et al., 1996; Escher, Beaumont, 1997).
- Ìíîãîåòàïåí õàðàêòåð íà ïðîöåñà íà åêñõóìèðàíå íà âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè.
- Ñúùåñòâóâàíå íà åêñòåíçèîííè çîíè íà ñðÿçâàíå â åòàïà íà êîíâåðãåíöèÿ. Òåçè çîíè ñà çàäúëæèòåëåí åëåìåíò â äîáèëèòå øèðîêà ïîïóëÿðíîñò ìîäåëè çà åêñòðóçèîííà òåêòîíèêà (Escher, Beaumont, 1997; Beaumont et al., 2001).
- Îò÷èòàíå íà âçàèìîäåéñòâèåòî íà ïðîöåñèòå îò ðàçëè÷íè íèâà îò êîðàòà è ìàíòèÿòà.
- Ïðåäñêàçâàíå íà ñëîæåí õàðàêòåð íà ñèíìåòàìîðôíèòå äåôîðìàöèè, ñ âàðèàöèè â õàðàêòåðà íà äåôîðìàöèÿòà îò ÷èñòî ñðÿçâàíå äî ïðîñòî ñðÿçâàíå.

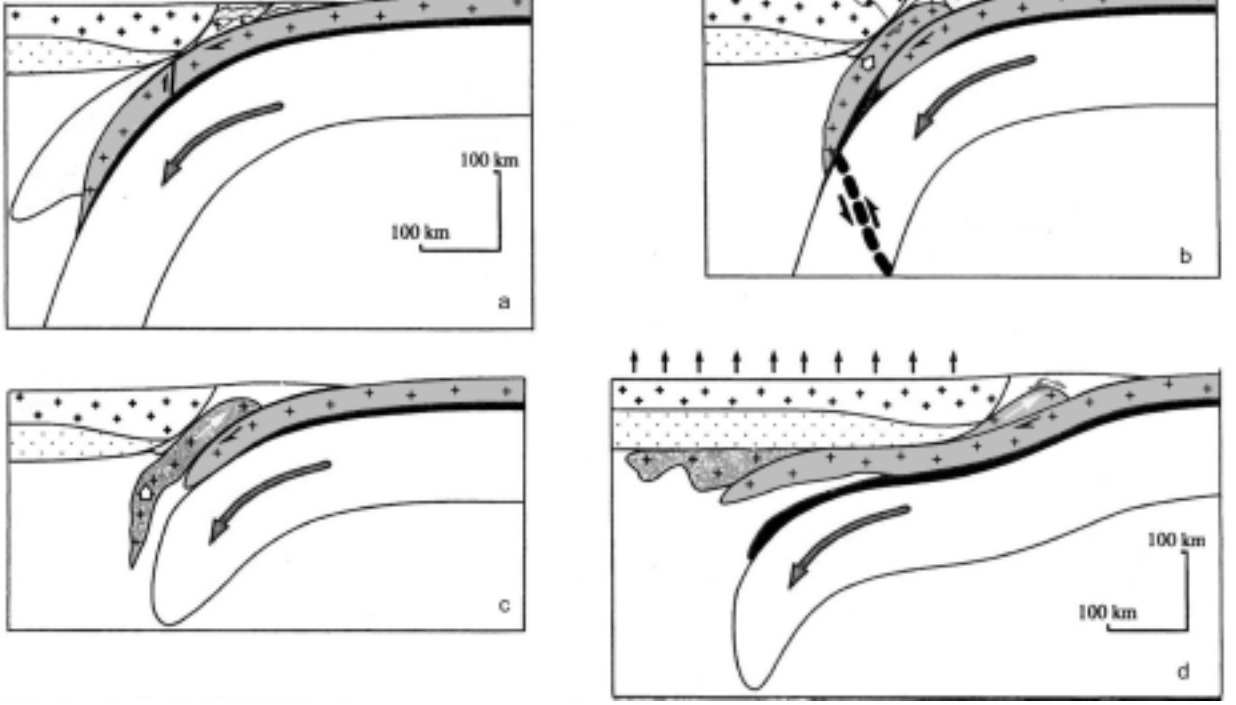
Â èçâåñòíà ñòåïåí çàòðóäíåíèå ïðåäñòàâëÿâà îáÿñíåíèåòî íà ïðè÷èíèòå çà ñóáäóöèðàíåòî íà ëåêàòà è ñëàáà ñèàëè÷íà êîðà (Molnar, Gray, 1979). Íàé-ëåñíî áèõà ñå ñóáäóöèðàëè ôðàãìåíòè îò êîíòèíåíòàëíà êîðà, ôîðìÿùè ïîëóîñòðîâè, îáõâàíàòè îò îêåàíñêà êîðà. Ïðåäïîëàãà ñå, ÷å â ïîâå÷åòî ñëó÷àè íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè ñóáäóöèðàíèòå ôðàãìåíòè êîíòèíåíòàëíà çåìíà êîðà ñà óâëå÷åíè îò òåæêàòà îêåàíñêà êîðà. Hartz et al. (2003) îïèñâàò è ñëó÷àé íà ñóáäóöèðàíå íà êîíòèíåíòàëíà ëèòîñôåðà, êîÿòî íå å ñâúðçàíà ñ îêåàíñêà ñóáäóêöèÿ. Âåðîÿòíî òîâà ñà ðåäêè ñëó÷àè, êîãàòî ñóáäóöèðàíåòî íà êîíòèíåíòàëíàòà ëèòîñôåðà å óëåñíåíî îò èçòúíåíà êîðà, ïîäñòèëàíà îò ïëúòíà ìàíòèÿ.

