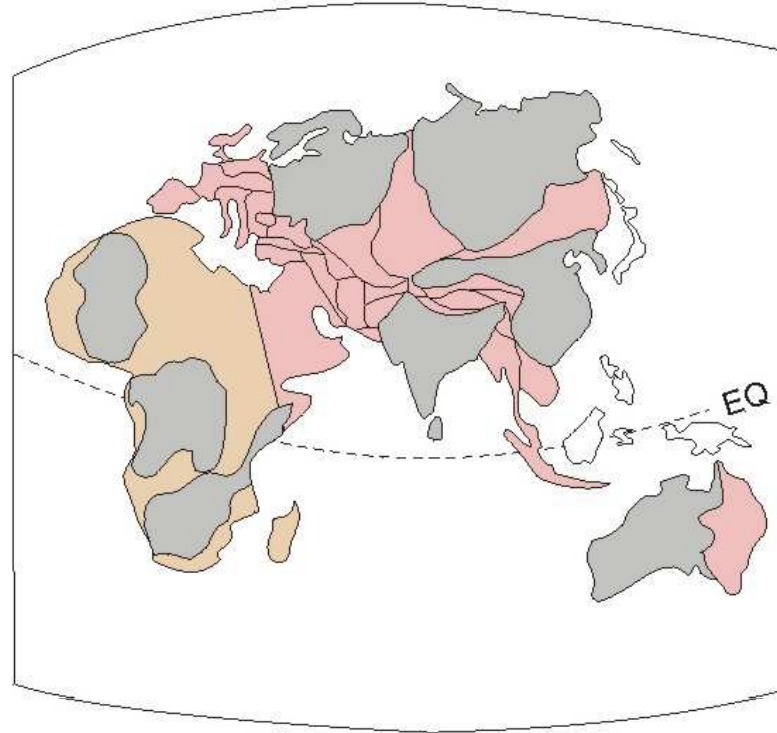


**ASIE**

# PRESENT DAY



- CRATONS
- PAN-AFRICAN TERRANES
- GONDWANA-MARGIN TERRANES

# Hlavní stavební jednotky Asie

**kontinentální jádra**

**mikrokontinenty**

**orogenetické zóny**

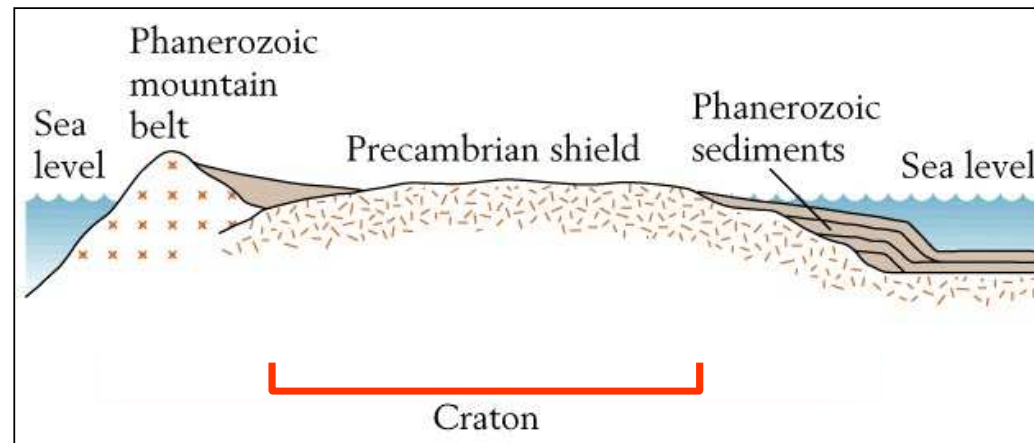
**Kontinentální jádra**- štíty a platformy (kratony) stabilizované v prekambriu. Sem patří **angarský** (nebo sibiřský) kraton, **indický** kraton a **arabský** kraton. Mimoto existují ještě menší kratony, které byly deformovány ve větší míře. Tyto zahrnují **severočínský kraton**, kraton **Yangtze** (jihočínský). Zvláštní postavení má **kazašský** kontinent tvořený z velké části oceanickou kůrou ostrovních oblouků a hlubokomořskými sedimenty akrečních prizmat.

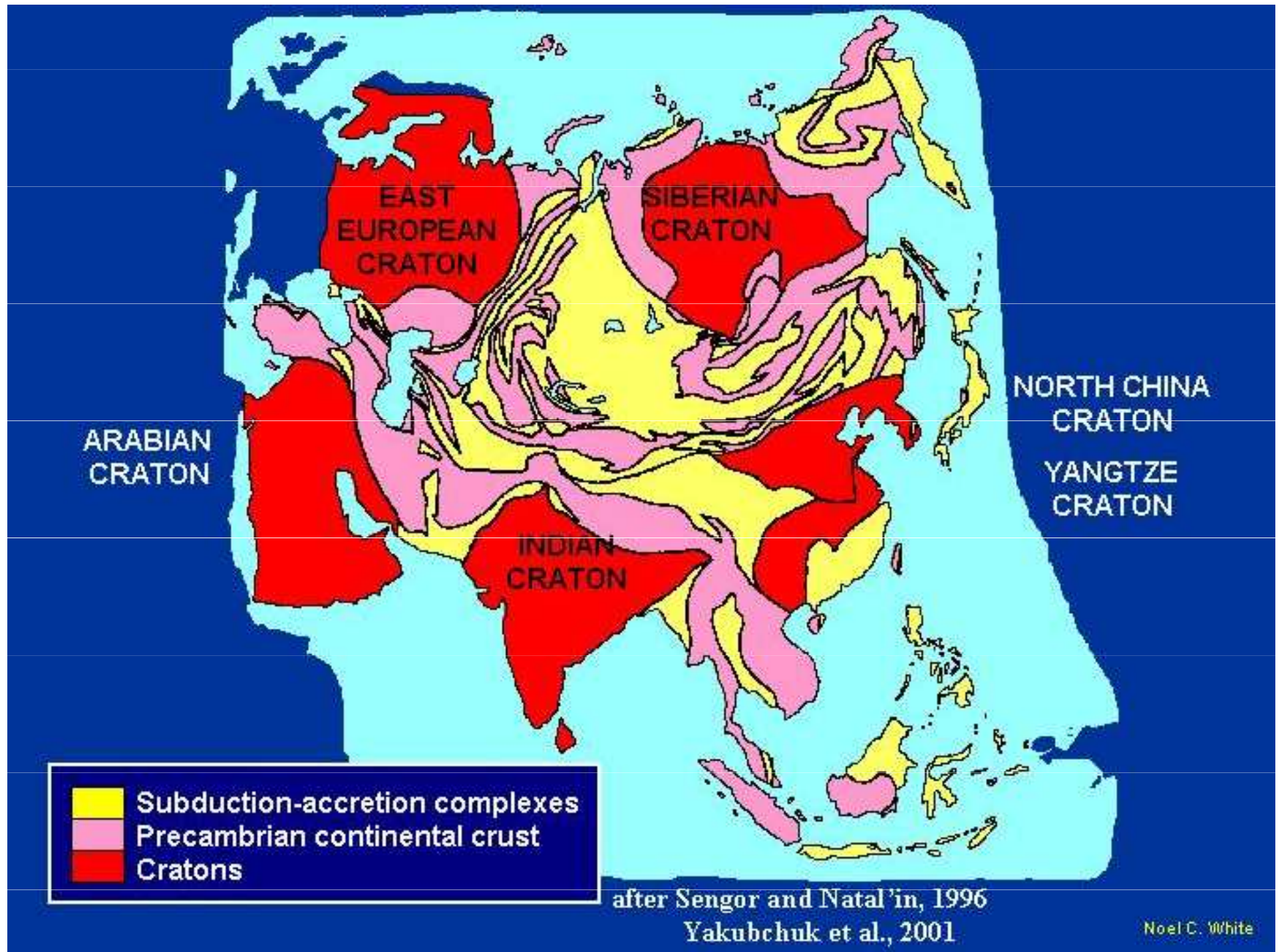
Vedle toho jsou součástí Asie menší úseky kontinentální kůry nazývané **mikrokontinenty**.

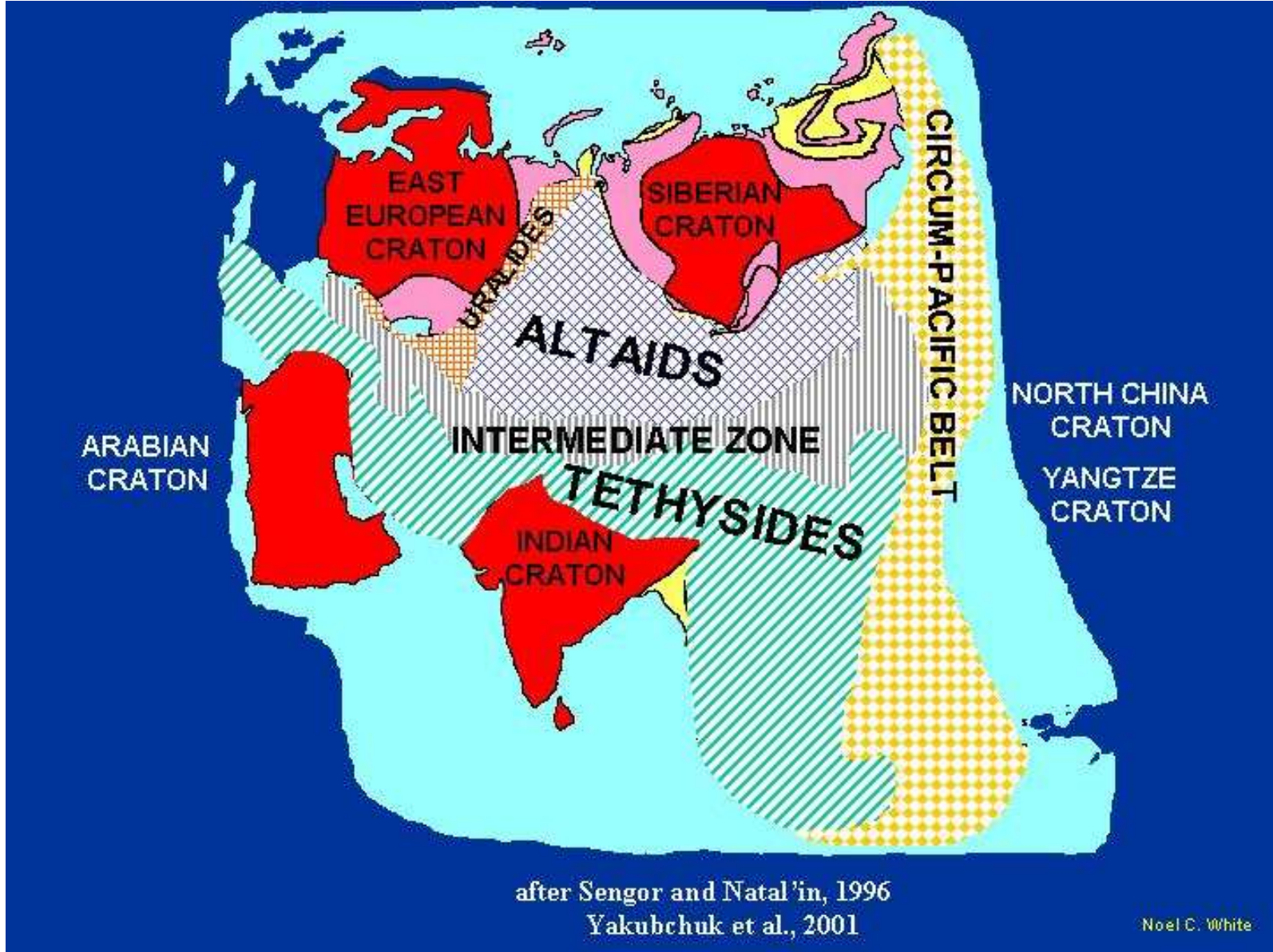
**Orogenetické zóny** jsou tvořeny tektonickou koláží, která byla přiřčleněna ke kontinentálním jádrům. Do této kategorie spadají **altaidy**, **přechodná zóna** a **tethysidy** dále dělené na **kimeridy** a **alpidy** a **cirkumpacifické pásmo alpid**.

# Precambrian rocks

- **Cratons** are the large, stable, interior regions of continents that *have not undergone major deformation since Precambrian or early Phanerozoic time*
- Most Precambrian rocks are confined to cratons, where they may be exposed in a “**Precambrian shield**”







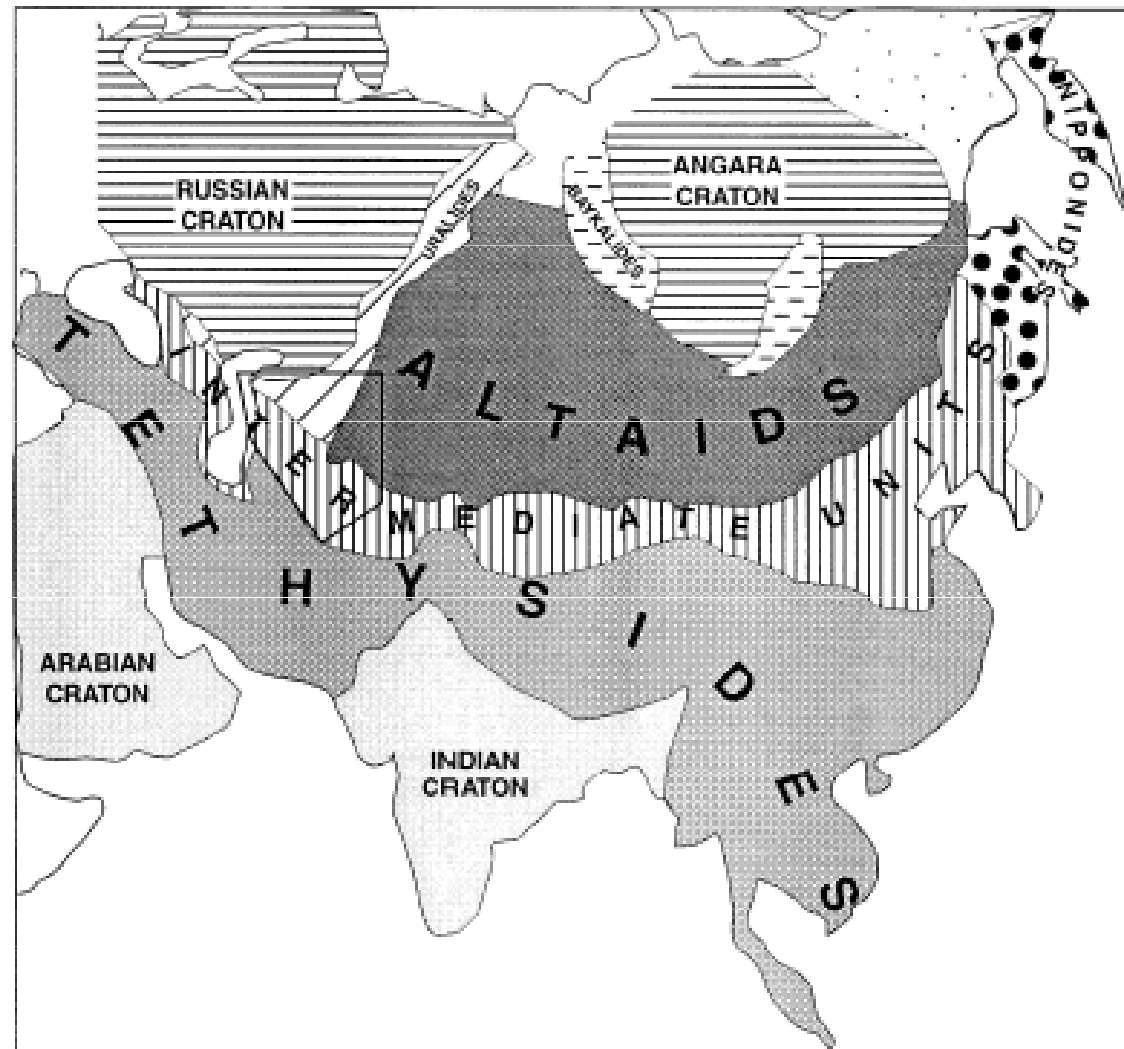
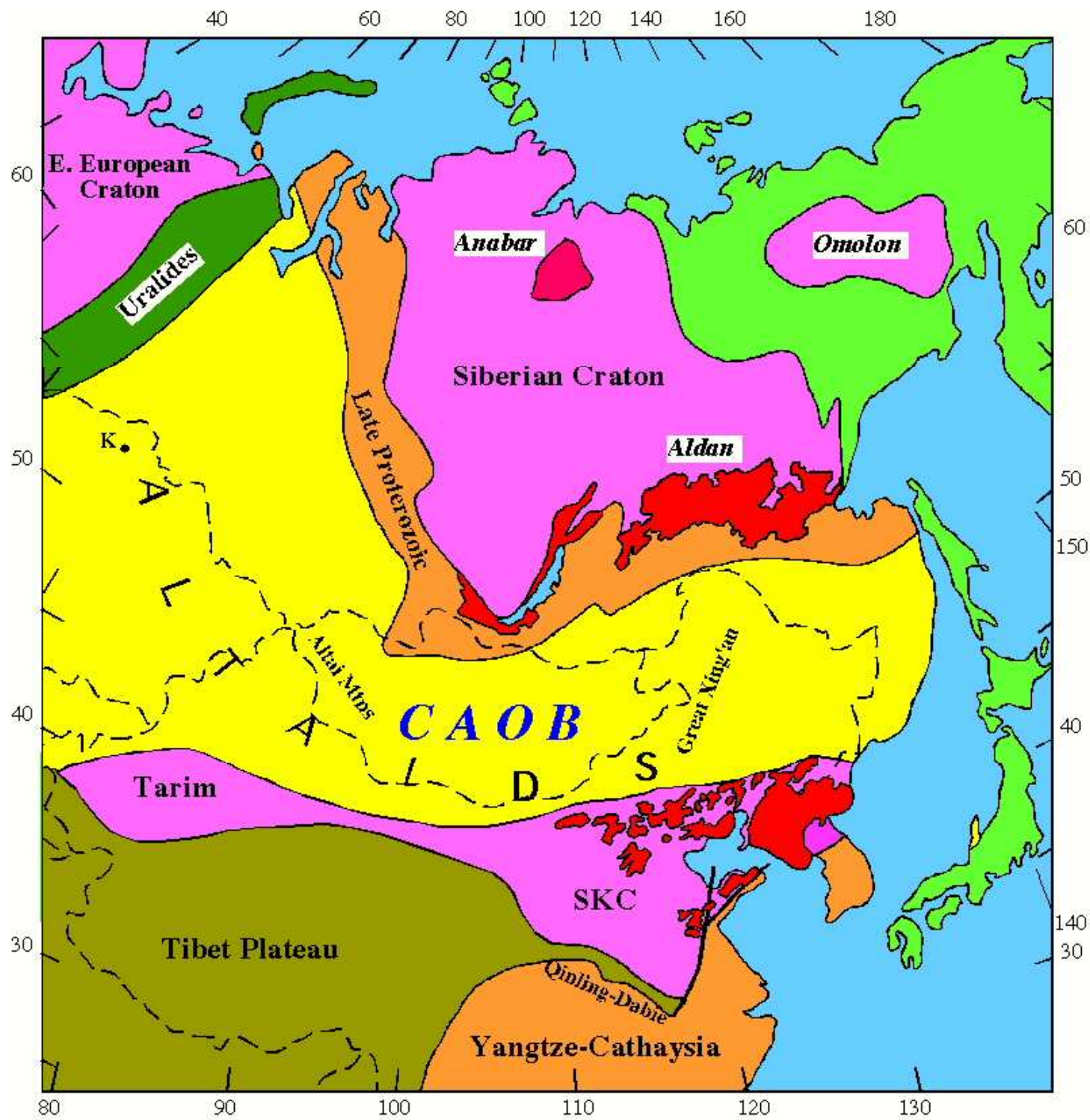
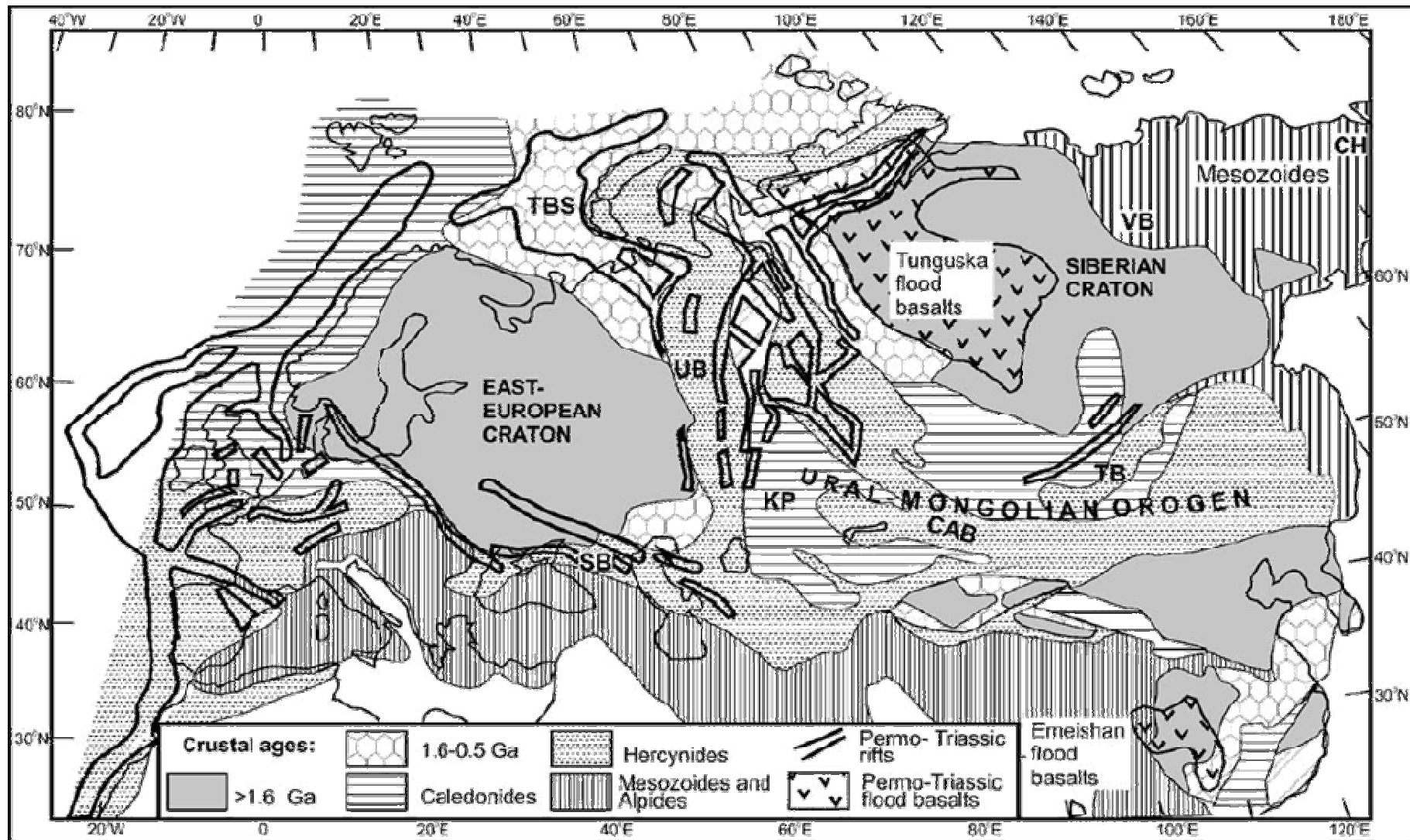


Fig. 2. Main tectonic units of Eurasia (after Sengör and Natal'in, 1996) and location of area studied (polygon). The Turan domain belongs to the Intermediate Units, whereas the south Kazak domain is at the southern edge of the Altai Dors.





**Geologický vývoj Eurasie ve fanerozoiku byl určován do značné míry transferem kontinentálních bloku gondwanského původu směrem na sever a jejich akrecí k Baltice a Sibiři. S těmito akrecemi souvisel jak vznik kaledonských a variských tak alpinských pohoří.**



## Prekambrium

Sibiřský kraton je největší tektonickou doménou staré kontinentální kůry mezi euroasijskými litosferickými deskami. Raně prekambričné metamorfované magmatické komplexy jsou nejlépe odkryty v **aldanském** a **anabarském** štítu, které byly spojeny během akitkanské a centrálně aldanské orogeneze před cca 1,8 Ma a vytvořily sibiřský kontinent. Ten pravděpodobně souvisel s Laurentií a dohromady ještě s Baltikou byly v období před 1,8 Ma součástí velkého superkontinentu Columbia.

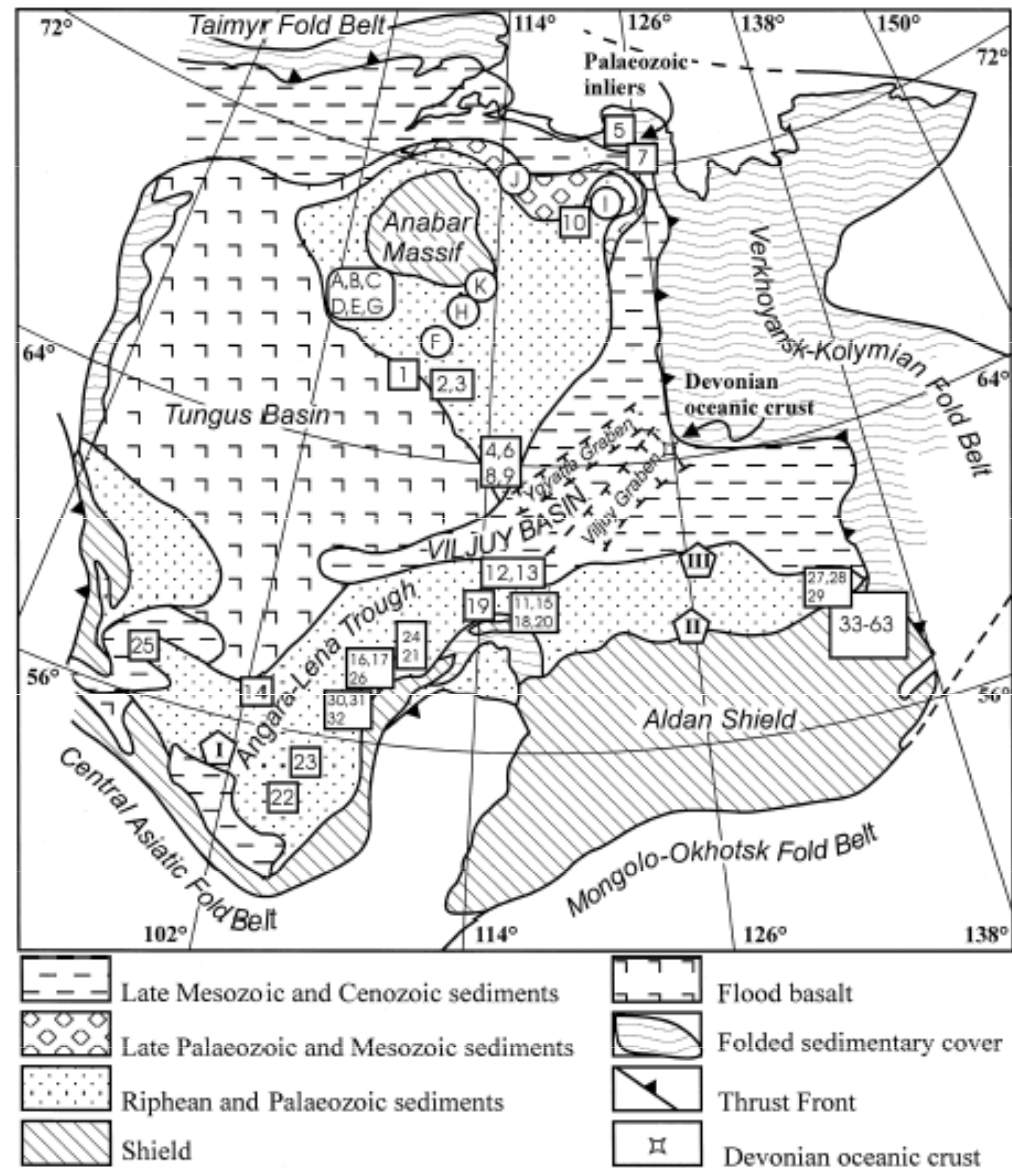


Fig. 1. Tectonic map of the Siberian Platform re-drawn and simplified from Zonenshain et al. (1990). Numbers in squares: sampling sites for selected palaeomagnetic studies in the southern Aldanian block and in post-Devonian rocks of the northern Anabar block. Numbers correspond to entries in Table 1. Letters in circles: sampling sites for selected palaeomagnetic studies in pre-Devonian rocks of the northern block (see Table 2). Roman numerals in pentagons: sampling sites for palaeomagnetic studies referred to in the text (see Table 1).

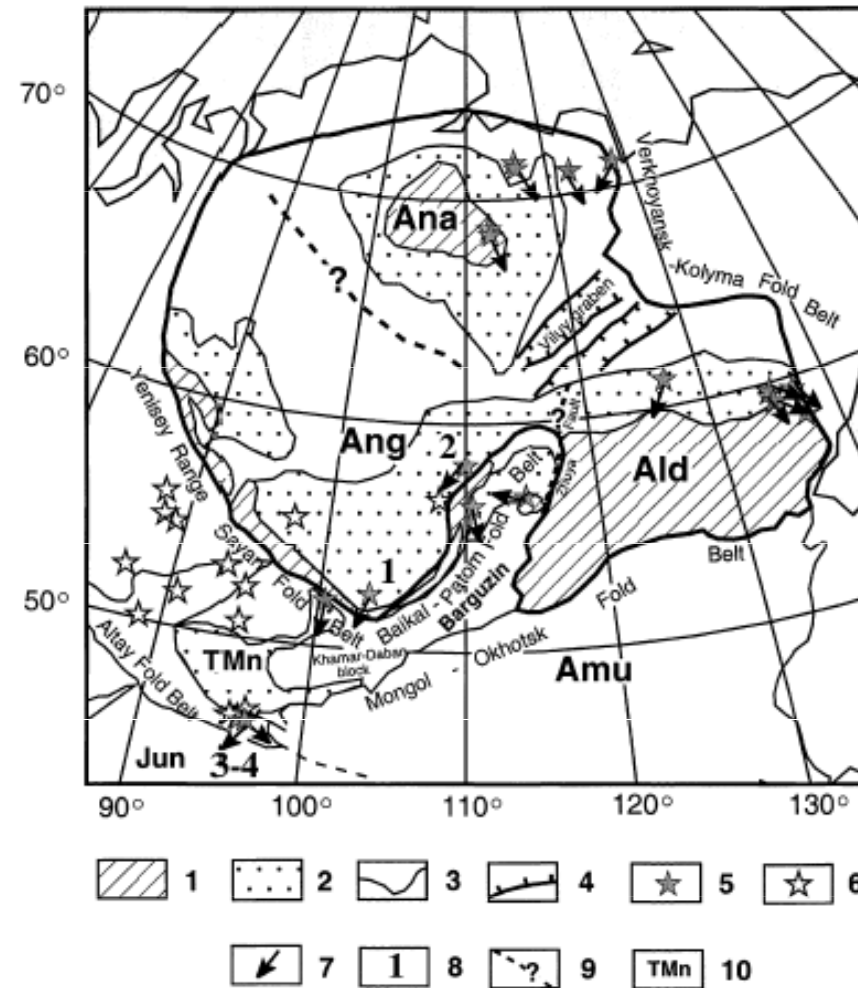


Fig. 1. Tectonic scheme of Siberia (simplified after Zonenshain et al. 1990). 1 — Precambrian shields; 2 — Riphean and Palaeozoic sediments; 3 — borders of geological structures; 4 — Vilyuy graben; 5 — localities of palaeomagnetic investigations listed in Table 5 and used for palaeoreconstructions; 6 — localities of palaeomagnetic investigations listed in Table 5, but not used for palaeoreconstructions; 7 — palaeomagnetic declinations from selected palaeomagnetic poles of Table 5 (see text) used for further palaeoreconstructions; 8 — sampling sites: (1) Shaman Formation (Vendian), (2) Minya Formation (Vendian), (3) Tsagan-Olom Formation (Vendian), (4) Bayan-Gol Formation (Early Cambrian); 9 — possible block limits; 10 — names of blocks: Ang — Angara, Ald — Aldan, Ana — Anbar, TMn — Tuva-Mongolian, Barguzin — Barguzin, Amu — Amuria, Jun — Jungar.

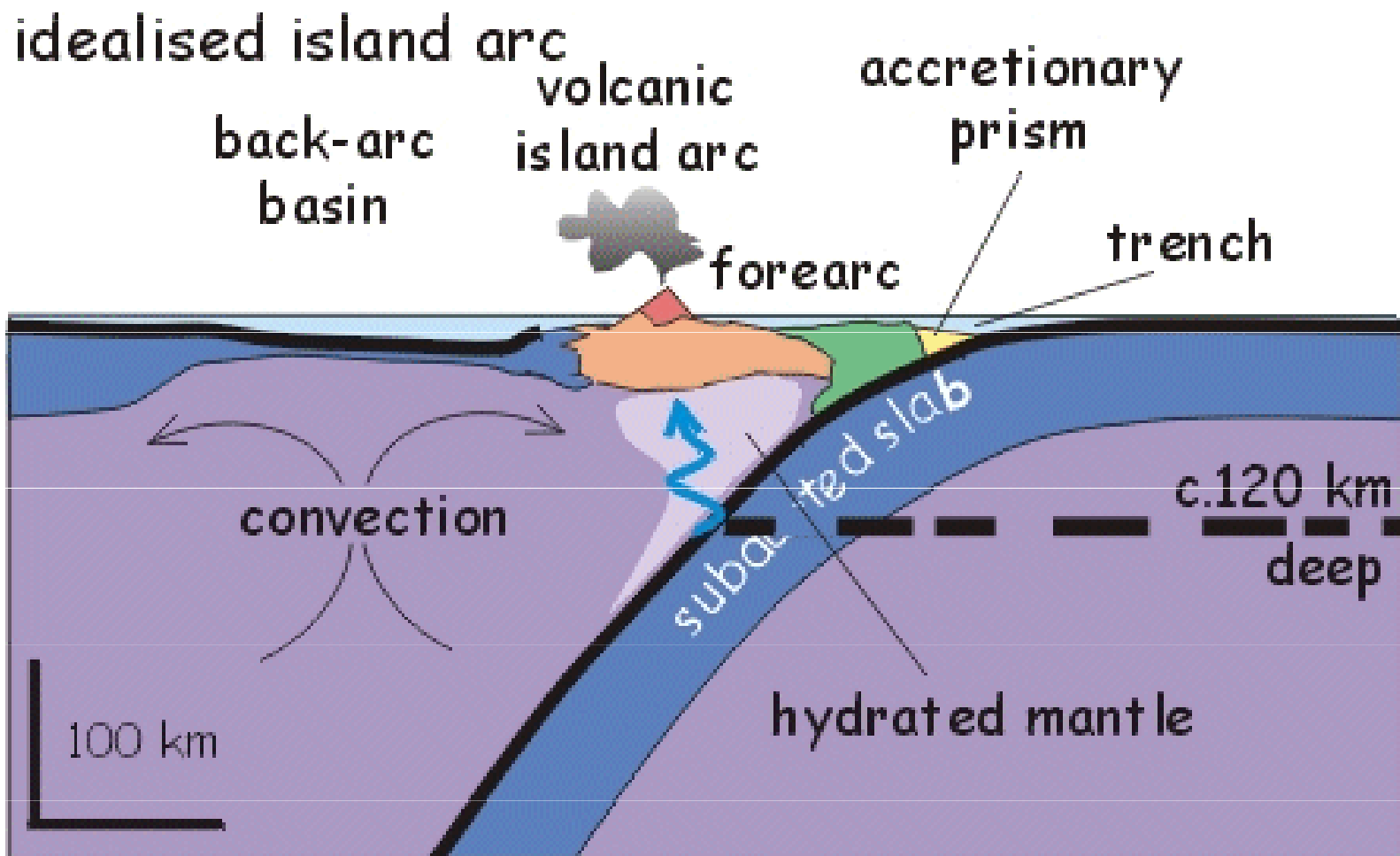
## Paleozoická Asie

Jádro tvořil sibiřský kontinent, kolem kterého se na jihu a západě vytvářel postupně lem **altaid**.

**Altaidy** představují jednotku s průběžným vývojem od neoproterozoika až do jury. Nejstarší neoproterozoická část se nazývá **bajkalidy a tvoří pohoří Bajkal**, vytvořené mezi 850Ma a 570 Ma podél jižního okraje angarské platformy. Hlavní část altaid však vznikala v **paleozoiku**, kdy se při subdukci utvářelo mohutné **akreční prisma** tvořené hlubokomořskými sedimenty, vulkanickými oblouky, ofiolity a drobnými **mikrokontinenty**. Do altaid je začleňován i **kazašský kontinent**, který rovněž vznikl při subdukci jako mohutné akreční prizma a kolidoval se sibiřským kontinentem a Laurussii ve svrchním paleozoiku.

**Přechodná zóna** - největším mikrokontinentem přiřčeným k Sibiři byl variský **tarimský** mikrokontinent na jihu a na jihozápadě podél altajské sutury (Ťan Šan). Ke konci paleozoika došlo rovněž k prvnímu kontaktu se skupinou **čínských** teránů.

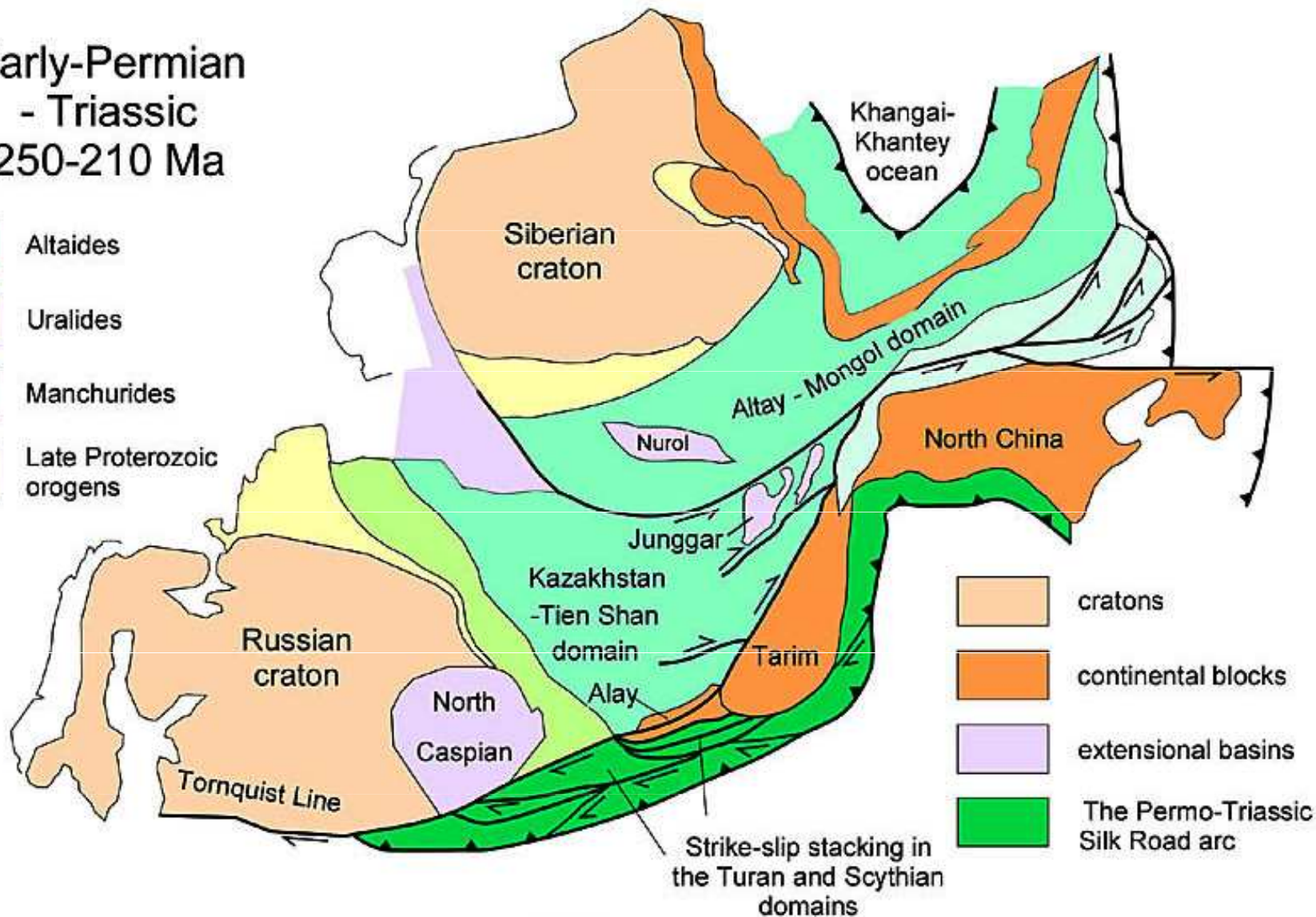
Součástí Asie nebyla v paleozoiku východní část Sibiře tj. **omolonský** i další drobné mikrokontinenty. Ty byly situovány na počátku svrchním paleozoika na jih od sibiřského kontinentu v oblasti teplejšího klimatu, postupně se ale posouval na sever.



subduction of oceanic lithosphere under oceanic lithosphere

# Early-Permian - Triassic 250-210 Ma

- Altaides
- Uralides
- Manchurides
- Late Proterozoic orogens



- cratons
- continental blocks
- extensional basins
- The Permo-Triassic Silk Road arc

8300 km



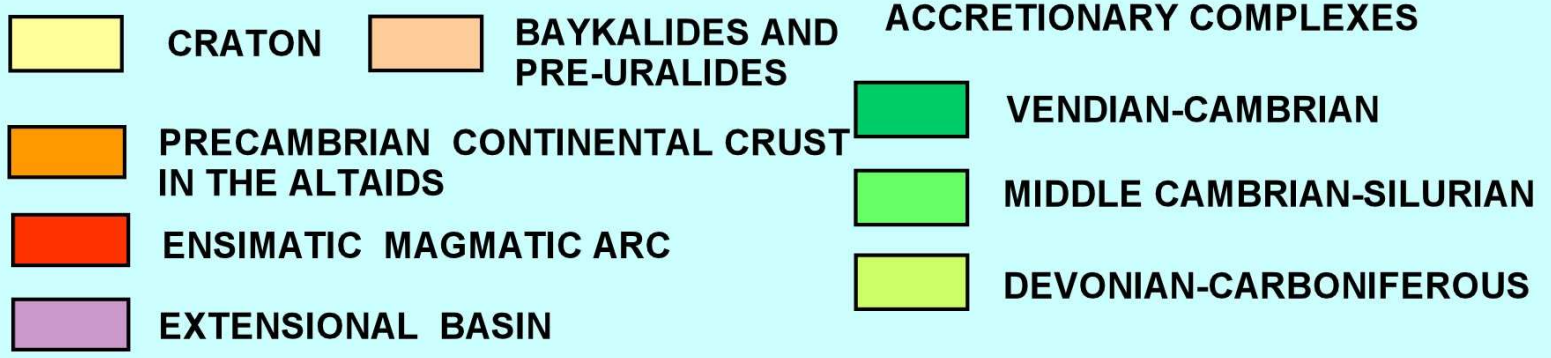
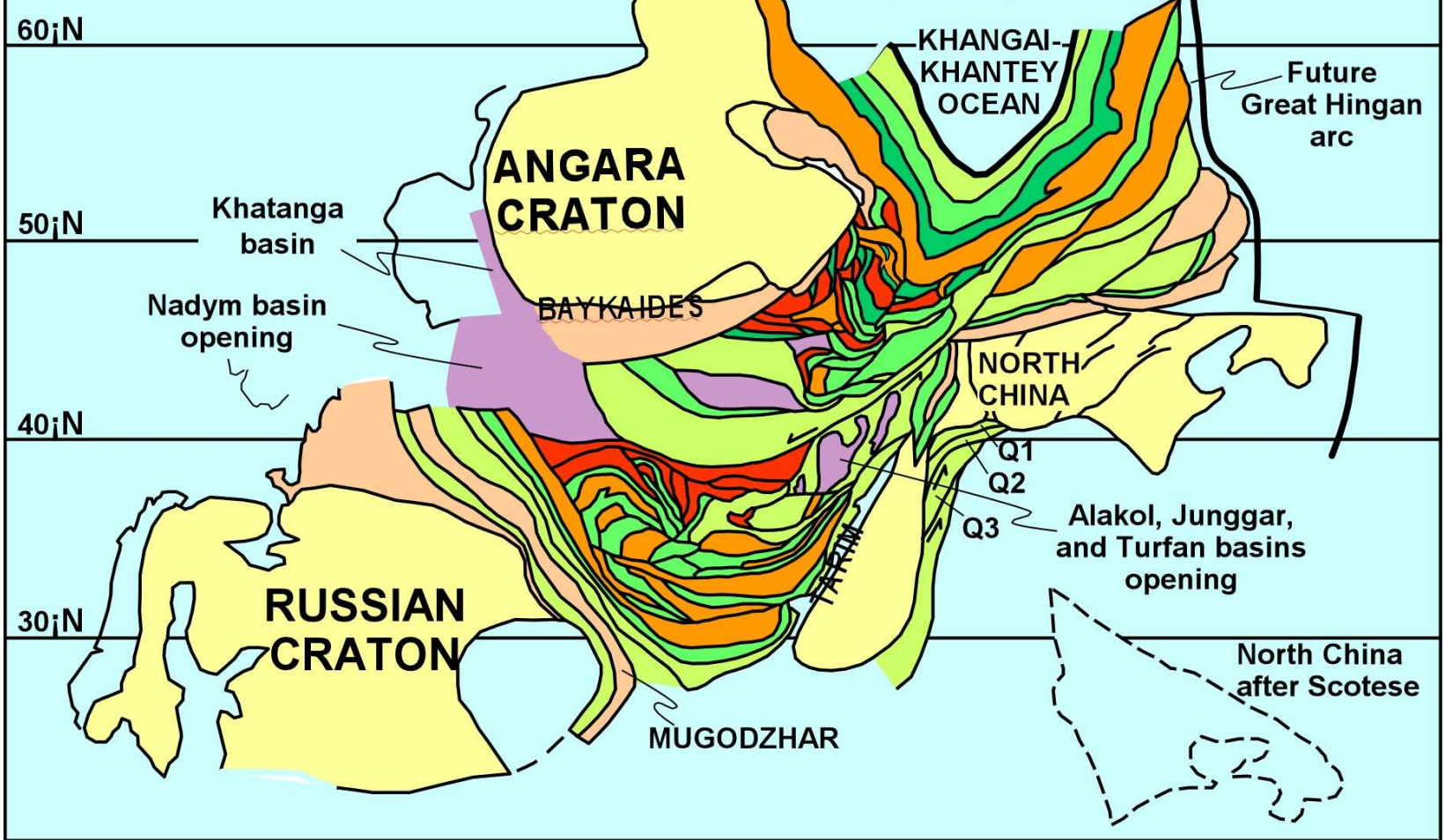
Paleo-Tethyan arc before shearing

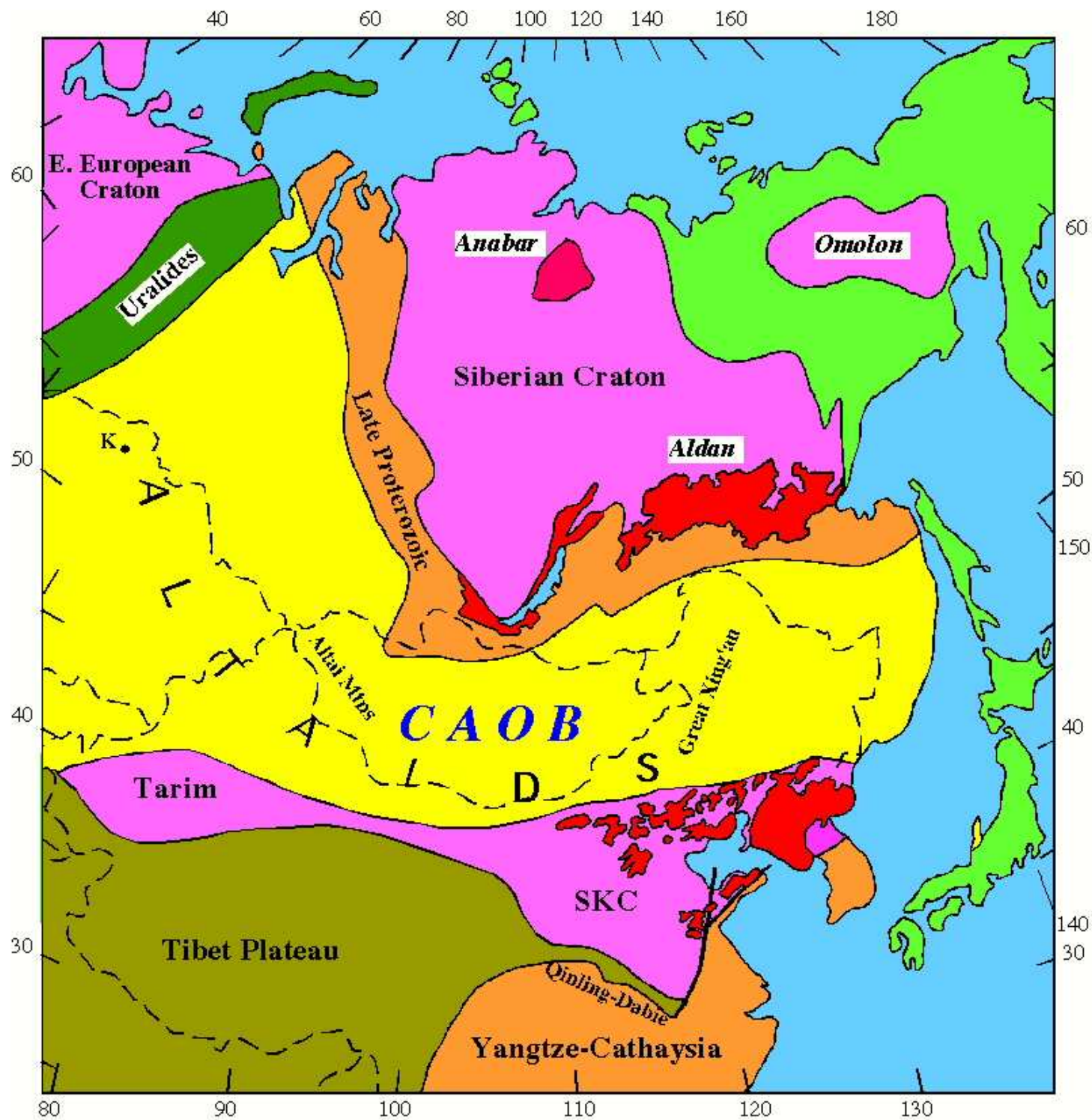
6600 km



Paleo-Tethyan arc after late Permian shearing

# LATE PERMIAN 250-255 Ma







Prakticky skoro všechny kontinentální bloky přiřčené k Sibiři během paleozoika, mesozoika a kenozoika byly původně součástí **Gondwany**. Pokud jde o **paleozoický vývoj** dalších kontinentálních bloků tvořících Asii byl spojen s otevřením oceánu **Paleotethys ve svrchním devonu**, když se **jižní a severní Čína** spolu s **Tarimem a Indočínou** oddělily od okraje Gondwany. Během spodního karbonu byly již tyto bloky kompletně oddělené od Gondwany. **Indočína a jižní Čína** se sloučily podél sutury **Song Ma ve spodním karbonu** ale oceán mezi nimi se neuzavřel úplně. K tomu došlo až v triasu. **Ve svrchním paleozoiku severní Čína kolidovala svým severním výběžkem s okrajem Asie**, nadále však zůstávala otevřená k východu se rozevírající oceanická zóna mezi nimi. Během **permu** došlo rovněž ke kolizi **severní a jižní Číny**. **Tarim** kolidoval s jižním okrajem Kazachstanu v oblasti **Ťan-Šanu**.