Èçîáèëåí ìàòåðèàë çà òúëêóâàíåòî íà ïðîöåñèòå íà êîíâåðãåíöèÿ è êîëèçèÿ äàâàò èçñëåäâàíèÿòà íà Chemenda et al. (1996, 2000). Chemenda et al. (2000) èçëàãàò ðåçóëòàòèòå îò äâóèçìåðíî, òåðìîìåõàíè÷íî ìîäåëèðàíå íà ñóáäóêöèÿòà íà êîíòèíåíòàëíà ëèòîñôåðà (ôèã. 1). Îñíîâíèòå ðåçóëòàòè îò ìîäåëèðàíåòî íà êîëåêòèâà ñå ñâåæäàò äî:

- Ïîòâúðæäàâà ñå âúçìîæíîñòòà êîíòèíåíòàëíà çåìíà êîðà äà áúäå äúëáîêî ñóáäóöèðàíà.
- Äåìîíñòðèðà ñå, ÷å ïðîöåñè îò òèïà íà îòêúñâàíå íà ïëî÷à (slab break-off), îòäåëÿíå íà ìàíòèÿòà (mantle delamination) è òåêòîíñêî ïîäïúõâàíå (tectonic underplating) ñà ÷àñò îò åâîëþöèÿòà íà êîíâåðãåíòíèòå îêðàéíèíè è èìàò âàæíî çíà÷åíèå çà ðàçâèòèåòî íà îðîãåííèòå ïîñòðîéêè.
- ßäðåíèòå ÷àñòè íà îðîãåííèòå ïîñòðîéêè ñå õàðàêòåðèçèðàò êàòî èçêëþ÷èòåëíî äèíàìè÷íà ñðåäà. Õàðàêòåðúò íà äåôîðìàöèèòå â òÿõ íå ñå îïðåäåëÿ ñàìî îò äâèæåíèÿòà íà ëèòîñôåðíèòå ïëî÷è, íî è îò ïðîöåñè êàòî îòêúñâàíå íà ïëî÷à (slab break-off) è îòäåëÿíå íà ìàíòèÿòà (mantle delamination).

Ìåõàíèçìè çà åêñõóìèðàíå íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè

Îò îñîáåíî çíà÷åíèå çà ãåîäèíàìèêàòà íà îðîãåííèòå ñèñòåìè å îáÿñíåíèåòî íà ìåõàíèçìèòå çà èçíàñÿíå íà ïîâúðõíîñòòà íà âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè, ôîðìèðàíè â ñóáäóêöèîííèòå çîíè. Òîâà å åäèí îò íàé-ãîëåìèòå ïðîáëåìè íà ñúâðåìåííàòà òåêòîíèêà è íà íåãî ñà ïîñâåòåíè îãðîìåí áðîé ïóáëèêàöèè. Ïî÷òè âñè÷êè ñúâðåìåííè ìîäåëè íà êîíâåðãåíòíèòå îêðàéíèíè (âêë. ðàçãëåäàíèòå ïîãîðå) ïðåäëàãàò îáÿñíåíèå íà ìåõàíèçìèòå íà èçíàñÿíå íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè. Â íàñòîÿùîòî èçëîæåíèå ñå îáñúæäàò â íàé-ðåçþìèðàí âèä îñíîâíèòå ñúâðåìåííè èäåè ïî òîçè âúïðîñ.



Ôèã. 1. Ïúðâèòå ÷åòèðè ñòàäèÿ îòåâîëþöèÿòà íà Õèìàèáéñêî-Òèáåòñêèÿ îðîãåí (ïî Chemenda et al., 2000). Äåìîíñòðèðàòñå íýêîè îòâàæèòåå ïðîöåññè â êîëèçèîííèòà îñòàòîêè: (a) äúëãîêà ñóáäóêöèÿ íà êîòèåíòàëíà êîðà; (b) ïðîöåññè íà îòêúñâàíå íà ïëî÷à è íà÷àëî íà èçíàñÿíå íà ñóáäóêöèðàíàòà êîðà; (c) åêñïóêñèðàíå êúì ïîâúðõíñòòà íà ñóáäóêöèðàíåÿ êîðîâ ôðàãìåíò; (d) îòäåëÿíå íà ìàíòèÿòà è íà÷àëî íà èçîñòàòè÷íîòî èçäèãàíå è ôîðìèðàíå íà èçðàçåí ðåëåô

Åêñõóìàöèÿòà å òåðìåí, êîéòî îïèñâà ïðîöåñíèòå íà èçíàñÿíå êúì çåìíàòà ïîâúðõíñò íà ôîðìèðàíå â äúëáîê÷èíà ìåòàìîðôíè ñêàëè. Â çàâèñèìîñò îò ïðèîäàòà èì, ïðîöåñíèòå äîïúëíèòåëíî ñå íà÷èíàò äà ñå ïîäåëÿò íà òðè ãîëåìè ãðóïè:

- Ððîçèîííè ïðîöåñè – íàé-ðàíî ïðèçíàòèÿ ôàêòîð íà åêñõóìàöèÿòà.
- Åêñòåíçèîííè äåôîðìàöèè â çåìíàòà êîðà – èçäåñòíè îùå êàòî òåêòîíñêà åðîçèÿ (“tectonic denudation” – Moores et al., 1968).
- Ëèòîñôåðíè ïðîöåñè îò òèïà íà åêñòðóçèÿ è êîíâåêöèÿ.

Â àíàëèçà, ïîñâåòåí íà ðîëÿòà íà òåçè ïðîöåñè çà èçíàñÿíåòî íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòà ìåòàìîðôèòè, Burov et al. (2001) çàëþ÷àâàò, ÷å åðîçèÿòà è åêñòðåíçèÿòà â íàõâàòà íà çåìíàòà êîðà ñà íääîñòàòú÷íî åôåêòèâíè ìåòàíèçìè çà îáÿñíåíèå íà öÿëîñòíîòî èçíàñÿíå íà ñóáäóöèðàíèòà êîðâè ôðàãìåíòè. Âàæíî å äà ñå îòáåëåæè, ÷å ïîïóëÿðíèòå ìîäåëè íà ìåòàìîðôíè ÿäðåíè êîìïëåêñè (metamorphic core complex) è ìîäåëèòà çà ñèí- äî ïîñòêîíâåðæåíòíà åêñòåíçèÿ (Beaumont et al., 2001) â ïîåå÷åòî ñëó÷àè îáÿñíÿâàò çàäîâîëèòåëåíî åêñõóìèðàíåòî íà ìåòàìîðôèòè îò äúëáîê÷èíà 20–25 km. Åäèíè÷íè ìîäåëè ðàçãëåæäàò ïðîíèêâàíå íà åêñòåíçèîííèòà çîíè äî íäáóöèðàíèòà êîðà (Dewey et al., 1993, Andersen, 1988), íî äîðè è òå íå ìîãàò äà îïèøàò çàäîâîëèòåëåíî èçíàñÿíåòî íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôíè ïàòòåðíè îò ìàíòèéíè äúëáî÷èíè. Íåùî ïîåå÷å, äàòàéëèòå èçñëäâàâàíèÿ íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå ôîðìèðàíåòî è åêñõóìàöèÿòà íà âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôíè ïàòòåðíè (Avigad et al., 2003) ñâèäåòåëñòâàò çà êîìïëåêñíèÿ, ìíîãîñòàäåéí ïðîöåñ íà èçíàñÿíåòî íà ñóáäóöèðàíèòà êîðîâè ôðàãìåíòè îò ìàíòèéíè äúëáî÷èíè.

Ñúùåñòâóâàù ðåäèòà íàùè ÷åðòè ìåæäó ïðåäåîæåíèòå â ïîñëåäíèòà ãîäèíè ìîäåëè, ñâúðçàíè ñ åêñõóìèðàíåòî íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòå òåðåíè:

(1) Ïëúòíñòíèòà ðàçèêêè ìåæäó ñóáäóöèðàíèÿ ôðàãìåíò è ñêàëèòåå îò ãîðíàòà ìàíòèÿ è äîêíàòà êîðà ñà îñíîâåí òàêòîð çà åêñõóìèðàíåòî. Äîðè è ñëåä ìèíåðàëèíèòà òðàíñôîðìàöèè â ðàçóëàòà íà ñóáäóöèðàíåòî, êîíòèíåíòàëíèòà ìàòåðèàëè ñà ïî-ëåêè îò ìàíòèéíèòà (Ernst et al. 1997): êîíòèíåíòàëíàòà êîðà (ñðåäíà ïëúòíñò 2,8 g cm^{-3}) å çíà÷èòåëíî ïî-ëåêà îò ìàíòèÿòà (ñðåäíà ïëúòíñò 3,3 g cm^{-3}). Îáðàòíî, åêëîãèòèçèðàíàòà îêåàíñêà êîðà å ïîïëúòíà îò ìàíòèéíèòå ïåðèäîòèòè è ñëåäâîâàòåëíî òÿ ùå ïîòúâà â ìàíòèÿòà. Òîâà çàêêþ÷åíèå ñå ïîòâúðæäàâà è îò òåðåíèòåå òàêòè, ñî÷àùè çà îòíîñèòåëíî ìàëêèÿ äÿë íà ìåòàáàçèòèòà è ìåòàòëððàáàçèòèòà â HP/ UHP òåðåíèòå.