**Indická a arabská deska** zůstávaly spolu kimerskou skupinou teránů do permu součástí Gondwany. Od permu se datuje rifting a oddělování kimerské skupiny od Gondwany. Svrchopaleozické **zalednění Gondwany** je tak dokladováno rovněž v rámci indického kontinentu a arabské desky i v rámci většiny kimerských mikrokontinetů (Sibumasu, Lhasa, Qiantang, Karakoram, střednoafghanský blok)

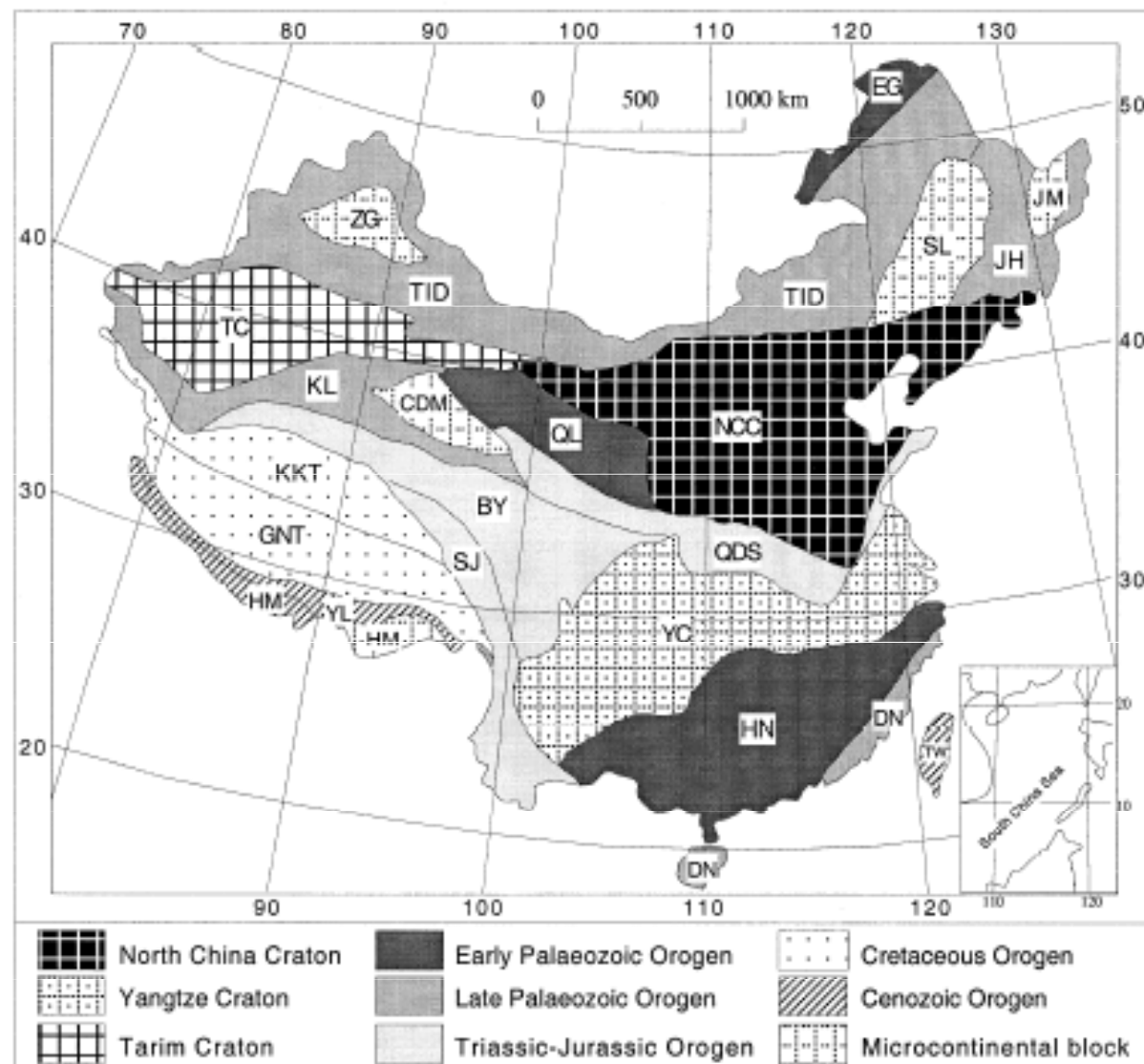
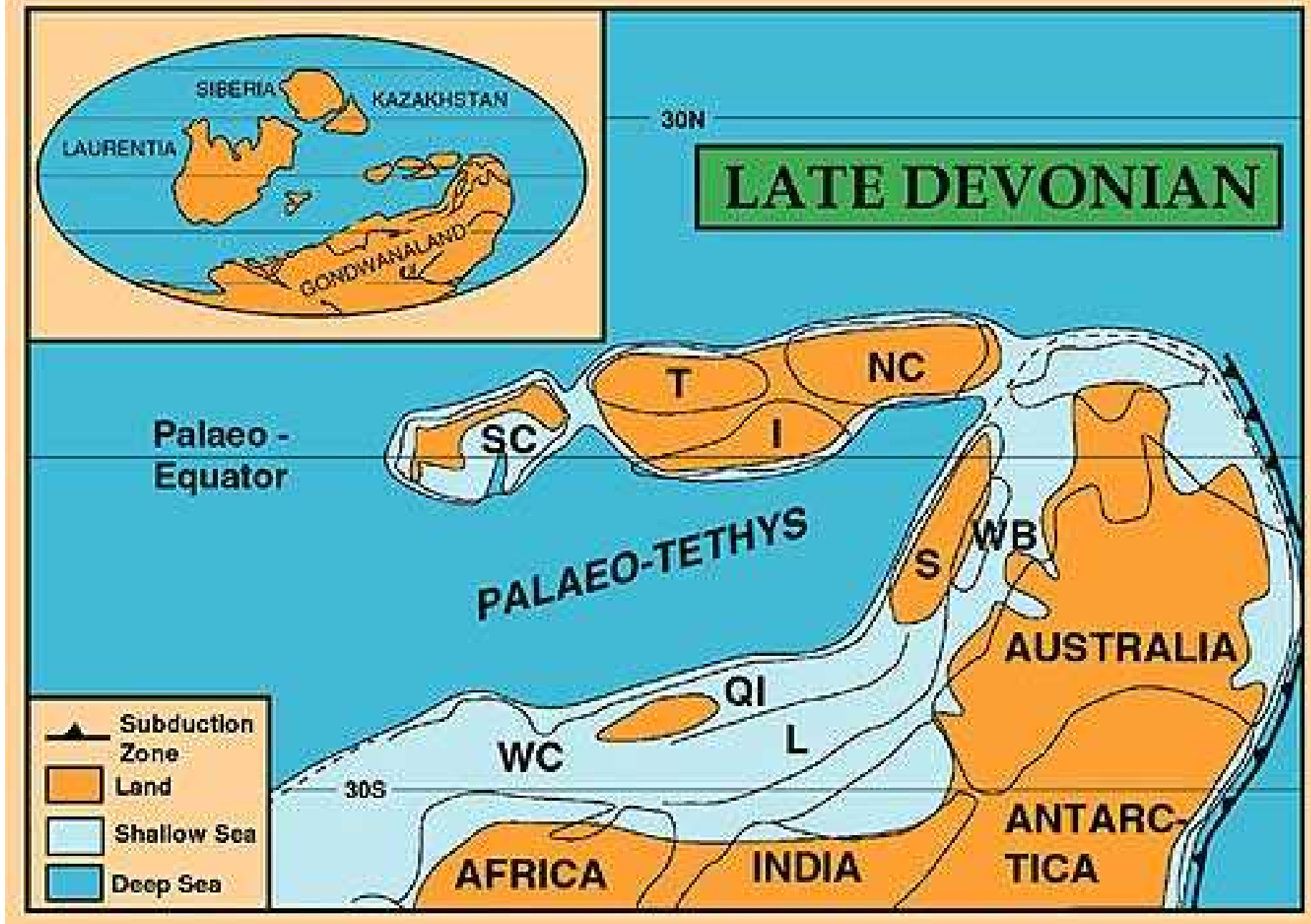
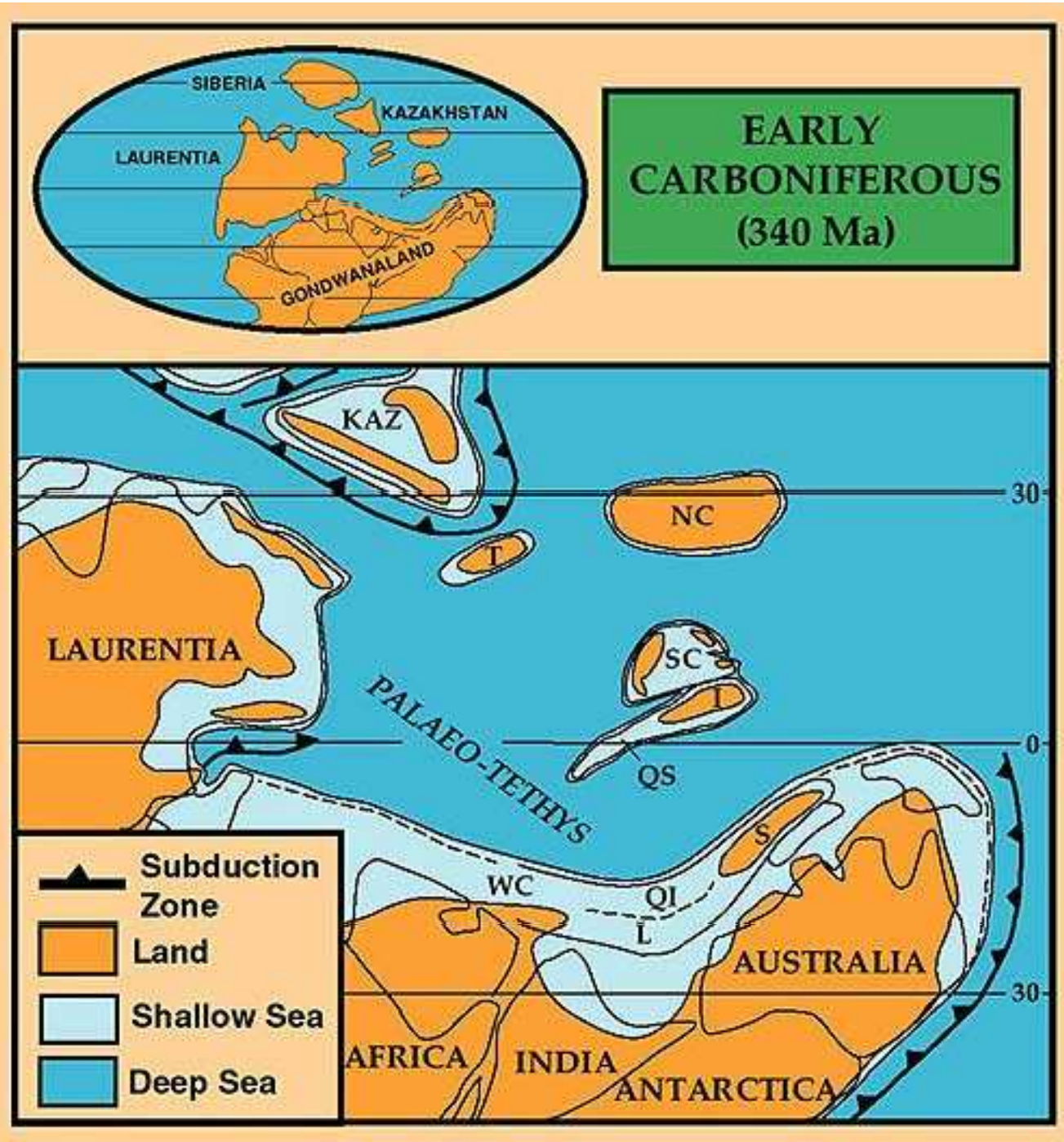


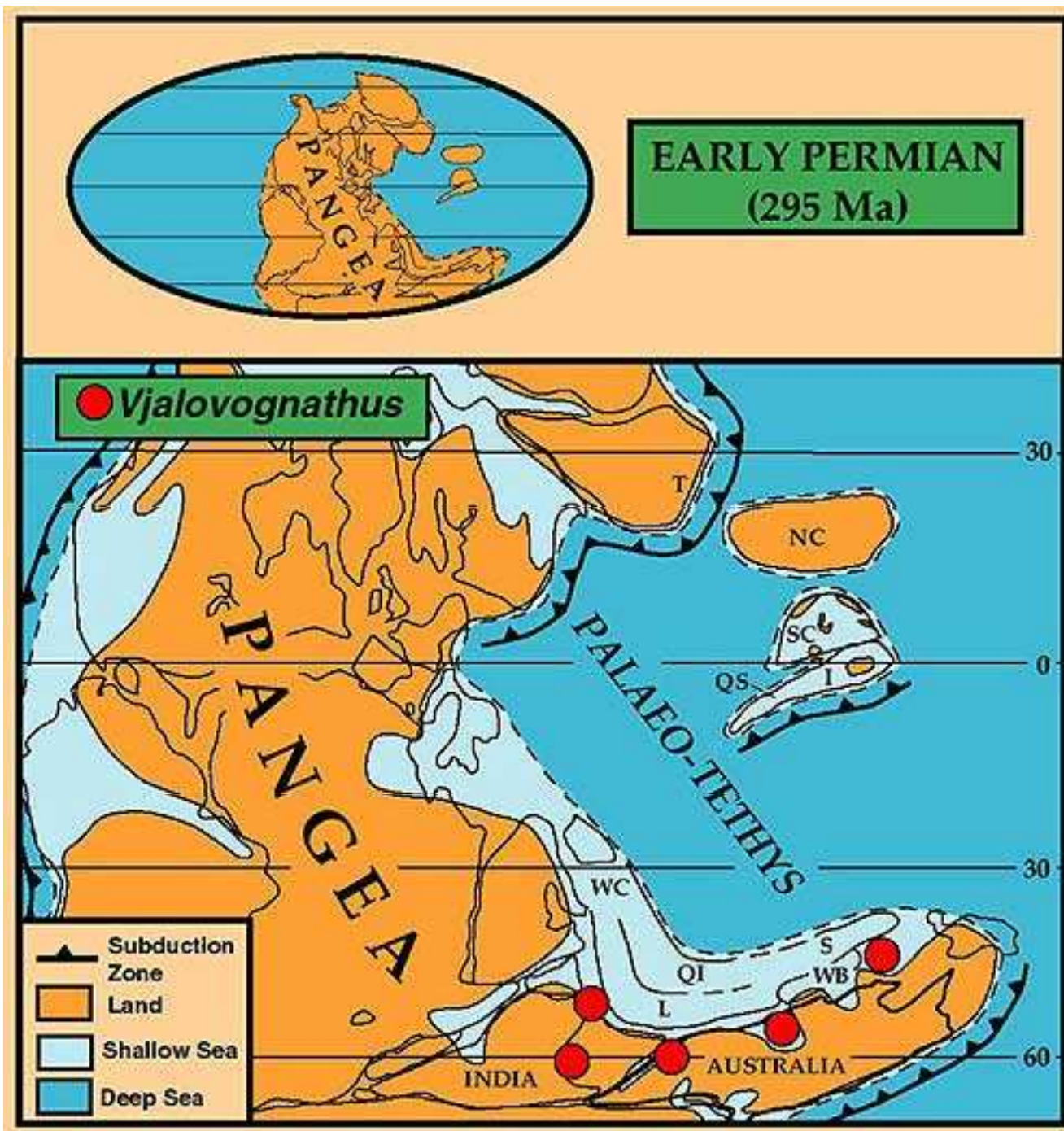
Fig. 1. Map showing the main tectonic units of China (revised after Zhang et al., 1984). The symbols are: NCC = North China Craton; YC = Yangtze Craton; TC = Tarim Craton; CDM = Chaidamu block; HM = Himalaya block; JM = Jianshi block; SL = Songhua block; ZG = Zhanger block; HN = Hunan orogen; QLS = Qilianshan orogen; EG = Er-Guna orogen; TID = Tianshan-Inner Mongolia-Daxinganling orogen; JH = Jilin-Hailongjiang orogen; KL = Kunlun orogen; DN = Dengnan orogen; BY = Bayan-Kala-Ganzi orogen; SJ = Sanjiang orogen; KKT = Kela-Kunlun-Tanggula orogen; GNT = Gangdishi-Nianqing-Tanggula orogen; YL = Yaluzhangbujiang orogen; HMY = Himalaya orogen; TW = Taiwan orogen; QDSL = Qinling-Dabie-Su-Lu ultrahigh-pressure belt.



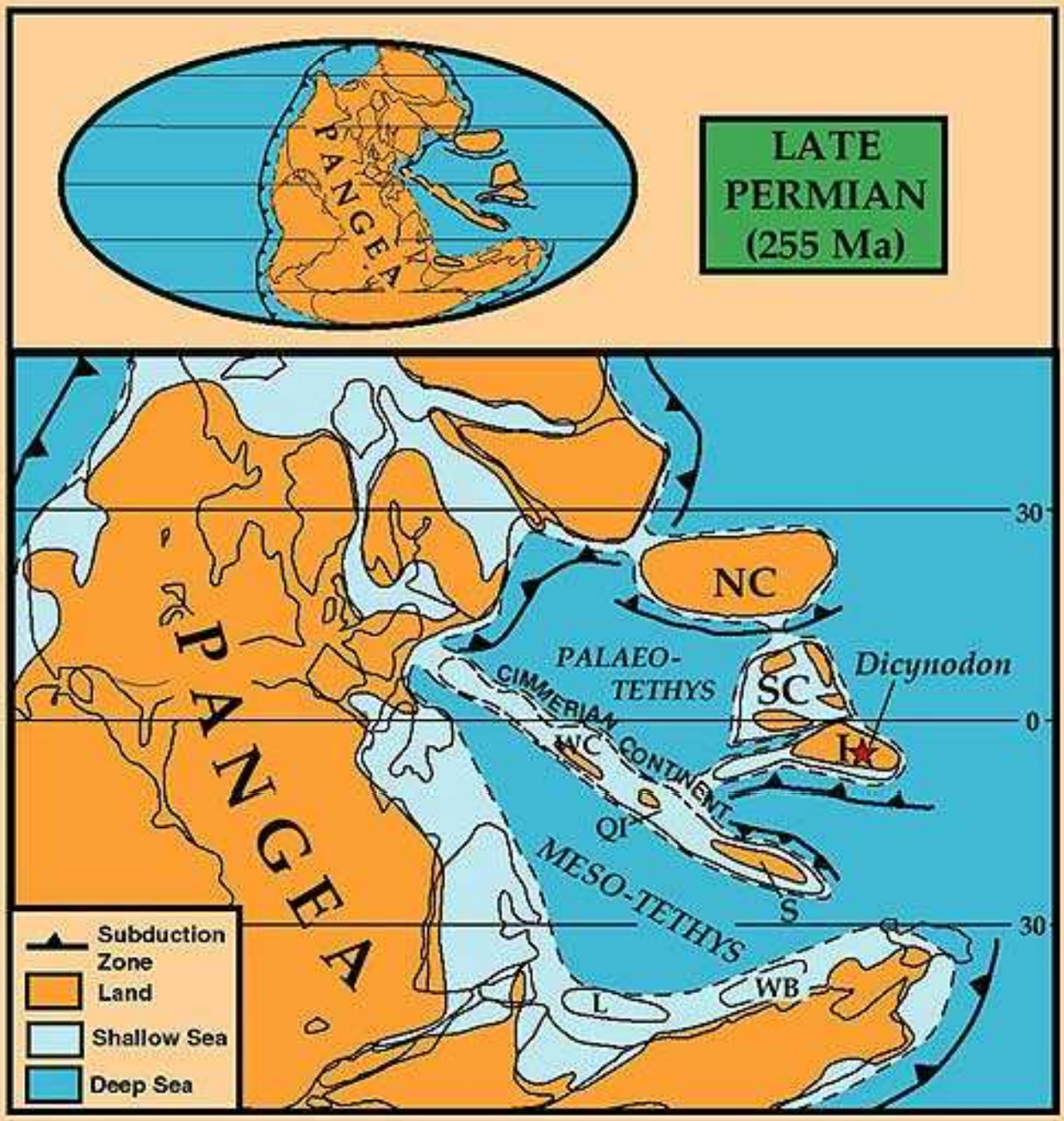
Reconstruction of eastern Gondwanaland for the Late Devonian showing the postulated positions of the East and Southeast Asian terranes, distribution of land and sea, and opening of the Palaeo-Tethys ocean at this time. Present day outlines are for reference only. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.



**Palaeogeographic reconstruction of the Tethyan region for Early Carboniferous showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. Present day outlines are for reference only. Distribution of land and sea for Chinese blocks principally from Wang (1985). NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.**



Palaeogeographic reconstructions of the Tethyan region for Early Permian, showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. The distribution of the Lower Permian cold-water tolerant conodont genus *Vjalovognathus* is also shown. Present day outlines are for reference only. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.



Palaeogeographic reconstructions of the Tethyan region for Late Permian showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. The distribution of the Late Permian *Dicynodon* from Laos is also shown. Present day outlines are for reference only.



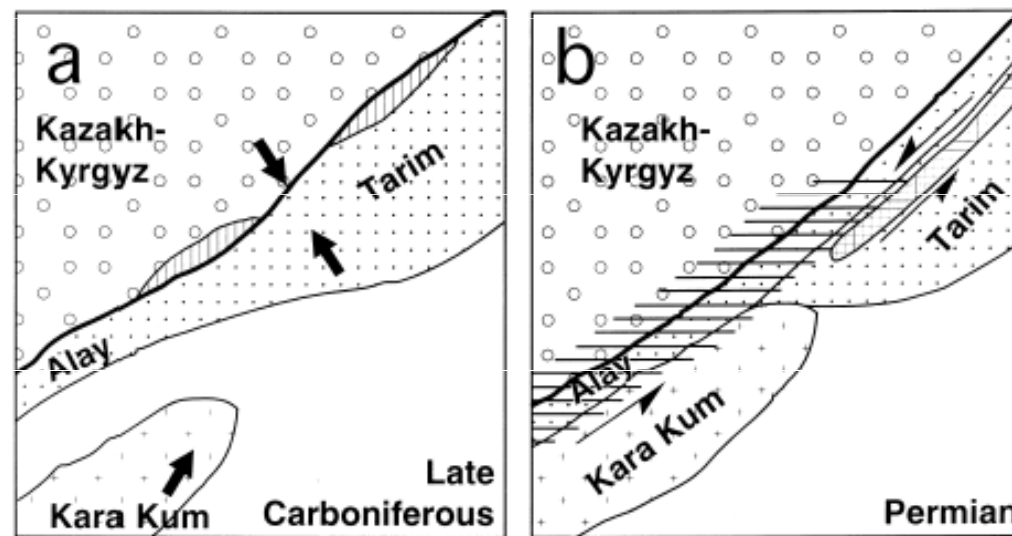
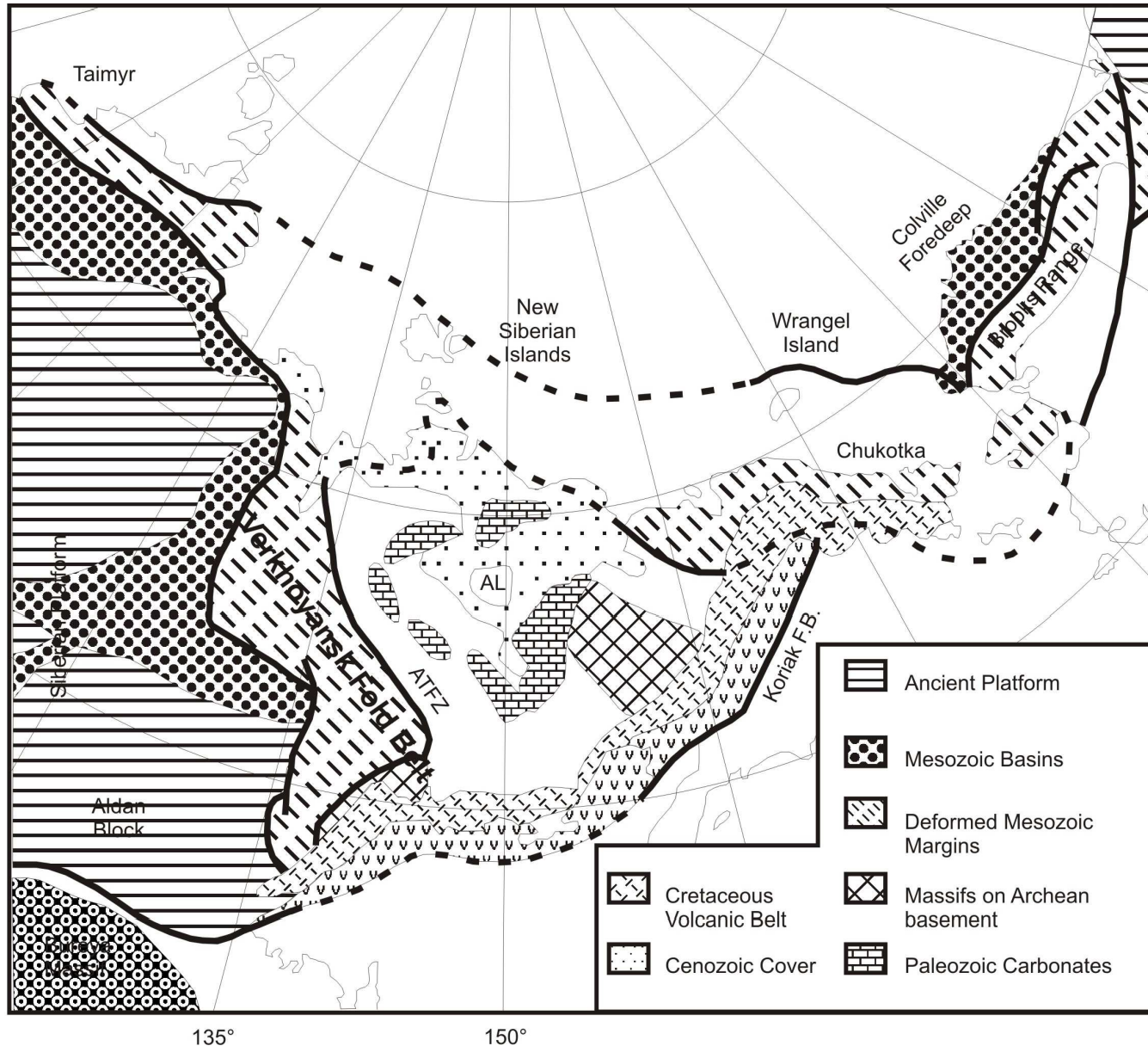


Fig. 16. Major blocks in the Tien Shan region (a) in the Late Carboniferous and (b) Permian. Vertical striping denotes small basins close to the Turkestan suture (thick solid line) where marine sedimentation lasted until the Early Permian. Horizontal striping denotes the area affected by rotations. Cross-hatched band is the Permian sedimentary basin separating the Tarim massif from its northern deformed margin (see text).

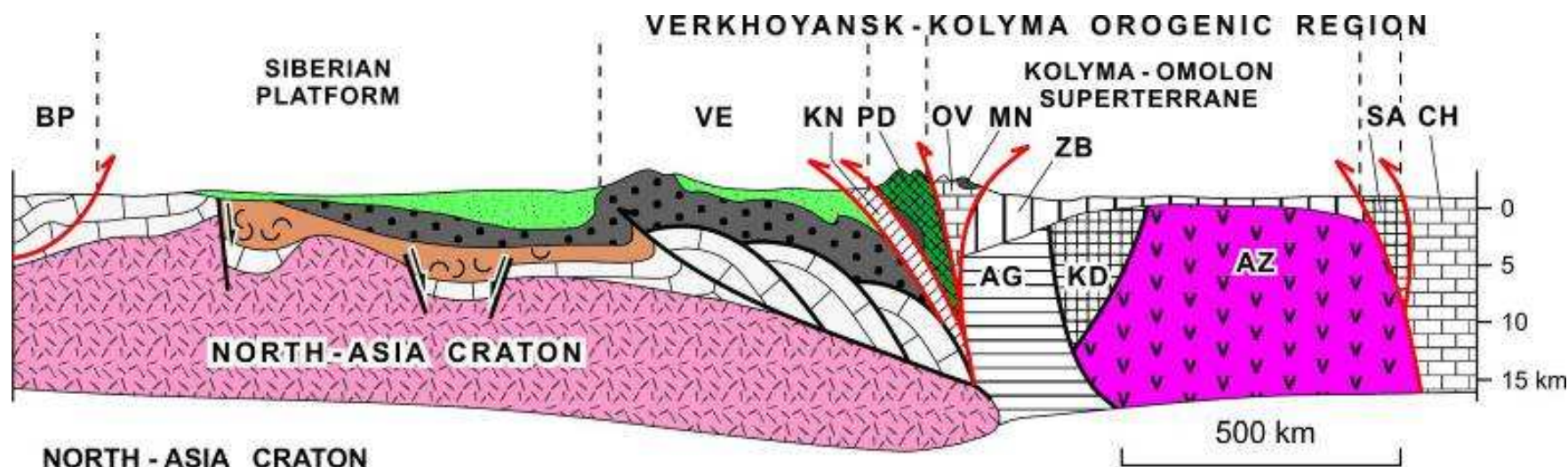


# Mesozoická evoluce Asie

# Geologické schema severovýchodní Sibiře a Aljašky



V oblasti SZ Sibiře (**Tajmyr**) byla důležitou událostí kolize mikrokontinentu Kara podél Tajmyrského pohoří v triasu. Na východní Sibiři **Verchojanského** pohoří (jura-spodní křída) reprezentuje akrečně-kolizní orogen kde ke konci mesozoika došlo ke kolizi s **omolonským** mikrokontinentem. Dále na východ **čukotské a korjasko-kamčatské** pásmo reprezentují akreční orogeny s **teránní** stavbou s kontinuálním vývojem od mesozoika do kenozoika.



**NORTH - ASIA CRATON**

- Precambrian crystalline basement
- Sedimentary and volcanic-sedimentary cover
- Riphean to Early Paleozoic
- Carboniferous and Permian
- Middle Devonian to Mississippian
- Mesozoic

BP=Baikal-Patom fold- and- thrust belt, VE=Verkhoyansk fold- and- thrust belt

**COLLAGE OF TERRANES OF THE VERKHOYANSK - KOLYMA OROGENIC REGION**

- Island arc terrane (AZ=Alazeya)
- Accretionary wedge (predominantly turbidite) terranes (PD = Polousnyy - Debin)
- Accretionary wedge predominantly oceanic terranes (SA = South Anyui, KD = Kenkel'da)
- Ophiolite terranes (MN=Munilkan)
- Miogeoclinal terranes (passive continental margin) (OV = Omulevka, CH = Chukotka)
- Turbidite terranes continental margin (slate belt) (KN = Kular-Nera)
- Turbidite terranes: (AG = Arga-Tas)
- Late Jurassic to Cenozoic post amalgamation and post accrecion complexes (ZB= Zyryanka basin)
- Thrust
- Normal faults

# Jižní okraj Asie

## Kimerská orogeneze

Při jižním okraji Asie byl vývoj určován kolizí s **kimerskou skupinou teránů (trias, jura)** v období mezi 210 až 180 Ma vytvářející kimerské orogenetické pásmo tethysid. Ke kimerským mikrokontinentům, které při svém severním driftu na sebe nabalovaly koláž dalších dílčích kontinentálních fragmentů, patří bloky v Turecku, Iránu, Afganistánu, **Quiantang** a **Lhasa** v západní Číně, blok **Sibumasu** v JV Asii.

**Do první skupiny** oddělené od Gondwany ve spodním permu patří bloky v jižní části Turecka, v severním Iránu (Elbrus) na západě a bloky **Quiantang** a **Sibumasu** na východě. Při jejich driftu se na severu subdukci pod Laurasií, severní Čínu a jižní Čínu-Indočínu uzavírala **Paleotethys** a za nimi se otevíral nový oceán označovaný jako **Mesotethys**. Výše zmíněná skupina mikrokontinentů kolidovala s Eurasií v **triasu, tj během starokimerských fází alpinského vrásnění**.

Jižní fragmenty kimerské skupiny mikrokontinentů zahrnující **střednoiránský, střednoafganský, lutský, karakoramský a lhaský** blok byly začleněny do jižního okraje Asie potom během mladokimerských fází v juře. Kolize skupiny **západokimerských teránů** dala vzniknout pohořím v Turecku, Elbrusu, Kopet Dagu, Hindukúši a Pamíru.

Pod jižní okraj Asie potom docházelo během křídý nadále k subdukci oceanické kůry **Neotethydy**, která místy vedla k velkým intruzím granitoidů (transhimalajský batolit).

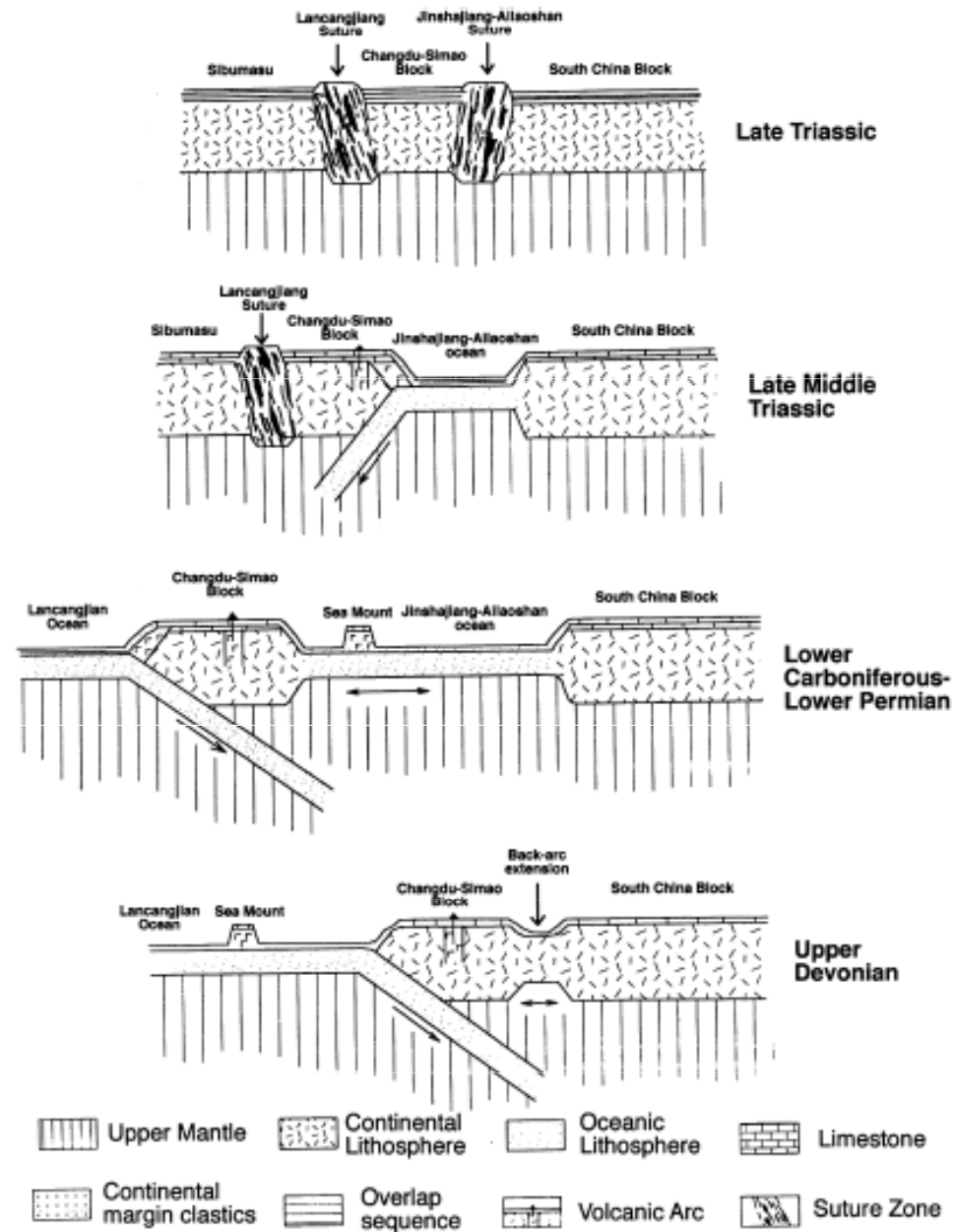


Fig. 10. Schematic diagram illustrating the tectonic evolution of the Jinshajiang–Ailaoshan Suture Zone.

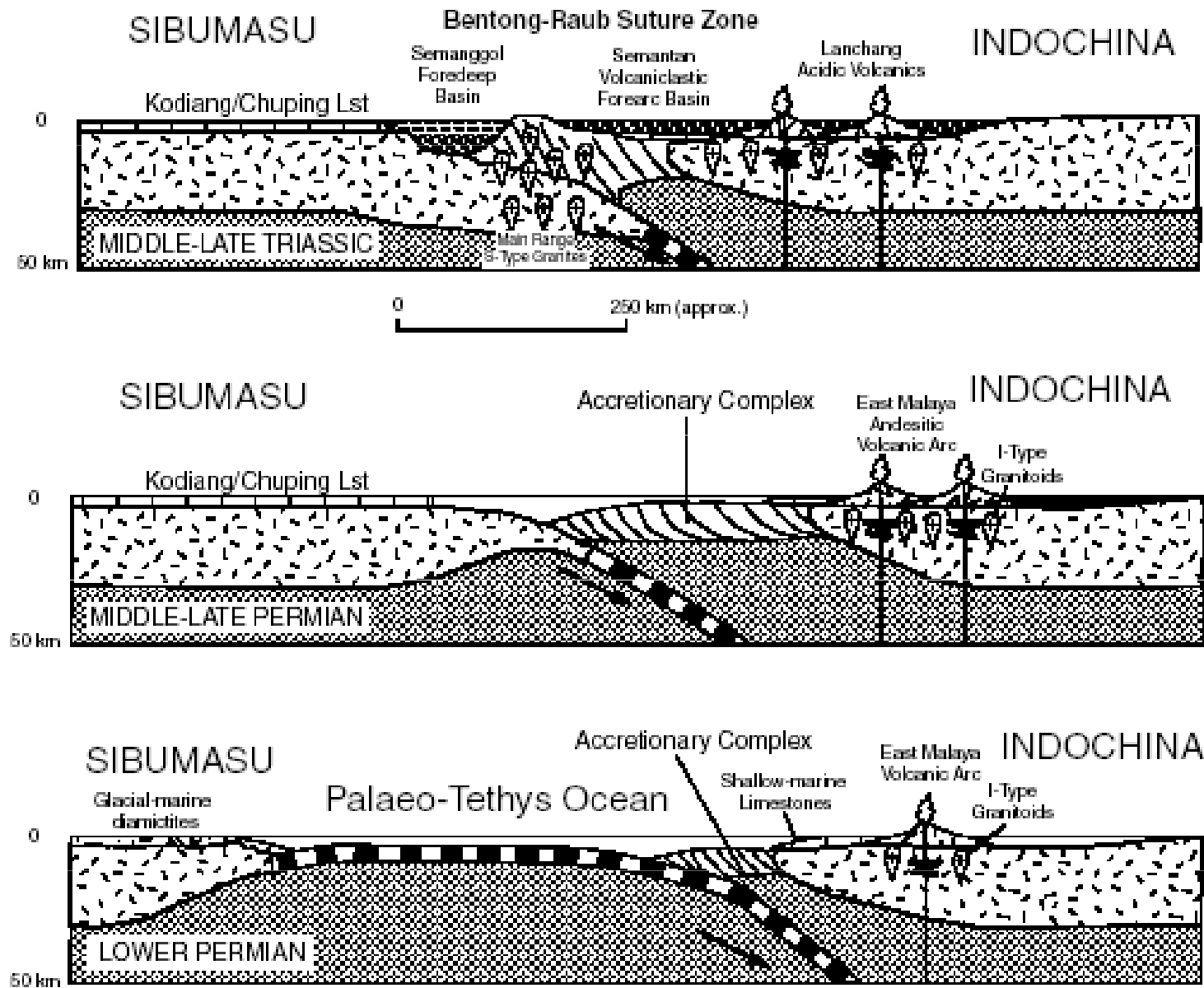
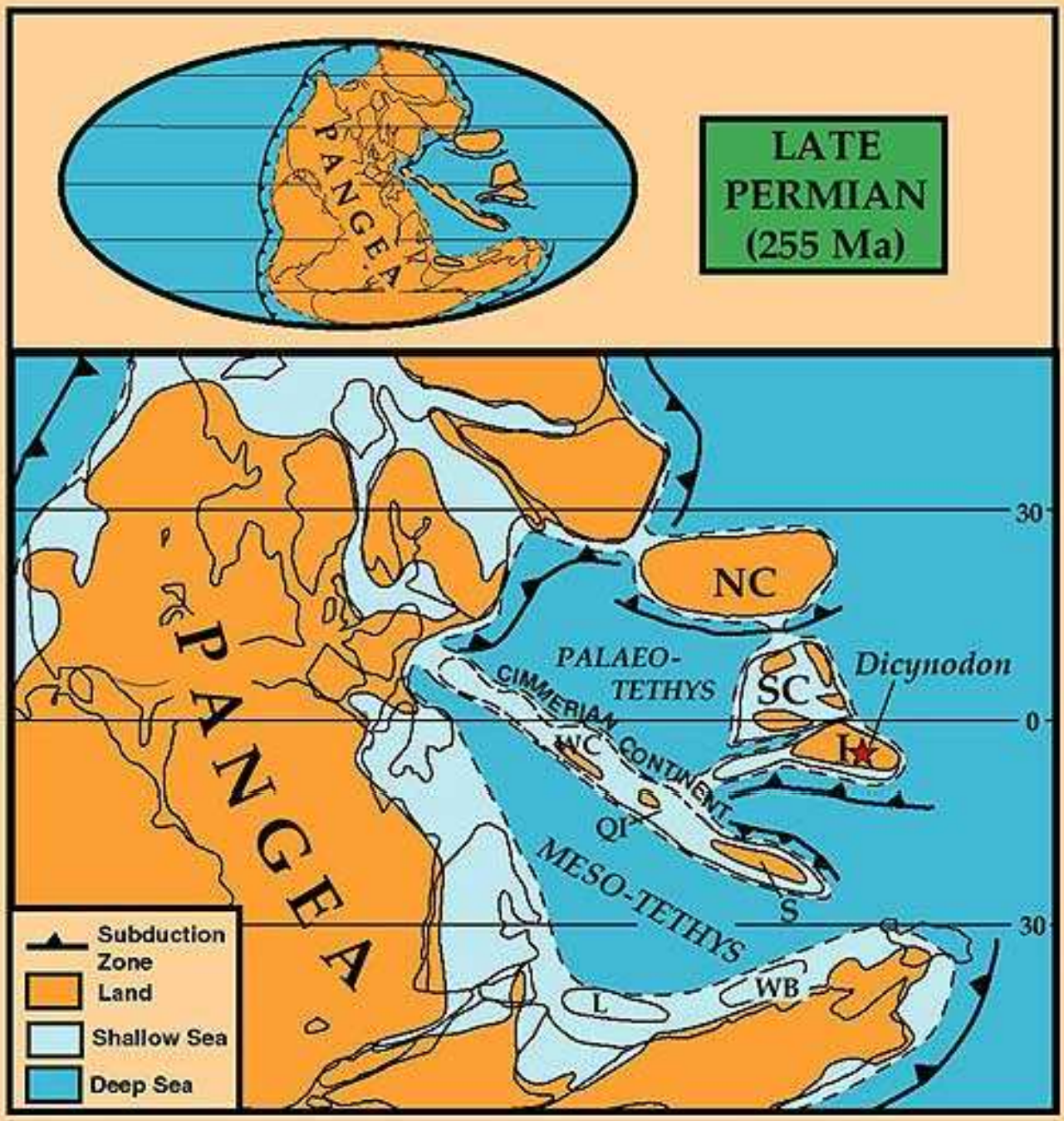


Fig. 14. Conceptual cross-sections illustrating formation of the Bentong-Raub Suture by subduction of the Palaeo-Tethys Ocean and collision of the Sibumasu and Indochina terranes.