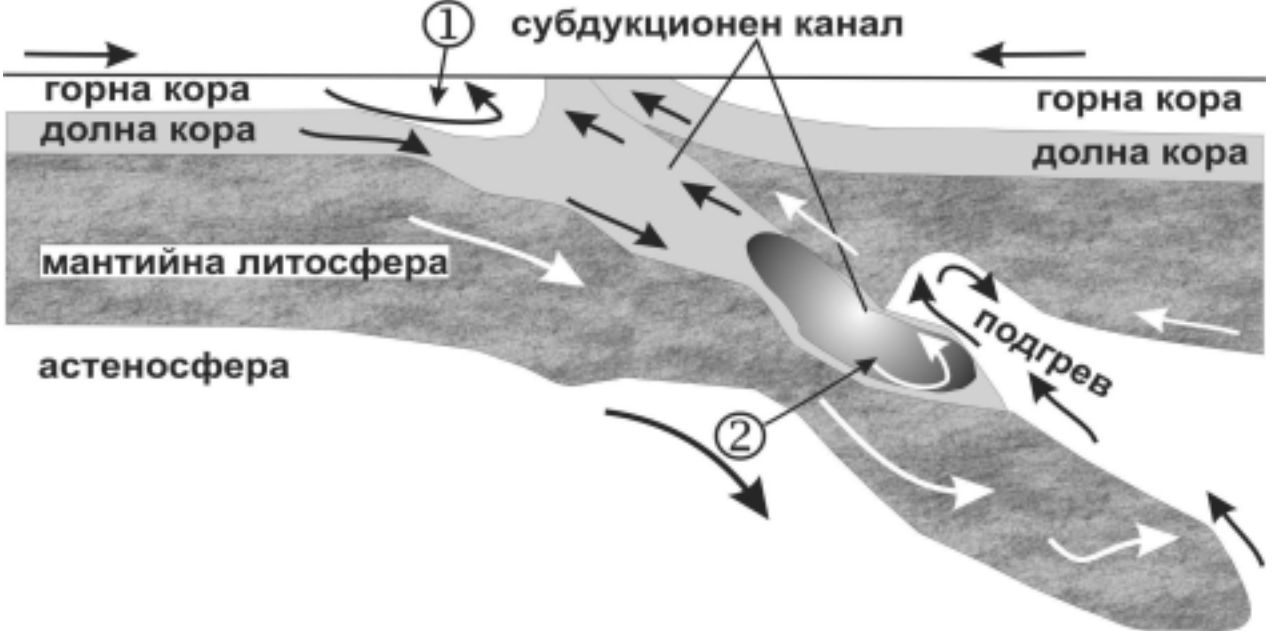
(2) Âèñîêèòå ñêîðîñòè íà åêñõóìèðàíå ñà òèïè÷íè çà èçíàñÿíåòî îò ãîðíàòà ìàíòèÿ äî äúëáî÷èíà 20–30 km. Èçîòïíè è ïåòðîëîæêè äàíè ñâèäåòåëñòâàò çà ìíîãî âèñîêè ñêîðîñòè íà åêñõóìèðàíå, áëèçêè äî ñêîðîñòòèòå íà åêñõóìèðàíå, íî ïîðÿäúêà íà cm çà ãîäèíà (Rubatto, Hermann, 2001). Âèñîêèòå ñêîðîñòè íà ïðîöåñèòå è çàïàçâàíåòî íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòå ïàðàäîêñè, îñîáåíî â ñëó÷àèòå íà ïåòðîëîæêè äîêóìåíòèðàíî ïîíèæàâàíå íà òåìïåðàòóðàòà ïðè äåêî ìîðåñíèÿòà, ñå ðàçãëåæäàò êàòî èíäèêàòîð çà èçíàñÿíå êúì ïîâúðõíñòòà â çîíàòà íà ñóáäóêöèðàíåòî è çà ïîâúðõíñòòà íà ñóáäóöèðàíèÿ êàíàë (Ernst, Liou, 1999; Engi et al. 2001).

Îò äðóãà ñòðàíà, íàïîñëåäúê ñå ëàíèðàò èäåè çà èíòåíçèâíî òîïëîíà íà ñóáäóöèðàíèòå êîíòèíåíòàëíè ôðàãìåíòè íåïîñðåäñòâåíî ñëåä ôîðìèðàíåòî íà (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè (Labrousse et al., 2002; Òeyssier, Whitney, 2002). Ôîðìèðàíåòî íà òîïëèêà îùå ïîâå÷å áè óâåëè÷ëèà ãðàâèòàöèèîííàòà íåñòàáèëíîñò íà òåçè êîðîâè ôðàãìåíòè è áè óëåñíèëà òÿõíîòî èçíàñÿíå íàïðèìåð áúâ áëâ íà ãíàéñîâè êóïîëè.