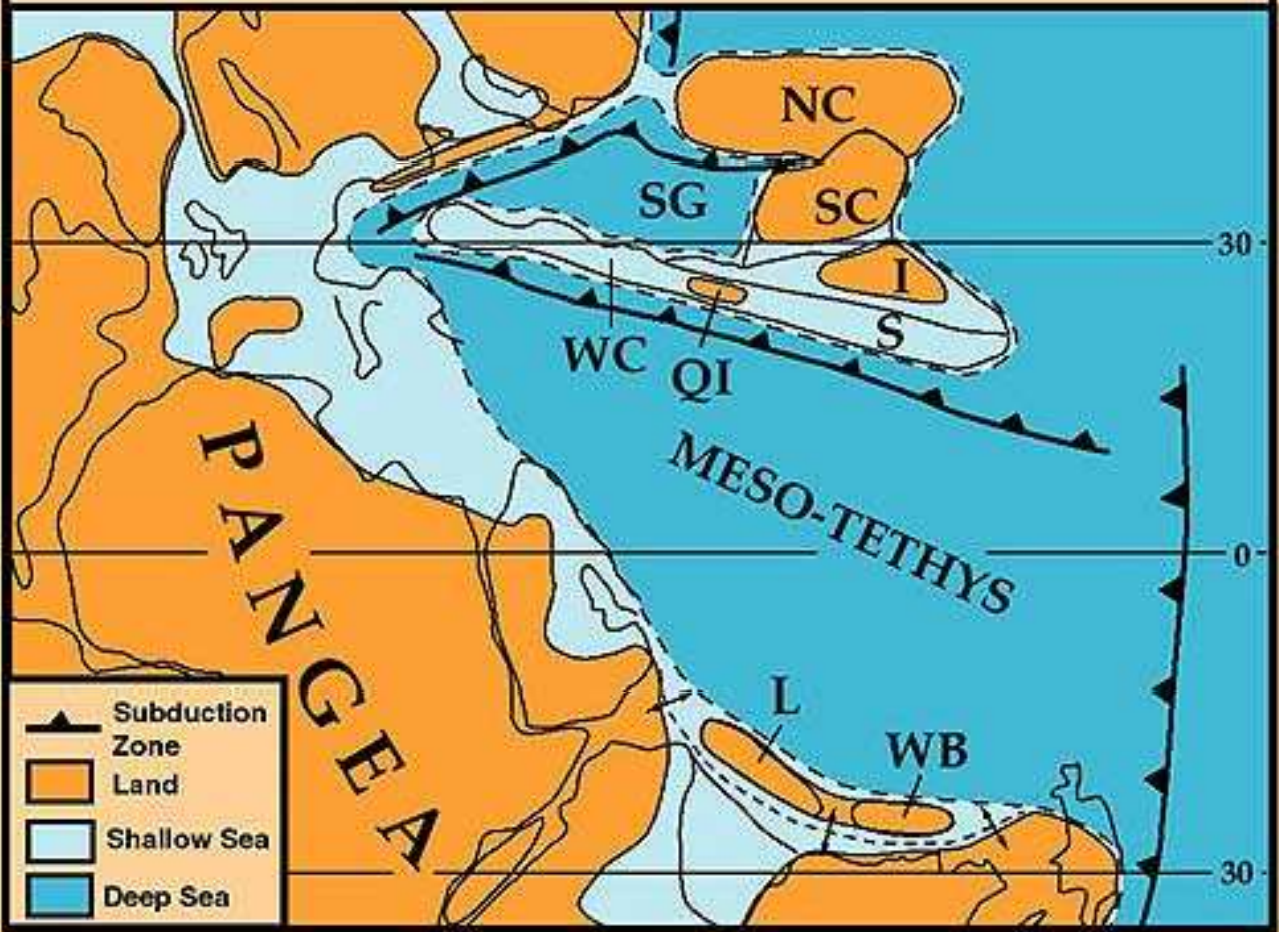


LATE  
PERMIAN  
(255 Ma)

Palaeogeographic reconstructions of the Tethyan region for Late Permian showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. The distribution of the Late Permian *Dicynodon* from Laos is also shown. Present day outlines are for reference only. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.

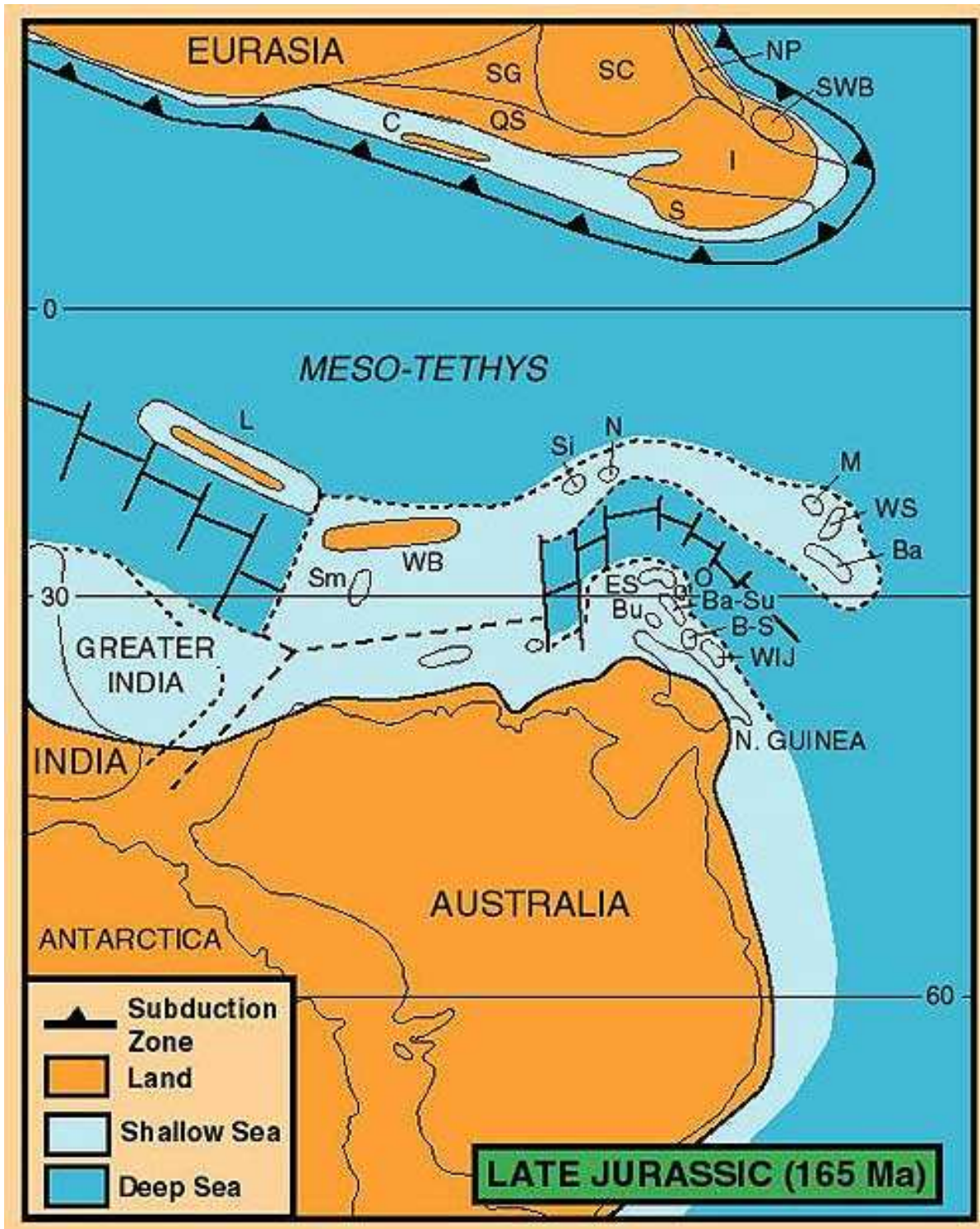


LATE  
TRIASSIC  
(220 Ma)

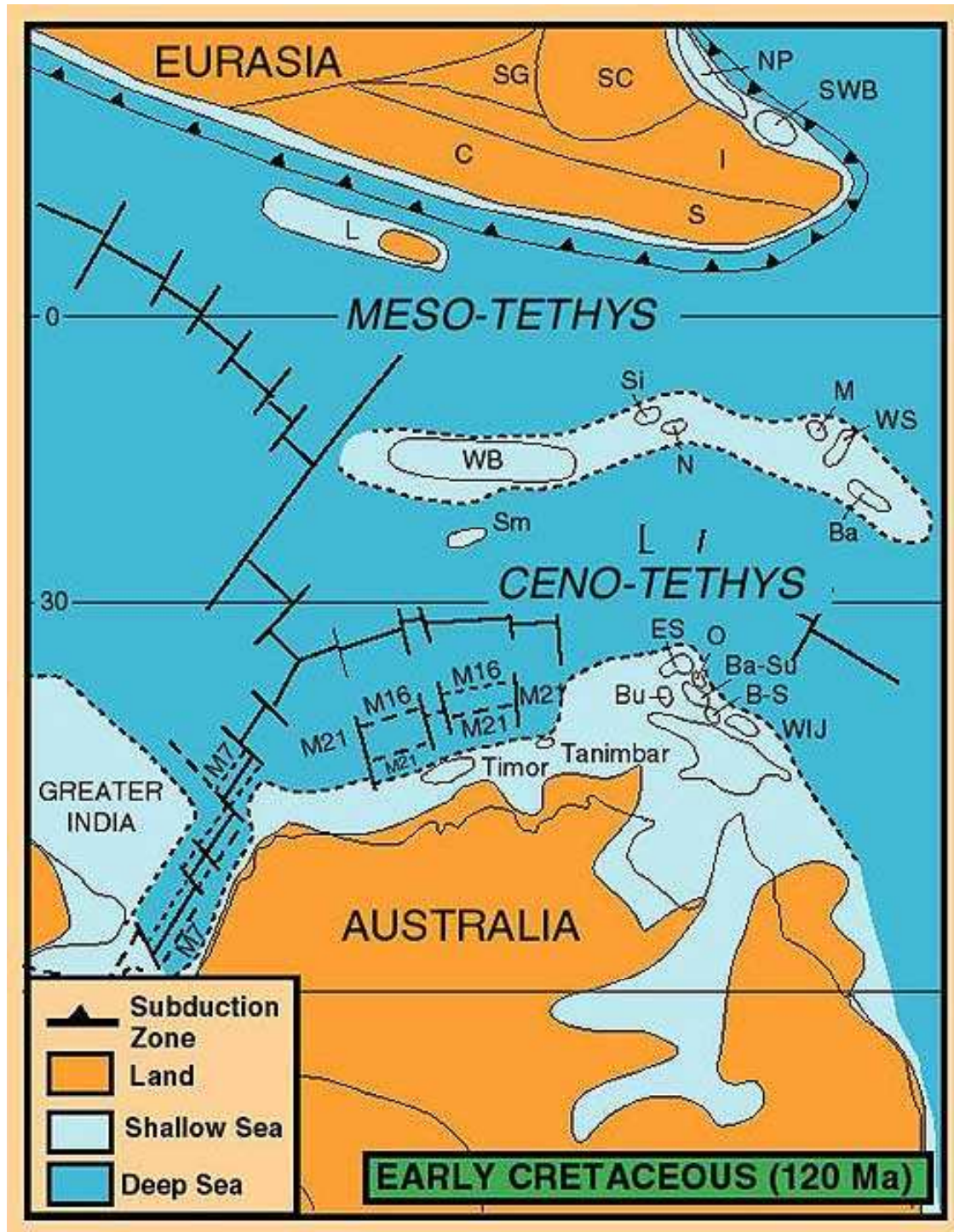


Palaeogeographic reconstruction of the Tethyan region for Late Triassic showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. Present day outlines are for reference only. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.

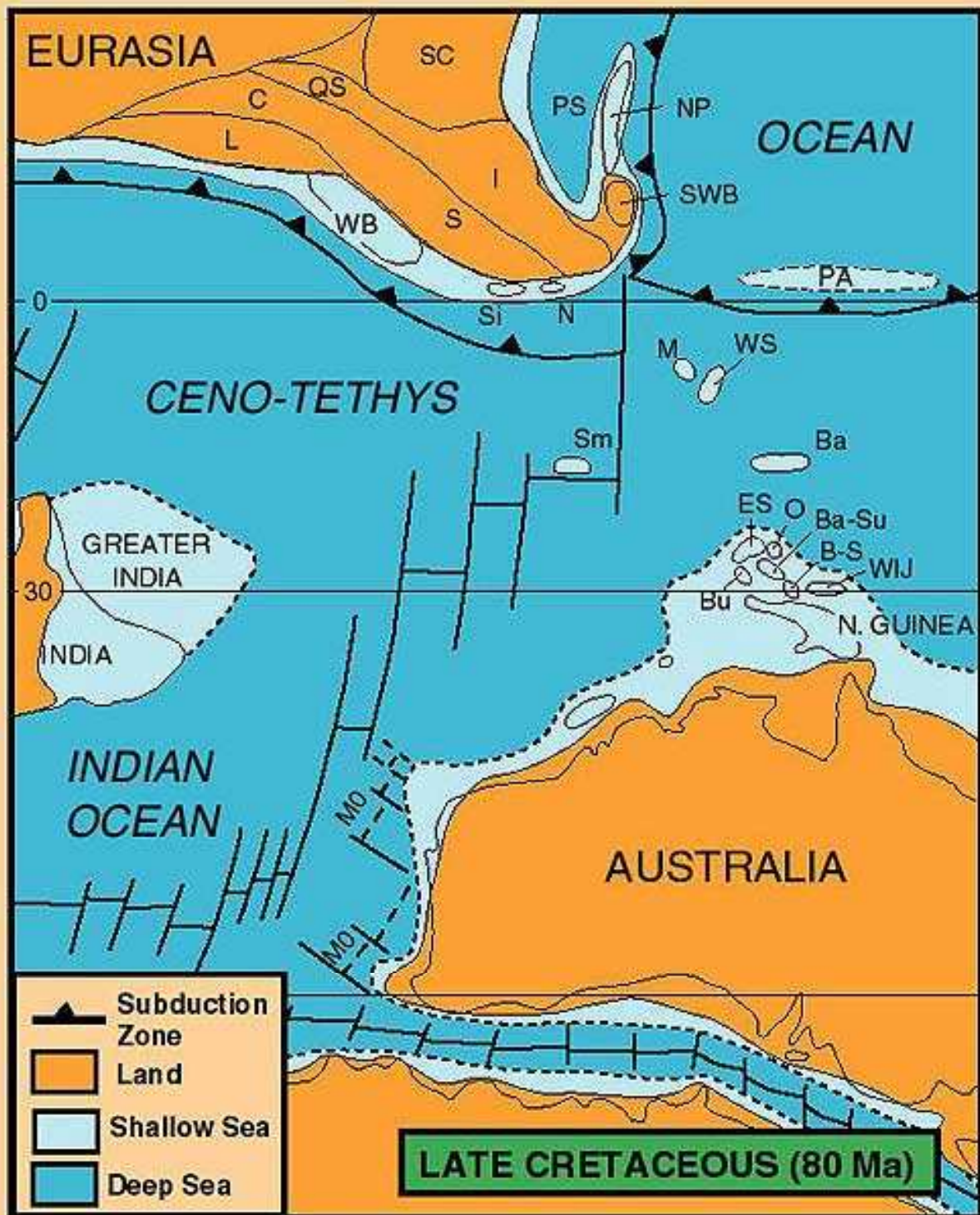




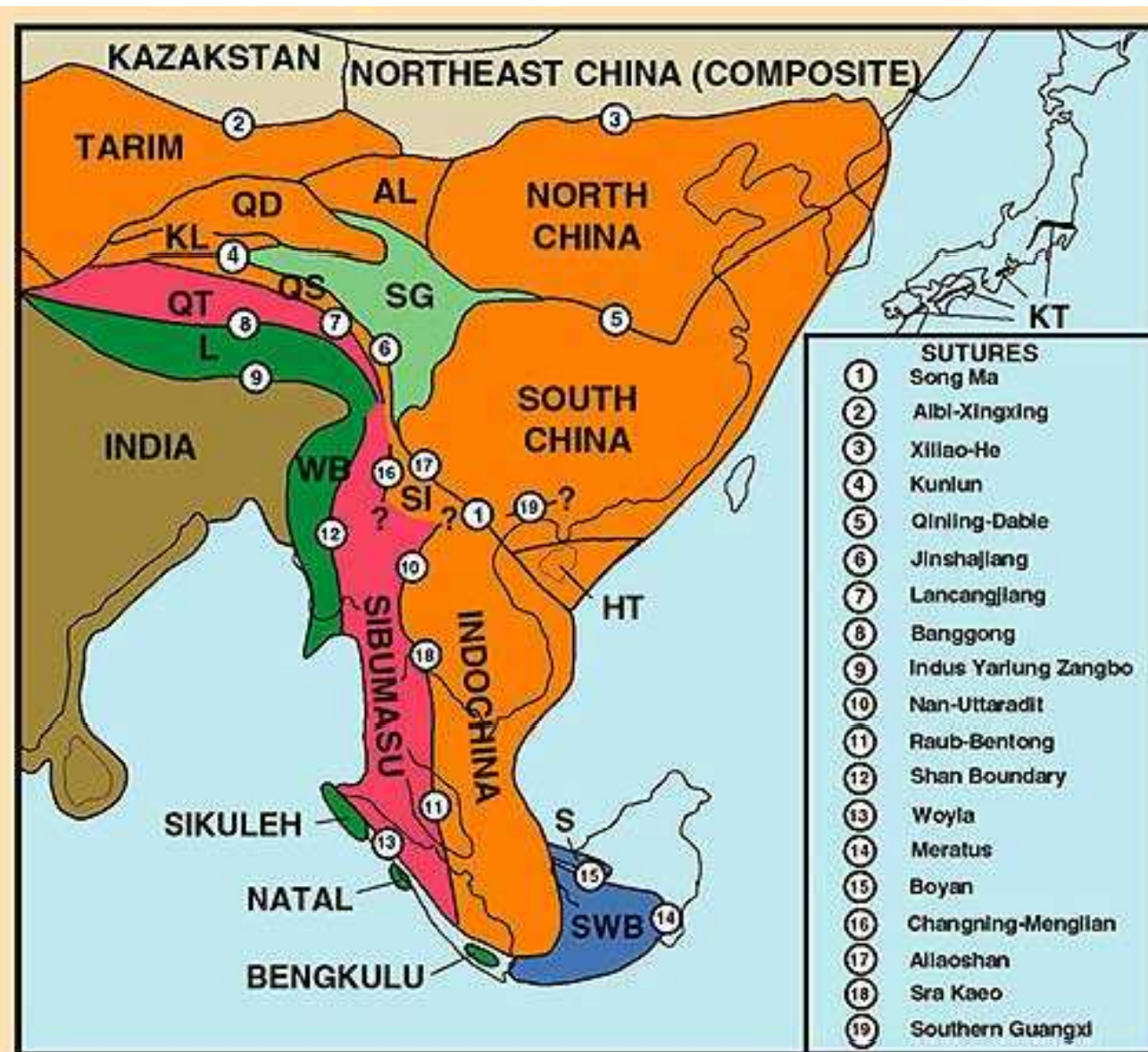
Palaeogeographic reconstruction for Eastern Tethys in the Late Jurassic showing distribution of land and sea. SG = Songpan Ganzi accretionary complex SWB = South West Borneo (includes Semitau) NP = North Palawan and other small continental fragments now forming part of the Philippines basement Si = Sikuleh N = Natal M = Mangkalahat WS = West Sulawesi Ba = Banda Allochthon ES = East Sulawesi O = Obi-Bacan Ba-Su = Banggai-Sula Bu = Buton B-S = Buru-Seram WIJ = West Irian Jaya Sm = Sumba PA = Incipient Philippine Arc PS = Proto-South China Sea Z = Zambales Ophiolite. M numbers represent Indian Ocean magnetic anomalies. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.

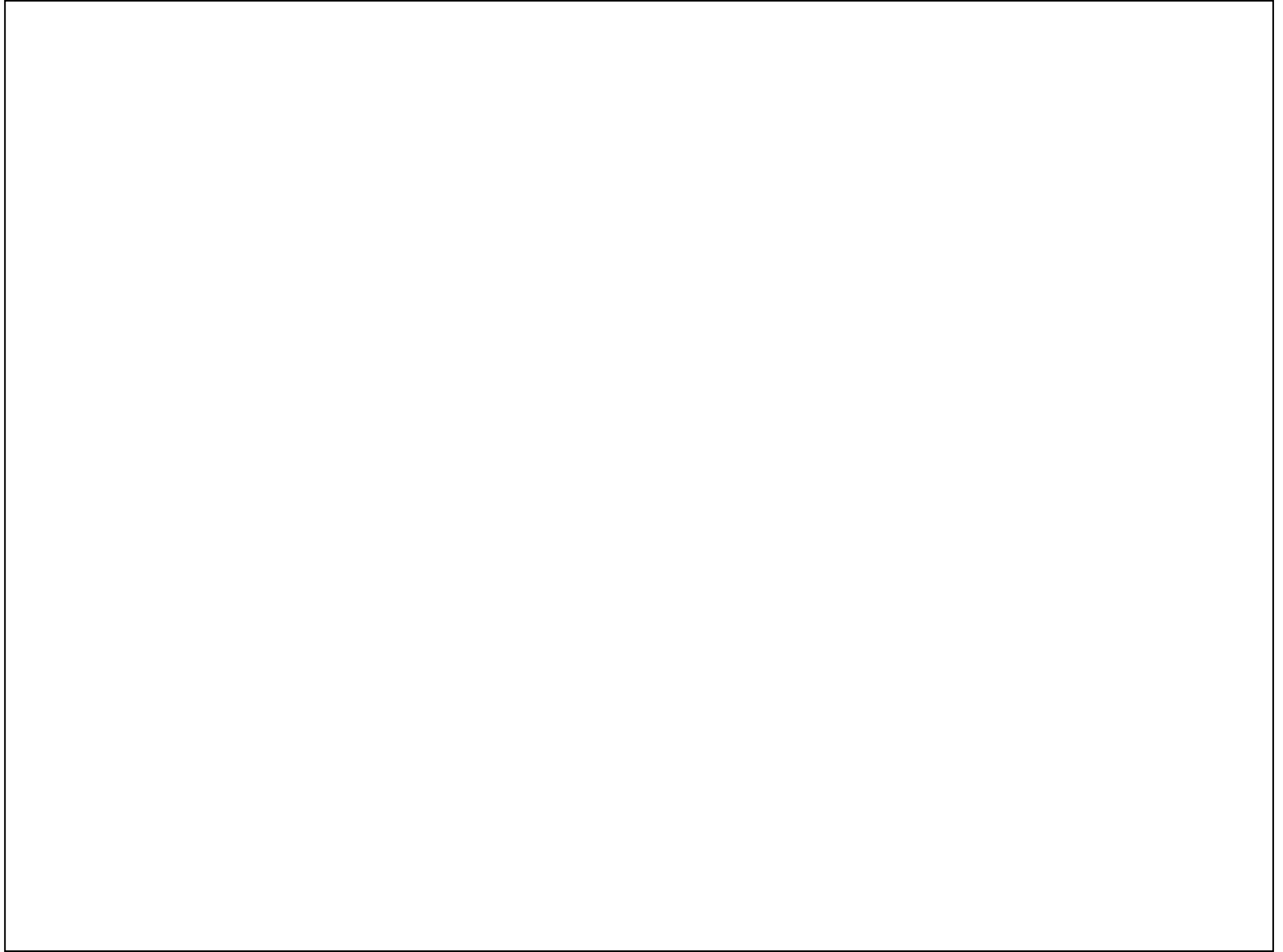


Palaeogeographic reconstruction for Eastern Tethys in the Early Cretaceous showing distribution of land and sea. SG = Songpan Ganzi accretionary complex SWB = South West Borneo (includes Semitau) NP = North Palawan and other small continental fragments now forming part of the Philippines basement Si = Sikuleh N = Natal M = Mangkalihat WS = West Sulawesi Ba = Banda Allochthon ES = East Sulawesi O = Obi-Bacan Ba-Su = Banggai-Sula Bu = Buton B-S = Buru-Seram WIJ = West Irian Jaya Sm = Sumba PA = Incipient Philippine Arc PS = Proto-South China Sea Z = Zambales Ophiolite. M numbers represent Indian Ocean magnetic anomalies. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India.



Palaeogeographic reconstruction for Eastern Tethys in the Late Cretaceous showing distribution of land and sea. SG = Songpan Ganzi accretionary complex SWB = South West Borneo (includes Semitau) NP = North Palawan and other small continental fragments now forming part of the Philippines basement Si = Sikuleh N = Natal M = Mangkalihat WS = West Sulawesi Ba = Banda Allochthon ES = East Sulawesi O = Obi-Bacan Ba-Su = Banggai-Sula Bu = Buton B-S = Buru-Seram WIJ = West Irian Jaya Sm = Sumba PA = Incipient Philippine Arc PS = Proto-South China Sea Z = Zambales Ophiolite. M numbers represent Indian Ocean magnetic anomalies.





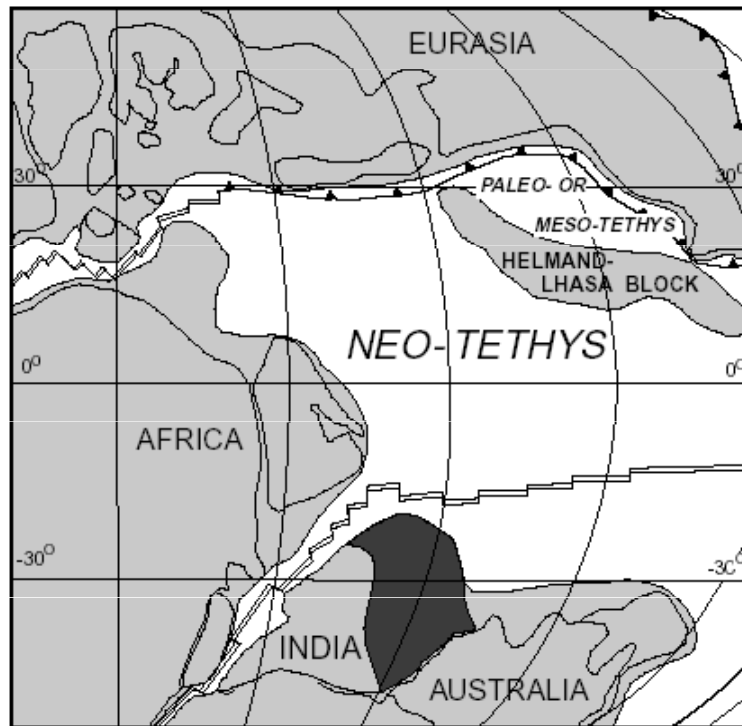


Fig. 1. Late Jurassic (Kimmeridgian–Tithonian, ~150 Ma) paleogeographic map showing the extent of the Neo-Tethys Ocean between India and the Lhasa block, as well as the last remnant of the Paleo-Tethys Ocean between the Asian mainland and the Lhasa and Helmand (Afghanistan) blocks. The Paleo-Tethys remnant is sometimes called ‘Meso-Tethys’ [1]. Double lines represent mid-ocean ridges and heavy single lines represent subduction zones with teeth in the upper plate. The approximate relative positions of the major continents is taken from Scotese and Golonka [2] with permission of the authors, whereas the position of the Helmand–Lhasa block is transposed from Şengör and Natal’in [1], also with the permission of the authors and of Cambridge University Press. The paleolatitudes of the Helmand–Lhasa and northern Tibetan blocks, and the Paleo-Tethys Basin are rather uncertain at this time. The shape of Greater India depicted here (dark shading) is from Sahabi [57] as used by Matte et al. [8] and Mattauer et al. [46].

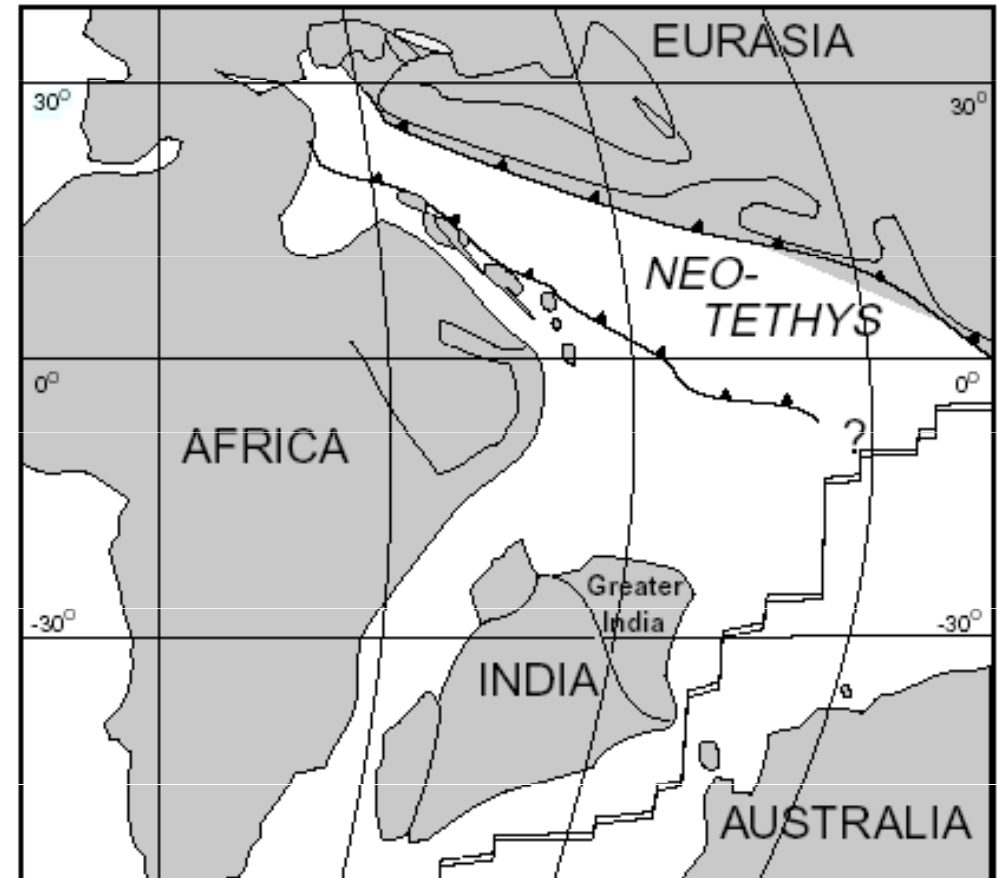


Fig. 2. Late Cretaceous (~94 Ma) paleogeographic map showing the extent of the Neo-Tethyan Ocean at that time. Continental and ridge positions are taken from Scotese and Golonka [2] with permission of the authors. Double lines represent mid-ocean ridges and heavy single lines represent subduction zones with teeth in the upper plate. Dual northward subduction zones are shown, one north of India [15,21–25], and the other at the Tibetan–Asian margin. The shape of Greater India is from Scotese and Golonka [2].

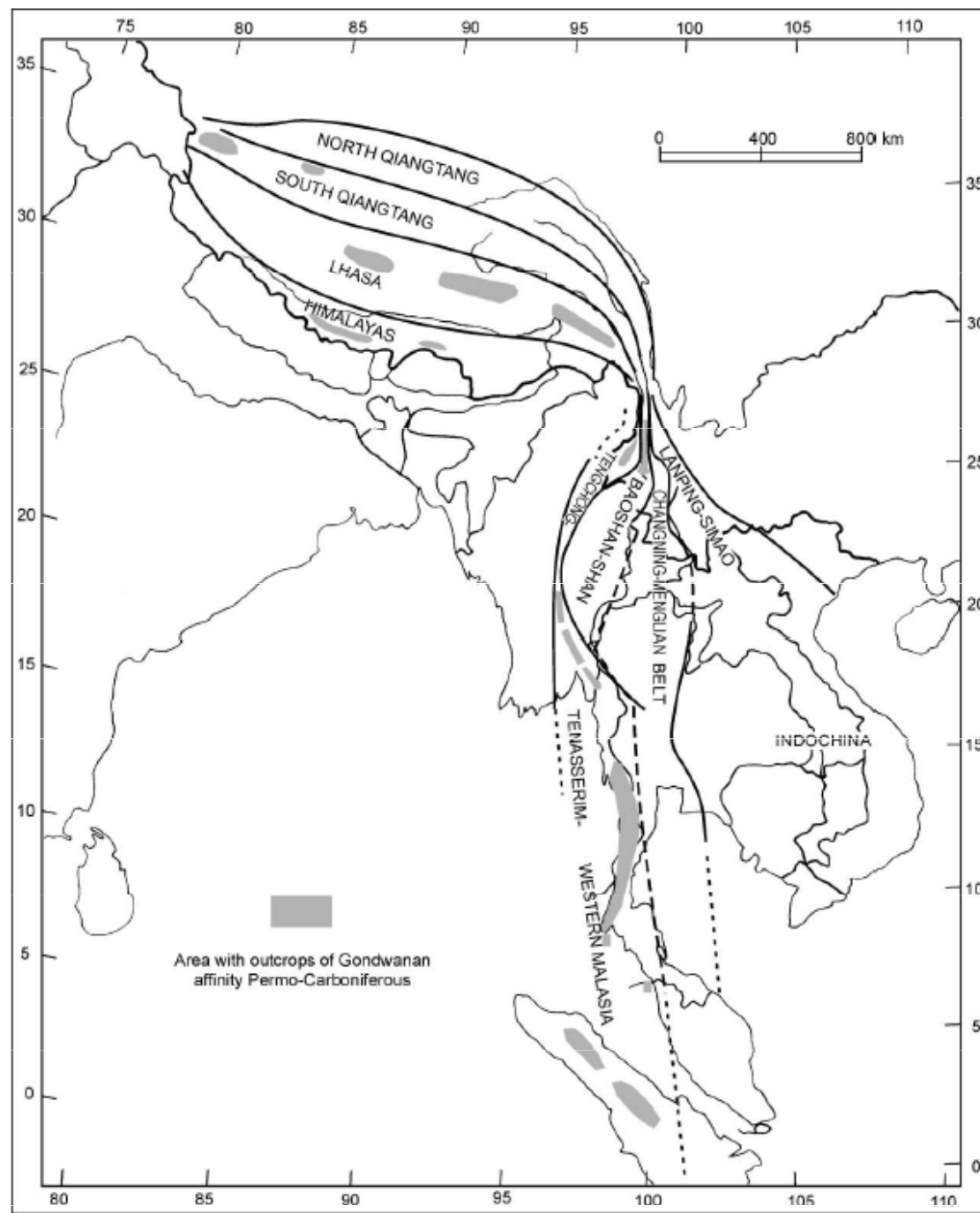
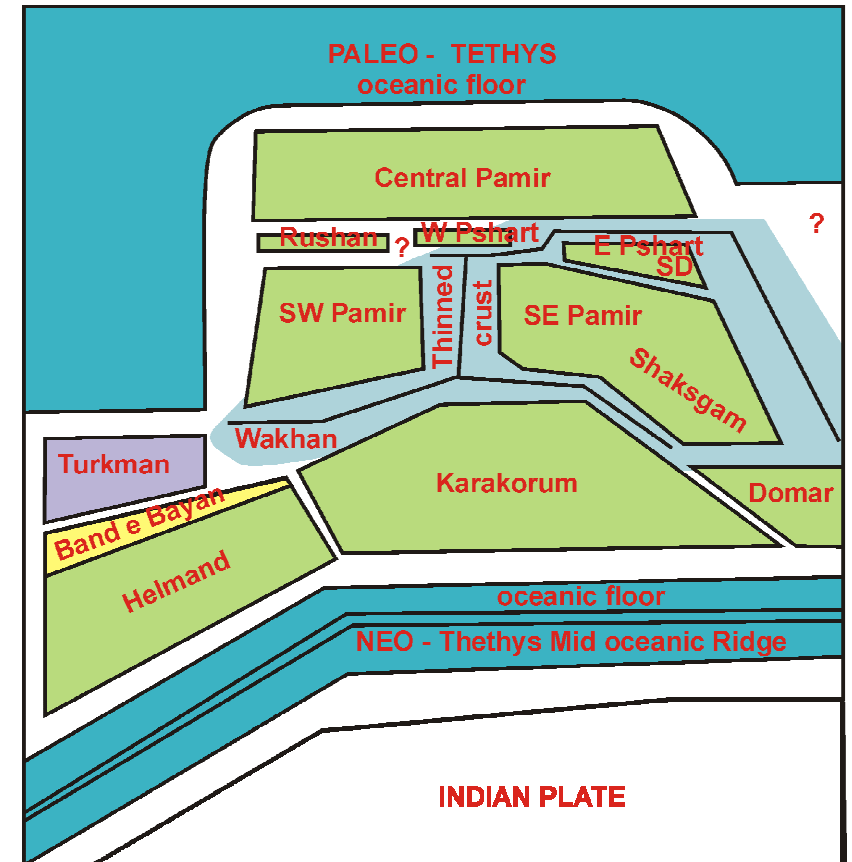
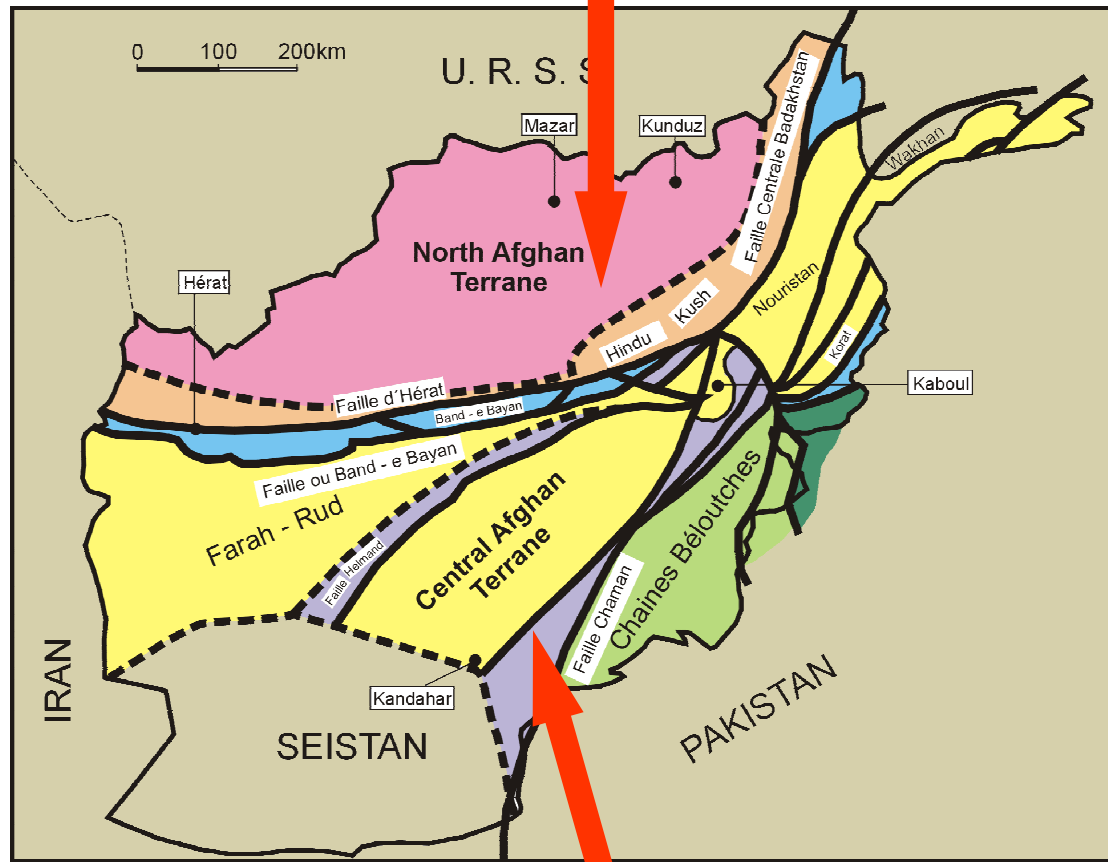


Fig. 14. Distribution of Gondwana-affinity Permo-Carboniferous in southwest China and Southeast Asia (shaded area). Data of Southeast Asia based on Stauffer and Lee, 1986; data of southwest China based on my own field work and from other Chinese authors.

**V severním Afghanistanu foraminiferová fauna vykazuje evidentní vztahy k severopaleotethydní říši což podporuje ty názory, které terán považují za variskou strukturu**



**V centrálněafghanském teránu ochuzena foraminiferová společenstva podobně jako jiné skupiny fauny indikují perigondwanský původ**



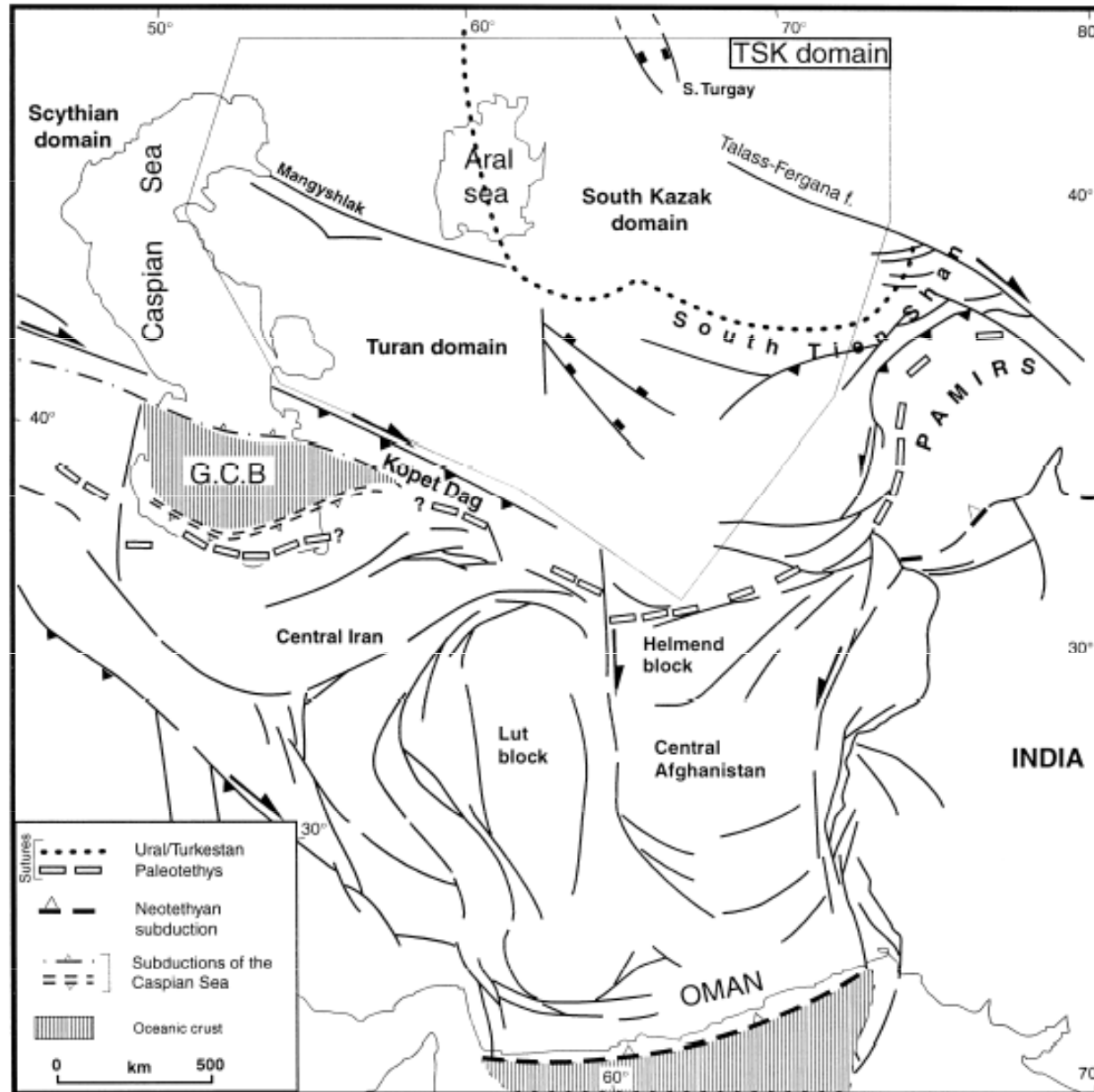


Fig. 1. Major tectonic features of western central Asia (modified after Boulin, 1991). Most major faults are reactivated structures, formed in the late Paleozoic and Mesozoic. The Turan and south Caspian domains (TSK) are separated by the Ural–Turkestan suture. To the southwest of the TSK is the Greater Caucasus basin (GCB) now equivalent to the south Caspian Sea (Zonenshain and Le Pichon, 1986).

## Kenozoická evoluce Asie

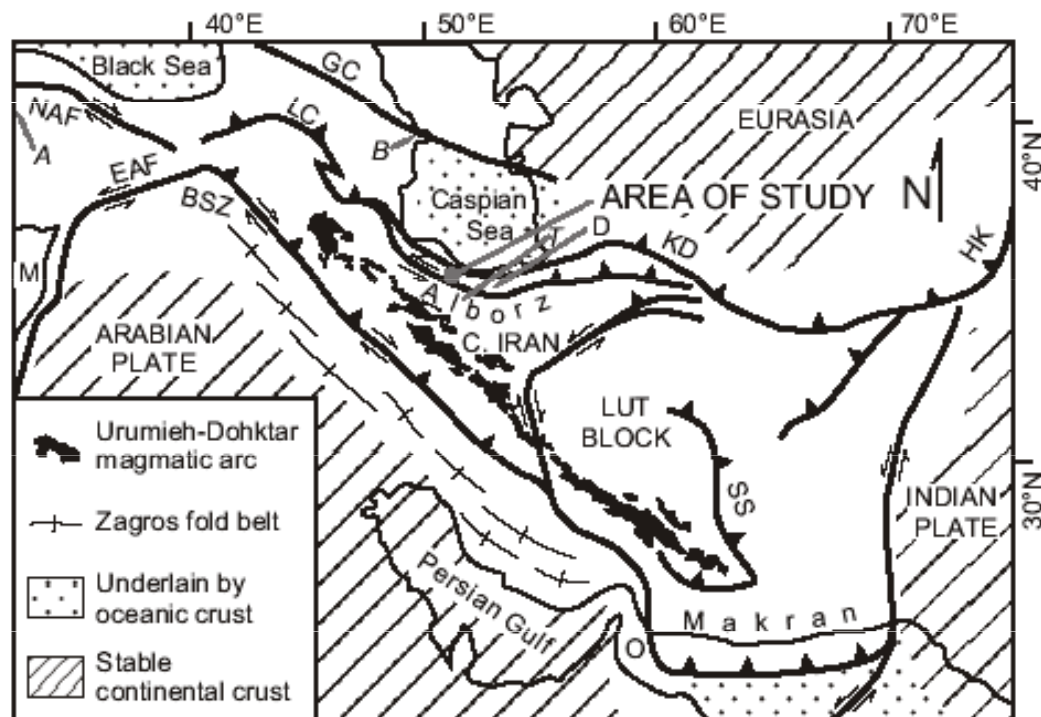
Různé fragmenty Gondwany jako Indie a Arabie kolidovaly se zbytkem Asie během eocenu a miocenu a orogenetická pásma, která vznikala uzavíráním **Neotethydy** se označují jako **alpidy**. Vytvářejí současné alpínsko-himalajské orogenetické pásmo. Alpidy spolu s kimeridami tvoří **tethysidy**.