Àíàëèçúò íà Burov et al. (2001) è Jolivet et al. (2003) íàñ÷àâà êúì íáñíáÿâàíåòî íà äåå ãðóïè ìîäåëè, îáÿñíÿâàùè ôîðìèðàíåòî è åêñõóìàöèÿòà íà âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè – ìîäåëè, ñâúðçàíè ñ ïëèòêà è äúëáîêà öèðêóëàöèÿ íà åùåñòâîòî.

Ìîäåëè íà ïëèòêà öèðêóëàöèÿ

Ôîðìèðàíåòî è èçíàñÿíåòî íà ñèíüîøèñòíè è åêîîãèòîíâè ìåòàìîðôíè ñêàëè å ñâúðçàíî ñ ïëèòêà öèðêóëàöèÿ, ÷åñòî îñúùåñòâÿâàíà â ðàìêèòà íà àêðåòîííèòå êî ìîäåñè. Òàçè ãðóïà ìîäåëè îáÿñíÿâà çàäîâîëèòåëíî îñíîâåíèòèòà íà äúãîâè òèï âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôíè êî ìîäåñè è çà ïî-



Ôèã. 2. Ì îäåë çà åêñóòàöèÿ íà âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè (ïî Burov, et al., 2001). Äåìîíñòðèðàí å ñëó÷àÿò íà íèñêà ïëúòíîñò íà ñóáäóöèðàíåòå êîðîâè ôðàãìåíòè. Îçíà÷åíè ñà äâåòà ïñíîâíè íèâà íà èçíàñÿíå íà ñóáäóöèðàí êîðîâ ìàòåðèàë: (1) ïëèòêîê íèâî; (2) äúëáîêî íèâî, íà êîåòî ñòàâà èçíàñÿíåòî íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè

øèðîê ñïåêòúð îò îáñòàíîâêè, â êîèòî ñå ñðåùàò âèñîêîáàðè÷íè ìåòàìîðôèòè.

• Ì îäåë, ñâúðçàíè ñ ãðàâèòàöèîííàòà íåñòàáèëíîñò íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè. Èçäåãàíå, áëàãîäàðåíå íà ïëúòíîñòíè ðàçëèêè ìåæäó ðàçëè÷íèòå ñêàëèíè åëåíèòåòå ïîèñàíî îò Cloos (1982). Ñõîäåí å ìîäåëúò çà äèàïèðîí èçíàñÿíå íà England, Holland (1979).

• Ì îäåë íà åêñòåçèííà òåêòîíèêà. Ïîïóëÿðåí å ìîäåëúò íà Platt (1986), ïðåäïîëàãàù ñèíêîíâåðãåíòíà ðåãèîíàëíà åêñòåíçèÿ. Ââòîðúò ñ÷èòà, ÷å åêñòåíçèÿòà ñå îñúùåñòâÿâà ÷ðåç äåæåíèÿòà ïî ïîëåãàòà ðàçñåíè çîíè (detachments) â ãîðíèòå ÷àñòè íà àêðåòèîííèòå êîìïëåêñè.

• Ì îäåë íà åêñòðóçèííà òåêòîíèêà. Åêñòðóçèÿòà ïðåäñòàâÿâà òðàíçèòîðåí íàòîâàðåù îò íàêòîíêèÿ êëèí îò íà÷àëíà ïîçèöèÿ â íàé-äúëáîêèòå íèâà íà îðîãåííàòà ïîñòðîéêà äî êðàéíà ïîçèöèÿ â ñðåäíàòà èëè ãîðíàòà êîðà. Ïîäåîæåíèÿò íà åêñòðóçèÿ êëèí ñå îãðàíè÷àâà îò íàâëà÷íà è åêñòåíçèííà çîíè íà ñðÿçâàíå ïî ñúíîâåòíî äîëíèÿ è ãîðíèÿ êîíòàêò. Ðàçíîâèäíîñò íà òîçè ìîäåë ïðåäëàãàòà Thompson et al. (1997), ñïîðåä êîòî åêñòóòàöèÿòà ñå îñúùåñòâÿâà ÷ðåç åêñòðóäóåðàíåòî êúì ïîâúðõíîñòòà íà ïëàñòè÷íà êîðà, êîì ïðåñèðàíà ìåæäó äâúðäåè èëòîñôåðíè ïëî÷è.

• Ì îäåë íà êîíâåêöèîííè ïîòîê èëè úãëîâ ïîòîê (corner flow). Ïðåäëîæåí å îò Cloos (1982), Platt (1993) è Macktelow (1995). Èçíàñÿíåòî íà âèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè ñå îáÿñíÿâà ñ êðúãîâ ïîòîê íà åâùåñòâîòî, èíäóöèðàí îò ñóáäóöèðàíåòî. Òåçè ìîäåëè ìîæå äà ñå ïðèëîæàò çà åêñòóòèðàíå îò äúëáîê íè ïî-ãîëåìè îò 30–40 km.

Ì îäåë íà äúëáîêà öèðêóëàöèÿ

Ôîðìèðàíåòî è èçíàñÿíåòî íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè å ñâúðçàíî ñ äúëáîêà öèðêóëàöèÿ. Ïîäîáíè ìåõàíèçìè è ñà âêëþ÷åíè â ìîäåëèòå íà Andersen et al. (1991) è Chemenda et al. (1996, 2000). Íàé-ïîäðîáåí âúçìîæíèòå ìåõàíèçìè è íà äúëáîêàòà öèðêóëàöèÿ ñà ðàçðàáîòåíè îò Burov et al. (2001), êîèòî ïóáëèêóâàò áàçèðàí íà ìàòåìàòè÷åñêî ìîäåëèðàíå òåðìîìåõàíè÷åí ìîäåë çà åêñòóòèöèÿòà íà UHP òåðåíè (ôèã. 2). Ââòîðèòå îáñúñâÿâàò äâå ãðóïè ñöåíàðèè íà åêñòóòèðàíå â çàâèñèìîñò îò ïëúòíîñòòà íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè. Êàòî öÿëî ìîäåëèðàíåòî å íàñî÷åíî êúì ïîäîáðåíèòåòî íà ïîñëåäíèòå ôðàãìåíòè. Äåòàéíî ïîäðîáåí ïîñòúïêà íà èçñëåäâàíèÿòà íà ñóáäóöèðàíåòî è ïîäãîòîâêàòà íà ìîäåëèòå ñå äàäåíà â ïðèëîæåíèåòî íà ñòàòèÿòà.

• Ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè ñå èçíàñÿò êúì ïîâúðõíîñòòà â îáõâàòà íà ñðàâíèòåëåí òÿñíà çîíà – ò.íàð. ñóáäóêöèîíåí êàíàë. Â ðàìêèòà íà òàçè çîíà ñå ïðåäïîëàãà, ÷å ñêîðîñòòèòå íà åêñõóìàöèÿòà ñà îò ïîðÿäúêà íà ñêîðîñòòèòå íà äâèæåíèåòî íà ëèòîñôåðíèòå ïëî÷è.

• Íàëè÷åå íà ïîíå äâå íèâà íà åêñõóìèðàíå íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè – ïëèòêîê íèâî, â ÷èòèòî ðàìêè ìîæå äà ñå èçíåñàò ïîðåäàíèòà äî 40 km äúëáîê÷èíà ñêàëè è äúëáîêî íèâî, êîåòî âêëþ÷âà èçíàñÿíåòî íà ñâðúõâèñîêîáàðè÷íèòå ìåòàìîðôèòè.

• Ïðîöåñúò íà ñóáäóöèðàíå âîäè äî èçòúíÿâàíå íà ñóáäóöèðàíàòà ëèòîñôåðà (åäèí êèä áóäèíæ), êîåòî ïðåäèçâèêâà èçíàñÿíå íà ãîðåù àñòåíîñôåðåí ìàòåðèàë. Ôîâà íàãðÿâàíå å êîíöåíòðèðàíî â îñíîâàòà íà íàâëè÷àùàòà ñå ïëî÷à è ìîæå äà äîâåäå äî âåñòàíçèÿ â ãîðèòå êîðîâè íèâà. Òîâà ñà ïðîöåñè òò òèïà íà îòêúñâàíå íà ïëî÷à (von Blanckenburg, Davies, 1995), êîèòî ìàãàÿò âàæíà ðîëÿ â îïðåäåëÿíåòî íà òåðìàëíàòà ñòðóêòóðà íà îðîãåííàòà ïîñòðîéêà.

Ñúçäàâàíåòî íà îáùîâàëèäåí ìîäåë çà èçíàñÿíåòî òò ìàíòèéíè äúëáî÷èíè íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè å îáåêòàíî òò ðåäèöà ôàêòîðè: (1) ðàçëèêòà â åâîëþöèÿòà è ñòðîæà íà ñóáäóêöèîííèòà çîíè ìåæäó ðàçëè÷íèòå îðîãåííè ïîñòðîéêè; (2) íåïúëíîòàòà íà ïîçíàíèÿòà íè çà ðåîëîãèÿòà íà ñðåäàòà â äúëáî÷èíà; (3) âñè÷êè ìîäåëè íà òåçè ïðîöåñè ñà äâóèçìåðíè (âêë. ìîäåëèòå íà Chemenda et al., 2000 è Burov et al., 2001) è íå îò÷èòàò ðîëÿòà íà åâíîòóäåíà îññäàíà êîìïîíåíòà íà äåôîðìàöèÿòà; (4) çàëè÷àâàíåòî íà ðàííèòå âèñîêîòåìïåðàòóðíè è âèñîêîáàðè÷íè ñòðóêòóðíè âñëääñòâèå òò íàëèãàíåòî íà âèñîêî/ñðåäíîòåì ïåðàòóðíà äèíàìèêàòà íà ðåððàíòèêà â óñëîâèÿòà íà ñðåäíî è íèñêî íàëÿãàíå. Òàçè ïðåððàíòèêà, ïîñëåäâàëèà áàðè÷íèÿ ïèê, îãðàíè÷àâà ïðèëîæèìîñòòà íà ñòðóêòóðíèòå èçñëåäâàíèÿ ñàìî äî äåøèôðèðàíå íà ôèíàëèòà åòàïè îò èçíàñÿíåòî íà ñóáäóöèðàíèòå êîðîâè ôðàãìåíòè.