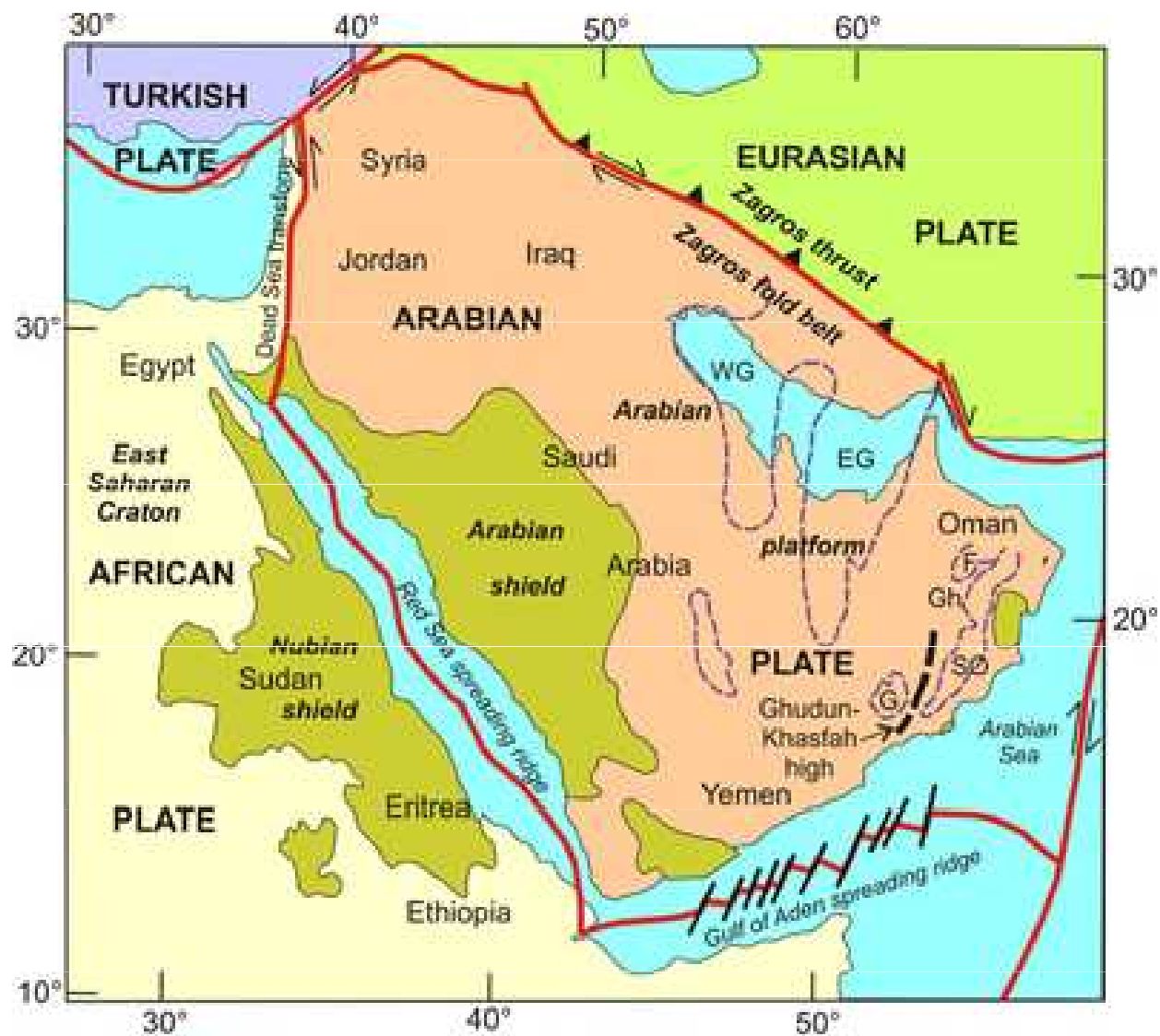
Nejdůležitější událostí byla **kolize Indie s Asií** asi před **45 Ma**, tj. v paleogenu. Předpokládá se, že ke kolizi došlo asi 1250 mil na jih od dnešního kolizního kontaktu a během kolize došlo k horizontálnímu zkrácení o více než 1000 km..

**Arabská deska** kolidovala s okrajem Asie v JV Turecku a v Iránu až během středního **miocenu** a tato konvergence pokračuje dodnes rychlostí 3-4 cm palce za rok. Kolizní zónu můžeme pozorovat v **Zagrosu** v jižním Iránu. Podobně jako v Tibetu vzniklo potom v centrálním Iránu a Turecku **vysoká náhorní plošina**.

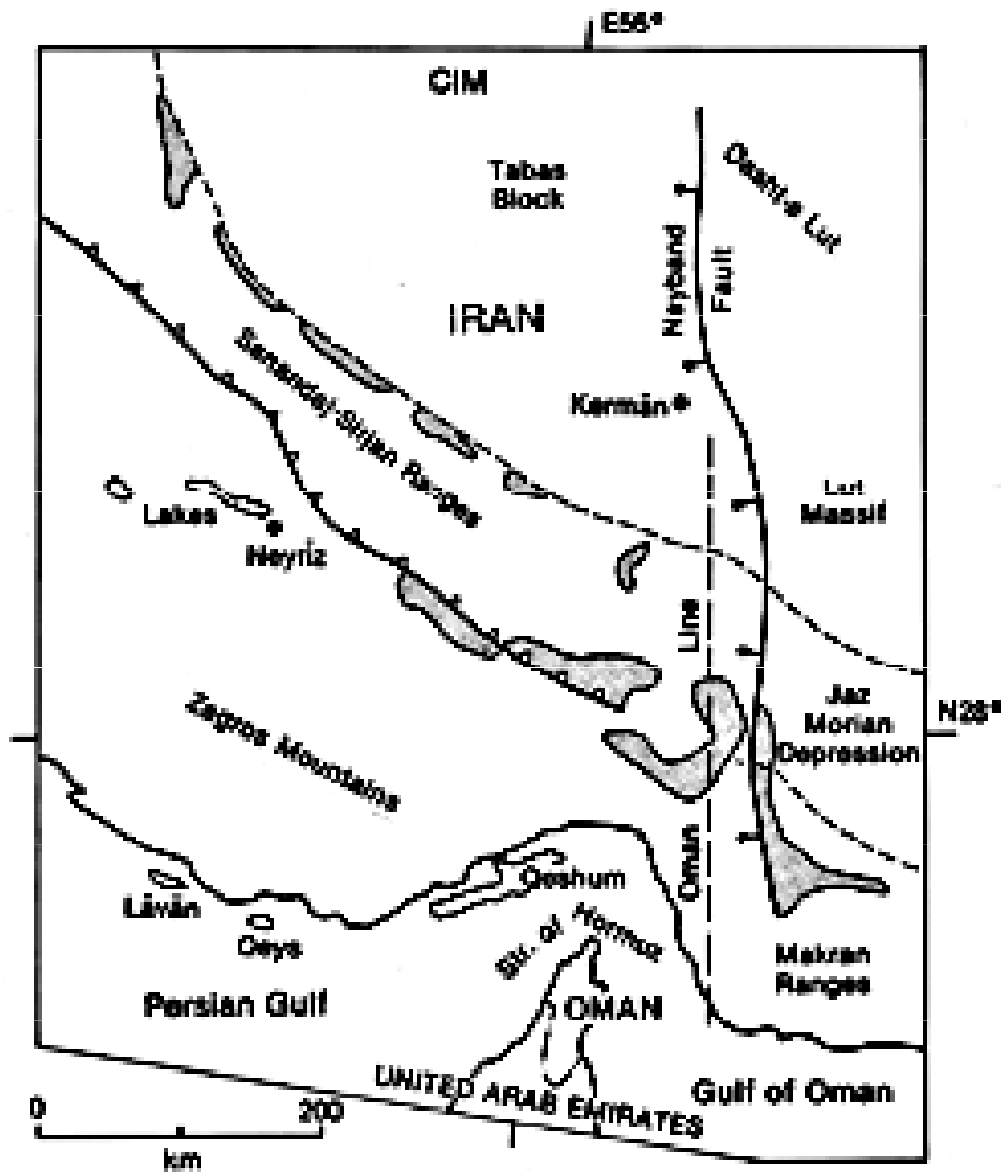
**Circumpacifické alpidy** můžeme pozorovat při východním okraji Asie v oblasti Kamčatky, Čukotky, Přímoří a Korjaské náhorní plošiny na ruském Dálném východě rovněž v Japonsku, a Jihočínském moři. Jejich vývoj byl a je určován subdukcí oceanické kůry Pacifiku pod východní okraj Asie. Subdukční zóna, která byla aktivní při východním okraji Asie ve svrchním mesozoiku začala migrovat směrem od kontinentu. To vedlo ke krustální extenzi. V oligocenu se např. otevřelo **Jihočínské moře**, ve středním miocenu se otevřelo **Japonské moře** a Japonsko se oddělilo od Asie. Podobné stáří má **Kurilská pánev** za Kurilskými ostrovy.

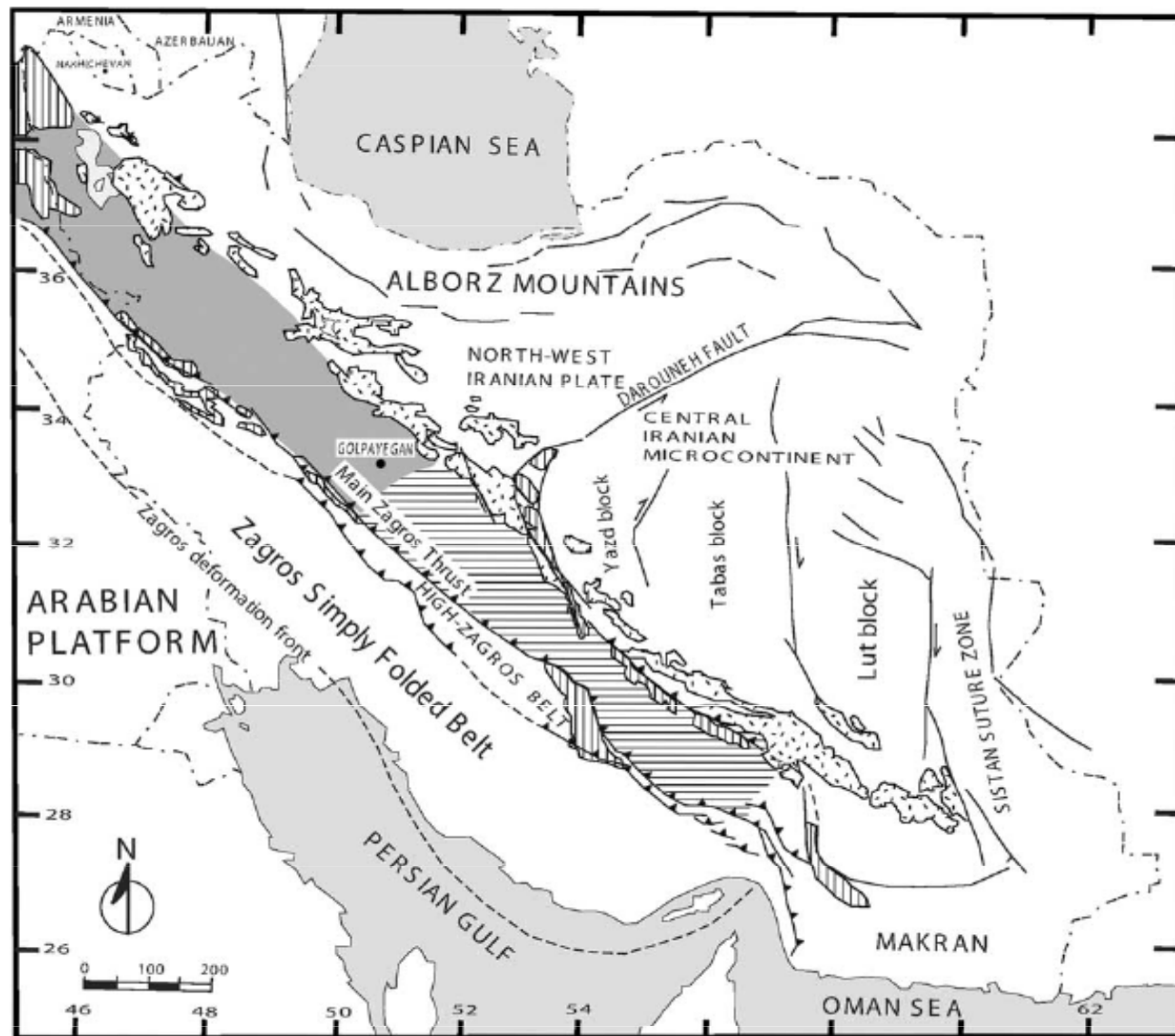
**Arabská deska** na severovýchodě pokrytá mocnou sekvencí sedimentárních hornin kolidovala s kimerskou částí Asie v Turecku a Iránu podél **zagroské** sutury a sutury **Bitlis** v JV Turecku za vzniku pohoří **Zagros** a **Bitlis** během **miocenu** a tato kolize pokračuje dodnes. V předpolí pohoří se vytvořila, podobně jako v Tibetu, **náhorní plošina** (zluštění kontinentální kůry). Při severním okraji Iránské náhorní plošiny byly vyzdviženy kimerské pohoří **Kopet-Dag** a **Elbrus**. V Turecku na sever od Anatolské náhorní plošiny byl vyzdvižen **Kavkaz**.











- Arabian plate
- Outcropping Precambrian
- African plate
- Eurasian plate
- Turkish plate
- Plate boundary
- Transform faults
- Subsurface Neoproterozoic-Lower Cambrian salt basins





- |                                                                                                                         |                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Ophiolitic rocks                    |  Fault                      |
|  Urumieh-Dokhtar Magmatic Assemblage |  South Sanandaj-Sirjan Zone |
|  Thrust fault                        |  North Sanandaj-Sirjan Zone |
|  Strike-slip fault                   |                                                                                                                |

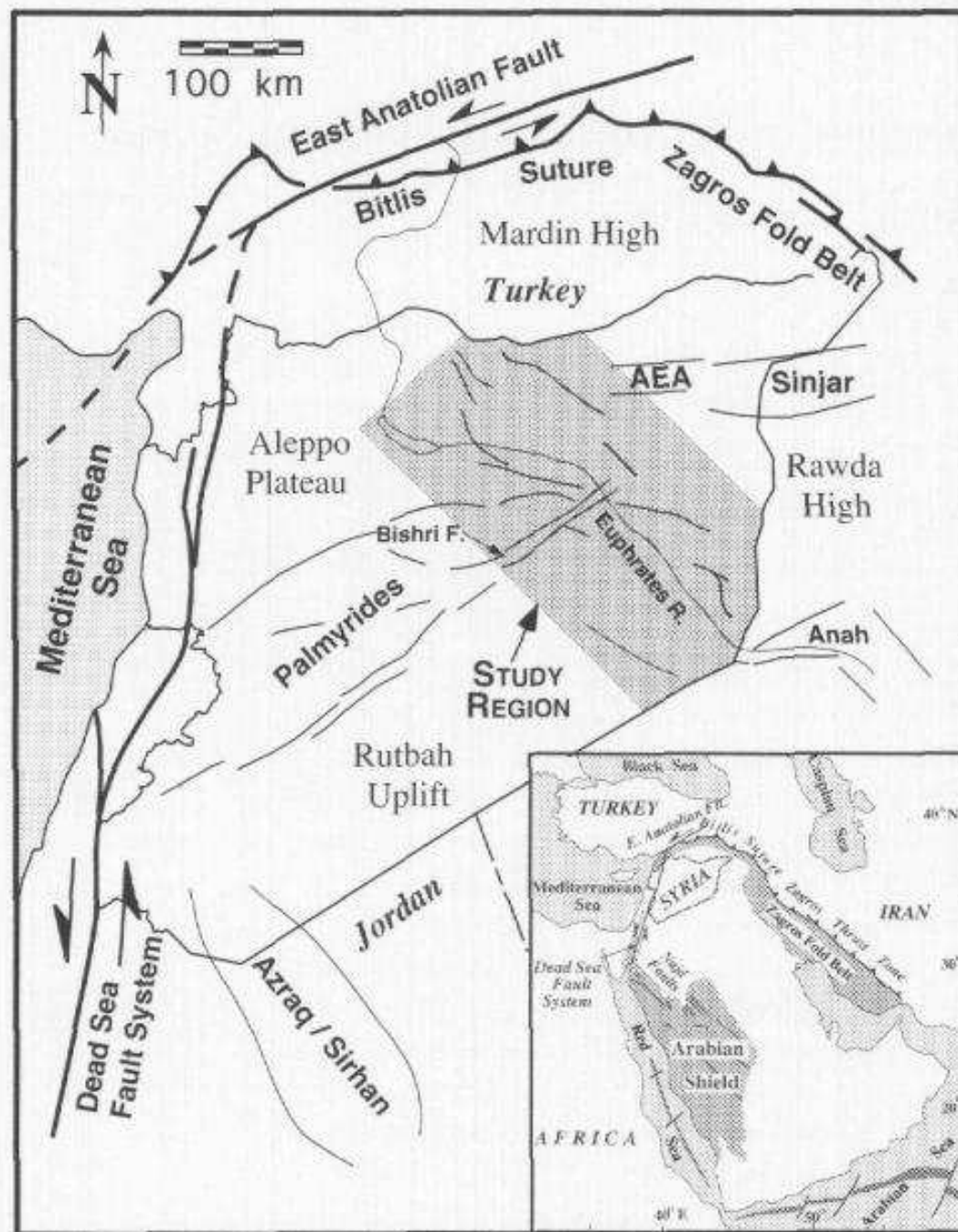


Fig. 1. Map showing location of study region and nearby tectonic features. Thin black lines represent significant faults or boundaries of mobile zone. Inset shows simplified tectonic setting of Syria within the Arabian plate. AEA, Abd El Aziz.

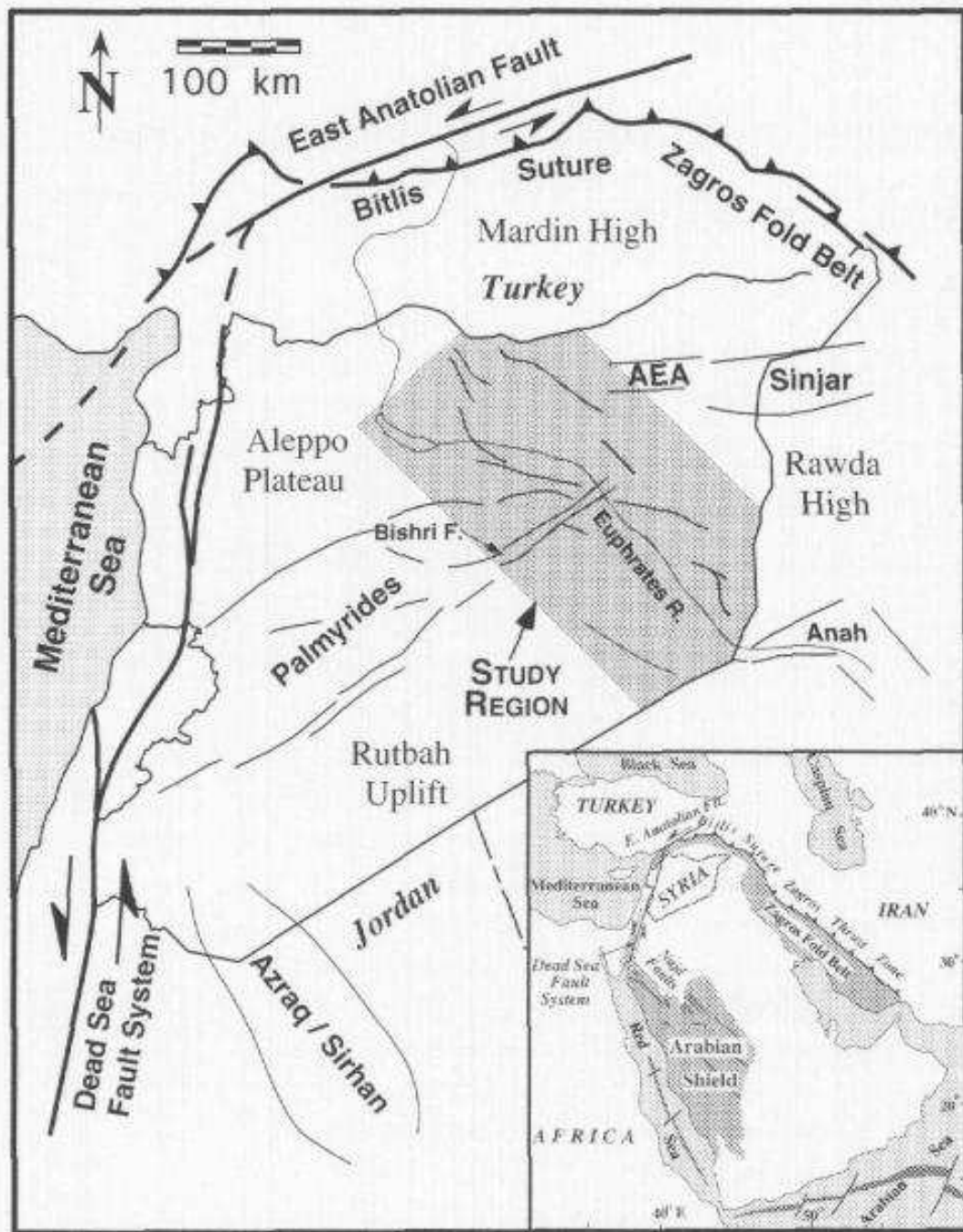
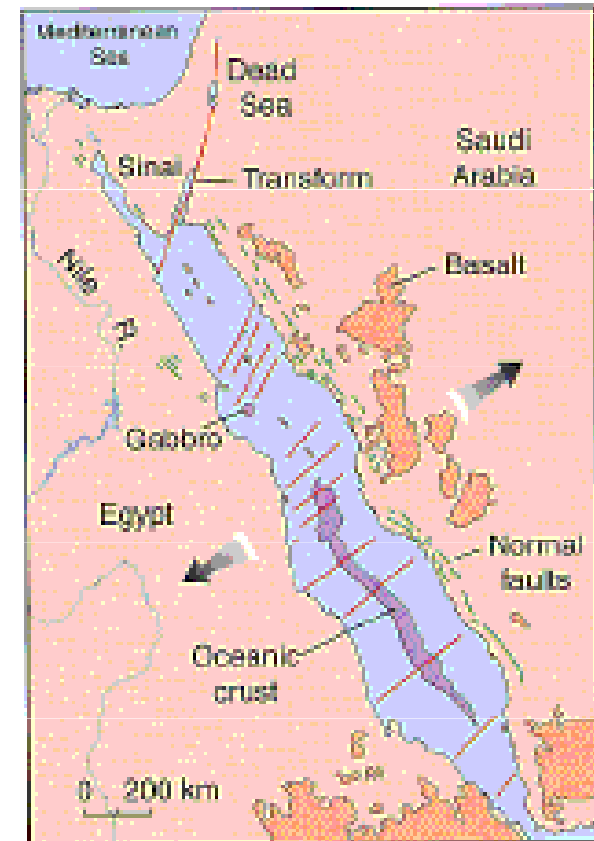


Fig. 1. Map showing location of study region and nearby tectonic features. Thin black lines represent significant faults or boundaries of mobile zone. Inset shows simplified tectonic setting of Syria within the Arabian plate. AEA, Abd El Aziz.

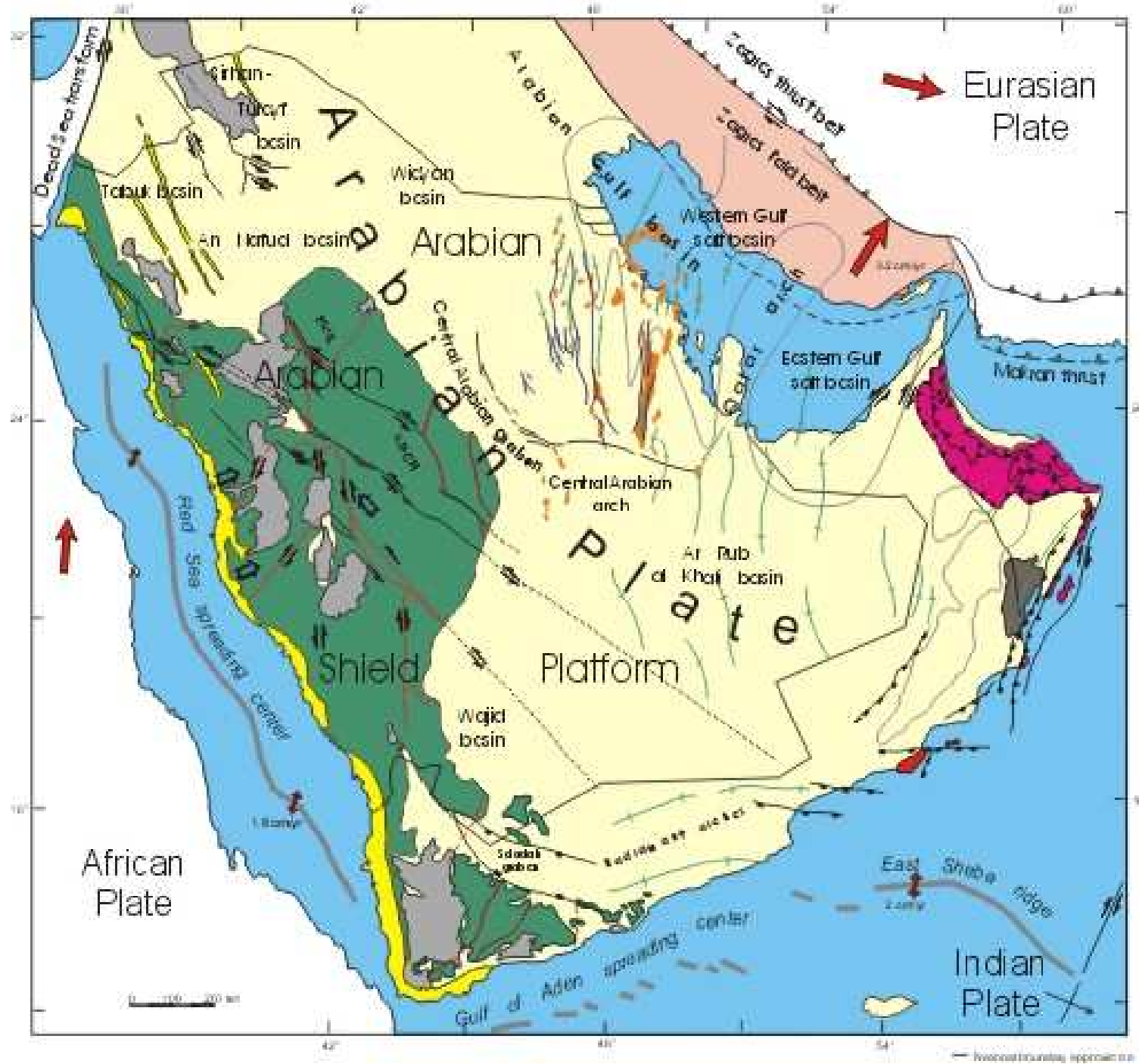
Výše uvedená kolize vedla k aktivaci **sinistrálních transformních zlomů Mrtvého Moře**, které se táhnou od Rudého Moře v Akabském zálivu na jihu přes Libanon do trojného bodu v jižním Turecku, kde se stýká s východoanatolským zlomem. Tento pohyb potom vedl k **severojižní extenzi a otevírání riftu Rudého moře a oddělení arabské desky od africké.**







### Tectonic features of Saudi Arabia and adjacent areas

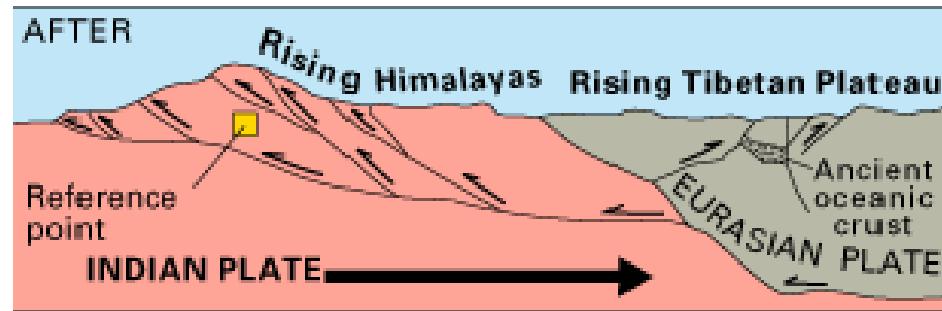
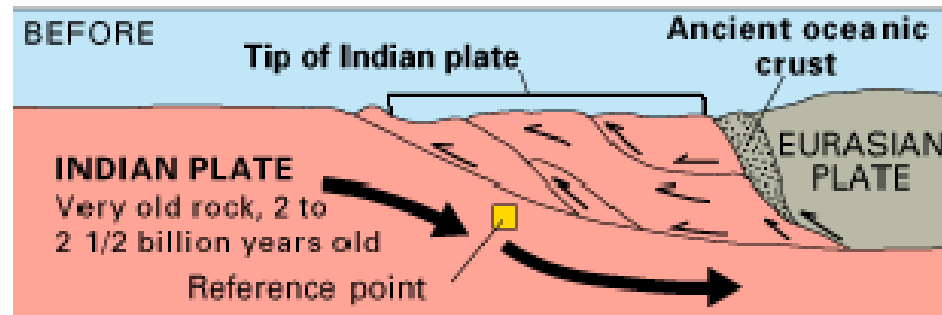


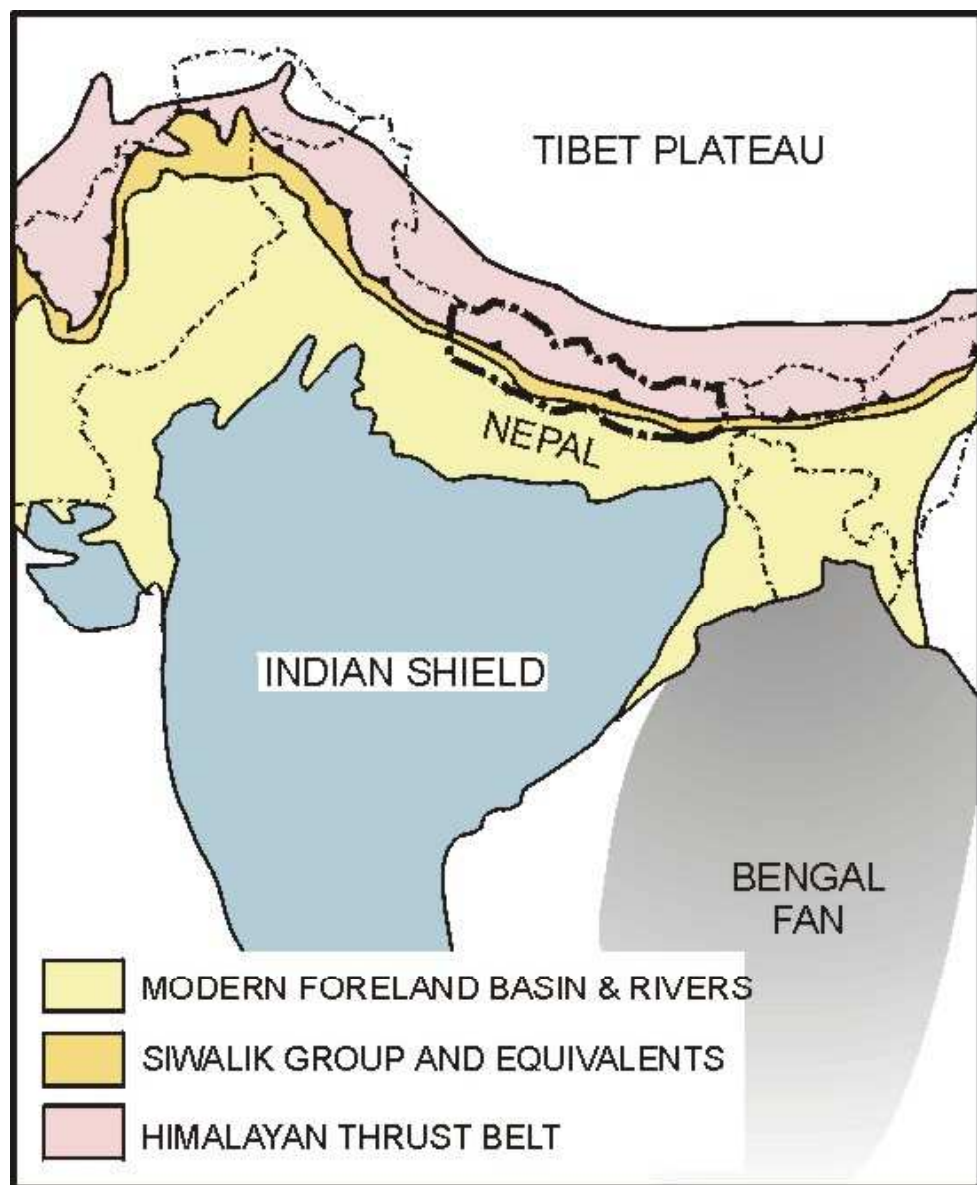
- EXPLANATION**
- Red Sea basin and coastal plain
  - Cenozoic grabens
  - Cenozoic foot-basins
  - Spreading center
  - Mesozoic anticlines
  - Ophiolite masses
  - Herodian fault (concealed)
  - Phanerozoic rocks of the Arabian platform
  - Oil fields
  - Plate movement and spreading rate
  - Intracambrian salt basins (concealed)
  - Intracambrian in Oman
  - Precambrian suture and dyke features (post-Hercynian Emani bounding strike-slip shear zone)
  - Relative sense of convergence of Precambrian terranes
  - Precambrian rocks of the Arabian shield
  - Precambrian in Oman
  - Precambrian and Phanerozoic fault and transform faults
  - Normal fault
  - Thrust



— International boundary approximation

**HIMALAJE**





**Himalaje** představují součást jednotky **alpid** (součást tethysid). Táhnou se od Afganistánu až po Barmu a při jejich vzniku byly deformovány rozsáhlé části Asie. Takže do jejich studia můžeme zahrnout Karakoram, Tibet, Tjan-Šan, Altaj, jezero Bajkal (3000 km na sever od Himalájí) a dokonce jihovýchodní Asii, která byla pravděpodobně transportována bočním únikem dále na JV. Asie se vyznačuje výrazným posttektonickým vývojem, který trvá dodnes.

## Hlavní stavební jednotky Himalájí - Indie

1) Asijská deska

 **Sutura Indus Tsangbo**

2) Výšší Himaláj

 **Hlavní centrální násun**

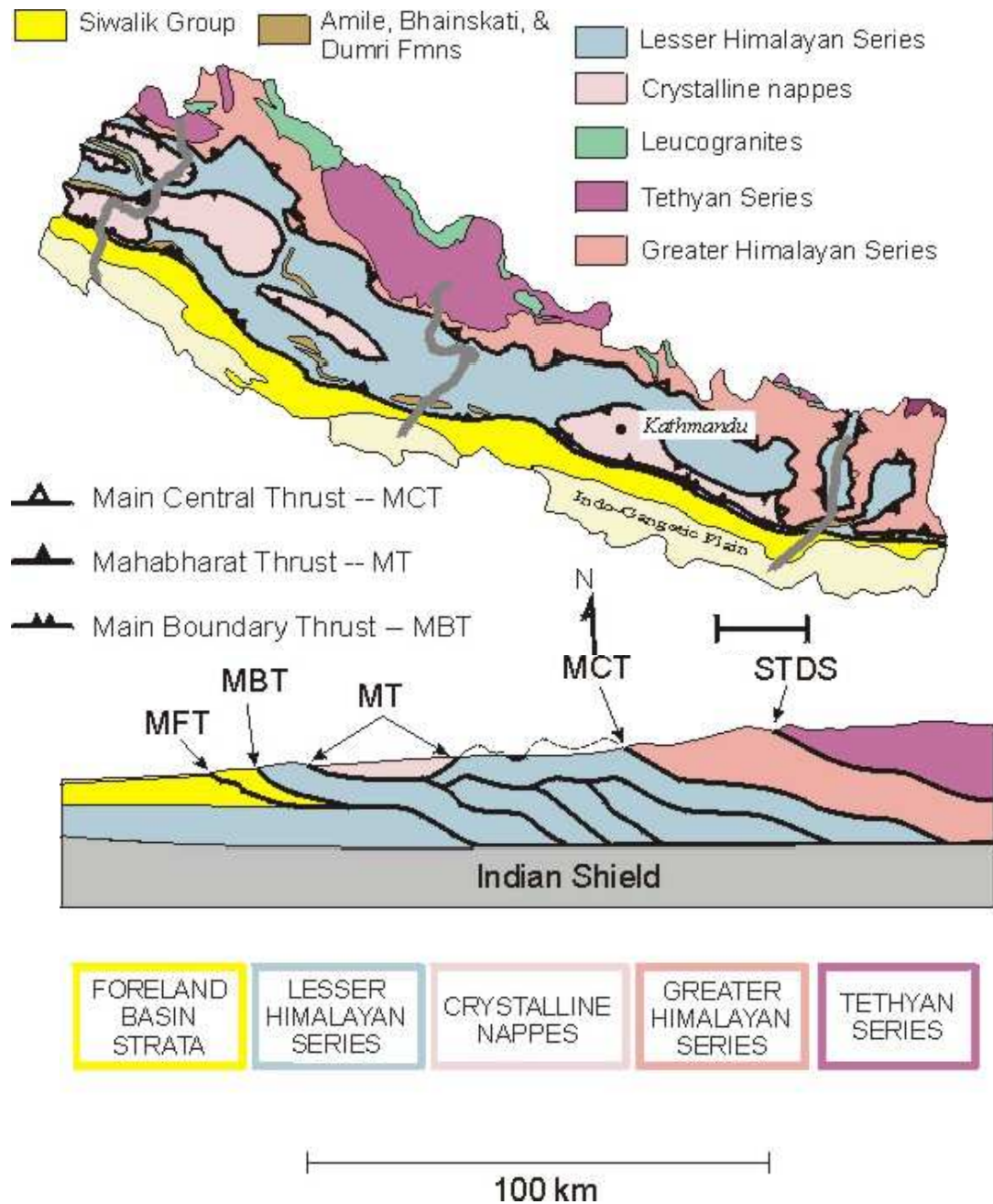
3) Nižší Himaláj

 **Hlavní hraniční násun**

4) Pánev Siwalik (molasa, terciér)

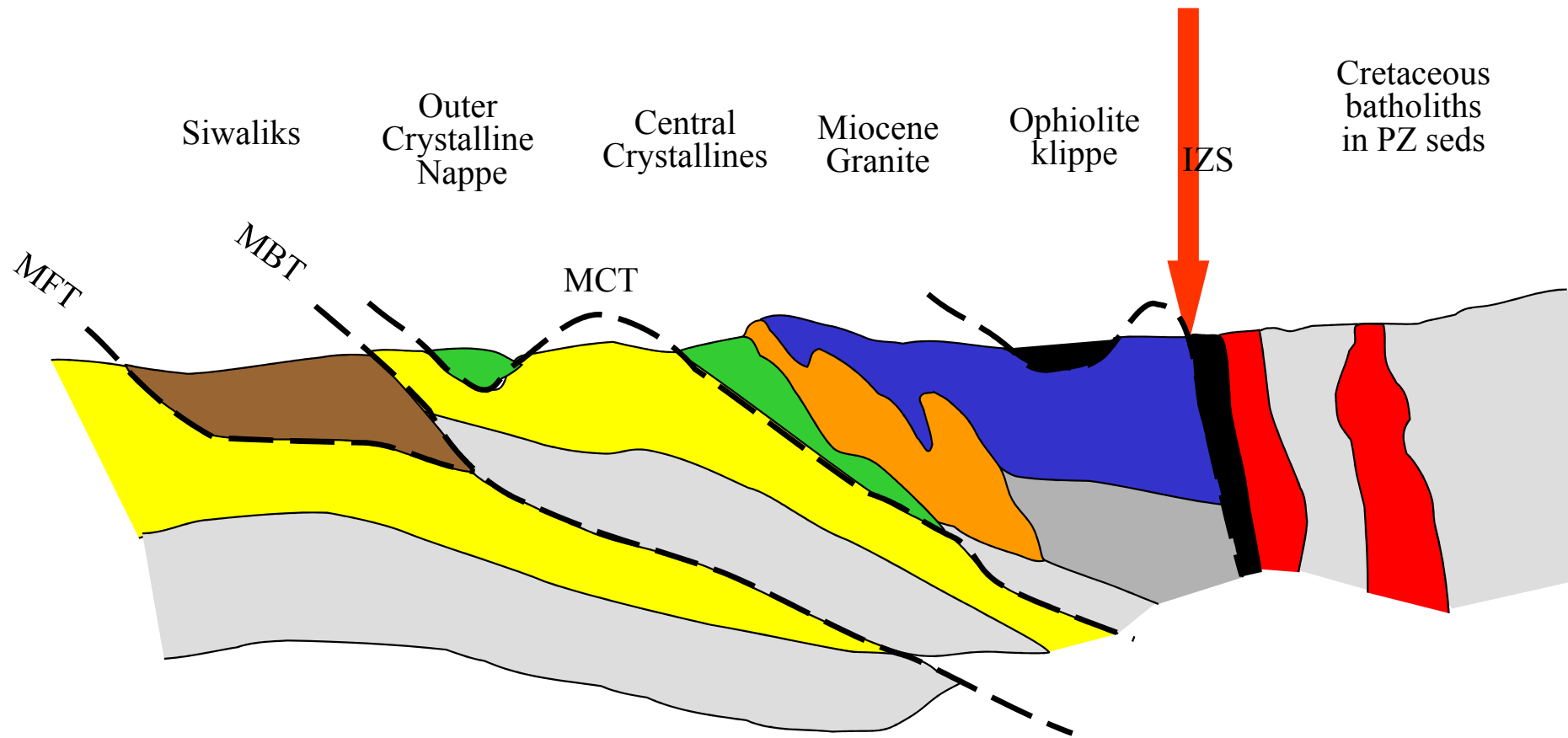
 **Hlavní frontální násun**

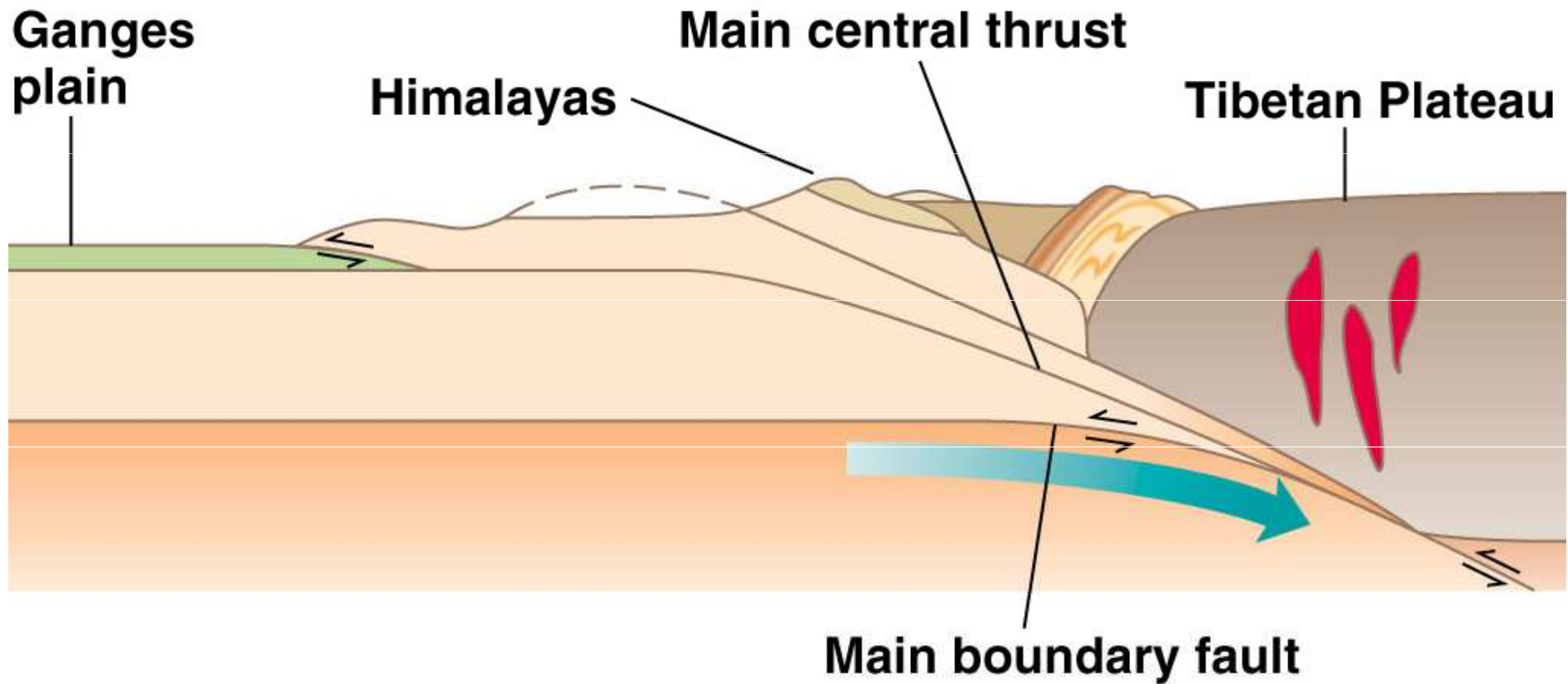
5) Indo-ganžská nížina (molasa, recent)



# Indická deska

# Asijská deska

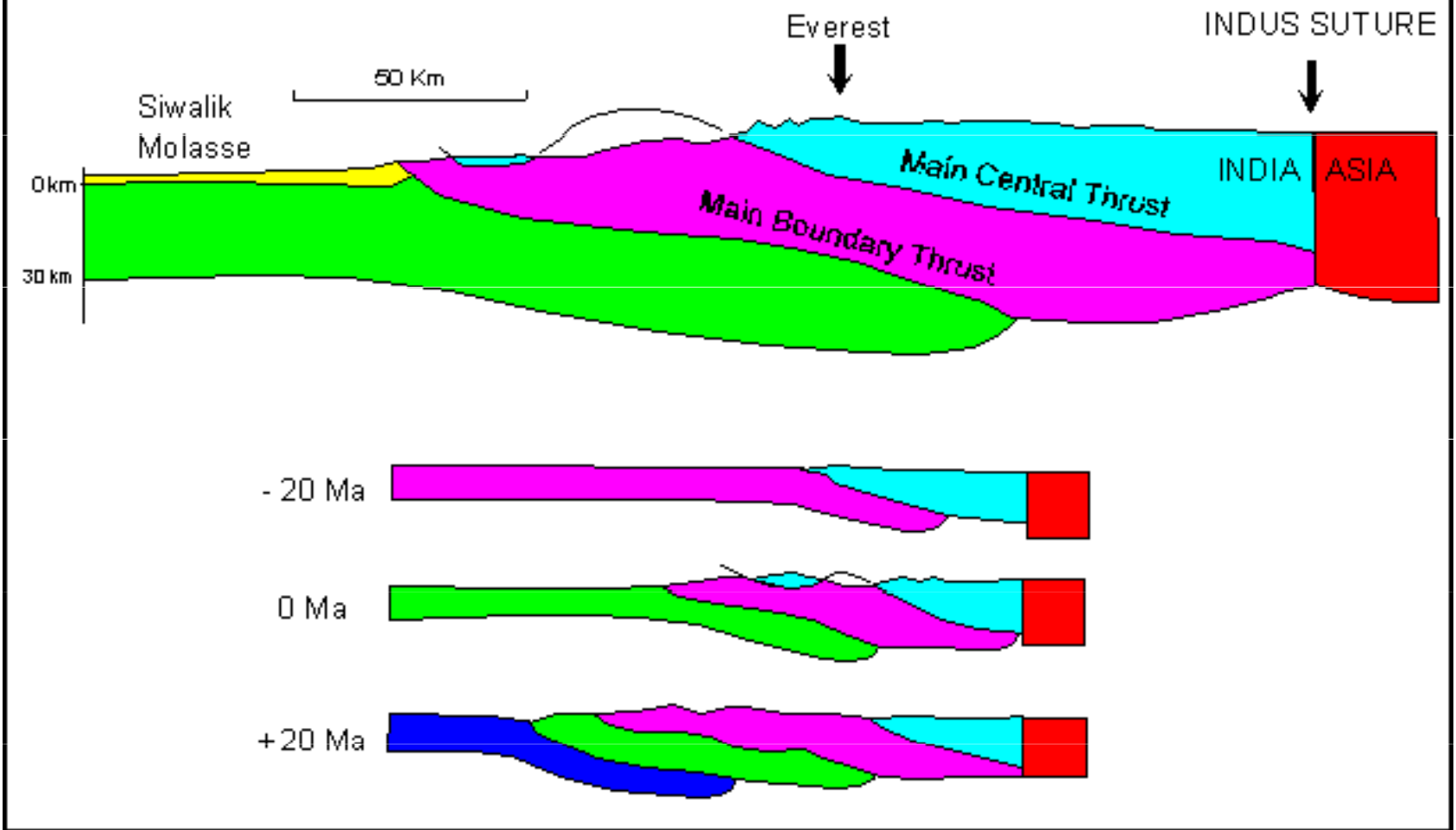




**(d) 20–0 M.Y.A.**



# THE HIMALAYAN COLLISION ZONE



## Hlavní tektonické jednotky (od severu k jihu) v Indii

### 1) Tibet

Jižní část Tibetu na jih od sutury Indus-Zangbo náleží geologicky Himalájím. Zde se budeme zabývat částí Tibetu, která se rozkládá asi 1000km na sever od sutury Indus-Zangbo a Transhimalajského batolitu Kandese až k Kun Lun Shanu při jižní straně Tarimské pánve

Tibet(Xizang) můžeme rozdělit do **třech kontinentálních fragmentů** - Kun Lun, **Qiantang** a **Lhasa**. Oddělenými suturami Jinsha a Banggong. **Kun Lun** má **laurasijské** faunistické afinity ale **Qiantang** a **Lhasa** pocházejí z **Gondwany** a driftovali přes Mesotethys, která byla ve střední křídě přinejmenším 6000 km široká. **Sutura Jinsha** mezi teránem Kun Lun a Qiantang vznikla v pozdním **triasu** až nejspodnější juře a **sutura Banggong** mezi teránem Qiantang a Lhasa ve svrchní **juře**. **Transhimalajský batolit** můžeme nespojitě sledovat na **2500km podél sutury Indus-Zangbo**.