Ãåðäæèêîâ, ß. 2004. Àëïèéñêè (ñâðúõ)âèñîêîáàðè÷åí ìåòà ì îðôèçúì â ÐÎäîî ïèòå – îáùà õàðàêòåðèñòèêà è äåîäèíàìè÷íè ïîñëåäñòâèÿ. – *Ñï. Áúëã. ãåîë. ä-âî, 65*, 1-3.

Andersen, T. 1998. Extensional tectonics in the Caledonides of southern Norway, and overview. – *Tectonophys., 285,* 333-352.

Andersen, T., B. Jamtveit, J. Dewey, E. Swensson. 1991. Subduction and eduction of continental crust: major mechanisms during continent-continent collision and orogenic extensional collapse, a model based on the south Norwegian Caledonides. – *Terra Nova, 3*, 303-310.

Austrheim, H. 1987. Eclogitization of lower crustal granulites by fluid migration through shear zones. – *Earth Planet. Sci. Lett., 81,* 221-232.

Avigad, D., C. Chopin, R. Le Bayon. 2003. Thrusting and extension in the southern Dora-Maira Ultra-high pressure massif (western Alps): view from below the coesite-bearing unit. – *Journ. Geol., 111*, 57-70.

Beaumont, C., R. Jamieson, M. Ngyen, B. Lee. 2001. Himalayan tectonics explained by extrusion of low-viscosity crustal channel coupled to focused surface denudation. – *Nature, 414*, 738-742.

Beaumont, C., S. Ellis, J. Hamilton, P. Fullsack. 1996. Mechanical model for subduction-collision tectonics of Alpine-type compressional orogens. – *Geology, 24*, 675-678.

Bousquet, R., B. Goffe, P. Henry, X. Le Pichon, C. Chopin. 1997. Kinematic, thermal and petrological model of the Central Alps: Lepontine metamorphism in the Upper Crust and eclogisation of the lower crust. – *Tectonophys., 273*, 105-128.

Bruno, M., R. Compagnoni, M. Rubbo. 2001. The ultra-high pressure corinitic and pseudomorphous reactions in a metagranodiorite from the Brossasco-Isaska Unit, Dora-Maira massif, western Italian Alps: a petrographic study and equilibrium thermodynamic modeling. – *J. Metamorph. Geol., 19*, 33-43.

Burov, E., L. Jolivet, L. Le Pourhiet, A. Poliakov. 2001. A thermomechanical model of exhumation of high pressure (HP) and ultra-high pressure (UHP) metamorphic rocks in Alpine-type collision belts. – *Tectonophys., 342*, 113-136.

Burtman, V., P. Molnar. 1993. Geological and geophysical evidence for deep subduction of continental crust beneath Pamir. – *Geol. Soc. Am., Special paper, 281*.

Chatterjee, N., Ð. Kruger, G. Haller, W. Olbricht. 1998. The Bayesian approach to an internally consistent thermodynamic database: theory, database, and generation of phase diagrams. – *Contrib. Mineral. Petrol., 133*, 149-168.

Chemenda, A., J-P. Burg, M. Mattauer. 2000. Evolutionary model of the Himalayas – Tibet system: geopoem based on new modelling, geological and geophysical data. – *Earth Planet. Sci. Lett., 174*, 397-409.

Chemenda, A., Mattauer, M., Bokun, A. 1996. Continental subduction and mechanism for exhumation of high pressure metamorphic rocks: new modeling and field data from Oman. – *Earth Planet. Sci. Lett., 143*, 173-182.

Chopin, C. 1984. Coesite and pure pyrope in high-grade blueschists of the western Alps: a first record and some consequences. – *Contrib. Mineral. Petrol., 86*, 107-118.

Chopin, C. 2003. Ultrahigh-pressure metamorphism: tracing continental crust into the mantle. – *Earth Planet. Sci. Lett., 212*, 1-14.

Cloos, M. 1982. Flow målanges: numerical modeling and geologic constraints on their origin in the Franciscan subduction complex. – *Geol. Soc. Am. Bull., 93*, 330-345.

Dewey, J., P. Ryan, T. Andersen. 1993. Orogenic uplift and collapse, crustal thickness, fabrics and metamorphic phase changes: the role of eclogites. – In: Prichard, H.M., T. Alabaster, N.B.W. Harris, C. Neary (Eds.). *Magmatic Processes and Plate Tectonics. Geol. Soc. Spec. Publ., 76*, 325-343.

Engi, M., A. Berger, G. Roselle. 2001. Role of the tectonic accretion channel in collisional orogeny. – *Geology, 29*, 1143-1146.

England, P., T. Holland. 1979. Archimedes and the Tauern eclogites: the role of buoyancy in the preservation of exotic tectonic blocks. – *Earth Planet. Sci. Lett.,44*, 287-294.