Transhimalayan batholith

igneous complex consists of I-type lithologies, including gabbros, diorites, and granites. Formation of the complex is thought to have occurred in several phases, between 110 and 40 million years. Partial melting of a subducting NeoTethyan slab beneath the Asian plate is thought to have resulted in these magmas (Sorkhabi 1999).

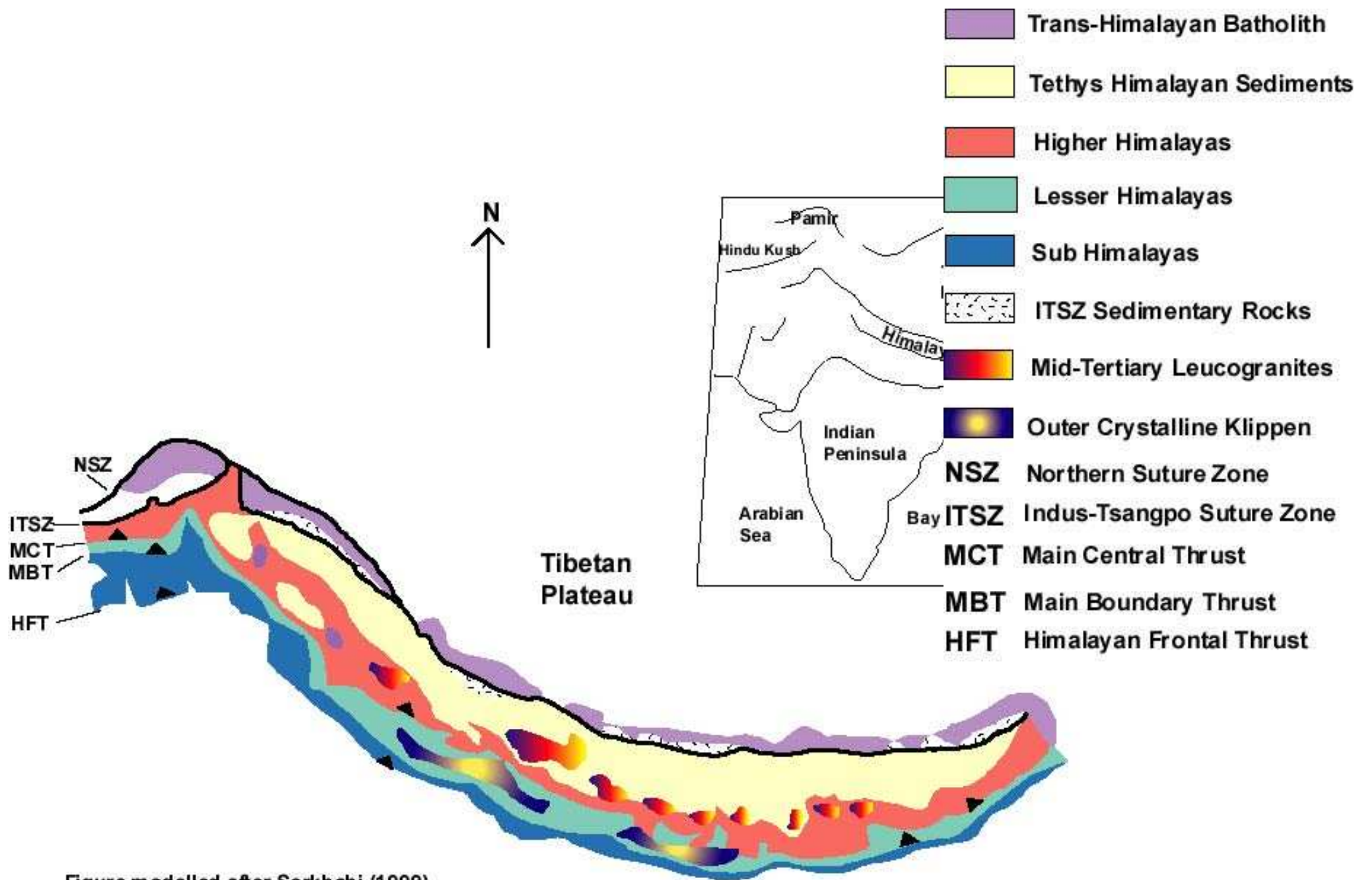
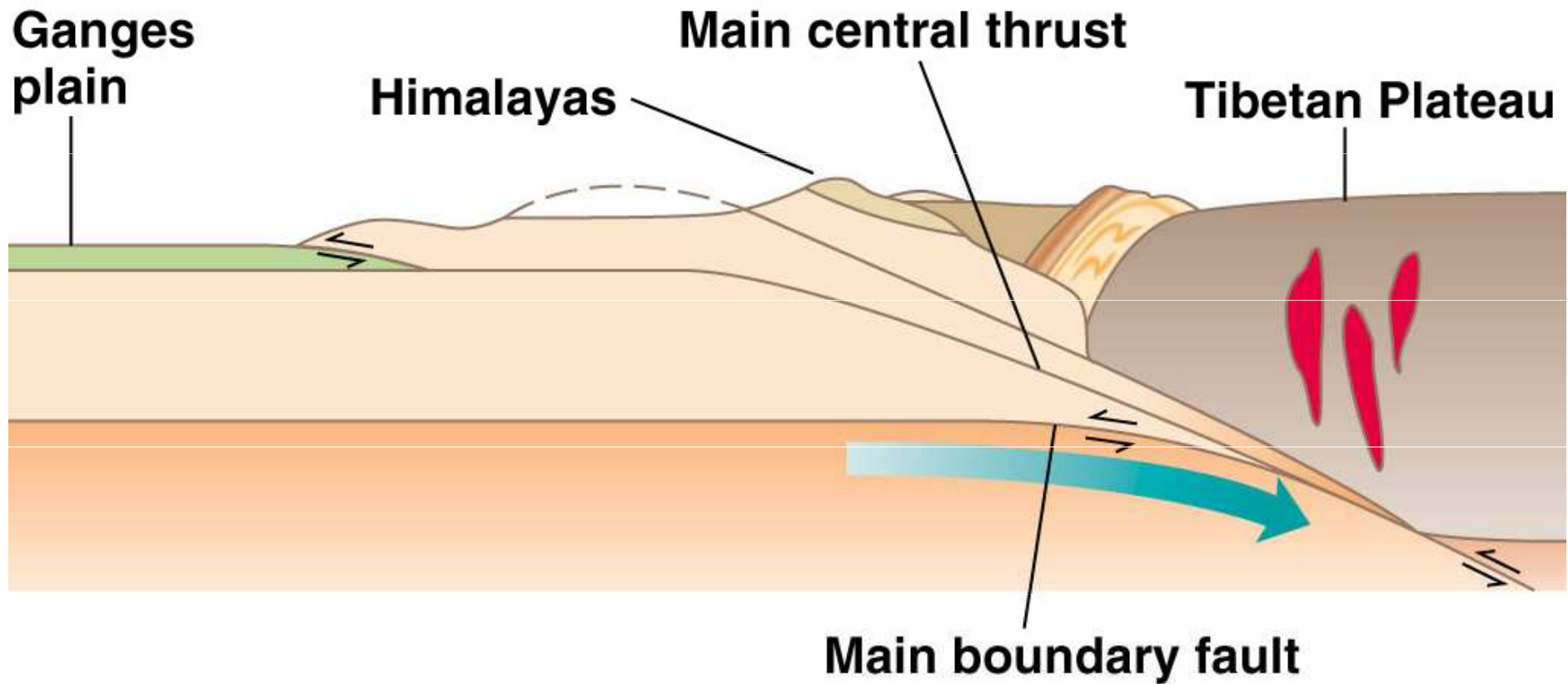


Figure modelled after Sorkhabi (1999)

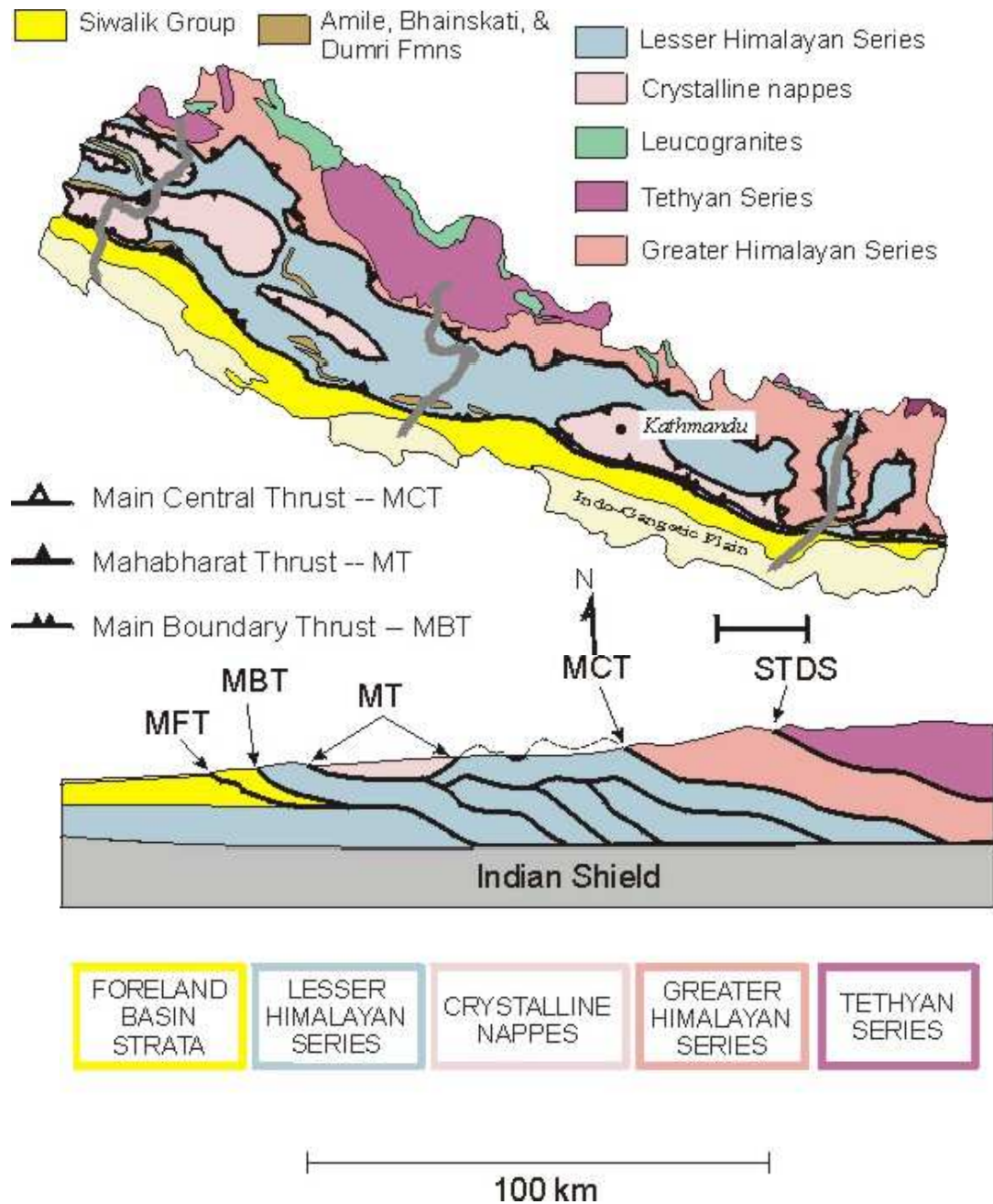
## 2) Vyšší Himaláj v Indii

Většina hornin je tvořena metamorfity. Nejvyšší vrcholky mnoha štítů jsou ale tvořeny paleozoickými sedimenty. Vyšší Himalaj můžeme rozdělit do 3 dílčích jednotek.

- a) **Tethydní (Tibetská) zóna** na severu je tvořena paleozoickými a mesozoickými sedimenty. Jedná se o 12 km mocné nakupení fosiliferných mořských sedimentů od kambro-ordovického stáří až po střední eocen. Mesozoické sedimenty (např. mocné karbonáty) se uložily na severním pasivním kontinentálním šelfu indické desky. Sedimenty byly **metamorfovány** do facie **zelených břidlic** a deformovány v násunových příkrovech.
- b) **Ofiolity** odvozené z **Neotethys** a **nasunuté na jih** na indický kontinentální okraj. Byly nasunuty ze sutury Indus -Zangbo směrem k jihu od 40 do 80 km **na tethydní sedimenty**. Typické jsou násuny na mělkovodní **karbonáty**.
- c) Deska vysoce metamorfovaných hornin **centrálního krystalinika** nebo tibetská deska, **intrudovaná** miocenními **leukogranity**. **Ruly amfibolické facie** tvoří tvoří 15 km mocný pruh podél celé délky indických Himalájí na jih od jihotibetského odlepení. Jsou výrazně **provrásněny**, často se vyskytuje inverzní metamorfóza. Na jihu jsou omezeny **Hlavním centrálním násunem**. Granity náleží syntektonickému magmatismu.



**(d) 20–0 M.Y.A.**



### 3) Nižší Himaláj

Jedná se o zónu mezi **Hlavním centrálním násunem** a **Hlavním hraničním násunem** tvořenou 20 km mocnými **proterozoickými rulami**, mocnými paleozoickými a téměř mocnými mesozoickými **sedimenty** a ordovickými **granity**.

**Krystalinické rulové komplexy** Vnějšího krystalinika byly **nasunuty** podél Hlavního centrálního násunu od severu z Vyšší Himaláje na jih na sedimenty.

Na sever od Hlavního hraničního násunu jsou situovány **2 intramontanní molasové pánve**, Kašmírá a Pešavarská pánev. Sedimentace v Pešavarské pánvi začala přinejmenším před 2,08 Ma a deformace pánve pokračuje dodnes. Kašmírá pánev typu piggy-back vznikla před 4-5 Ma, což je období vzniku Hlavního hraničního násunu a obsahuje více než 1km sedimentů.

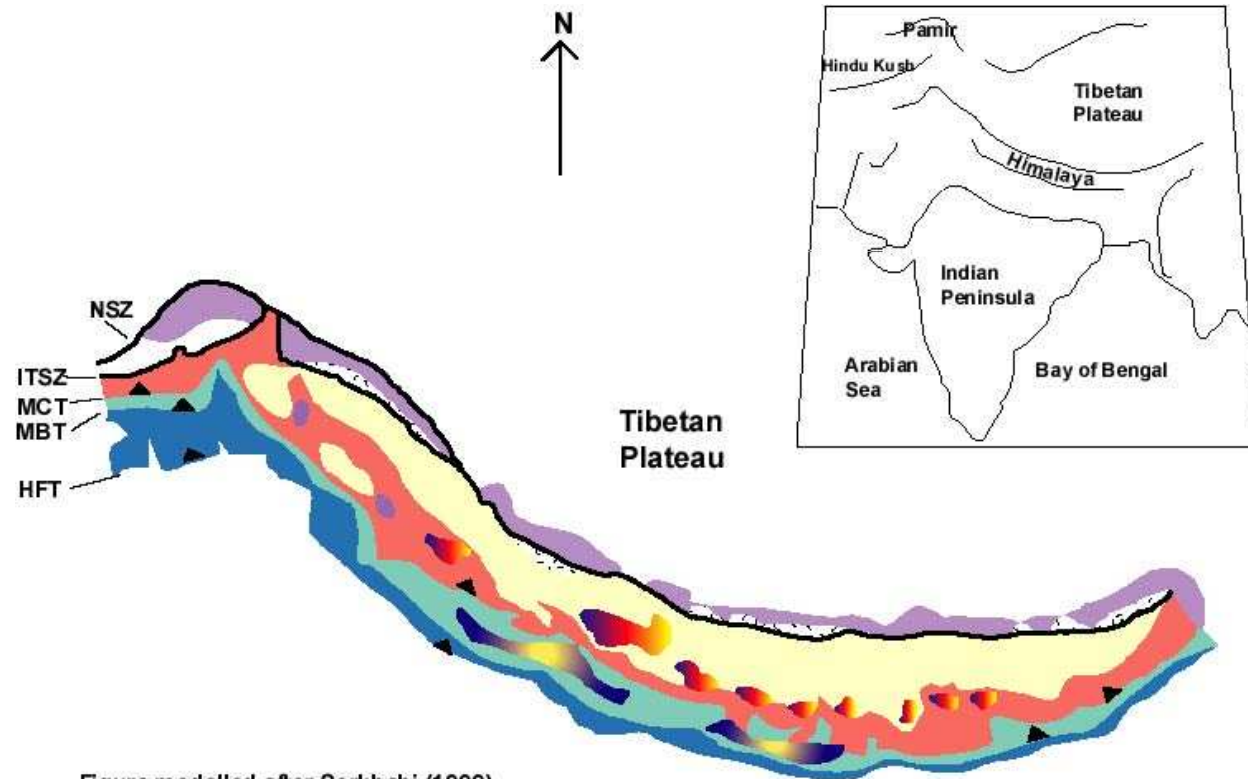
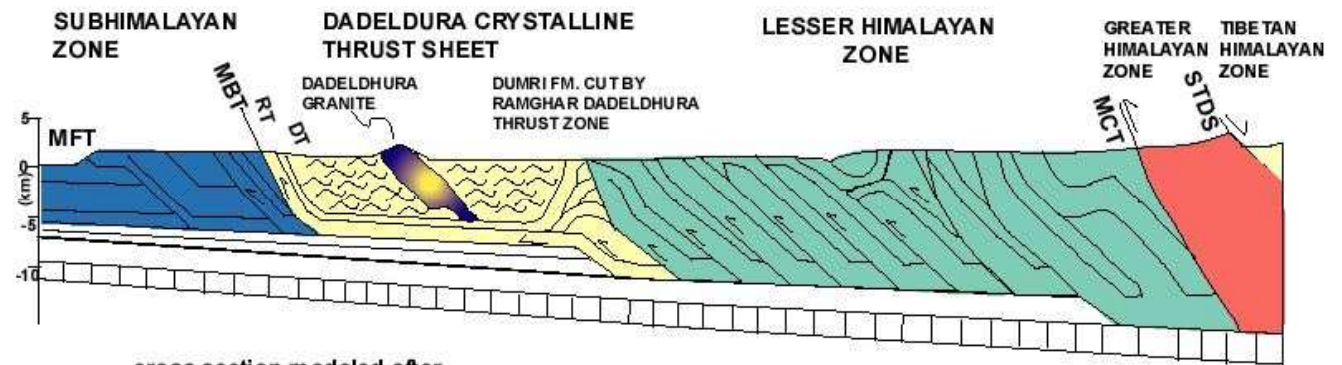


Figure modelled after Sorkhabi (1999)

- Trans-Himalayan Batholith
- Tethys Himalayan Sediments
- Higher Himalayas
- Lesser Himalayas
- Sub Himalayas
- ITSZ Sedimentary Rocks
- Mid-Tertiary Leucogranites
- Outer Crystalline Klippen
- NSZ** Northern Suture Zone
- ITSZ** Indus-Tsangpo Suture Zone
- MCT** Main Central Thrust
- MBT** Main Boundary Thrust
- HFT** Himalayan Frontal Thrust



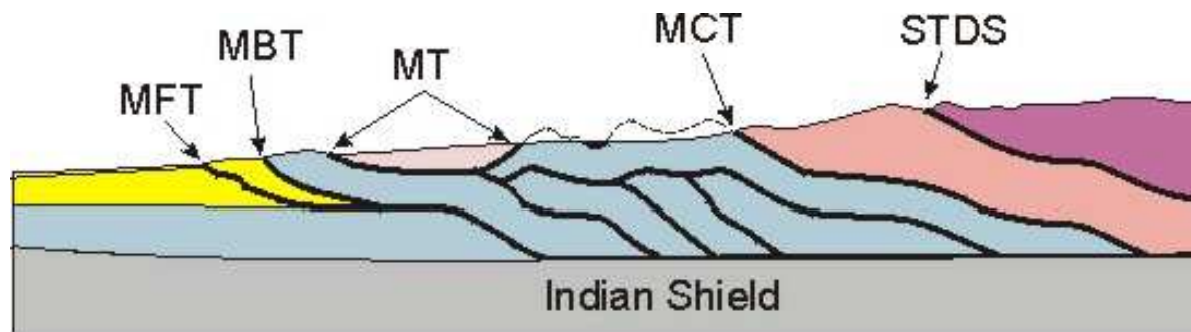
cross section modeled after DeCelles 1998



## 4) Siwalik Foreland Basin (terciér)

Vyskytuje se na jih od Hlavního hraničního násunu a jeho sedimentární výplň je tvořena miocenními až recentními nemetamorfovanými arkosami, prachovci, břidlicemi a slepenci. Vznikl flexurou indické litosféry pod nákladem k jihu se sunoucích příkrovů a obsahuje více než 10km terestrických sedimentů indikujících rychlou erozi. Je postižen násunovou tektonikou až po hlavní frontální násun a tato část bývá označována jako **Subhimalaje**.

## 5) Recentní molasové pánve v předpolí (Indo-ganžská nížina)



100 km



## Hlavní tektonické jednotky (od severu k jihu) v Pakistánu

### 1) Karakoram

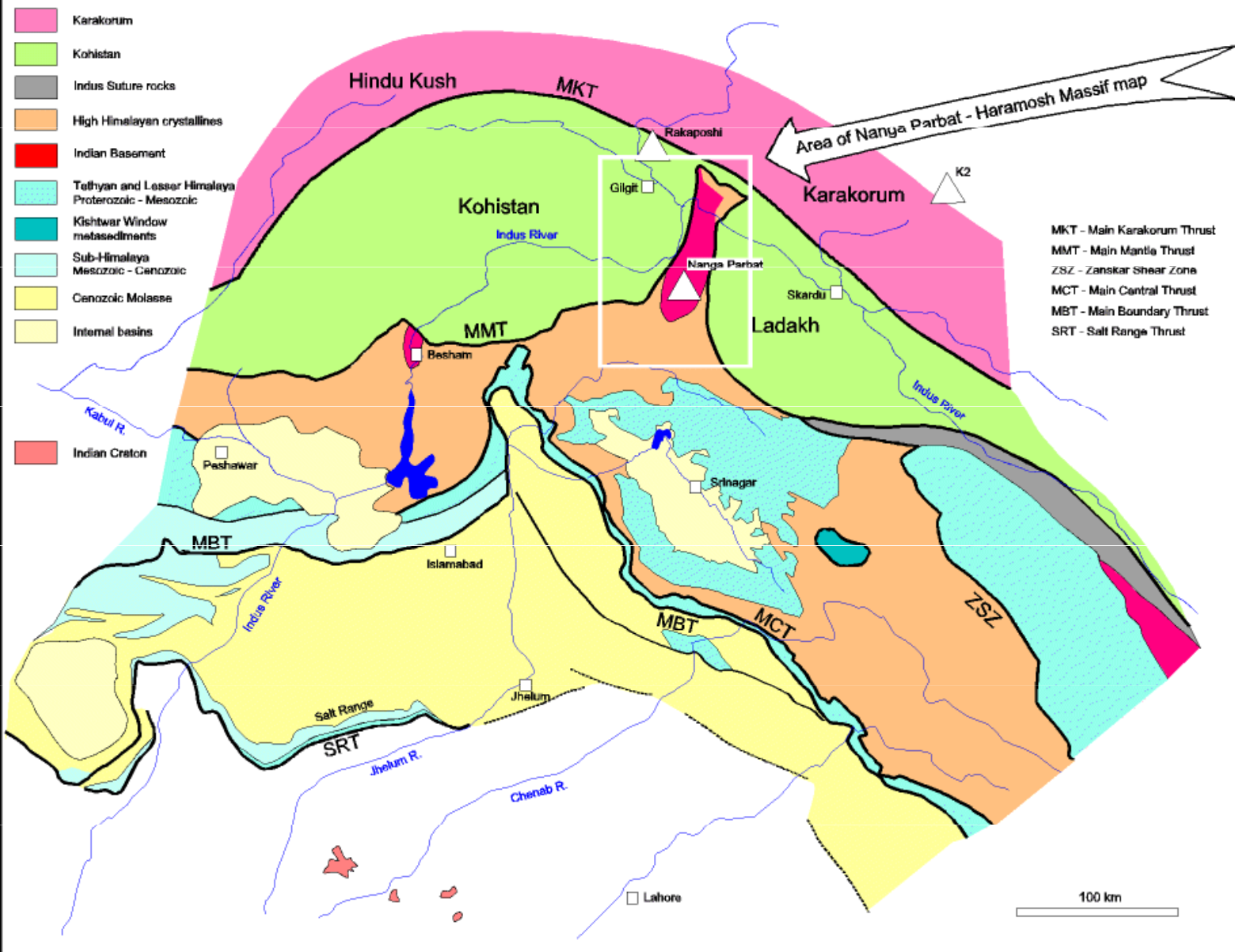
Tato horská oblast leží mezi **Severní suturou** (suturou Chalt Shyok) na jihu a **hřbetem Kun Lun** v Číně a **severním Pamírem** bývalého SSSR. Tvoří **západní úzký konec tibetského plató**.

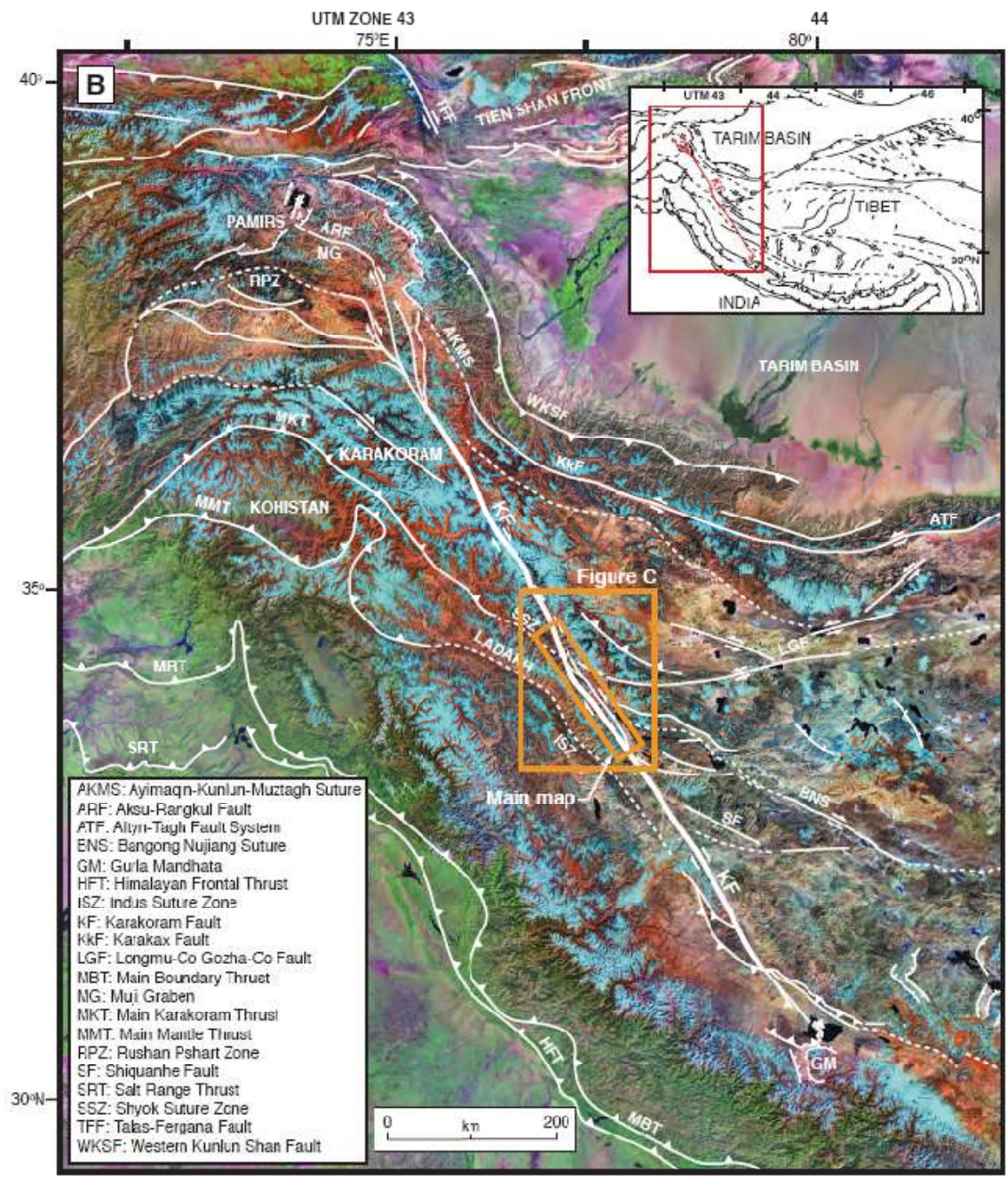
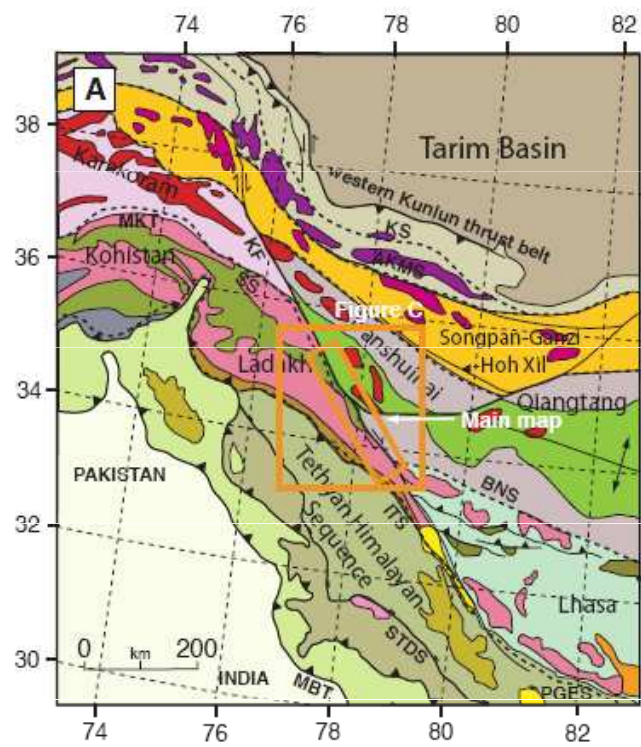
Geofyzikální údaje ukazují, že asijská litosféra zde subduovala k jihu do hloubky přinejméním 200km a naráží na mělkou k severu se podsunující indickou litosféru.

### 2) Severní sutura (Chalt Shyok Suture)

Tato sutura je situována mezi **ostrovním obloukem Kohistan-Ladakh** a **karakoramskou (asijskou) deskou** na severu. Vznikla uzavřením zaobloukové pánve, které je dnes potvrzováno nálezy mocných **intravulkanických turbiditů**. V **Pakistánu** sutura obsahuje **4km širokou melanž**, ve které grafitická jílovitá matrix zahrnuje bloky **obloukových** hornin a albsko-aptských **vápenců** odvozených z jihu. V **Ladakh** sutura obsahuje **ofiolity** vázané na násunovou linii. Ke **vzniku** sutury došlo mezi 100 až 80 Ma jako důsledek **severní subdukce** a **kolize** ostrovního oblouku Kohistan-Ladakh s karakoramskou deskou

# Regional geological setting of Nanga Parbat - Haramosh Massif





- AKMS: Ayimaqn-Kunlun-Muztagh Suture
- ARF: Aksu-Rangkul Fault
- ATF: Altyn-Tagh Fault System
- ENS: Bangong Nujiang Suture
- GM: Gurla Mandhata
- HFT: Himalayan Frontal Thrust
- ISZ: Indus Suture Zone
- KF: Karakoram Fault
- KGF: Karakax Fault
- LGF: Longmu-Co Gozha-Co Fault
- MBT: Main Boundary Thrust
- MKT: Main Karakoram Thrust
- MMT: Main Mantle Thrust
- RPZ: Rushan Pshart Zone
- SF: Shiquanhe Fault
- SRT: Salt Range Thrust
- ESZ: Shyok Suture Zone
- TFF: Talas-Fergana Fault
- WKSF: Western Kunlun Shan Fault

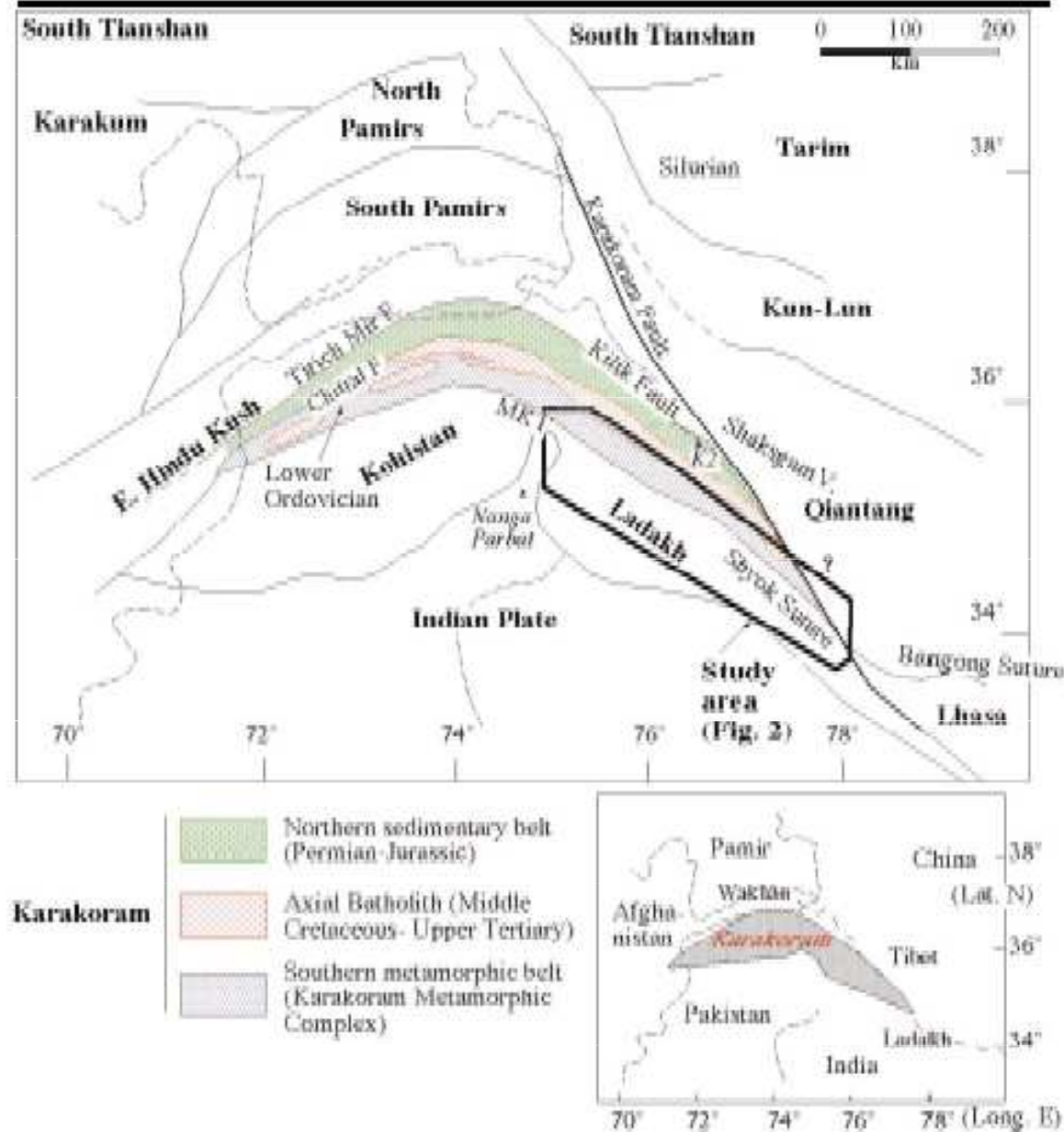
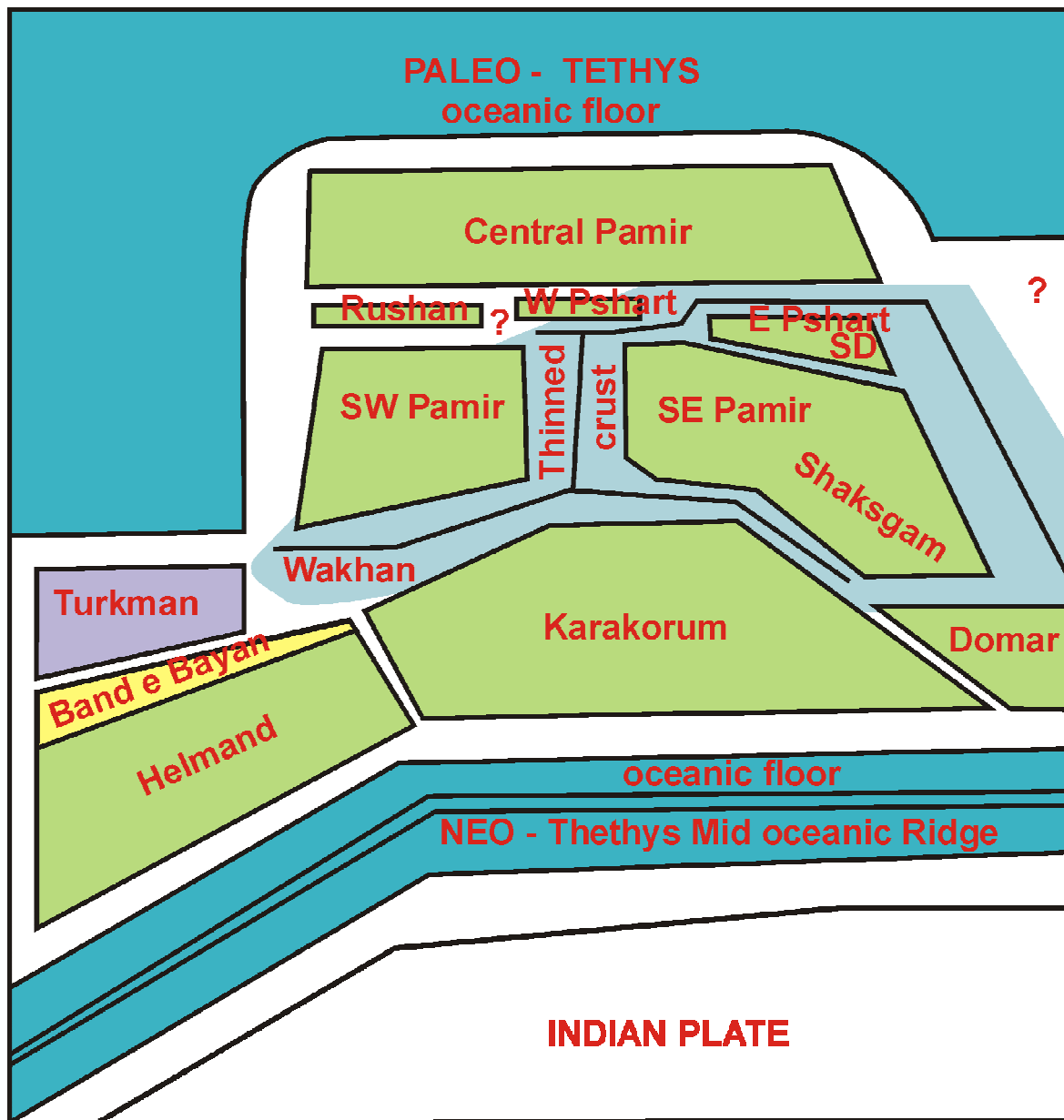


Figure 1. Schematic map of the Pamir-Karakoram-NW Himalaya syntaxis, with location of principal tectonic blocks and sutures. The main geological units of the Karakoram are shown. The location of the study area is indicated. MKT: Main Karakoram Thrust.



Cimmerian microcontinents

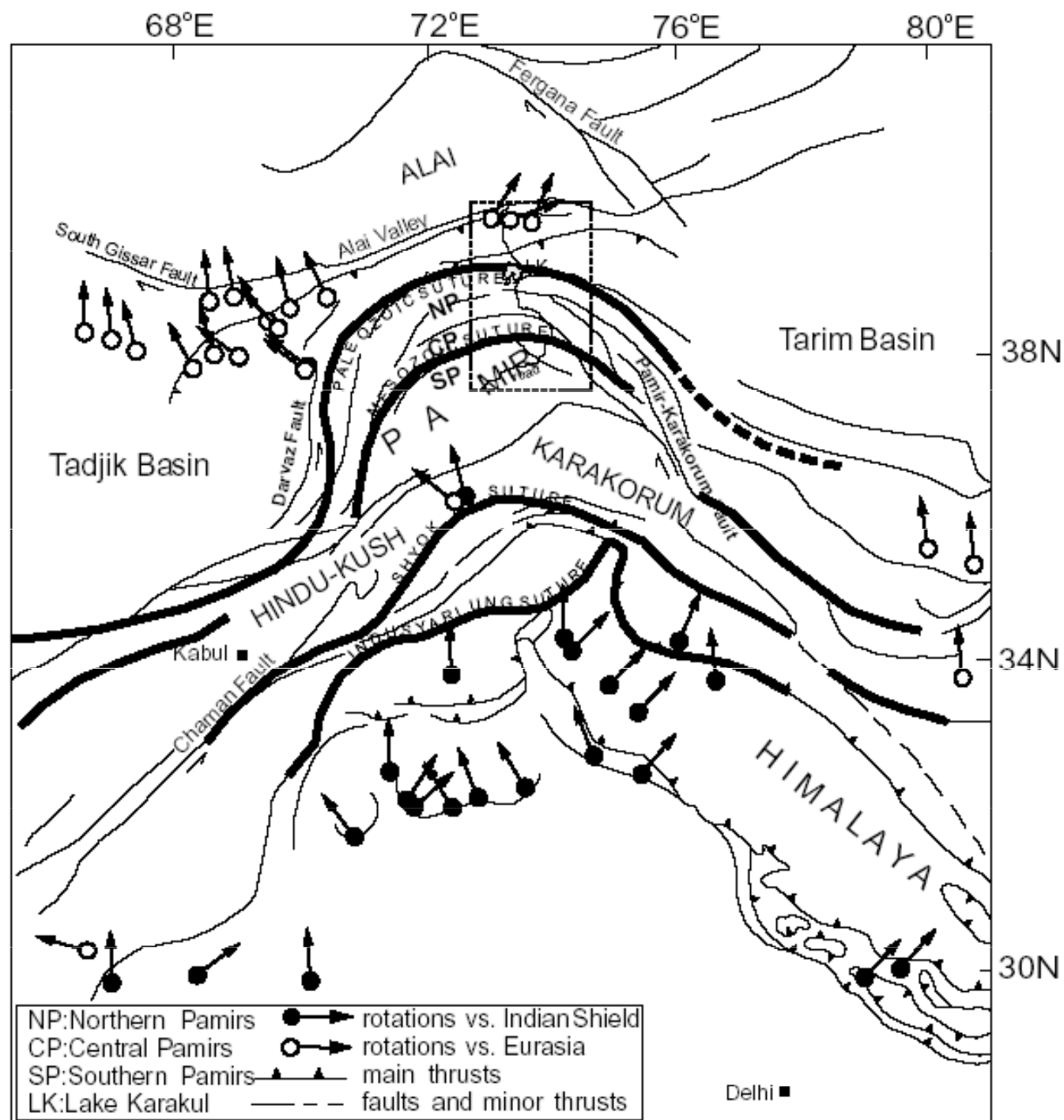


Fig. 1. Regional tectonic map of south-central Asia, showing sutures and major faults. The area of investigation is marked by the dashed rectangle in the north-western part of the India–Asia collision zone (NP, CP, SP denote the northern, central, southern Pamirs). Palaeomagnetic rotations in and around the western



### 3) Transhimalajský batolit a ostrovní oblouk Kohistan-Ladakh

Transhimalajský batolit můžeme nespojitě sledovat na **2500km podél sutury Indus-Zangbo**. Na západě batolit pronikl do hornin ostrovního oblouku Kohistan-Ladakh zatímco na východě do hornin andského typu kontinentálního okraje. Je to způsobeno tím, že **terán Kohistan-Ladakh je znám pouze na západě a severní sutura na východě konverguje k sutuře Indus-Zangbo**.

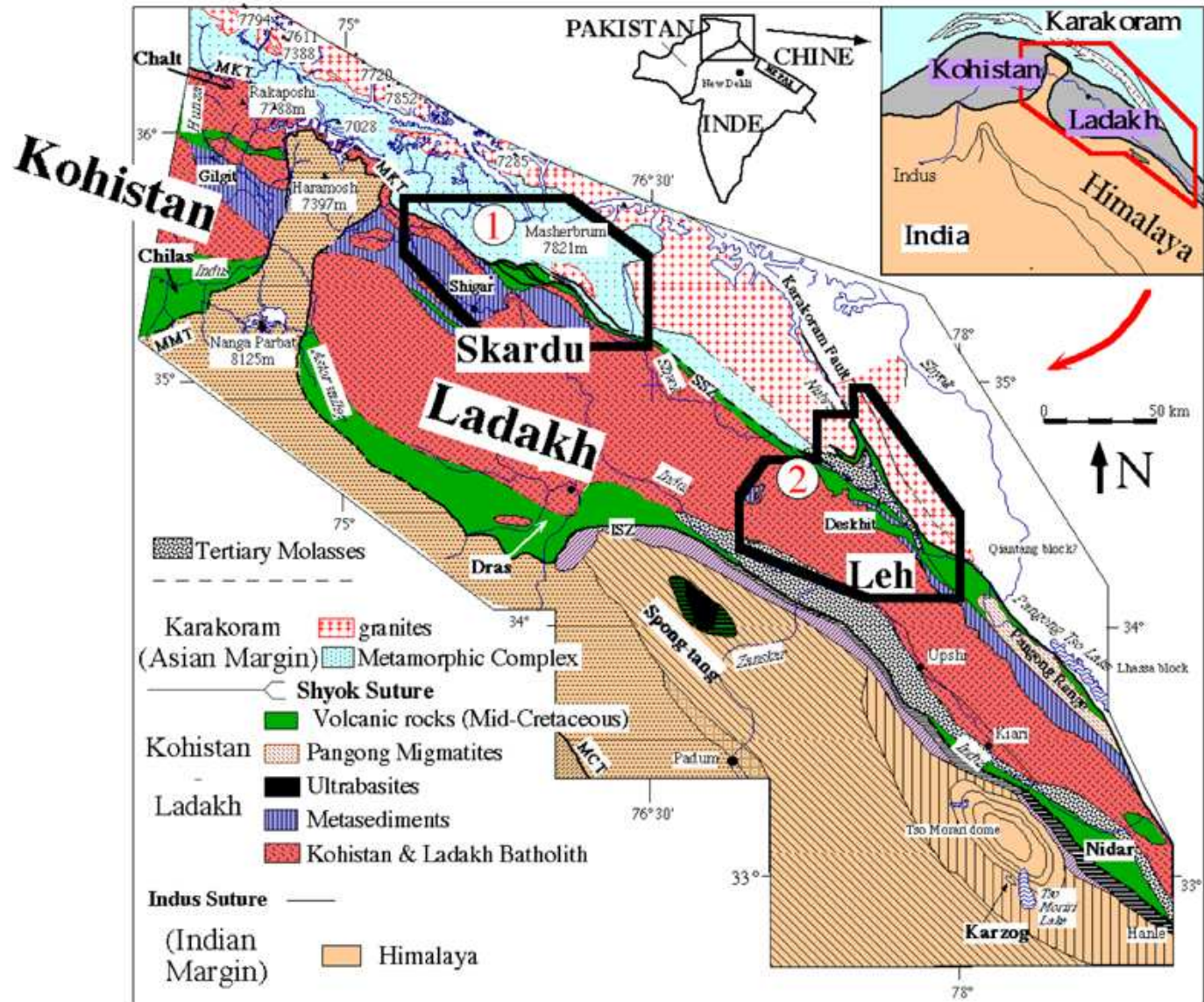
**Batolit** pronikl ve dvou fázích, nejprve během střední křídly a potom během **paleocenu** až spodního eocenu, velmi **blízko období kolize**. Jeho horniny byly důsledkem severní subdukce Neotethydy pod aktivní kontinentální okraj Tibetu. Tento magmatismus andského typu vedl k **zvětšení tloušťky lhaského bloku** při jižním okraji Tibetu.

Pokud se týče **ostrovního oblouku Kohistan-Ladakh**. Tak vznikl pravděpodobně při severním okraji Neotethydy a během kolize byl zachycen mezi eurasijskou a indickou deskou. Byl tak **deformován dvakrát**, poprvé když **kolidoval s asijskou** karakoramskou deskou a **podruhé** když s ním na jihu kolidovala **deska indická**.

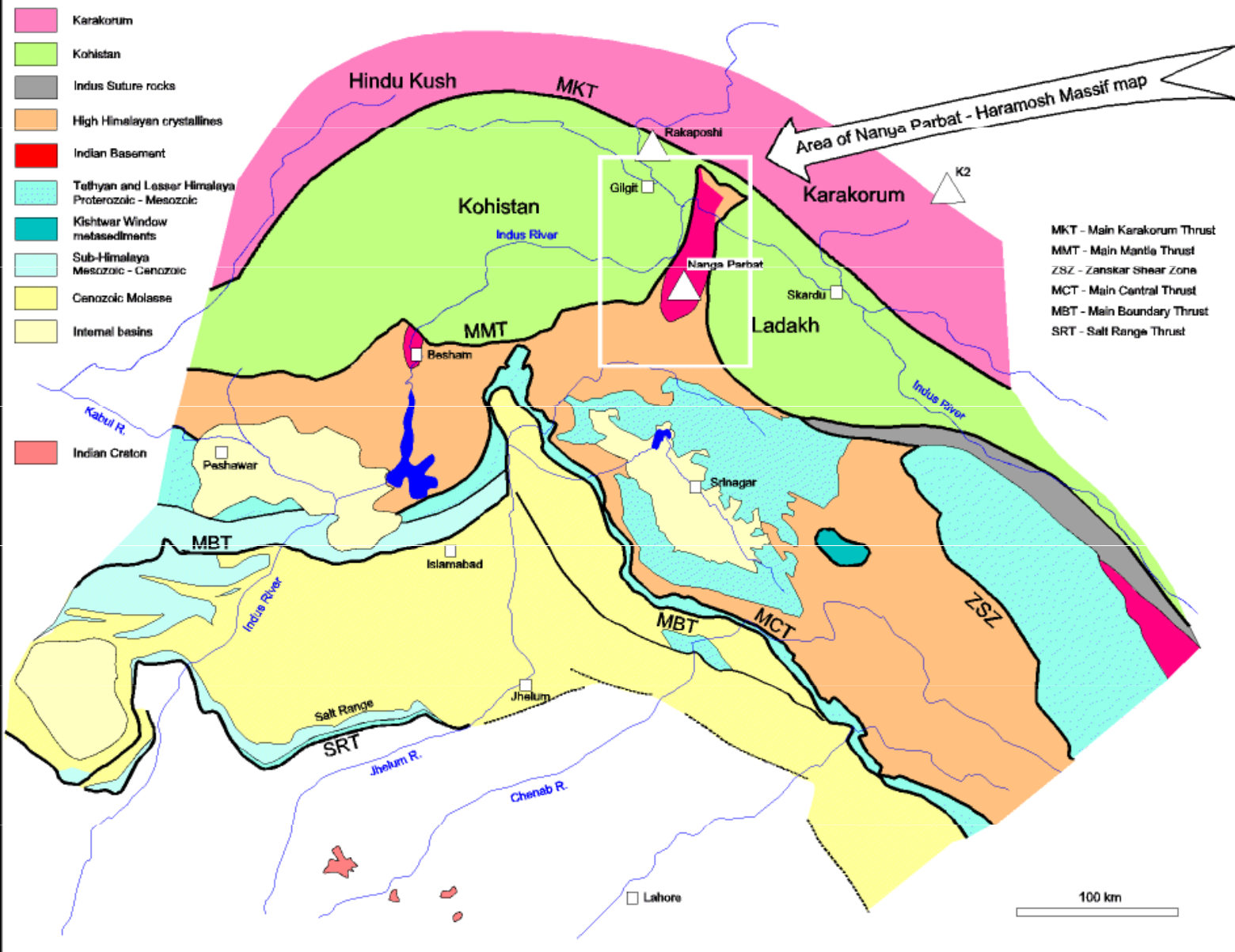
Ve vývoji ostrovního oblouku Kohistan-Ladakh můžeme vyčlenit 3 období:

- 1) **Vznik zralého ostrovního oblouku** ve střední křídě. Po kolizi mezi 102-85Ma se oblouk stal výběžkem kontinentálního aktivního okraje pod který k severu subdukovala Neotethys.
- 2) **Intruze batolitu** andského typu ve dvou periodách - 78-75Ma a 48-45 Ma.
- 3) Průběžné **podsování Indie** pod zluštělou kůru Kohistanu vedoucí ke krustálnímu natavování a intruzi granitů před 30Ma.

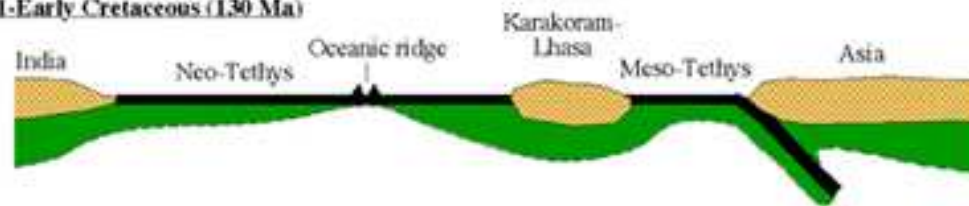
Takže můžeme v průběhu akrece ostrovního oblouku ke kontinentu rozlišit **3 rozdílné typy granitického magmatismu**



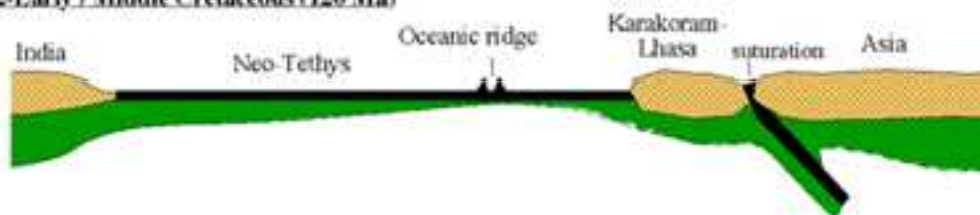
# Regional geological setting of Nanga Parbat - Haramosh Massif



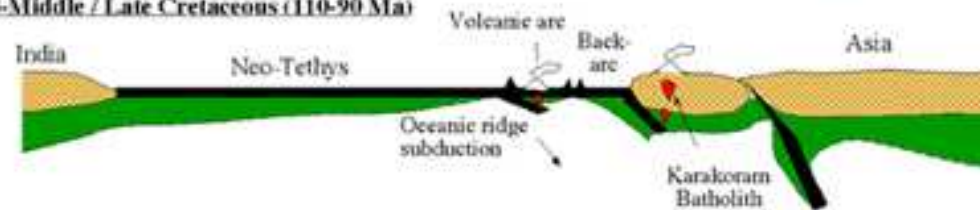
**1-Early Cretaceous (130 Ma)**



**2-Early / Middle Cretaceous (120 Ma)**



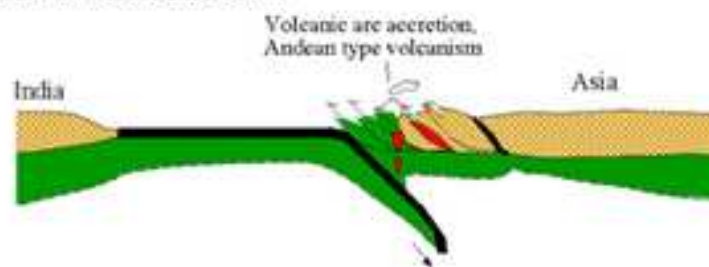
**3-Middle / Late Cretaceous (110-90 Ma)**



**4-Late Cretaceous (90-80 Ma)**



**5-Late Cretaceous-Palaeocene (80-65 Ma)**



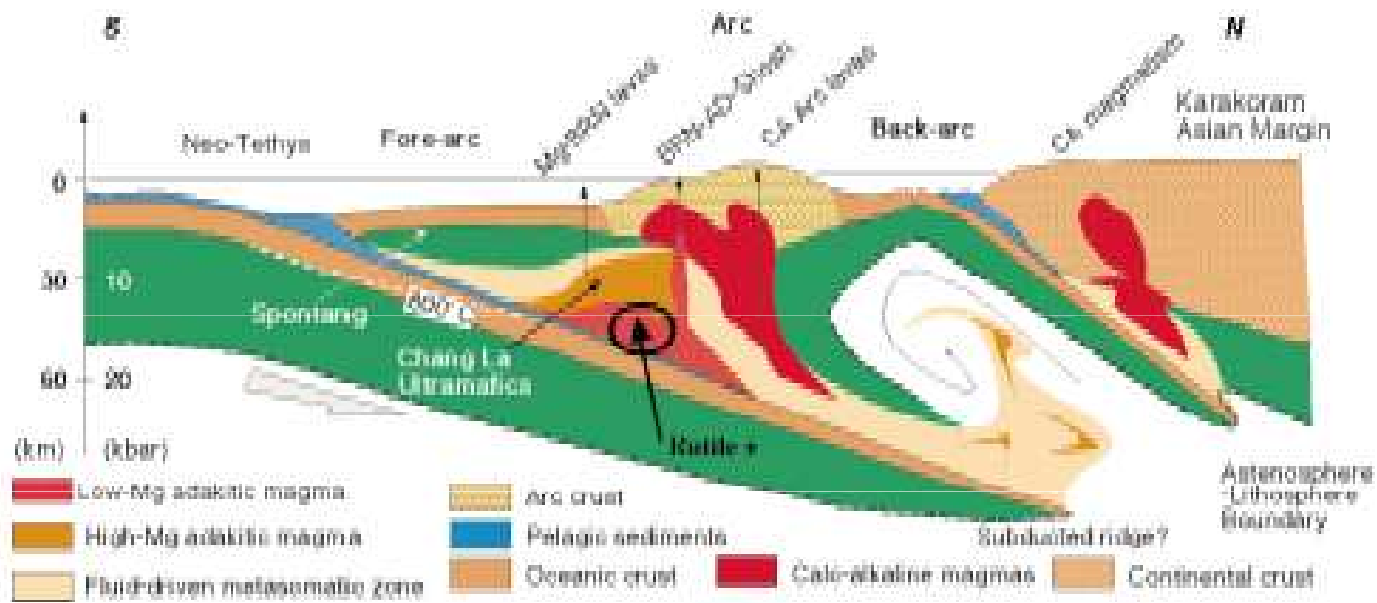


Figure 5. Schen

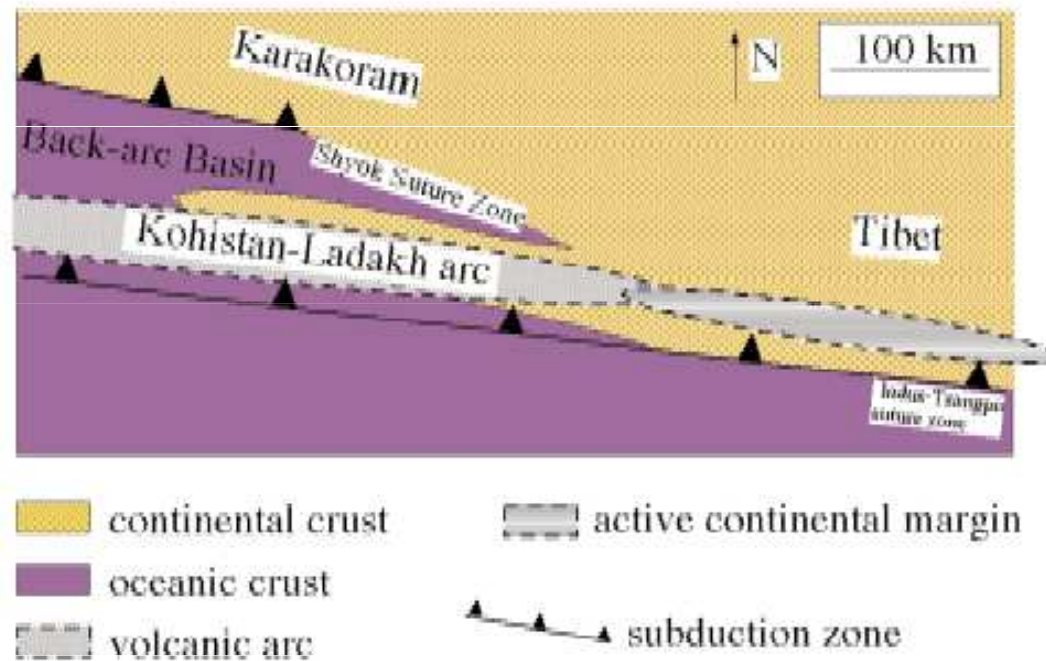


Figure 6. Geometry of the Karakoram-Tibet Asian margin in Middle Cretaceous, as inferred by geochemical and lithological data, after Rolland et al. (2000).

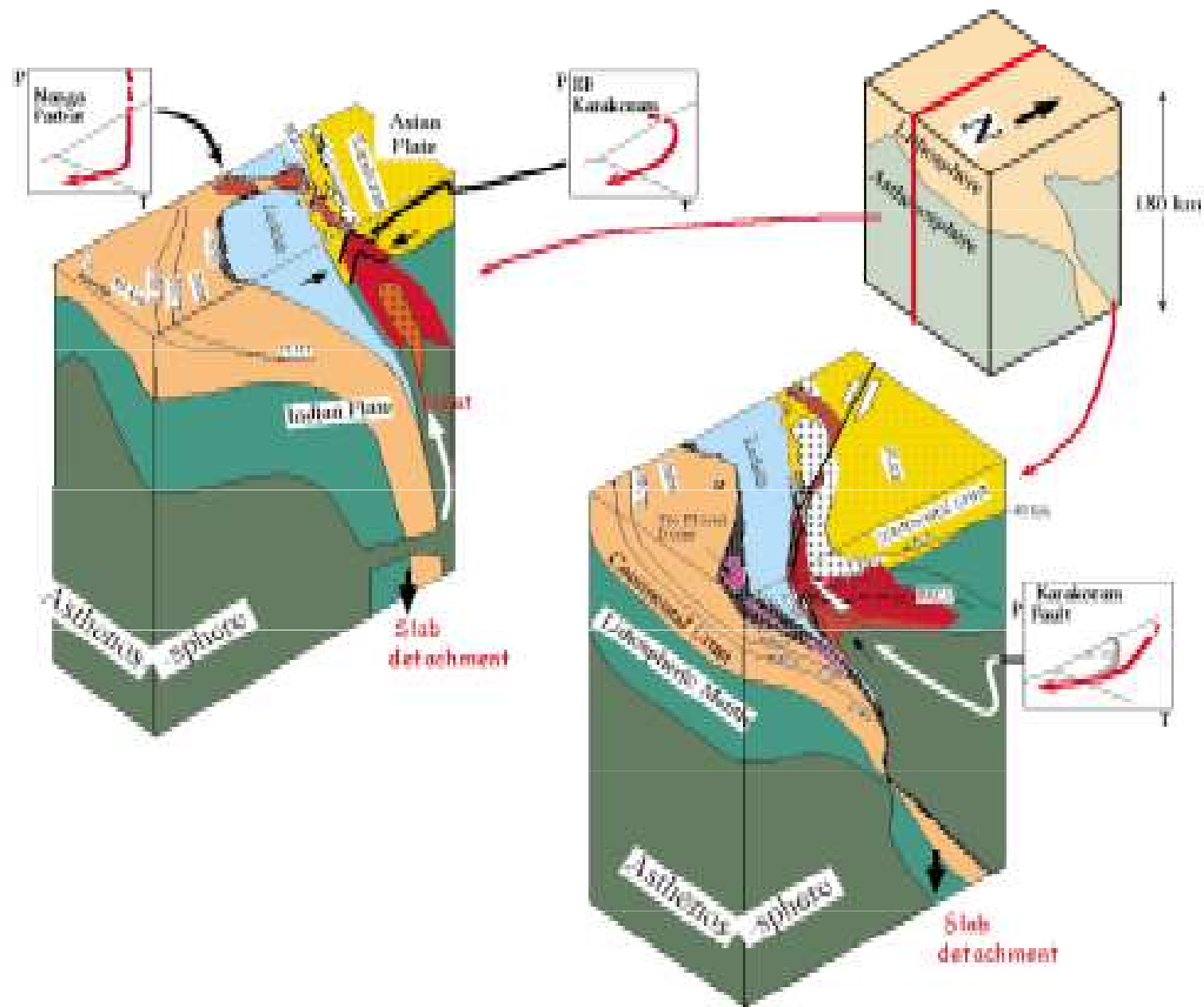


Figure 15. 3D sketch of post-collisional evolution in NW Himalaya orogen. A, horizontal shortening, and crustal-scale folding, within the Karakoram margin. B, Lithosphere-scale shearing. PT path obtained in the Nanga Parbat from Whittington et al. (1998), in the Karakoram margin from Rolland et al. (2001), and in the Karakoram Fault from Rolland & Pêcher (2001).

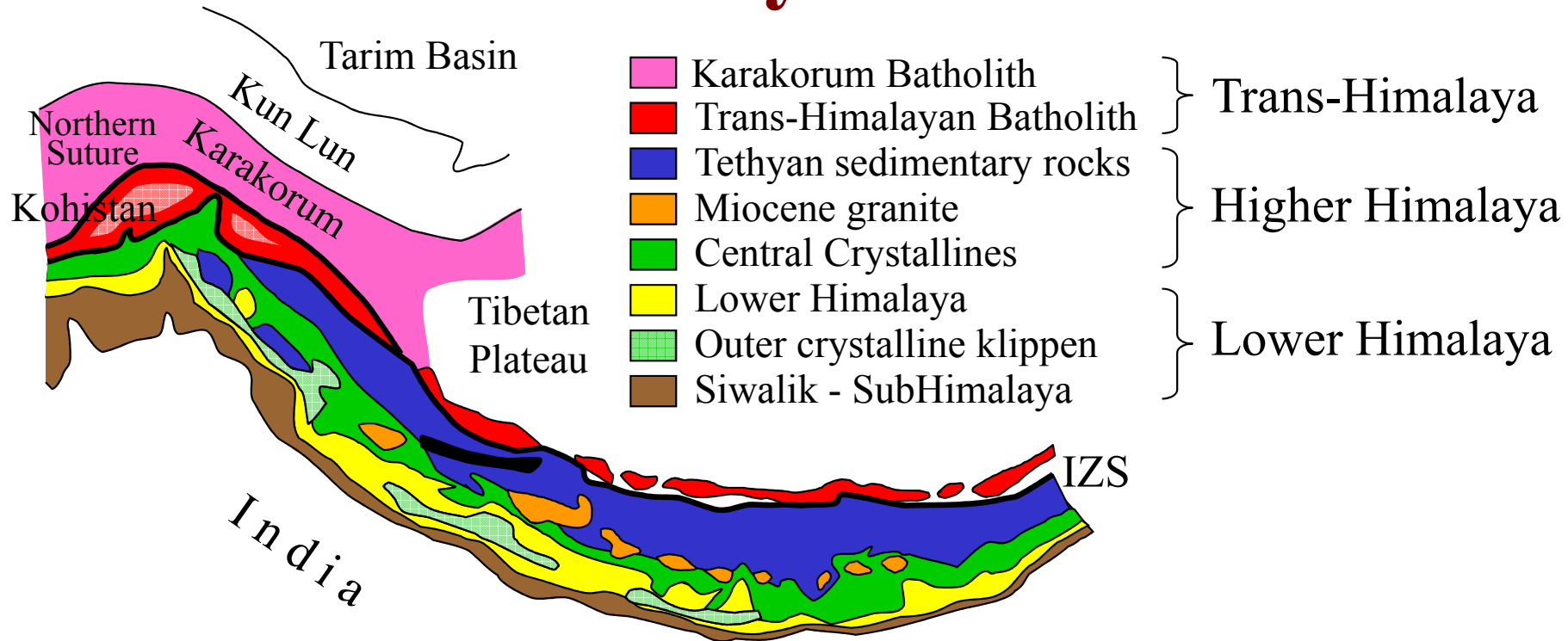
#### 4) Sutura Zangbo-Indus

odděluje **oblouk Kohistan-Ladakh** od indické desky ( na východě **lhaský blok Tibetu** od indické desky). Zde je nazývána také sutura **Yarlung-Zangbo**. V Pakistanu tato sutura koinciduje s **Hlavním násunem pláště**, podél které došlo k **obdukci** hornin oblouku **Kohistan-Ladakh** na indickou desku. Na základě paleomagnetických údajů se předpokládá **progresivní uzavírání sutury na východ, v SZ Himalájích v paleocenu a na východě v eocenu**. Jinými slovy nejdelší období indentace bylo v Pakistanu na západní syntaxis, což je v souladu se skutečností, že deformace zde byla intenzivnější a komplikovanější než více na východě.

**V rámci sutury se setkáváme s následujícími horninami:**

- a) **Ofiolity**, které se objevují v Nagaland v SV Indii a hlavně v centrálním Tibetu v nespojitém pásu 2500km dlouhém, místy s kompletní ofiolitovou sukcesí.se sedimenty svrchního albu až cenomanu.
- b) **Glaukofanické břidlice** c) **Ofiolitické melanže** a **olistolity**. Objevují se v SZ Indii v Ladakh. Olistolity tvoří bloky šelfových, předútesových a svahových sedimentů v turbiditech abysálu.
- c) **Středotlaké granulity**. Byly metamorfovány více než při 8kbar v subdukční zóně pod obloukem.

# Himalaya: a transect



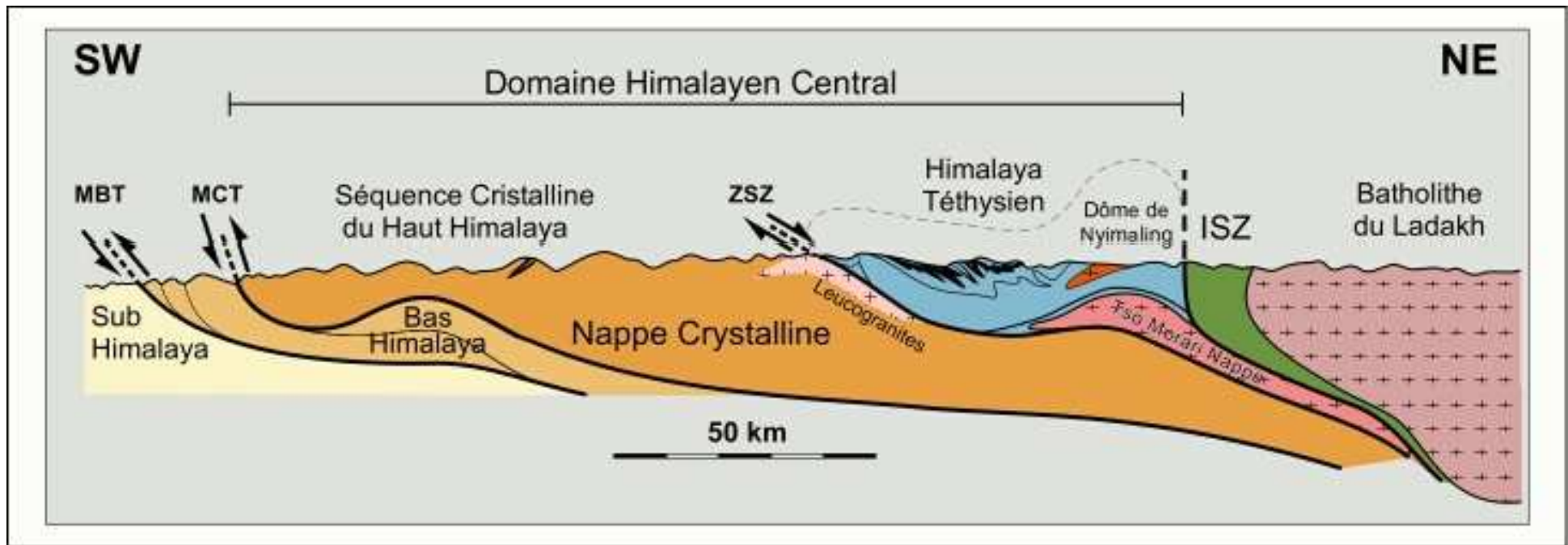
- Karakorum Range
  - between Kun Lun and Northern Suture
  - remains of an Andean margin, thrust to south over arc remnants
- Northern Suture
  - belt of mélangé, mafic and ultramafic rocks, slate



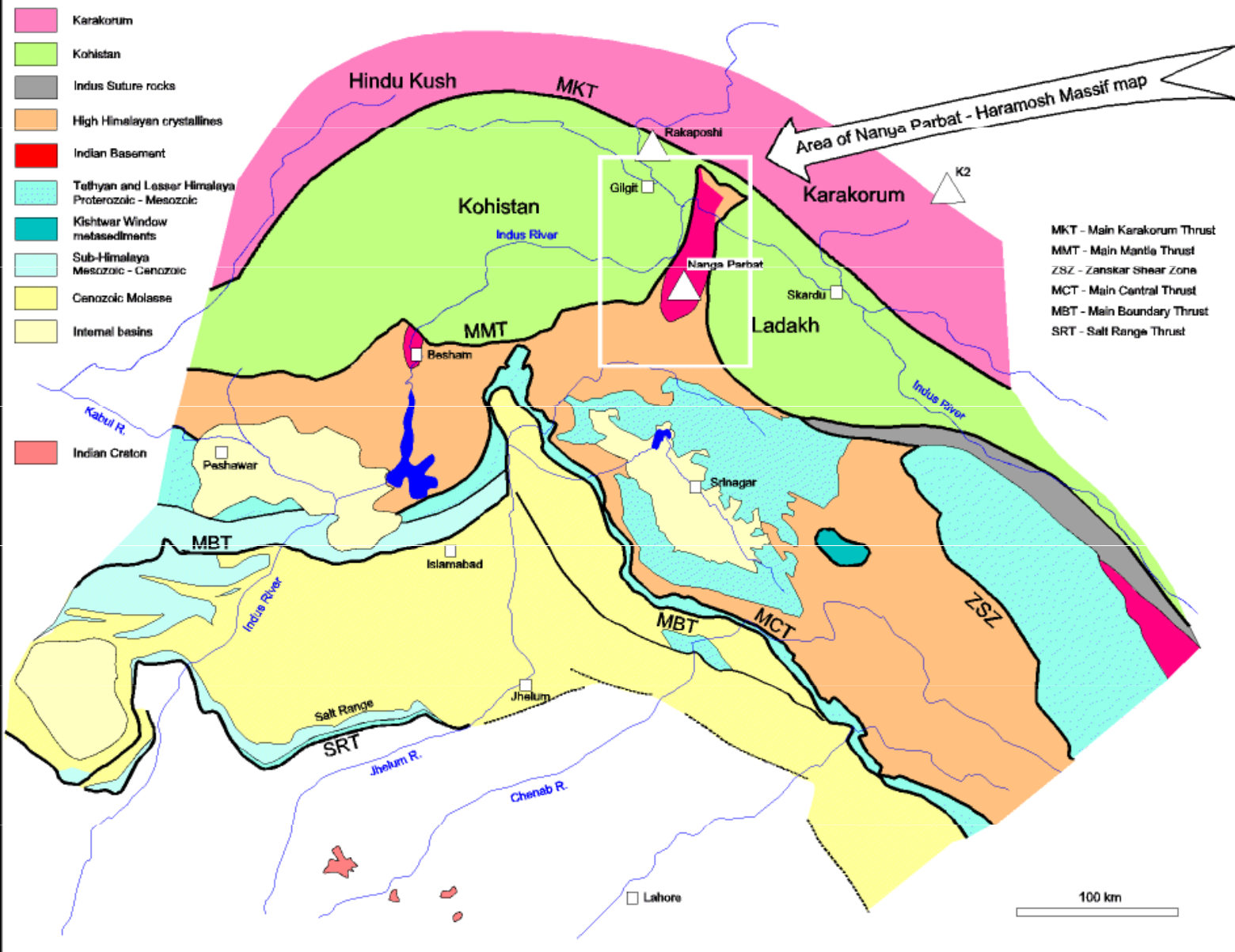
#### 4) Okraj indické desky v Pakistanu

Jednotky obdobné jako v Indii. Neznámější oblastí je **masiv Nanga-Parbat**, kde v tektonickém okně vystupují jednotky indické desky zpod příkrovů zóny **Kohistan-Ladakh**.

Nejmladší projevy násunů můžeme vidět na místech, kde amfibolitové facie rul **Nanga Parbat** je nasouvána na **štěrky** řeky **Indus**. Ukazuje to, že himalajská orogeneze, která začala před 50 Ma **probíhá dodnes**. Nanga Parbat, s kulminujícími hodnotami až 7mm za rok, vykazuje nejvyšší denudační rychlosti na světě.



# Regional geological setting of Nanga Parbat - Haramosh Massif



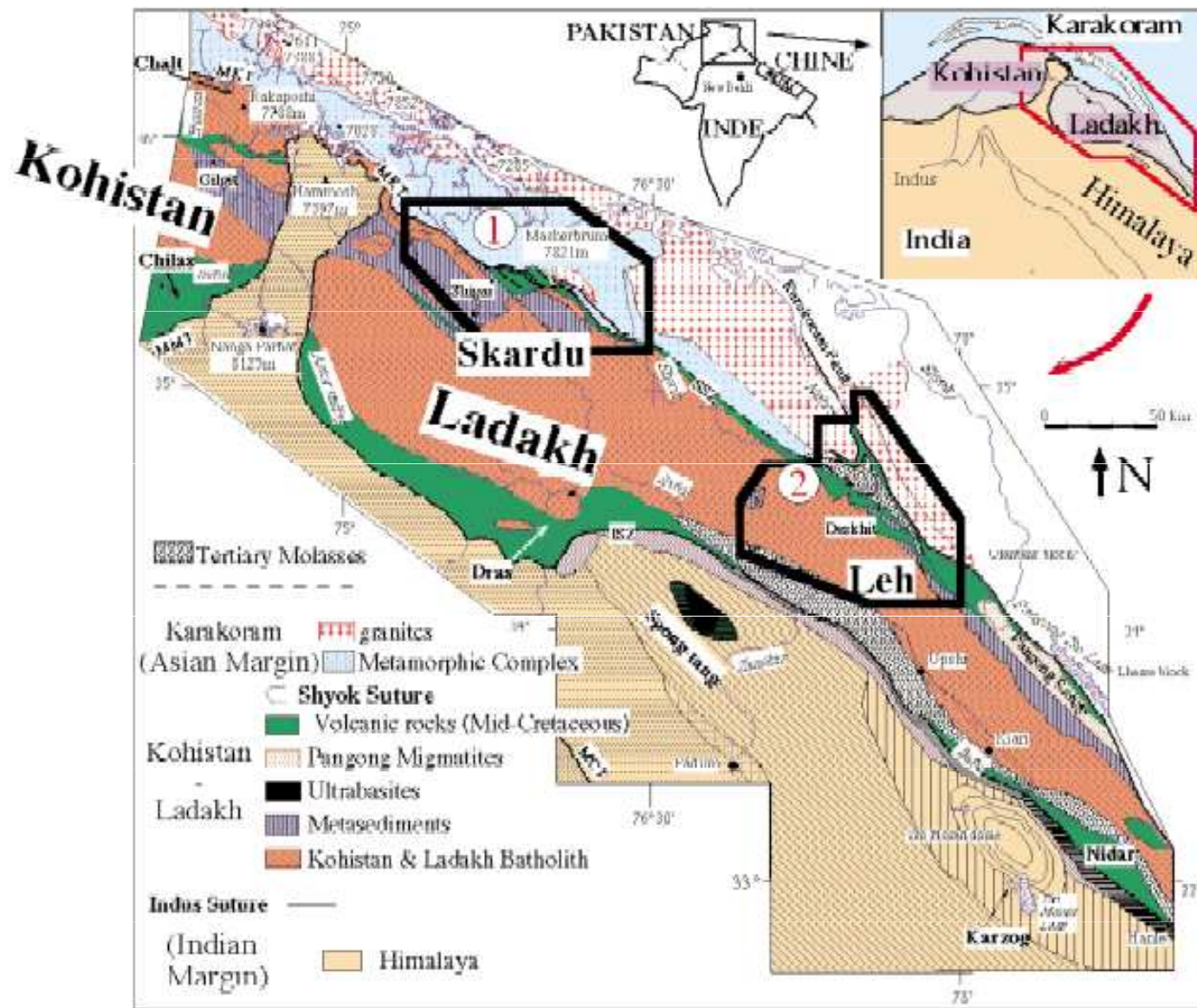
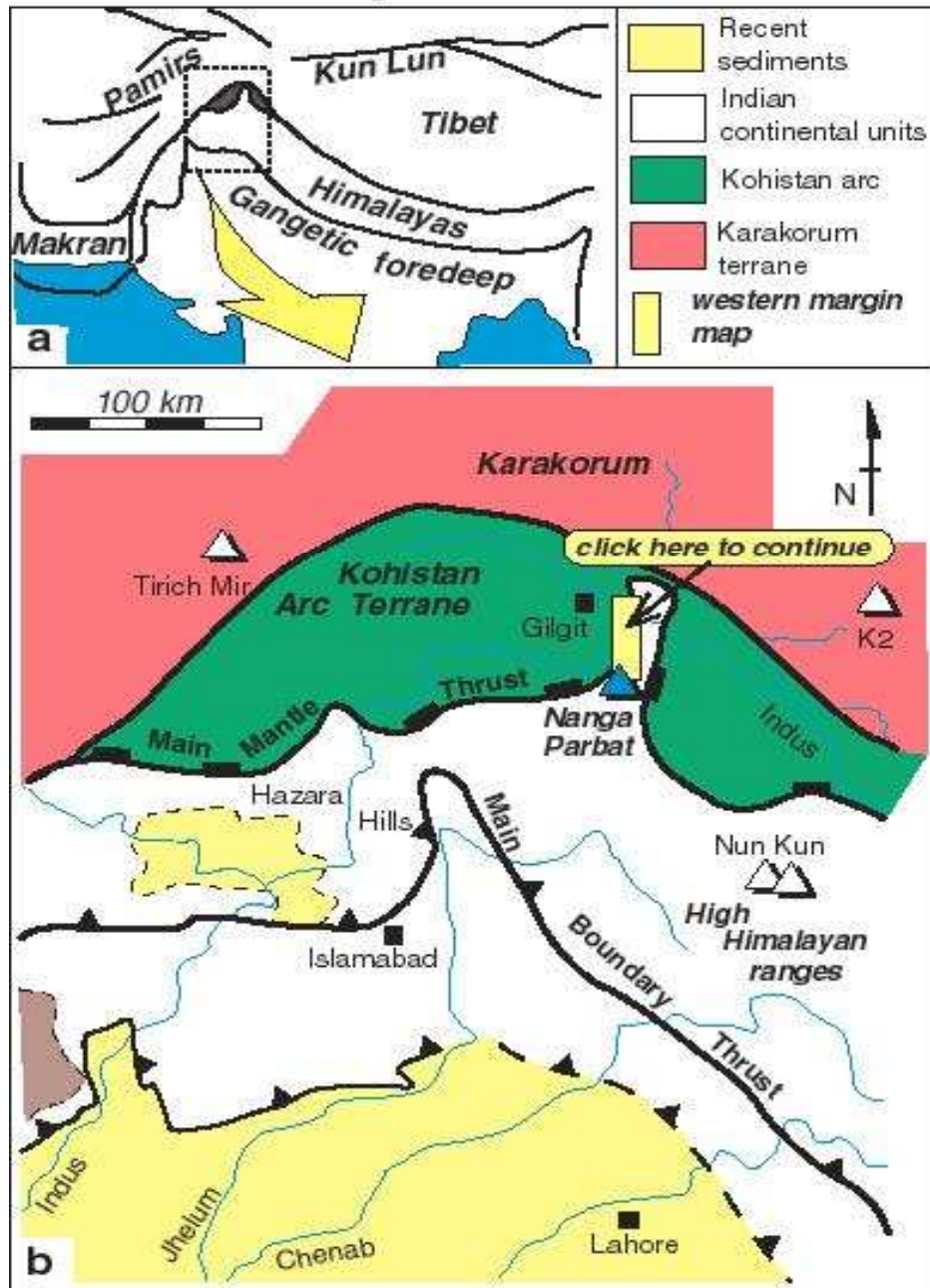


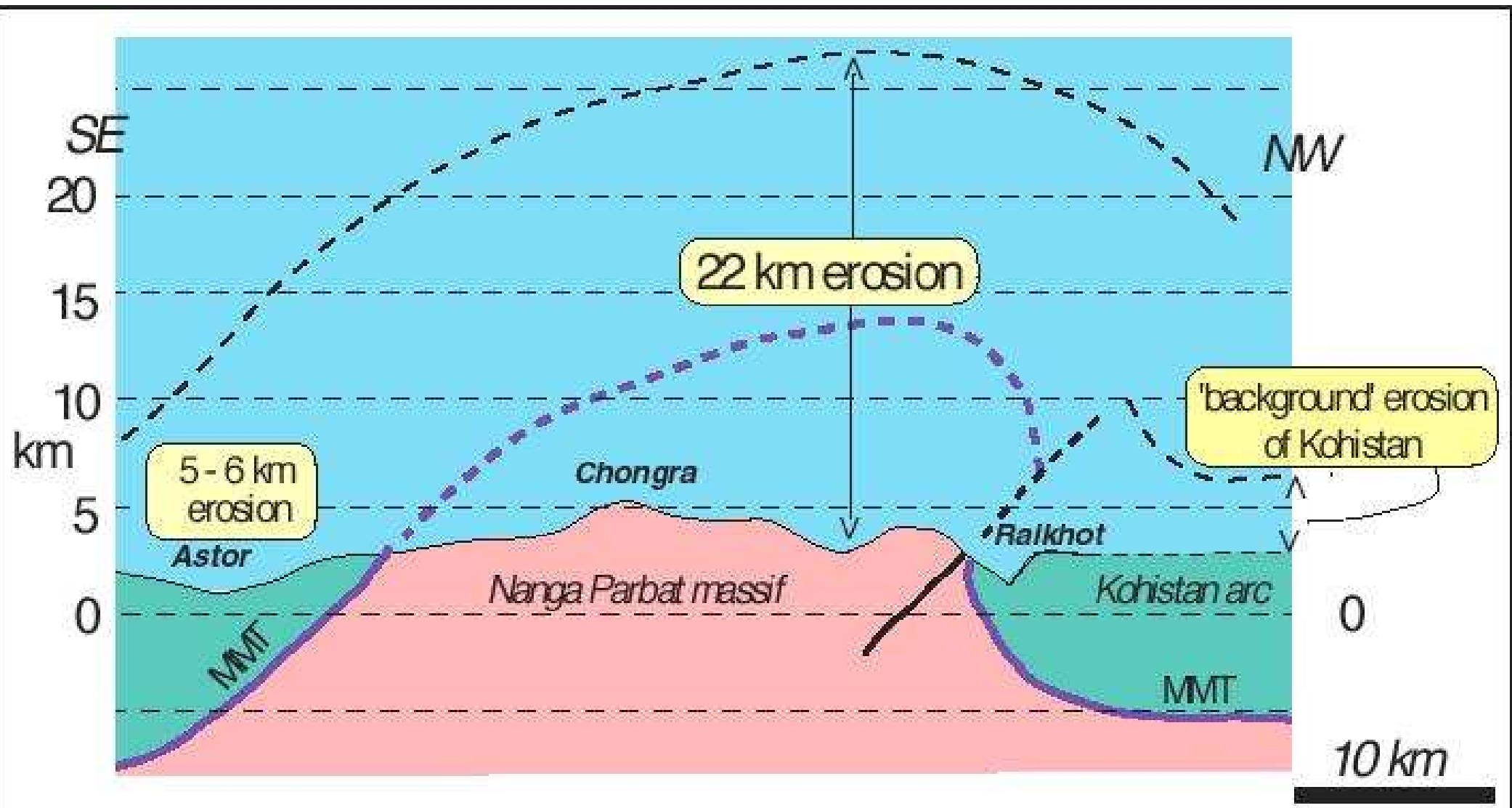
Figure 2. Geological sketch map of the NW Himalaya-Karakoram region. 1, area investigated in Ladakh-Karakoram geological areas (Skardu, Pakistan); 2, area investigated in Ladakh and Karakoram Fault areas (Leh, NW India).

## Location map



## About Nanga Parbat.

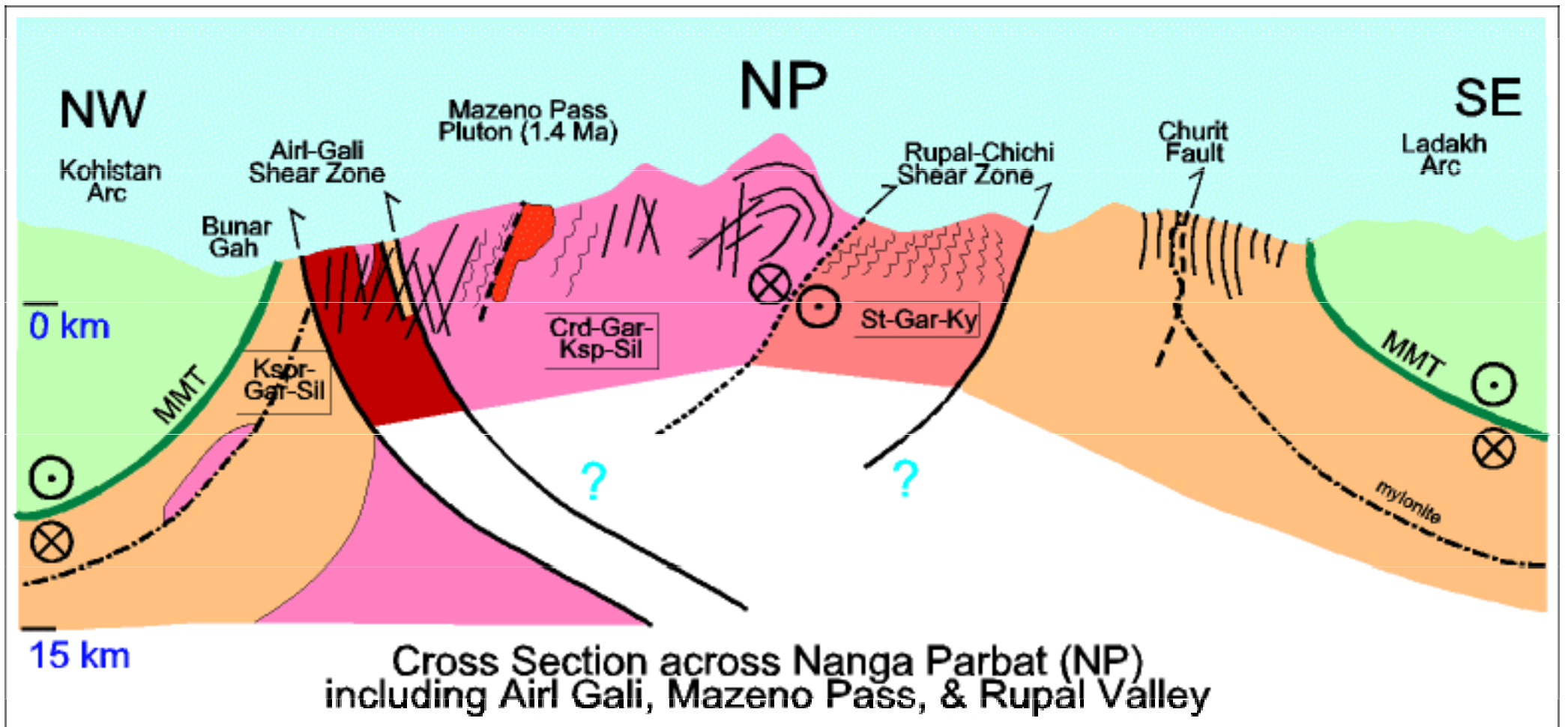
The mountain of Nanga Parbat is the westernmost 8000m peak of the Himalayan chain. Geologically the mountain gives its name to a massif of rocks derived from the Indian continent. These rocks were originally thrust beneath the over-riding Kohistan island arc terrane (the southern margin of the Asian landmass prior to India-Asia collision). The Kohistan arc rims the Nanga Parbat massif on three sides. Early workers considered the massif to occupy the core of a north-south trending antiform. As a consequence of erosion through this antiform, today we can see levels within the collision belt that would otherwise be buried.



Cross-section through the Nanga Parbat Massif.