Ernst, W.G. 1973. Interpretative synthesis of metamorphism in the Alps. – *Geol. Soc. Am. Bull., 84*, 2053-2078.

Ernst, W., J. Liou. 1999. Overview of UHP metamorphism and tectonics in well-studied collisional orogens. – *Intern. Geol. Review, 41*, 477-493.

Ernst, W., S. Maruyama, S. Wallis. 1997. Buoyancy-driven, rapid exhumation of ultrahigh-pressure metamorphosed continental crust. – *Proc. Natl. Acad. Sci. USA 94*, 9532-9537.

Escher, A., C. Beaumont. 1997. Formation, burial and exhumation of basement nappes at crustal scale: a geometric model based on the Western Swiss-Italian Alps. – *Journ. Struct. Geol., 19*, 955-974.

Hartz, H.E., F. Corfu, A. Andresen, T. Andersen, S. Bowring, K. Hodges. 2003. Intracratonic (non-oceanic) deep subduction and exhumation, east Greenland Caledonides. – *Geophys. Res. Abstracts, 5*, 03390.

Hemingway, B., S. Bohlen, W. Hankins, E. Westrum, O. Kuskov. 1998. Heat capacity and thermodynamic properties for coesite and jadeite: reexamination of the quartz-coesite equilibrium boundary. – *Am. Mineral., 83*, 409-418.

Henry, P., X. Le Pichon, B. Goffe. 1997. Kinematic, thermal and petrological model of the Himalayas: constraints related to metamorphism within the underthrust Indian crust. – *Tectonophys., 273*, 31-56.

Jolivet, L., C. Faccenna, B. Goffe, E. Burov, P. Agard. 2003. Subduction tectonics and exhumation of high-pressure metamorphic rocks in the Mediterranean orogens. – *Am. Journ. Sci., 303*, 353-409.

Labrousse, L., L. Jolivet, P. Agard, R. Hebert, Ò. Andersen. 2002. Crustal-scale boudinage and migmatization of gneiss during their exhumation in the UHP Province of Western Norway. – *Terra Nova, 14*, 263-270.

Mancktelow, N. 1995. Nonlithostatic pressure during sediment subduction and the development and exhumation of high-pressure metamorphic rocks. – *Journ. Geophys. Res., 100*, 571-583.

Molnar, P., D. Gray. 1979. Subduction of continental lithosphere: some constraints and uncertainties. – *Geology, 7*, 58-62.

Moores, E., R. Scott, W. Lumsden. 1968. Tertiary tectonics of the White Pine-Grant Range region, east-central Nevada, and some regional implications. – *Geol. Soc. Am. Bull., 79*, 1703-1726.

Oxburg, E., D. Turcotte. 1971. Origin of paired metamorphic belts and crustal dilation in island arc regions. – *Journ. Geophys. Res., 76*, 1315-1327.

Petrini, K., Y. Podladchikov. 2000. Lithospheric pressure-depth relationship in compressive regions of thickened crust. – *Journ. Metamorph. Geol., 18*, 67-77.

Platt, J. 1993. Exhumation of high-pressure rocks: a review of concepts and processes. – *Terra Nova, 5*, 119-133.

Platt, J. 1986. Dynamics of orogenic wedges and the uplift of high-pressure metamorphic rocks. – *Geol. Soc. Am. Bull., 97*, 1037S1053.

Rubatto, D., J. Hermann. 2001. Exhumation as fast as subduction? – *Geology, 29*, 3-6.

Searle, M., B. Hacker, R. Bilham. 2001. The Hindu Kush seismic zone as a paradigm for the creation of ultrahigh-pressure diamond and coesite bearing continental rocks. – *Journ. Geol., 109*, 143-153.

Shi, Y., C. Wang. 1987. Two-dimensional modeling of the P-T-t paths of regional metamorphism in simple overthrust terrains. – *Geology, 25*, 1048-1051.

Smith, D.C. 1984. Coesite in clinopyroxene in the Caledonides and its implications for geodynamics. – *Nature, 310*, 641-644.

Teyssier, C., D. Whitney. 2002. Decompression of subducted continental crust and partial melting of orogens. – *Geol. Soc. Am., Annual Meeting*, Denver, Paper No 50-7.

Thompson, A., K. Schulmann, J. Jezek. 1997. Thermal evolution and exhumation in obliquely convergent (transpressive) orogens. – *Tectonophys., 280*, 171-184.

Von Blackenburg, F., J. Davies. 1995. Slab breakoff: A model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps. – *Tectonics, 14, 1*, 120-131.

Wain, A., D. Watrers, H. Austrheim. 2001. Metastability of granulites and process of eclogitisation in the UHP region of western Norway. – *Journ. Metamorph. Geol., 19*, 609-626.

ß íêî Ãåðäæèêîâ
ÑÓ „Ñâ. Êëèìåíò Îõðèäñêè“, 1504 Ñîôèÿ;
E mail: janko@gea.uni-sofia.bg