To NP Introduction

To Map



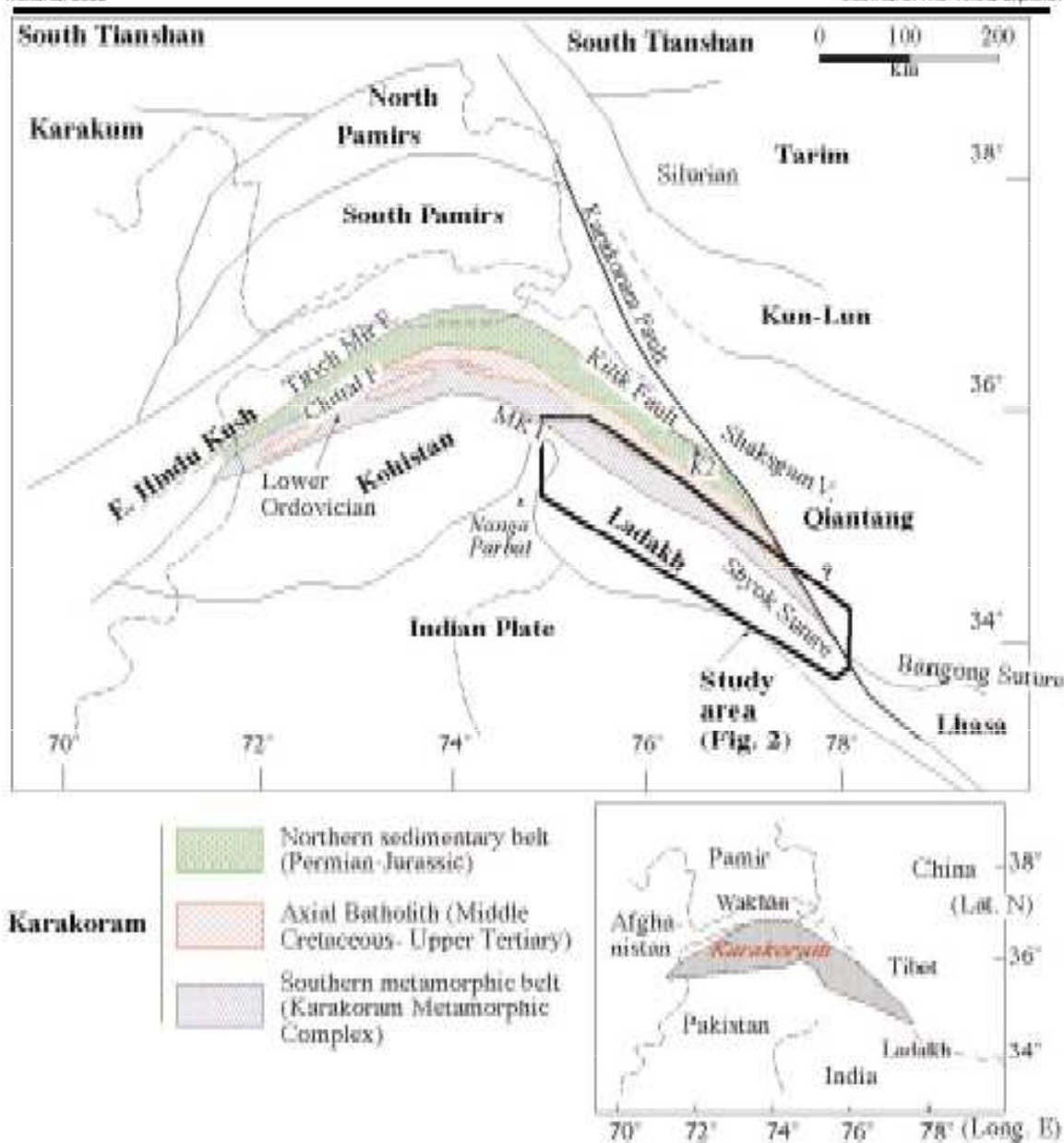
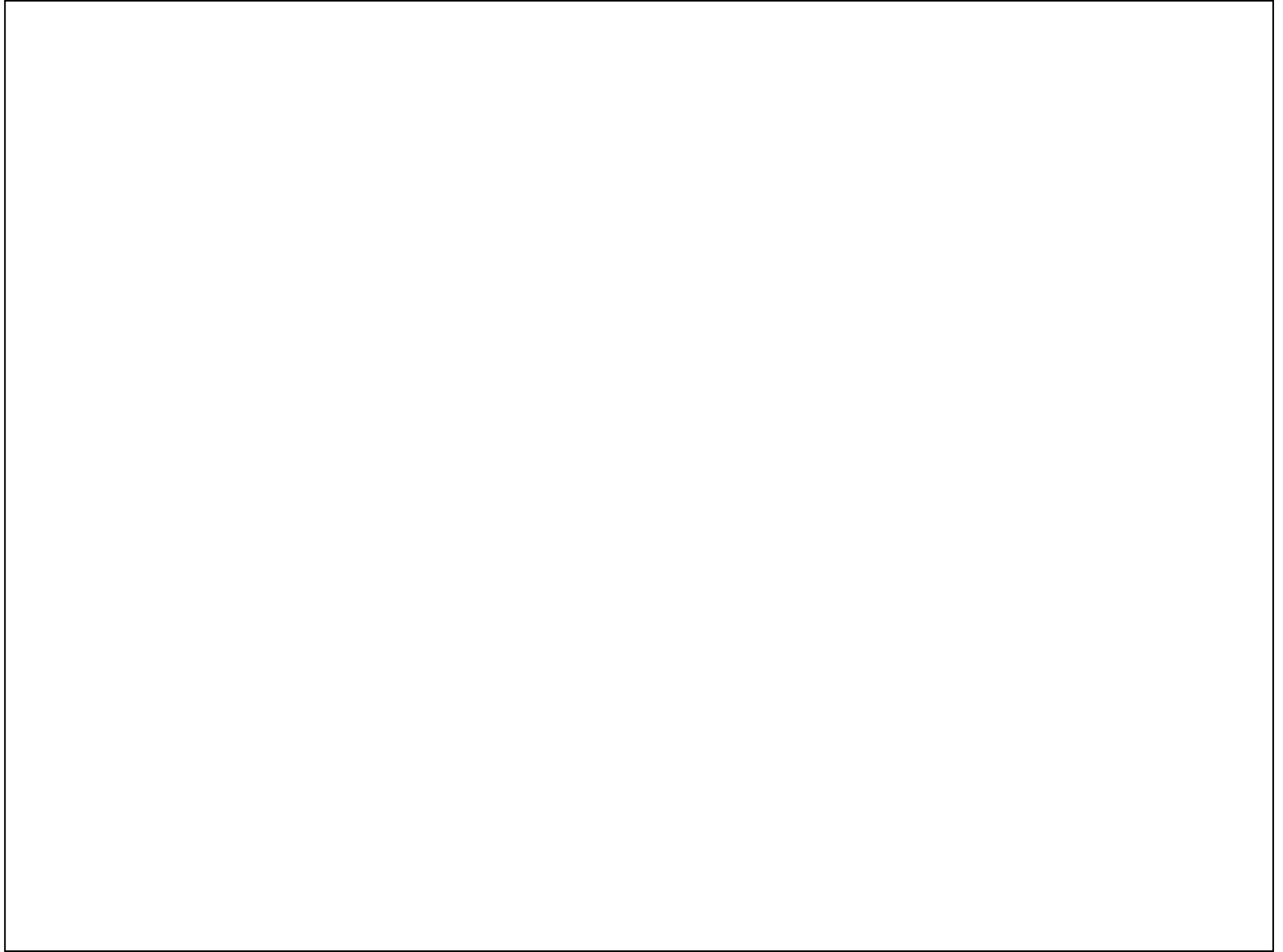


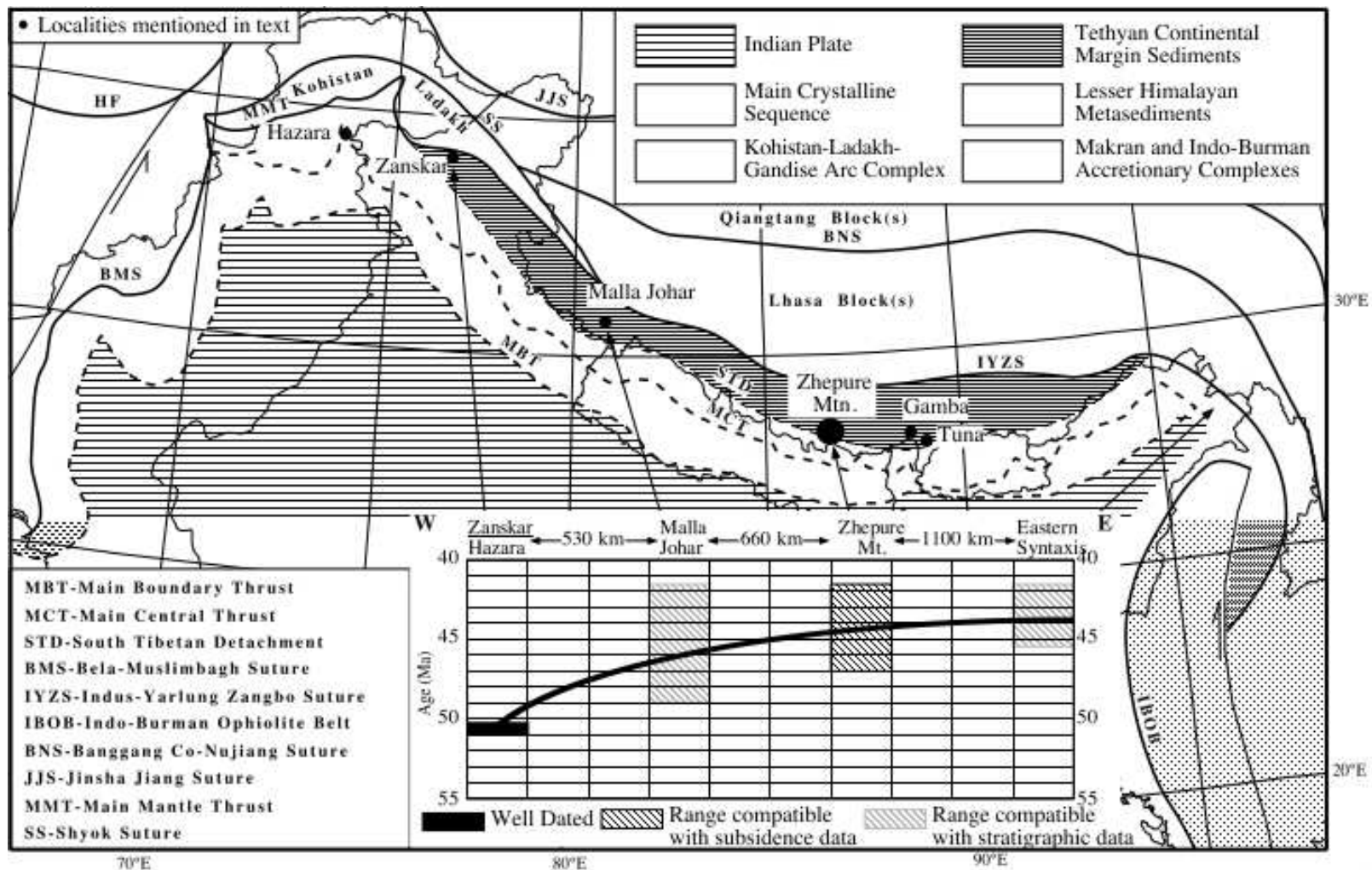
Figure 1. Schematic map of the Pamir-Karakoram-NW Himalaya syntaxis, with location of principal tectonic blocks and sutures. The main geological units of the Karakoram are shown. The location of the study area is indicated. MKT: Main Karakoram Thrust.





# **Tektonická evoluce**

Během tektonického vývoje došlo tedy ke kolizi řady teránů s jižním okrajem asijského kontinentu následované **uzavřením Neotethys** kolizí **Indie** s dříve akretovanými terány při jižním okraji Asie podle **sutury Indus-Zangbo** před 55-45 Ma. V místě této kolize byl jako první z teránů akretován terán **Qiantang** náležející do kimerské skupiny teránů (akrece konec triasu) a druhým terán **Lhasa**, který se od Indie oddělil asi koncem triasu a k Asii byl přičleněn ke konci jury. Indie byla posledním fragmentem a její rifting a pohyb otevíral Indický oceán na jihu a uzavíral Neotethys na severu.



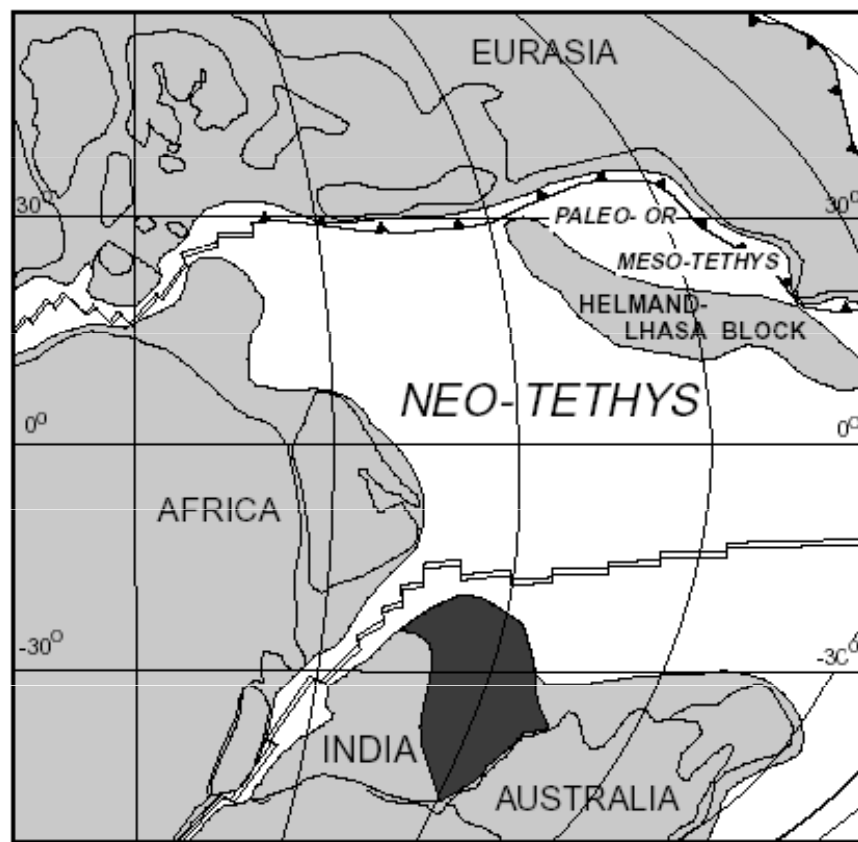


Fig. 1. Late Jurassic (Kimmeridgian–Tithonian, ~150 Ma) paleogeographic map showing the extent of the Neo-Tethys Ocean between India and the Lhasa block, as well as the last remnant of the Paleo-Tethys Ocean between the Asian mainland and the Lhasa and Helmand (Afghanistan) blocks. The Paleo-Tethys remnant is sometimes called ‘Meso-Tethys’ [1]. Double lines represent mid-ocean ridges and heavy single lines represent subduction zones with teeth in the upper plate. The approximate relative positions of the major continents is taken from Scotese and Golonka [2] with permission of the authors, whereas the position of the Helmand–Lhasa block is transposed from Şengör and Natal’in [1], also with the permission of the authors and of Cambridge University Press. The paleolatitudes of the Helmand–Lhasa and northern Tibetan blocks, and the Paleo-Tethys Basin are rather uncertain at this time. The shape of Greater India depicted here (dark shading) is from Sahabi [57] as used by Matte et al. [8] and Mattauer et al. [46].

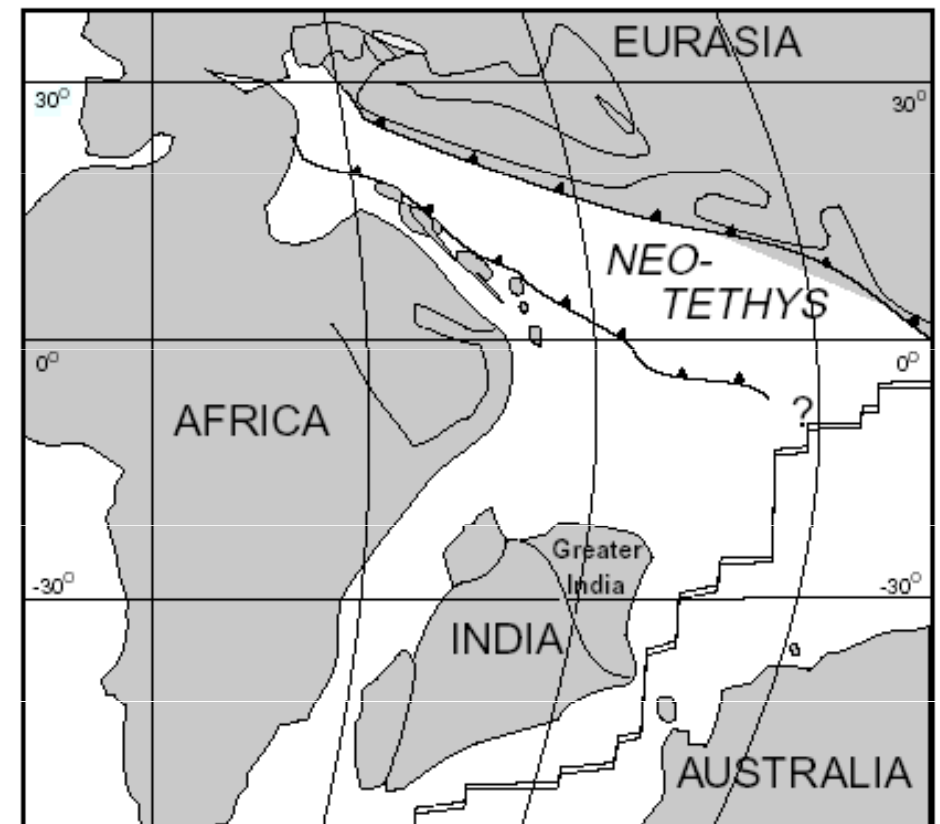
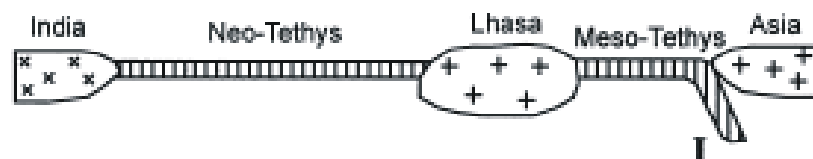
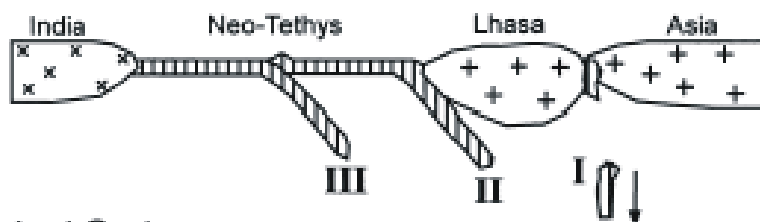


Fig. 2. Late Cretaceous (~94 Ma) paleogeographic map showing the extent of the Neo-Tethyan Ocean at that time. Continental and ridge positions are taken from Scotese and Golonka [2] with permission of the authors. Double lines represent mid-ocean ridges and heavy single lines represent subduction zones with teeth in the upper plate. Dual northward subduction zones are shown, one north of India [15,21–25], and the other at the Tibetan–Asian margin. The shape of Greater India is from Scotese and Golonka [2].

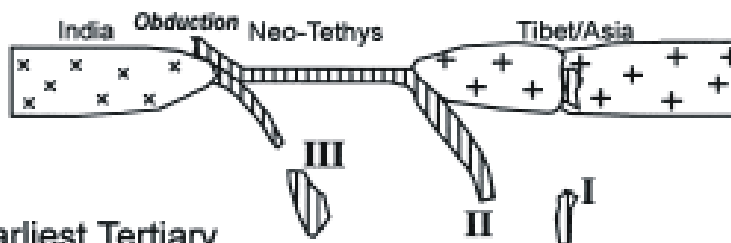
### Late Jurassic



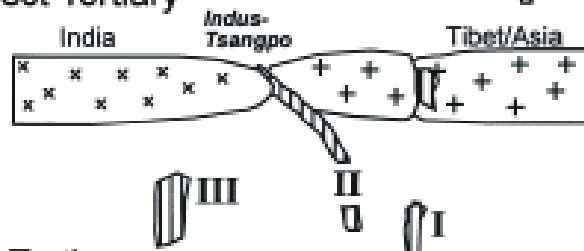
### Late Cretaceous



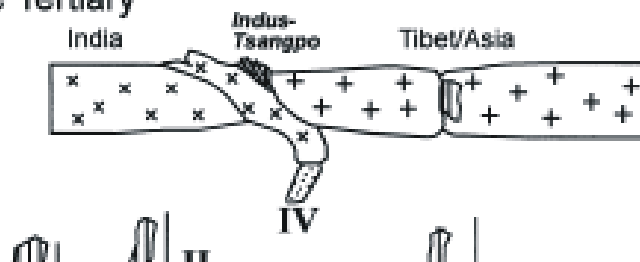
### Latest Cretaceous



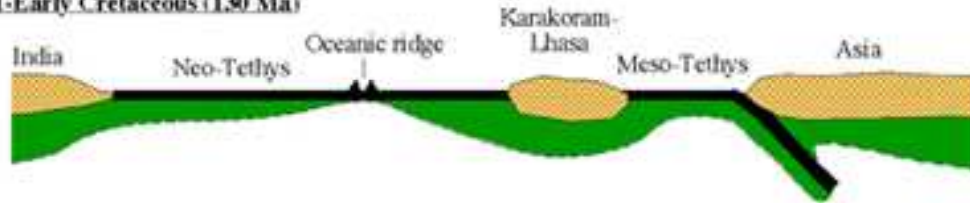
### Earliest Tertiary



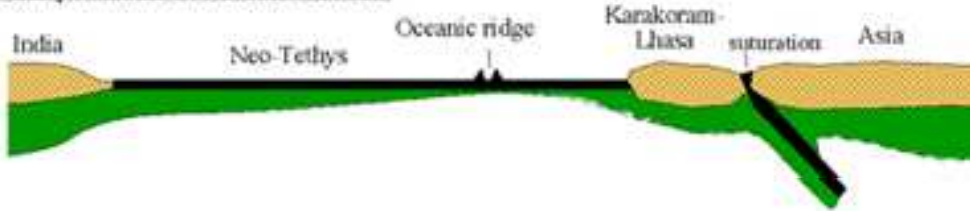
### Late Tertiary



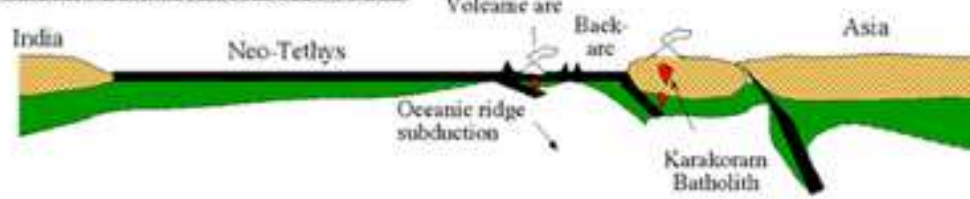
1-Early Cretaceous (130 Ma)



2-Early / Middle Cretaceous (120 Ma)



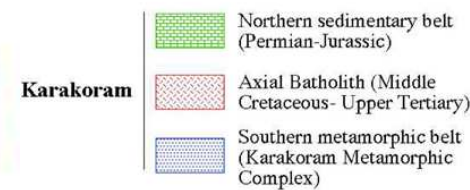
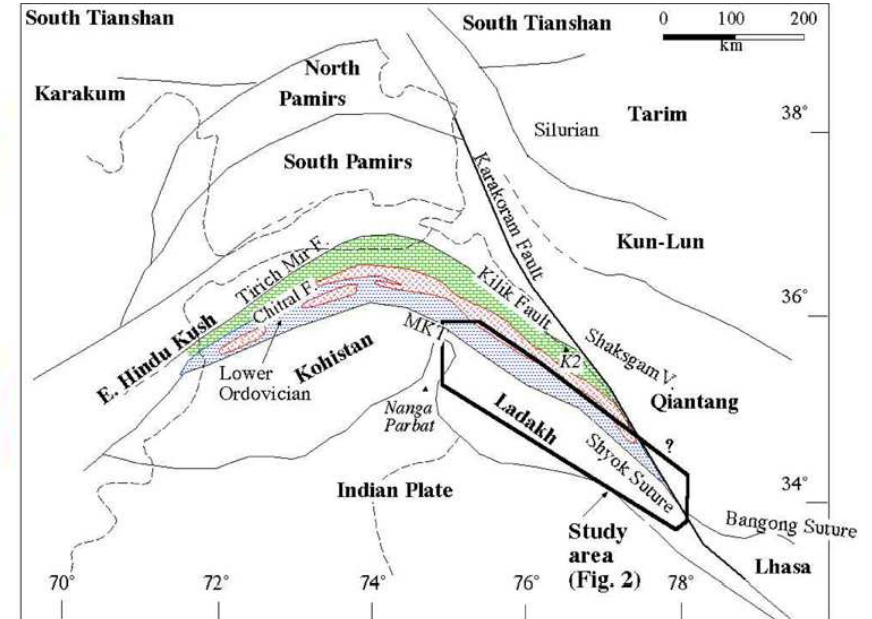
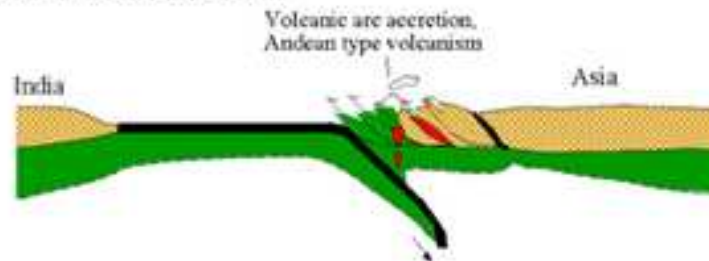
3-Middle / Late Cretaceous (110-90 Ma)

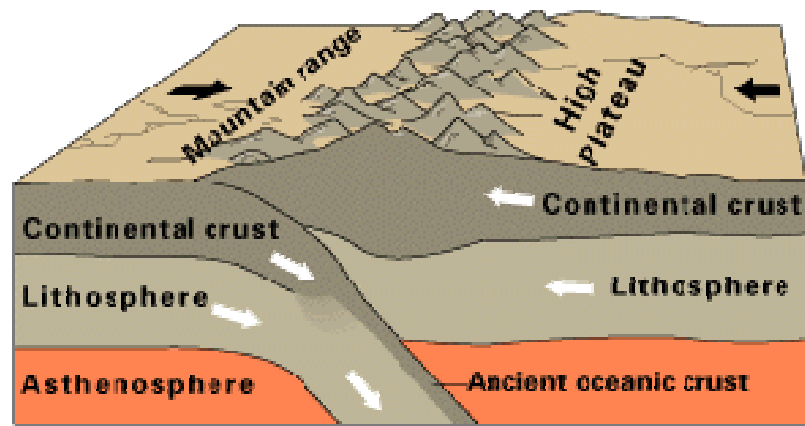


4-Late Cretaceous (90-80 Ma)

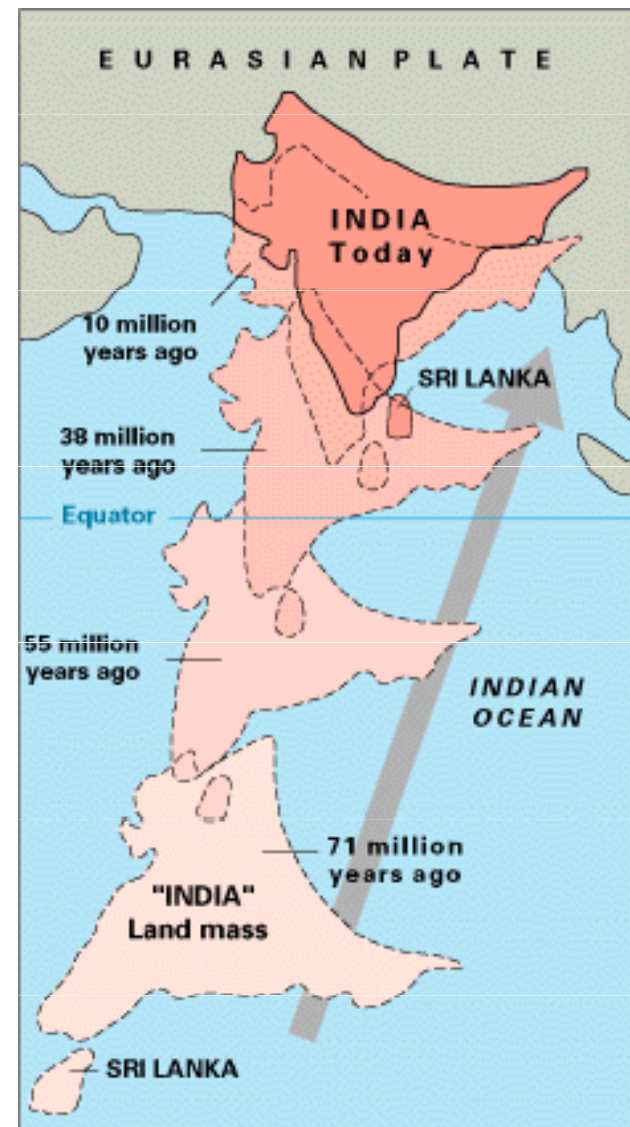


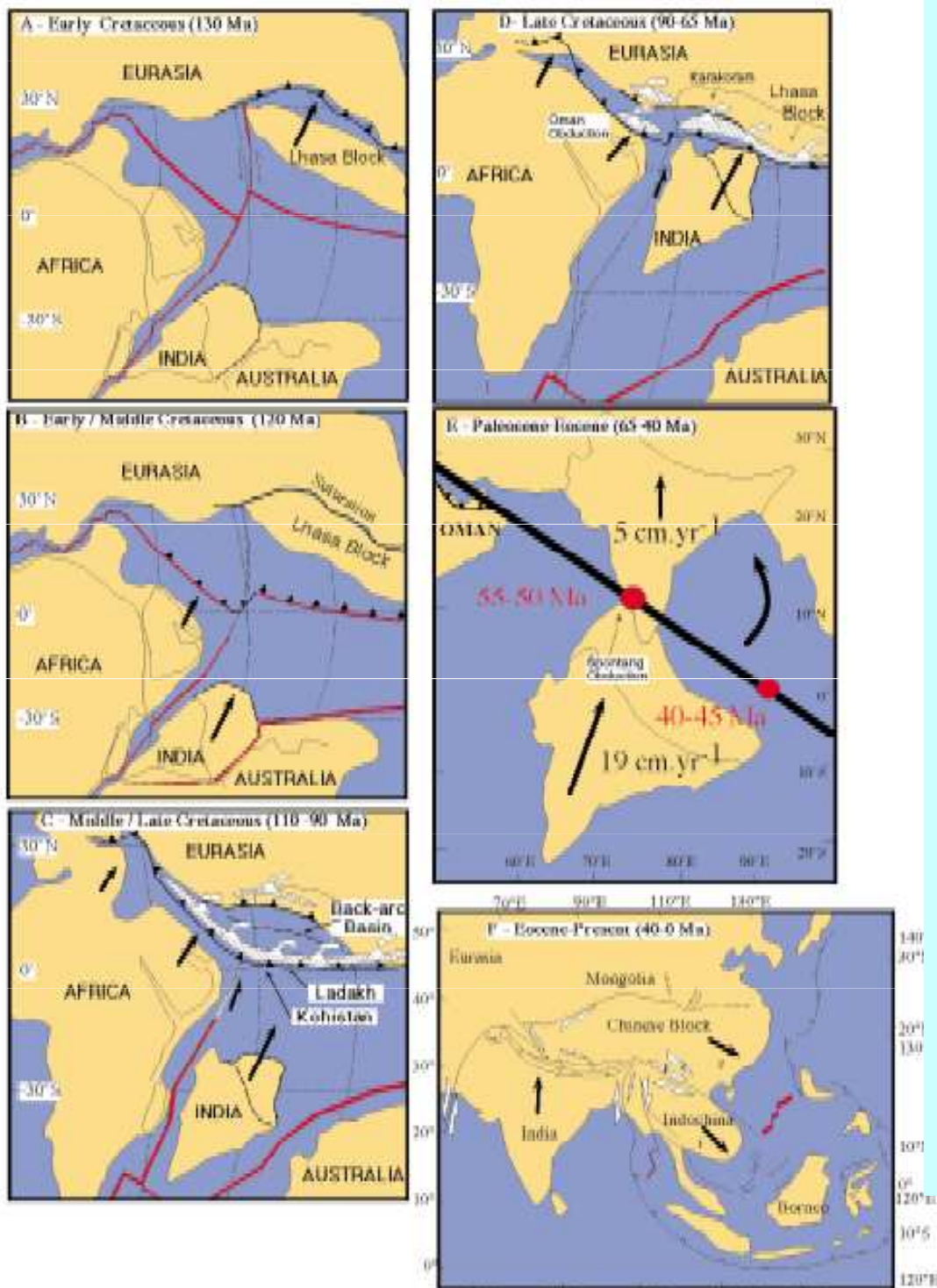
5-Late Cretaceous-Palaeocene (80-65 Ma)





**Continental-continental convergence**





Dříve než Indie narazila na Asii ve starším terciéru, několik tisíc kilometrů oceanické kůry **Neotethydy** velmi rychle **subdukovalo** pod Asii. Při **subdukci** Neotethydy vznikl v centrálních-východních Himalájích **andský** typ kontinentálního okraje a **ostrovní oblouk** v oblasti **Kožistan-Ladakh** na západě.

**Paleomagnetické** údaje ukazují, že Indie se od období před 84 Ma pohybovala **proti směru hodinových ručiček** a ke kolizi s Asií došlo asi před **45 Ma**. Poté pokračoval pohyb na sever, který na západě dosahoval 1815 km a na východě 2750 km. Severní pohyb indické desky probíhal od kolize až dodnes rychlostí **5cm/rok**. Protože obě desky, indická i asijská, mají zhruba stejnou hustotu, nemůže dojít k výraznější subdukci jedné desky pod druhou. To vede k výraznému výzdvihu kolizní zóny.

Při nárazu Indie na Tibet byl nejprve seškrábnut paleozoický a mesozoický sedimentární pokryv (**superficiální příkrovy**) okraje indické desky a sunut do předpolí na její stabilnější část.

S pokračujícím posouváním indické desky byly strženy **části metamorfovaného basementu** (příkrovy fundamentu) na okraji desky a rovněž sunuty jako příkrovy fundamentu. Himaláje jsou tak tvořeny z velké části **šupinami severního okraje indické desky**.

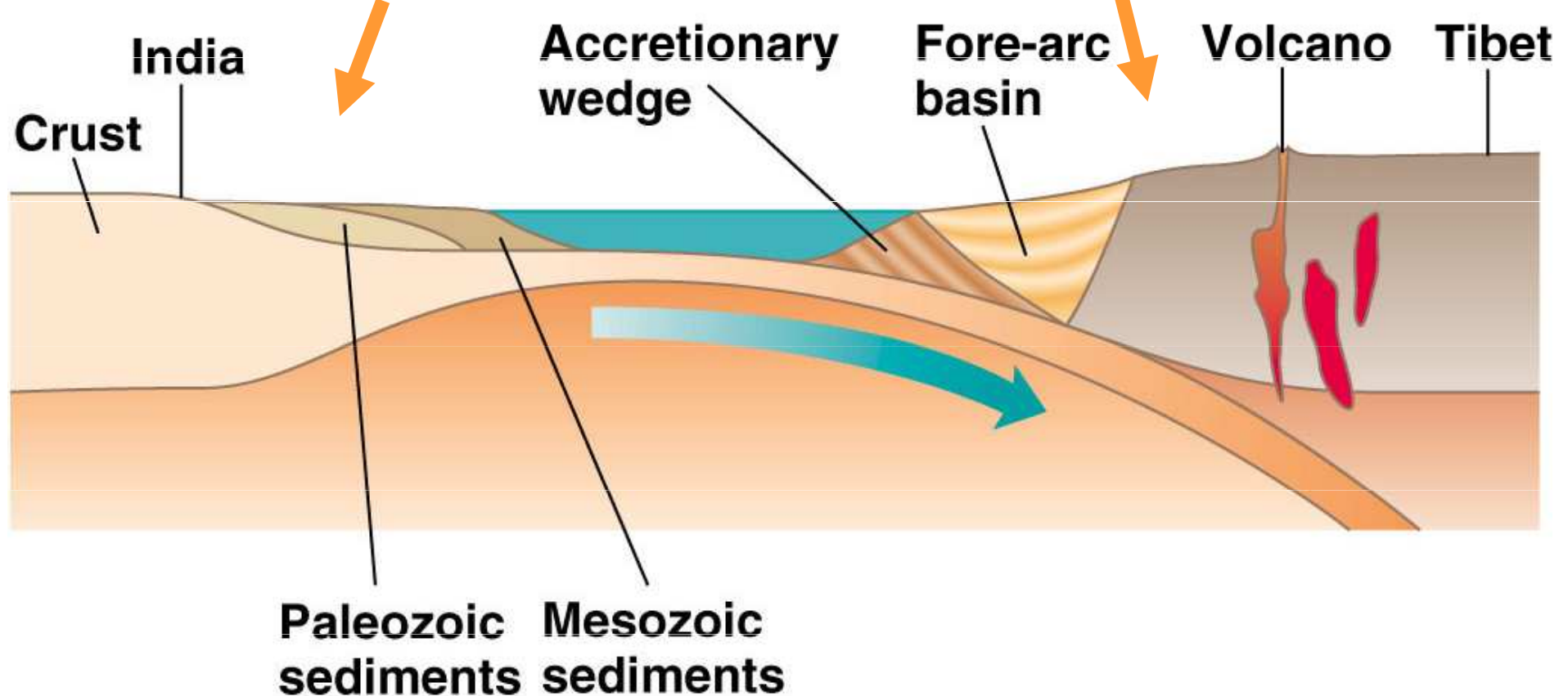


# Before India Collided with Asia

- Oceanic lithosphere
  - subducted beneath southern Tibet
  - as India approached Asia

northern margin of India

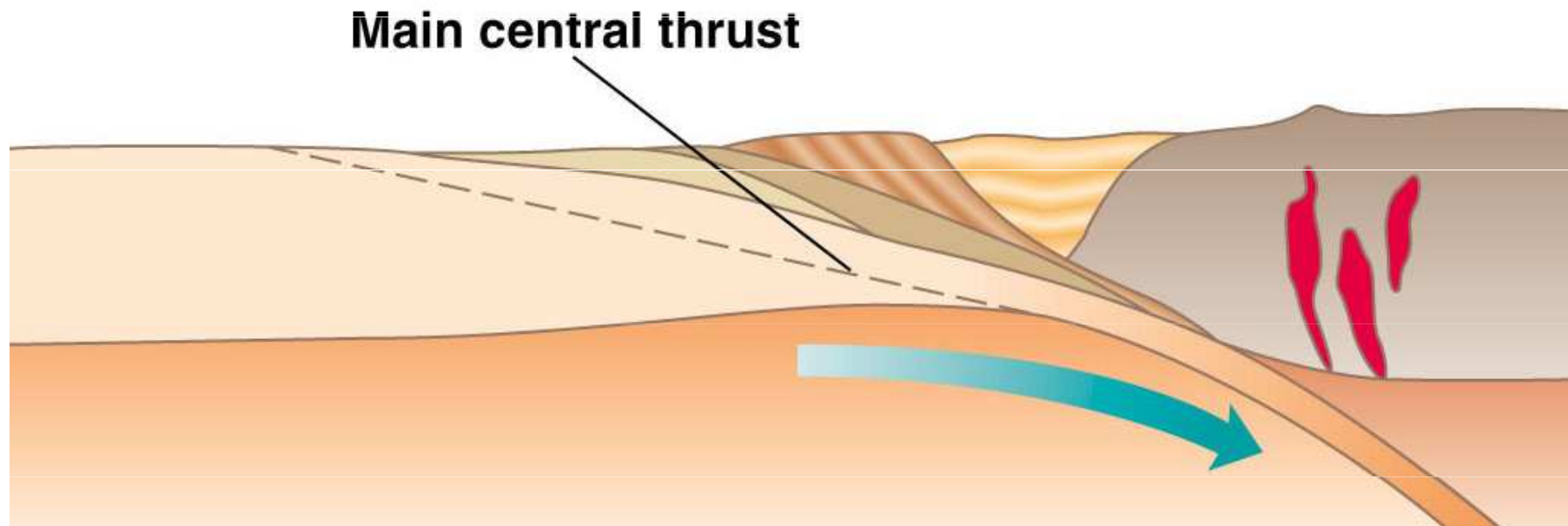
southern margin of Tibet



(a) 60 M.Y.A.

# India Collided with Asia

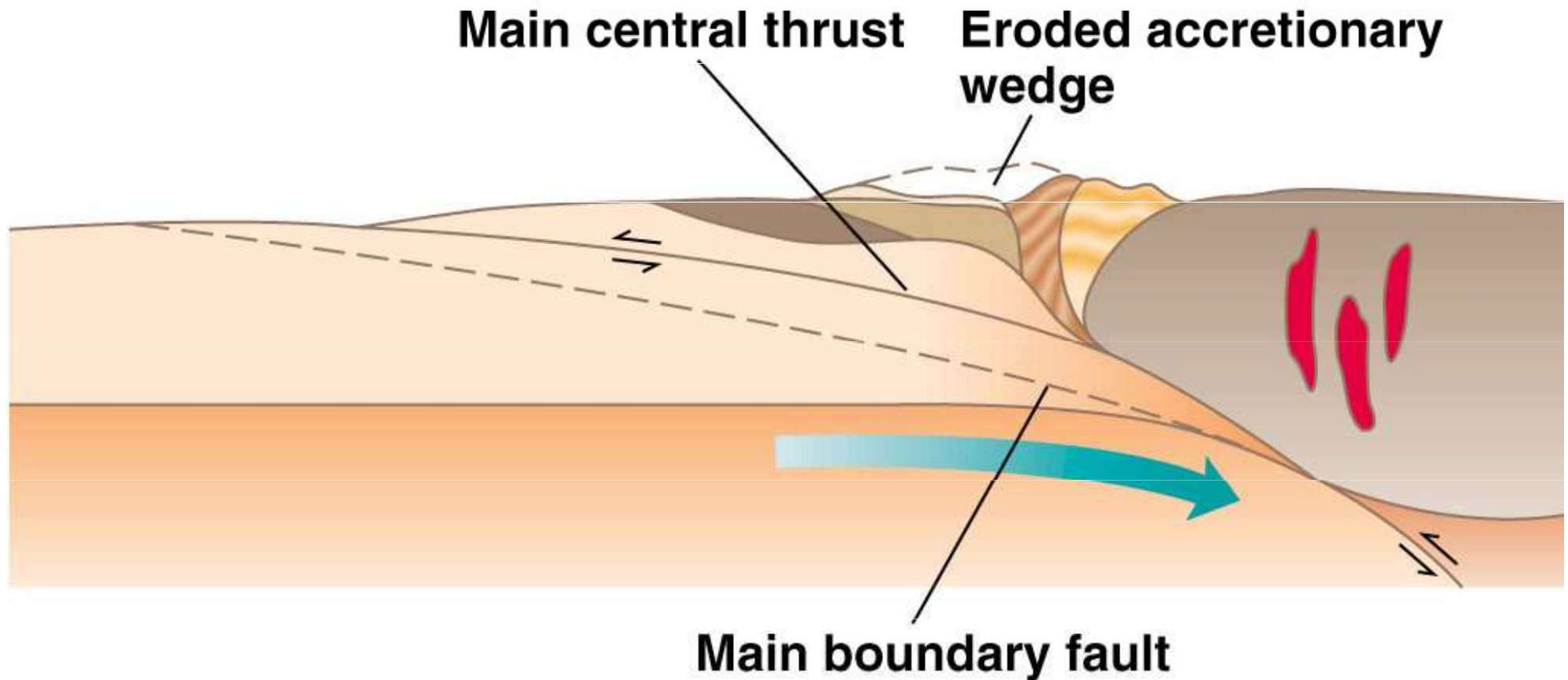
- About 40 to 50 million years ago
- India collided with Asia,
  - but because India was too light to subduct,
  - it thrust under Asia



**(b) 40–50 M.Y.A.**

# Continued Convergence

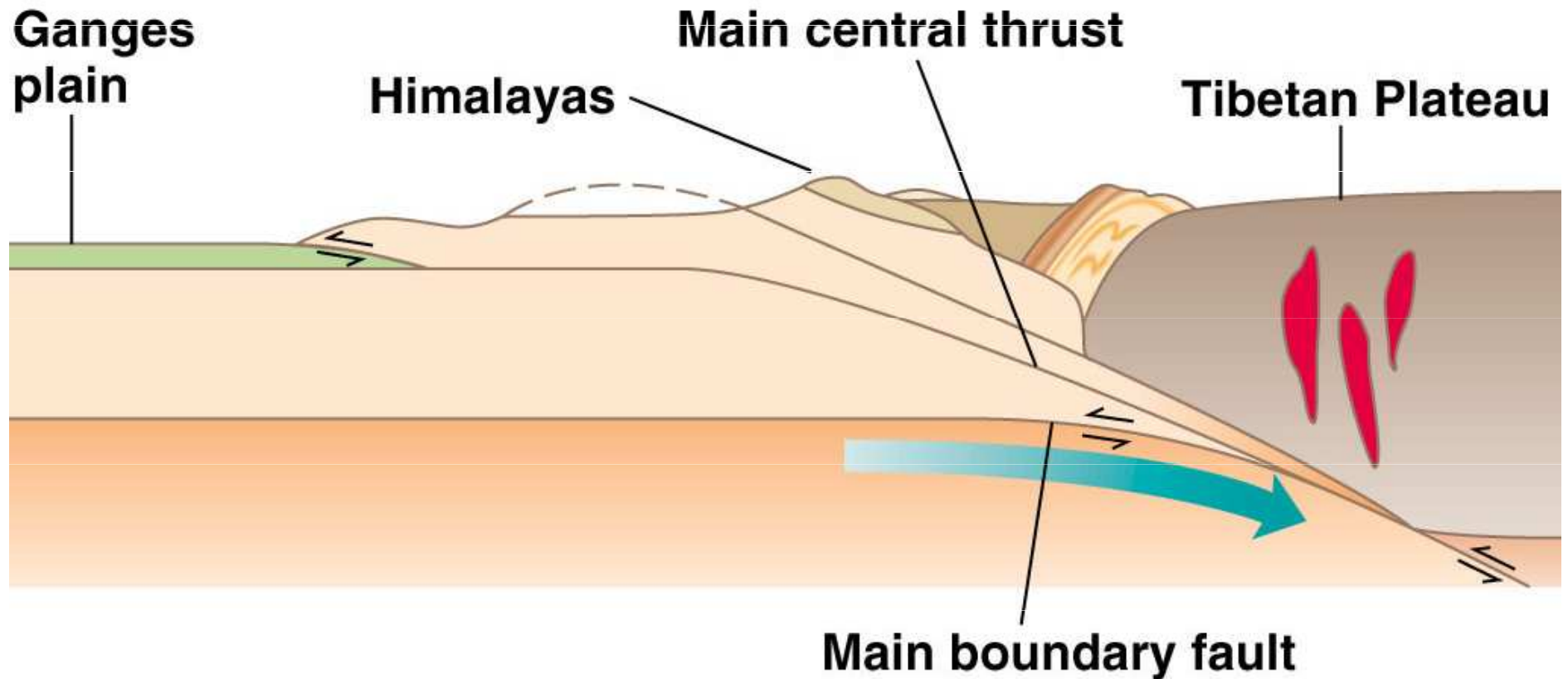
- Thrusting of Asian rocks
  - onto the Indian subcontinent
  - accompanied continued convergence



(c) 20–40 M.Y.A.

# India Moved beneath Asia

- Since about 10 million years ago,
  - India has moved beneath Asia
  - along the main boundary fault



(d) 20–0 M.Y.A.

**Postkolizní zkracování** bylo kompenzováno 3 způsoby, názory na jejich relativní význam se liší.

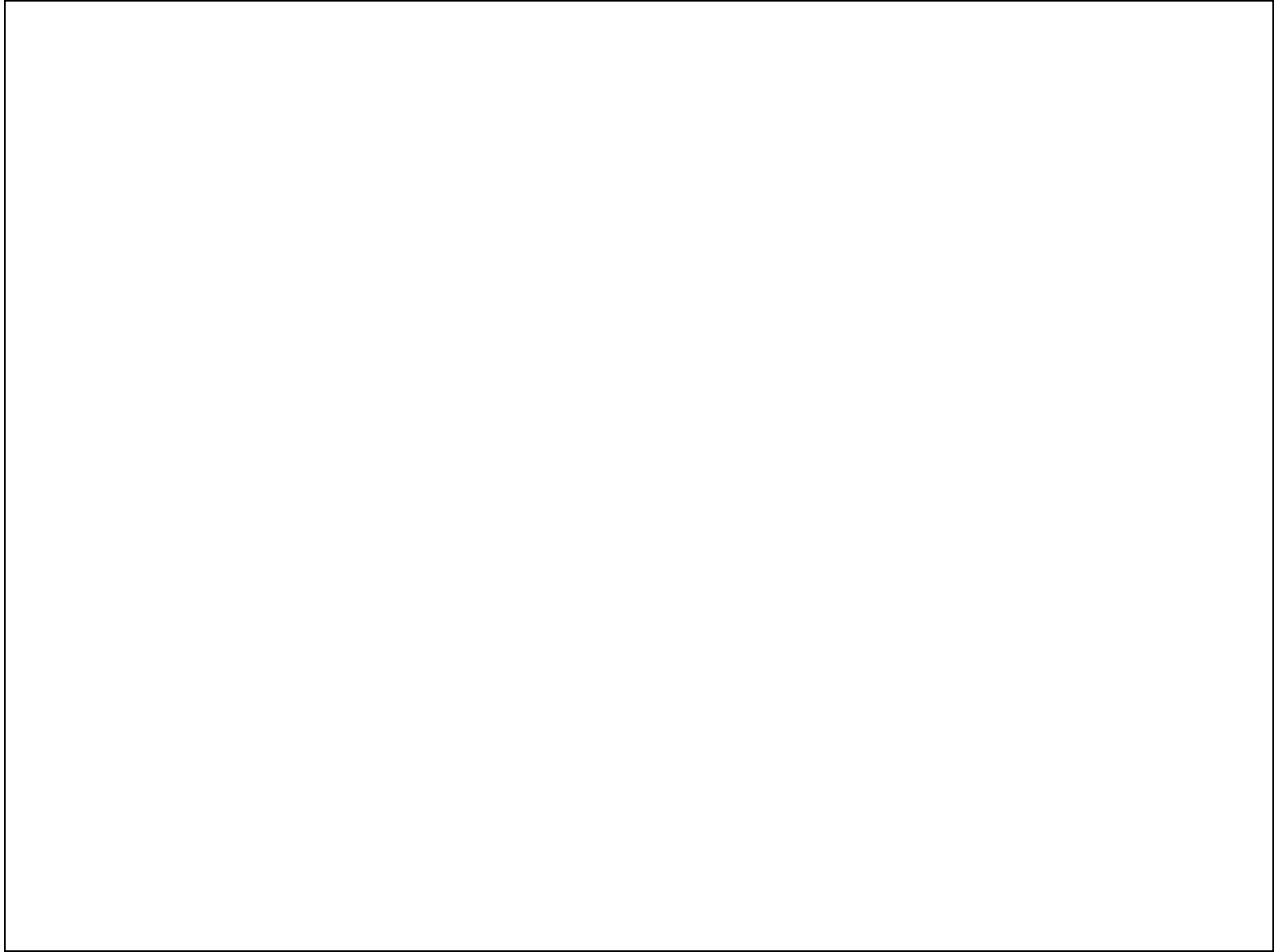
### 1) **Zkrácení a ztluštění kůry**

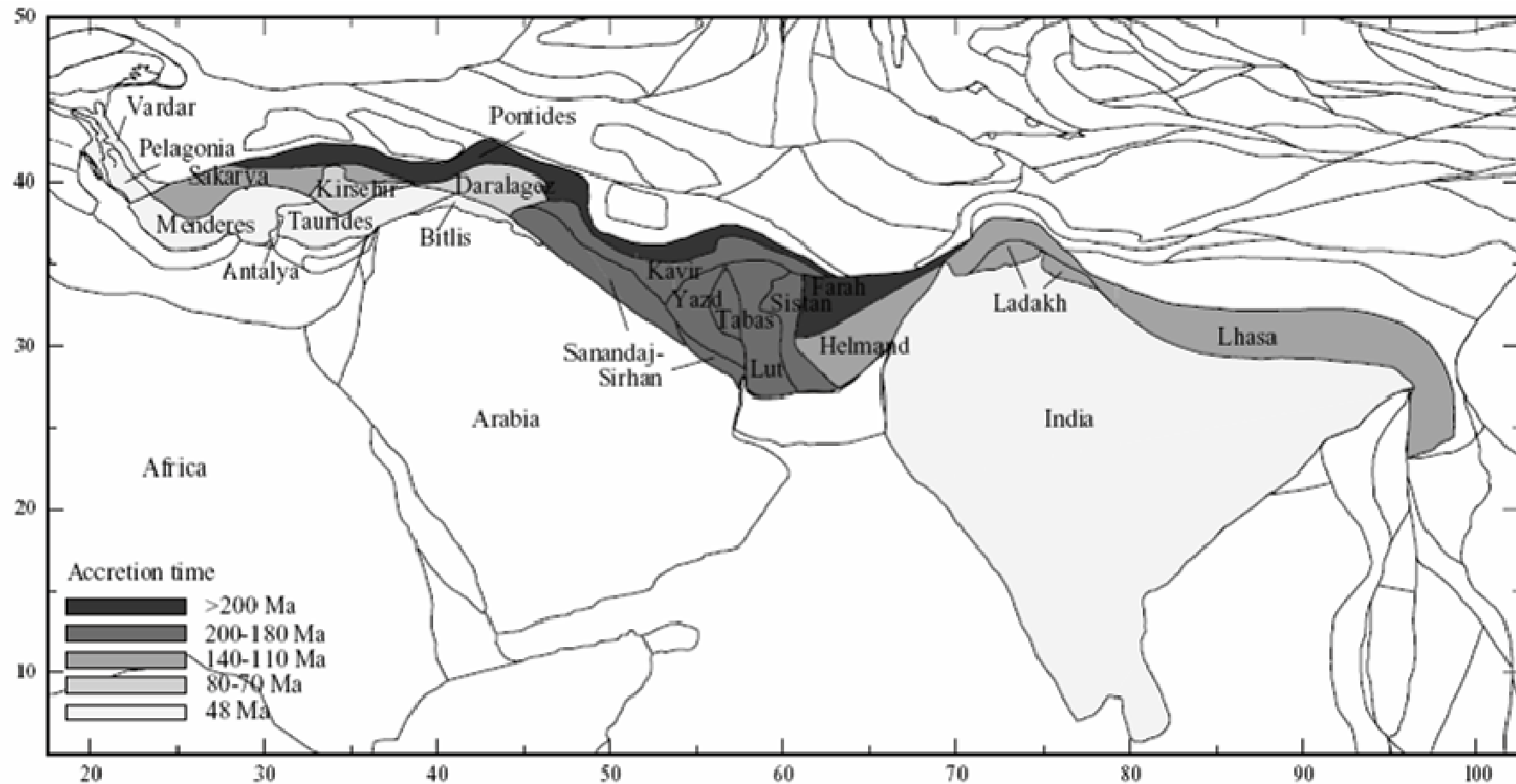
Ke zkrácení došlo podél celé řady násunových ploch. Tři nejvýznamnější jsou **Hlavní centrální násun (MCT)** s translací více než 100km, **Hlavní hraniční nasunutí (MBT)** a **Hlavní frontální nasunutí (MFT)**. Zkrácení v suturové zóně je odhadováno na 550km a v zóně mezi suturou a himalajskými násuny na 400km. **Celkové zkrácení nebylo tedy pravděpodobně více než 1000km.**

**Ztluštění tibetské kůry** na téměř dvojnásobek proběhlo od středního eocenu do spodního miocenu a současná výška byla dosažena asi před 8MA. Zkrácení mezi tarimským a severočínským blokem se odhaduje na 1040 +/- 1060km a v jižní Asii mezi jižním Tibetem a sibiřským kratonem 1700 +/- 610km.

2) **Podsouvání indické kontinentální litosféry pod Eurasii.** Názory na rozsah se liší, nejnovější seismické údaje ukazují, že to muselo být **přinejmenším 200km** nebo více.

3) **Východní laterální extruze (boční únik) Tibetu a JV Asie.** Opět se názory liší, řádově to však byly **stovky km.**





**Figure 2.2:** The tectonic fragments as discussed in this chapter, as well as their accretion times, according to the reconstruction of ExxonMobil (Norton, 1999). The collision of Arabia with Eurasia occurred around 22 Ma. Accreted at 48 Ma: Vardar, Pelagonia, Menderes, Antalya, Taurides, Bitlis area, and India. Accreted around 80-70 Ma: Kirşehir, Daralagez. Accreted between 140 and 110 Ma: Sakarya/Karakaya complex, Helmand, Ladakh-Kohistan arc, Lhasa. Accreted between 200 and 180 Ma: Sanandaj-Sirhan, Kavir area, Yazd, Tabas, Lut, Sistan. Accreted prior to 200 Ma: Pontides, Farah. The tectonic fragments north and east of the Pontides-Farah-Lhasa line (including the North Tibet, South China, Indochina, and Sibumasu block of Table 2.1) all accreted onto the Eurasian margin before 200 Ma, and are therefore not shown separately.

# The Himalayan Orogeny: The Indian Plate Subducts under the Eurasian Plate

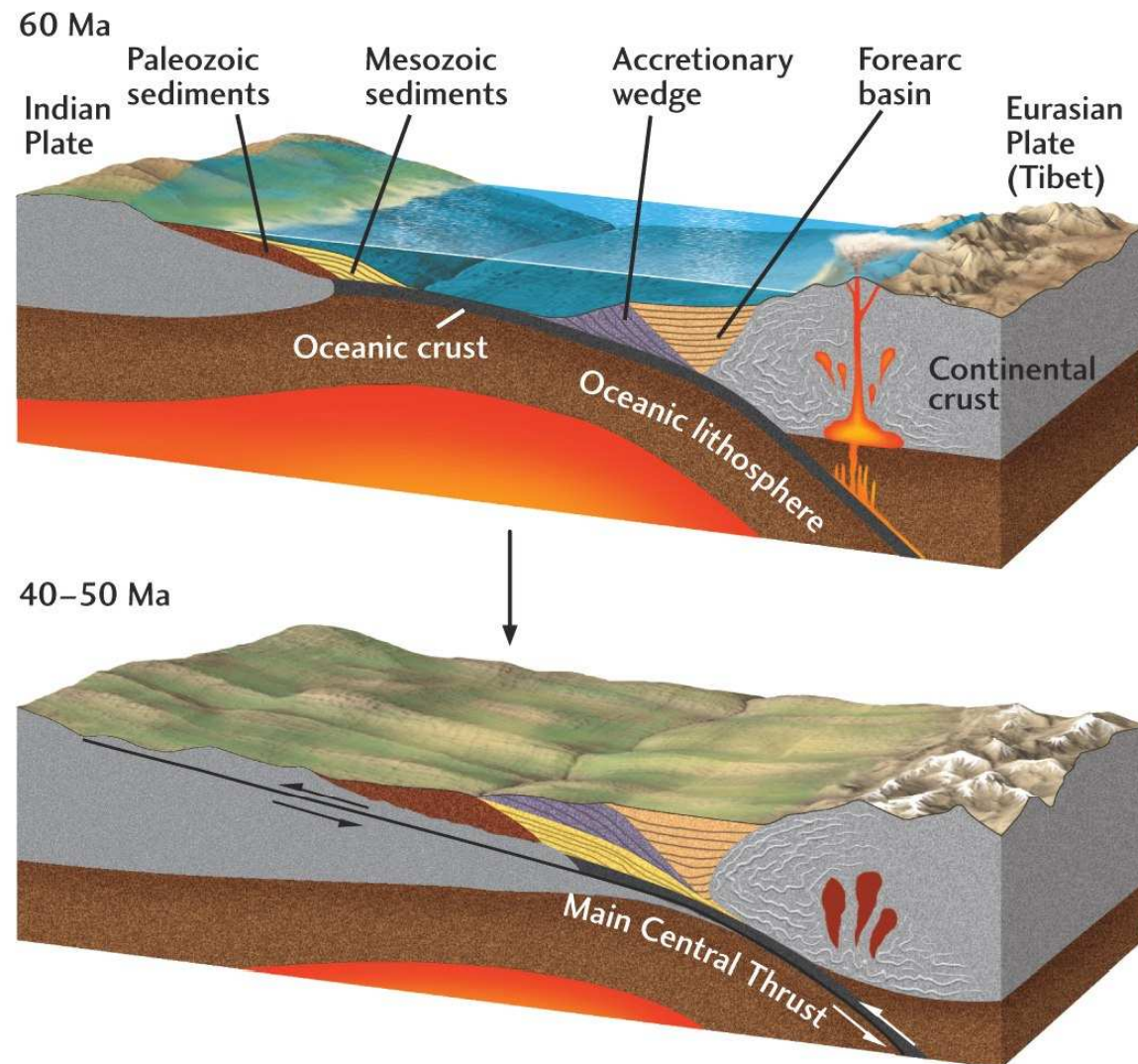


Fig. 20.15



# The Himalayan Orogeny: India Collides with Tibet and Breaks along the Main Central Thrust Fault

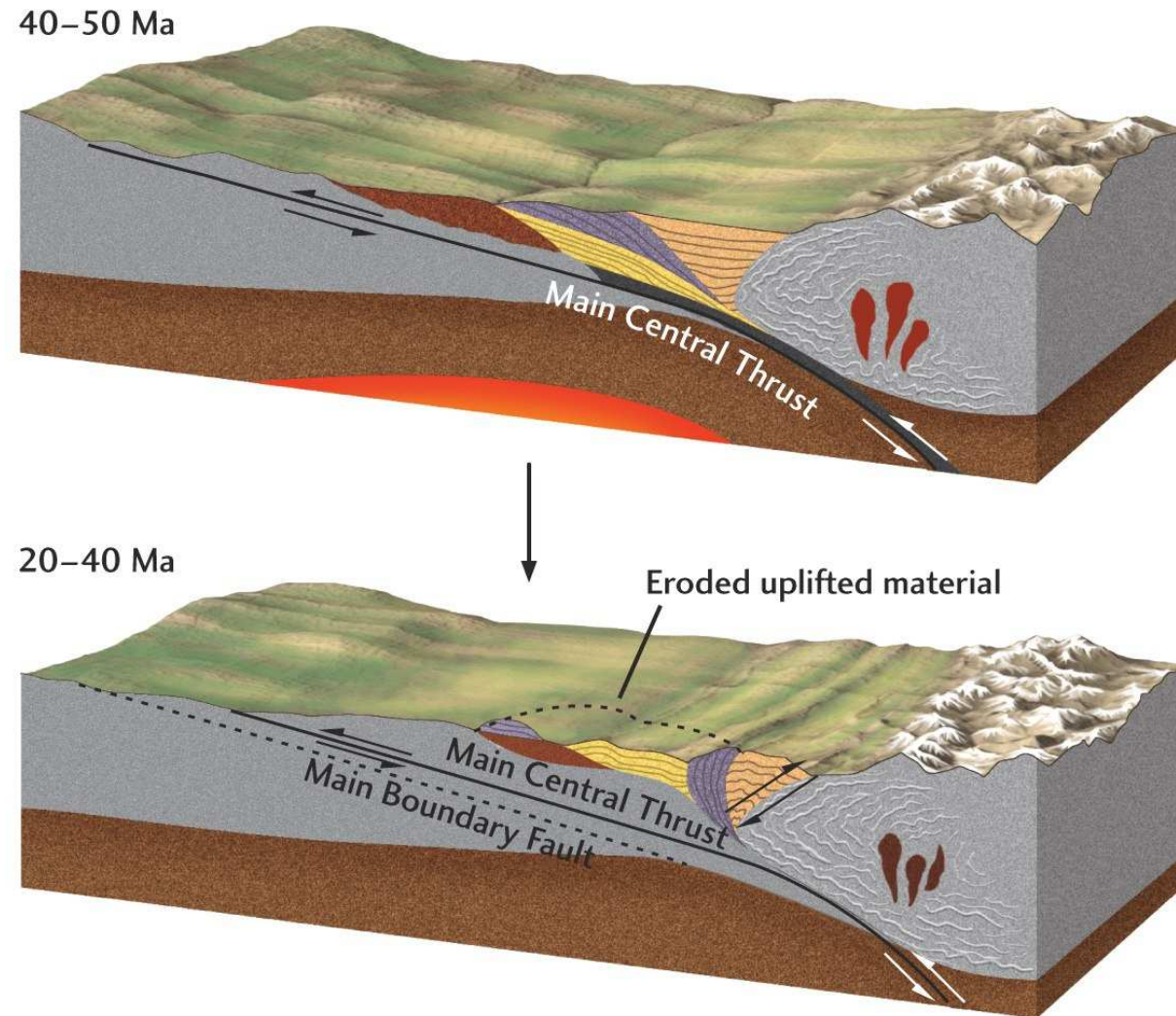


Fig. 20.15

# The Himalayan Orogeny: A Second Thrust Fault Forms, Lifting the First Fault

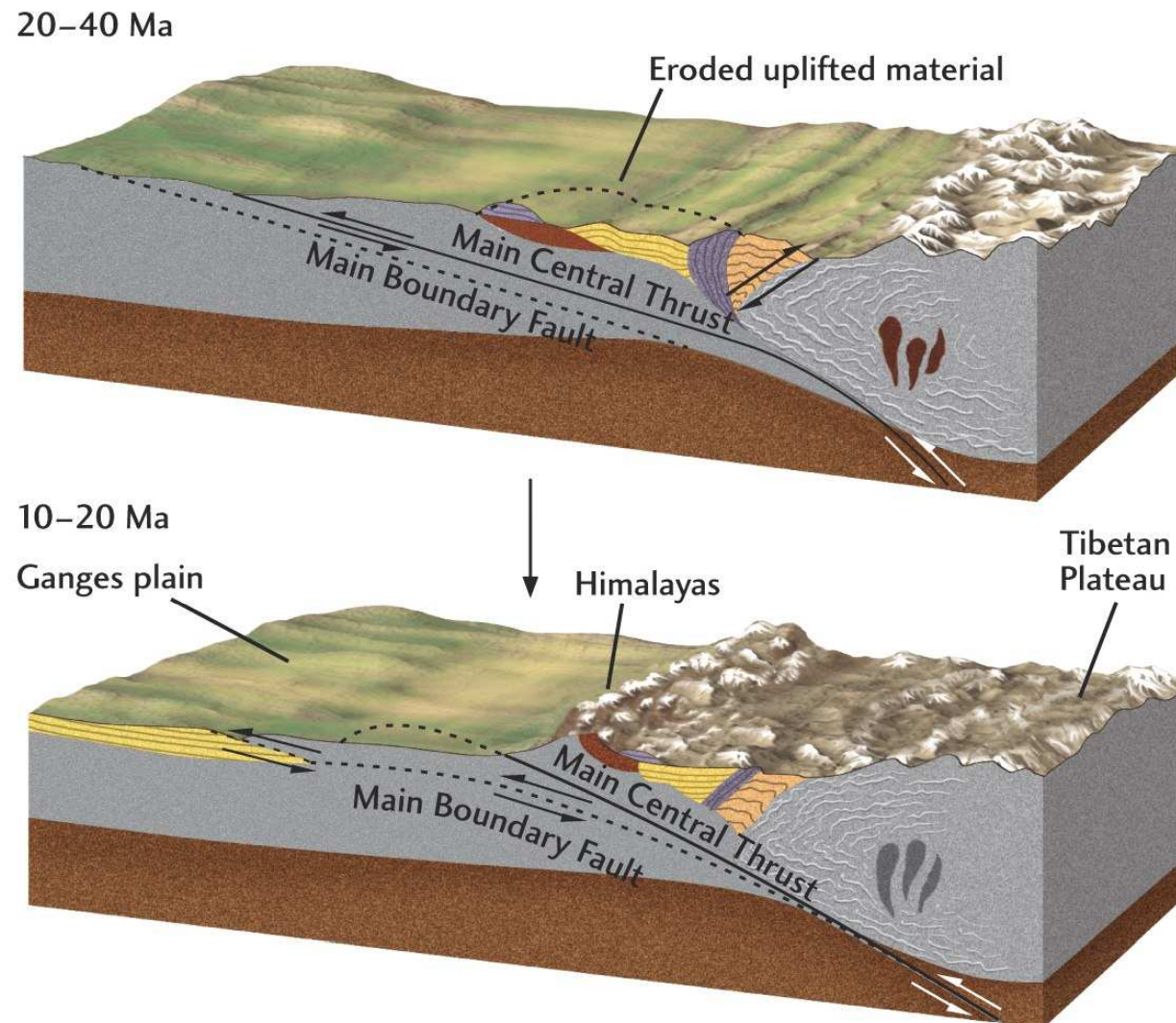


Fig. 20.15

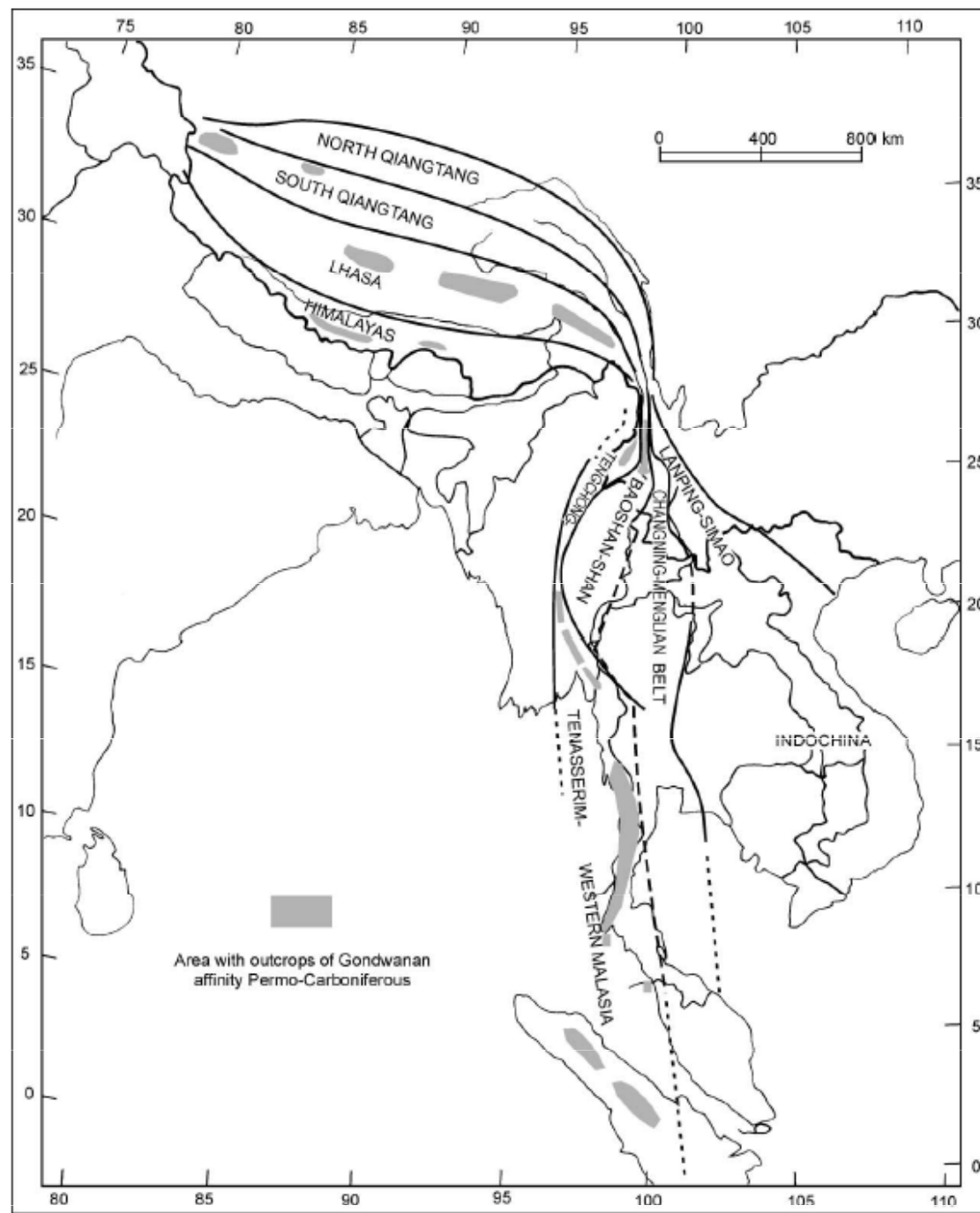
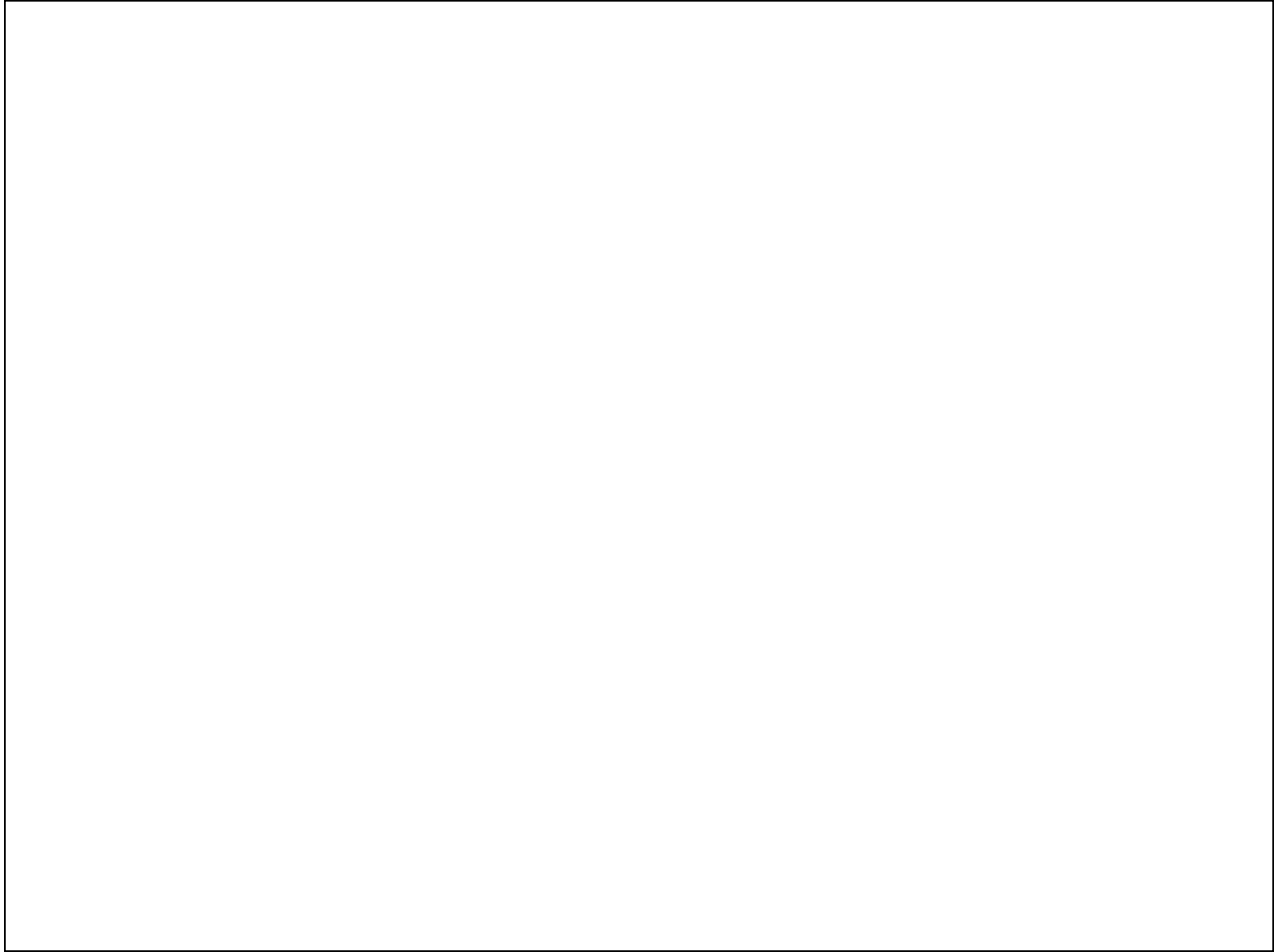
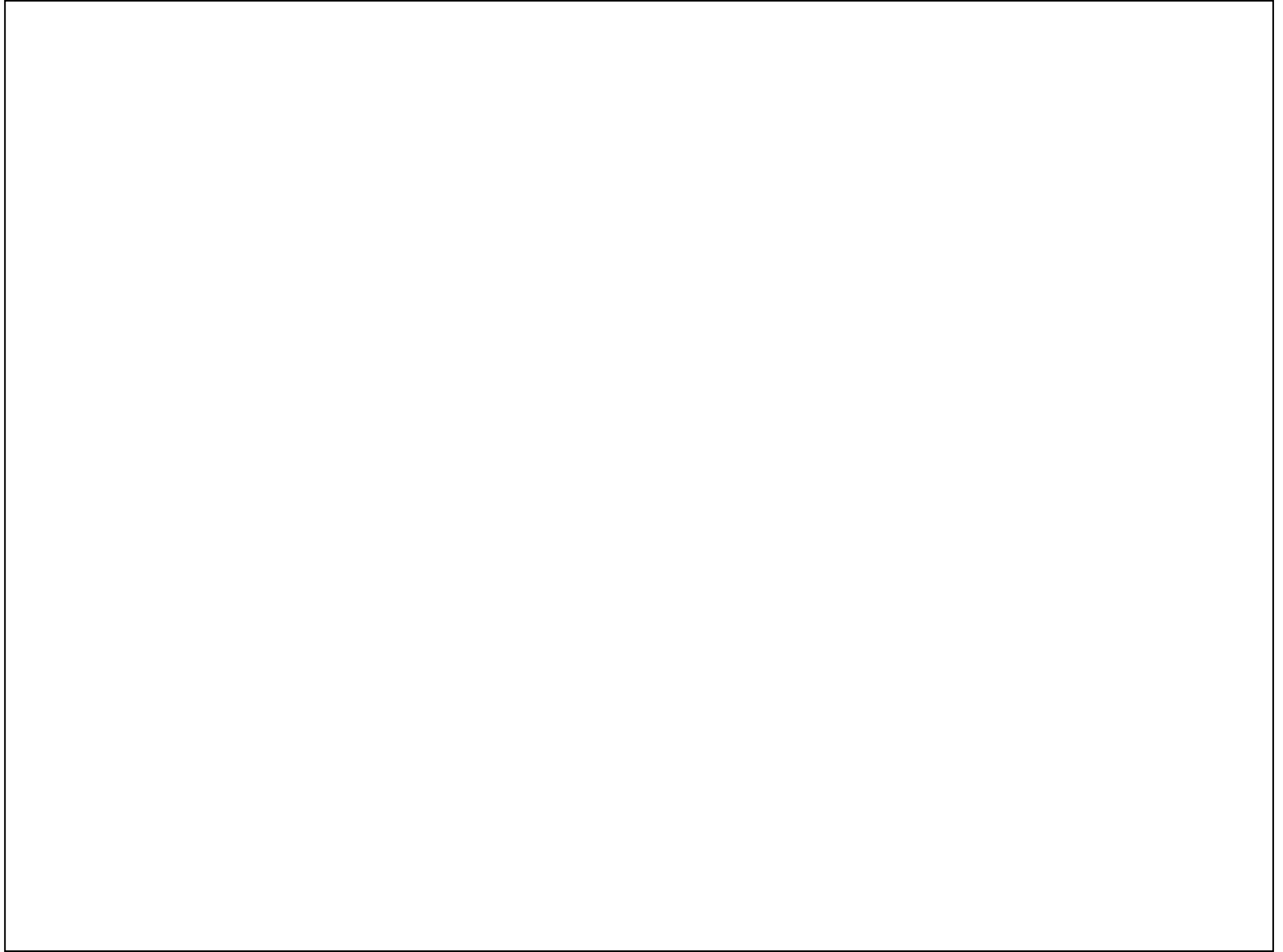
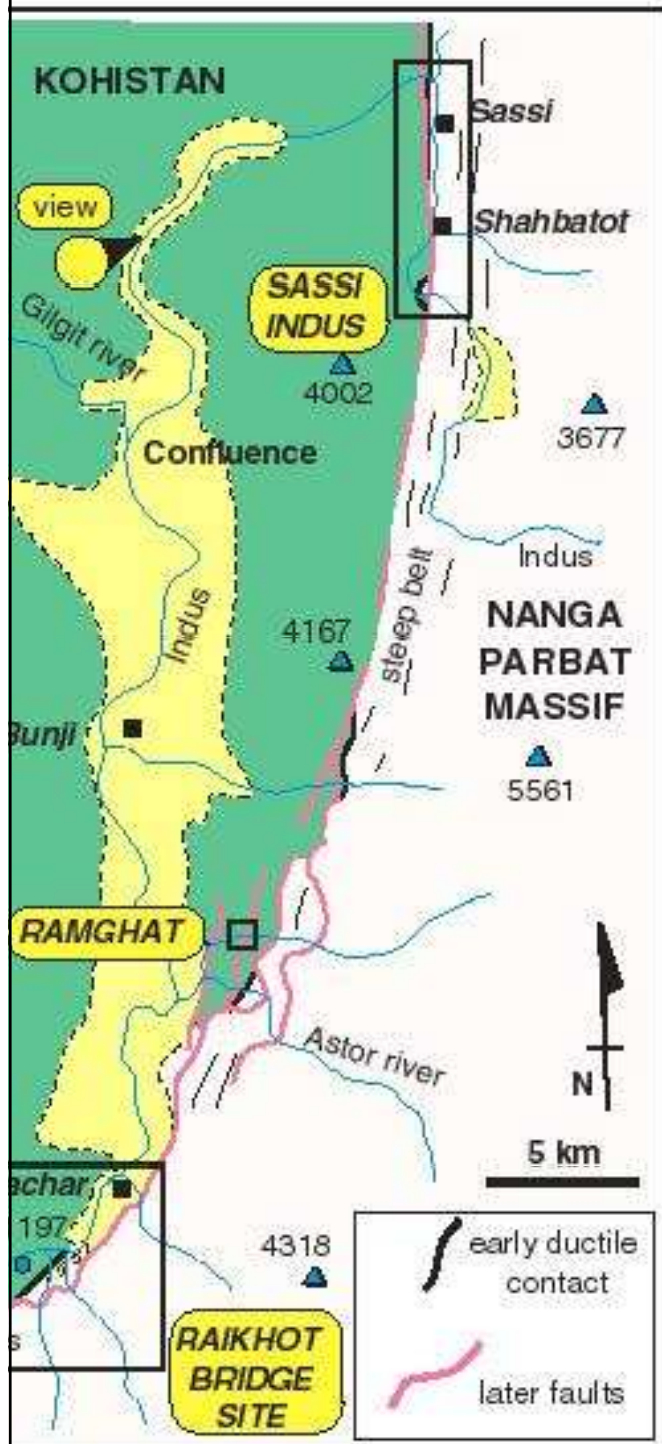


Fig. 14. Distribution of Gondwana-affinity Permo-Carboniferous in southwest China and Southeast Asia (shaded area). Data of Southeast Asia based on Stauffer and Lee, 1986; data of southwest China based on my own field work and from other Chinese authors.



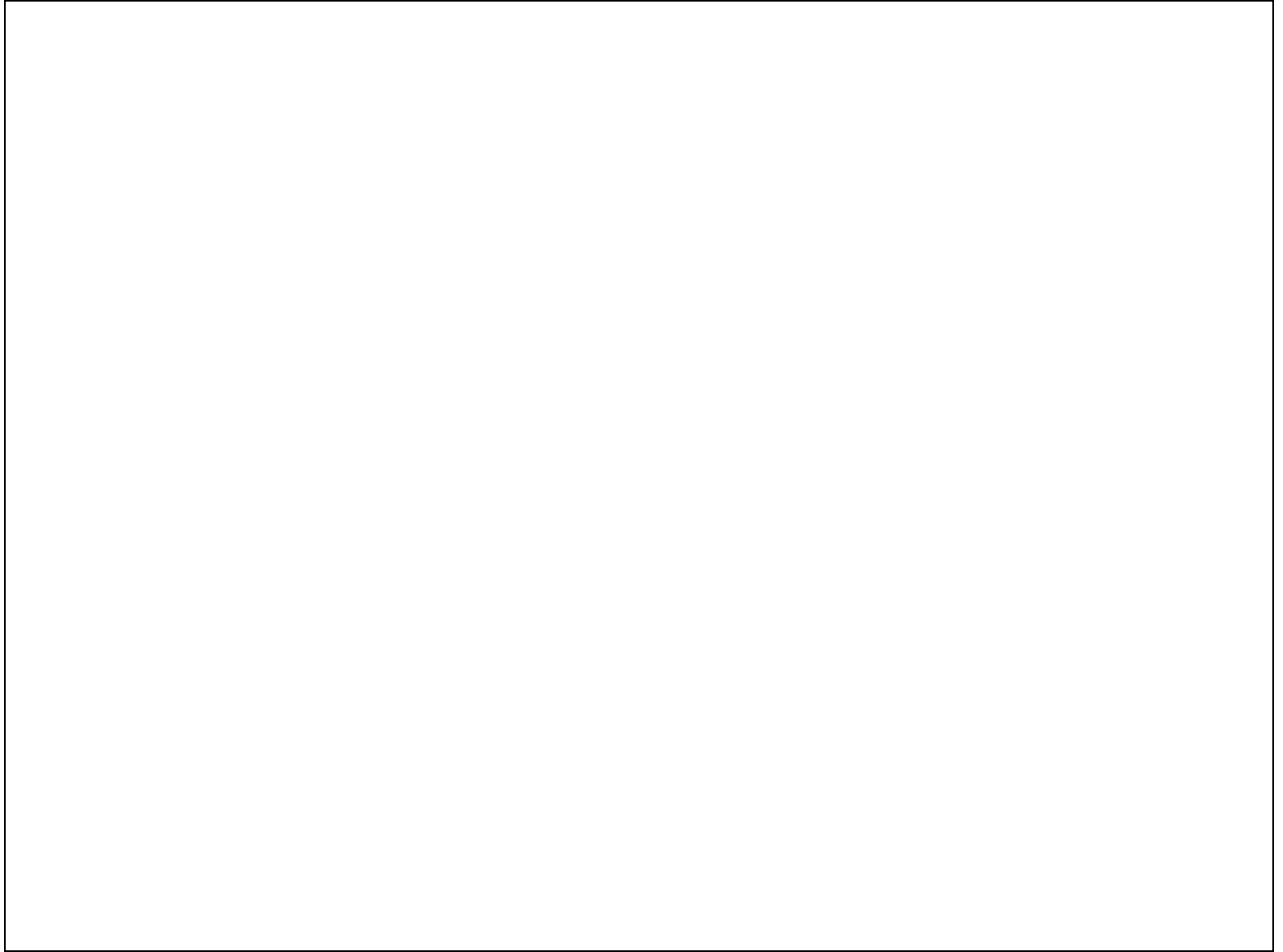


# WESTERN MARGIN LOCATION MAP



The Western Margin is of critical importance for understanding the recent and active tectonics of the Nanga Parbat Massif. There are a variety of structures present, including rare segments of an early ductile contact between the Kohistan arc terrane and rocks of the Indian continental crust (which are indicated on the adjacent map). However, the margin is dominated by later structures. Some of these are associated with metamorphic fabrics and formed under ductile conditions while others formed under shallower burial conditions. These are marked by extensive fracturing and cataclasis, presumably associated with seismogenic faulting in the past. Taken together, these structures record the progressive uplift and unroofing of the area.

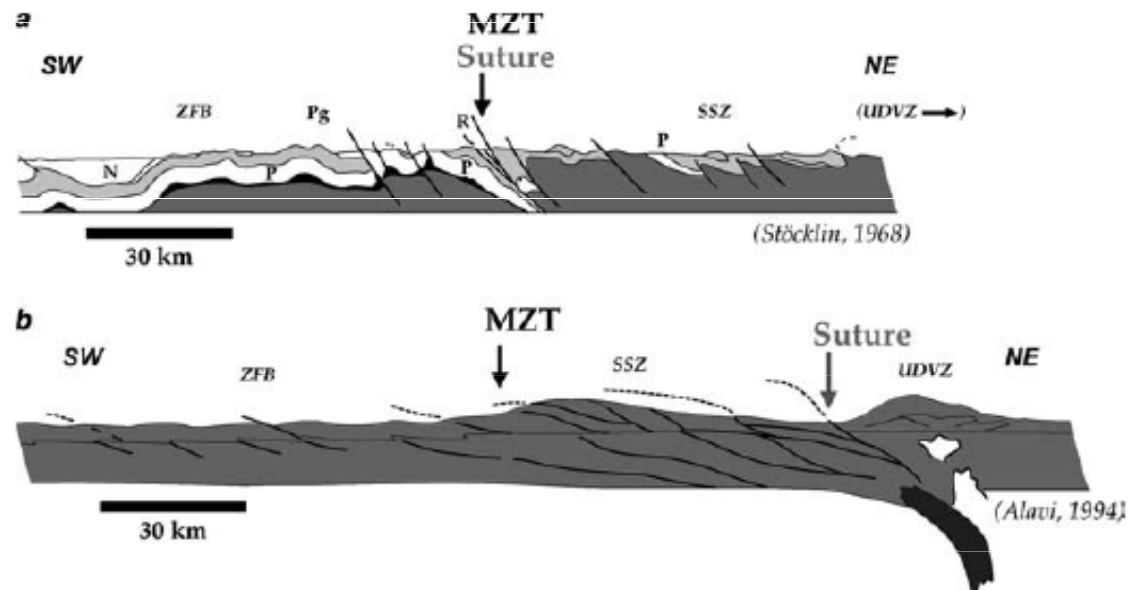
Click on boxes to visit localities



## Regional geology

The Zagros orogen results from the convergence between the Iran block and the Arabian plate, as the Neo-Tethyan realm (whose rifting had started in the Upper Permian–Lower Trias, when the Central Iranian block separated from Gondwana and Arabia) disappeared through a succession of subduction/obduction/collision stages. Convergence was first accommodated by a northeastward

Fig. 2 Two of the rare cross-sections available for the Zagros range, simplified after Stöcklin (1968; **a**) and Alavi (1994; **b**). These sections underline the recent controversy on the location of the suture zone (Alavi 1994, located either along the Main Zagros Thrust (MZT), to the SW of the SSZ (section a; most authors), or further to the East, E of the SSZ (SSZ; section b; Alavi 1994). This question will be addressed in more detail in the discussion section. *N* Neogene; *P* Paleozoic; *Pg* Palaeogene; *R* radiolarites; *SSZ* Sanandaj–Sirjan zone; *UDVZ* Urumieh Dokhtar volcanic zone; *ZFB* Zagros Fold belt; *ZS* position of the suture zone in each cross-section





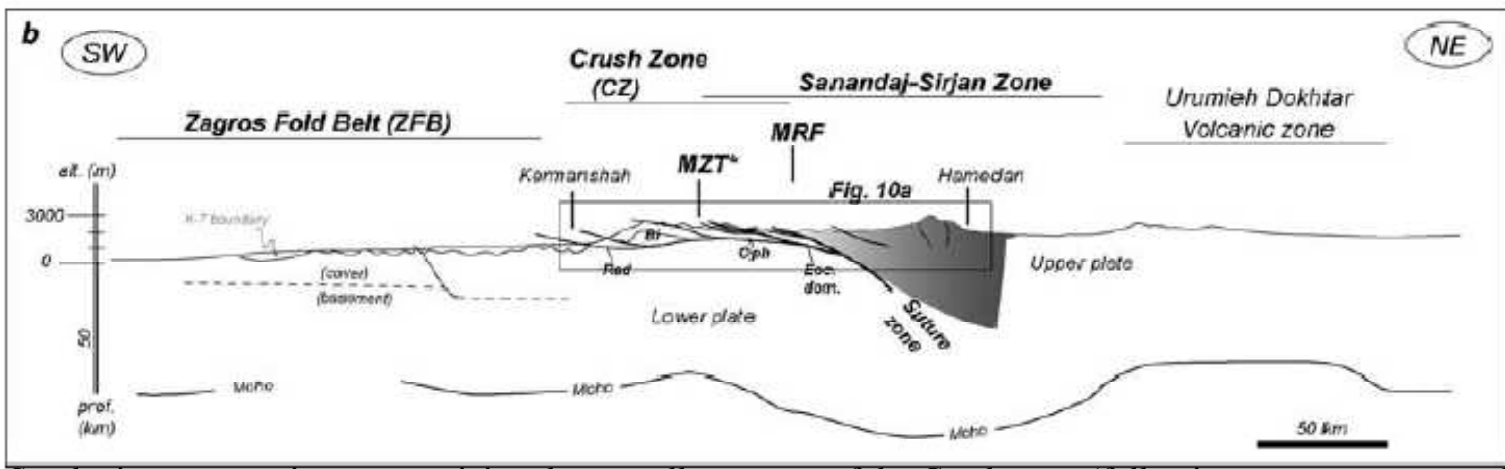
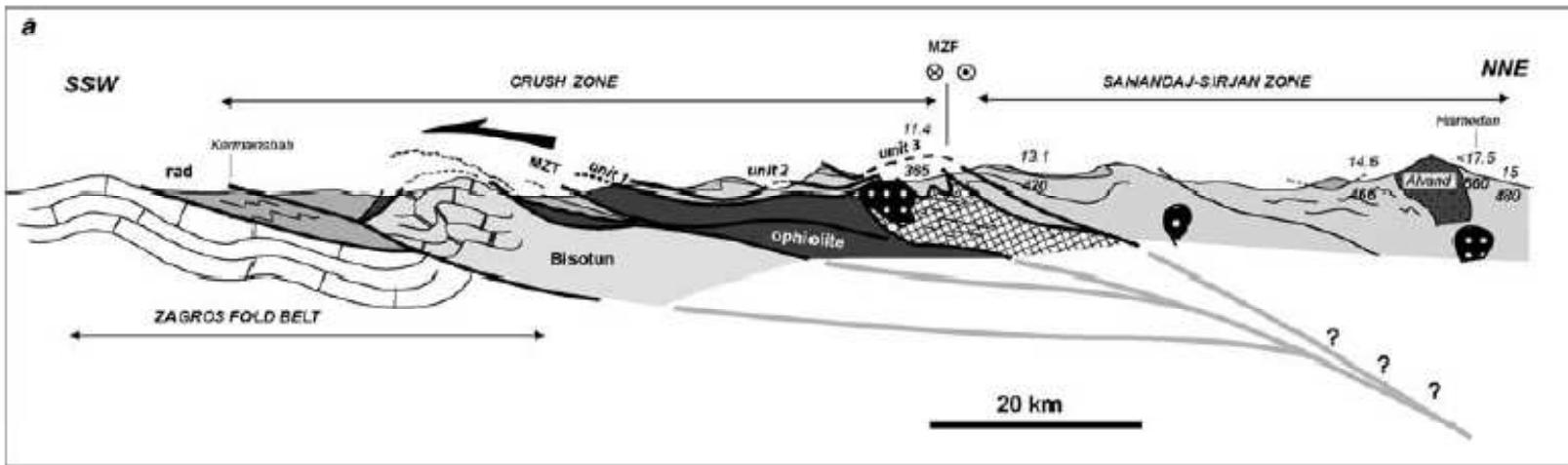


Fig. 10 a Synthetic cross-section summarizing the overall structure of the Crush zone (following structures reported on Fig. 5). Given the progressive out-of-sequence slicing of the SSZ thrust (into units 1–3; see also Fig. 11), the main contacts probably root deeper in the vicinity of the Main Zagros Fault system (MZF). Bold numbers refer to the results obtained for maximum temperatures of the SSZ rocks (SSZ; see Figs. 1c, 9a; Table 1). Italicized numbers give the corresponding maximum depths, considering that an average MP–MT 32C/km metamorphic gradient prevailed (Agard et al. 2005) and that peak temperatures and pressures were reached contemporaneously (a reasonable assumption except immediately to the E of the Alvand intrusion, where the maximum depth is therefore exaggerated; see text for details). MZF Main Zagros thrust; Rad radiolarites. b A possible simplified crustal-scale cross-section for Zagros, as inferred from (1) constraints provided by this study (inbox; Fig. 10a), (2) Moho depths for Central Zagros deduced from teleseismic data (Paul et al. 2002) along a transect running between Busher and Yazd (and projected here using the MRF as a reference line), (3) cover and basement depths in the Zagros Fold belt (after McQuarrie 2003 and cross-sections from NIOC map n1). No vertical exaggeration except for the topography (see scale on the left). The position of the suture zone is indicated. See text and

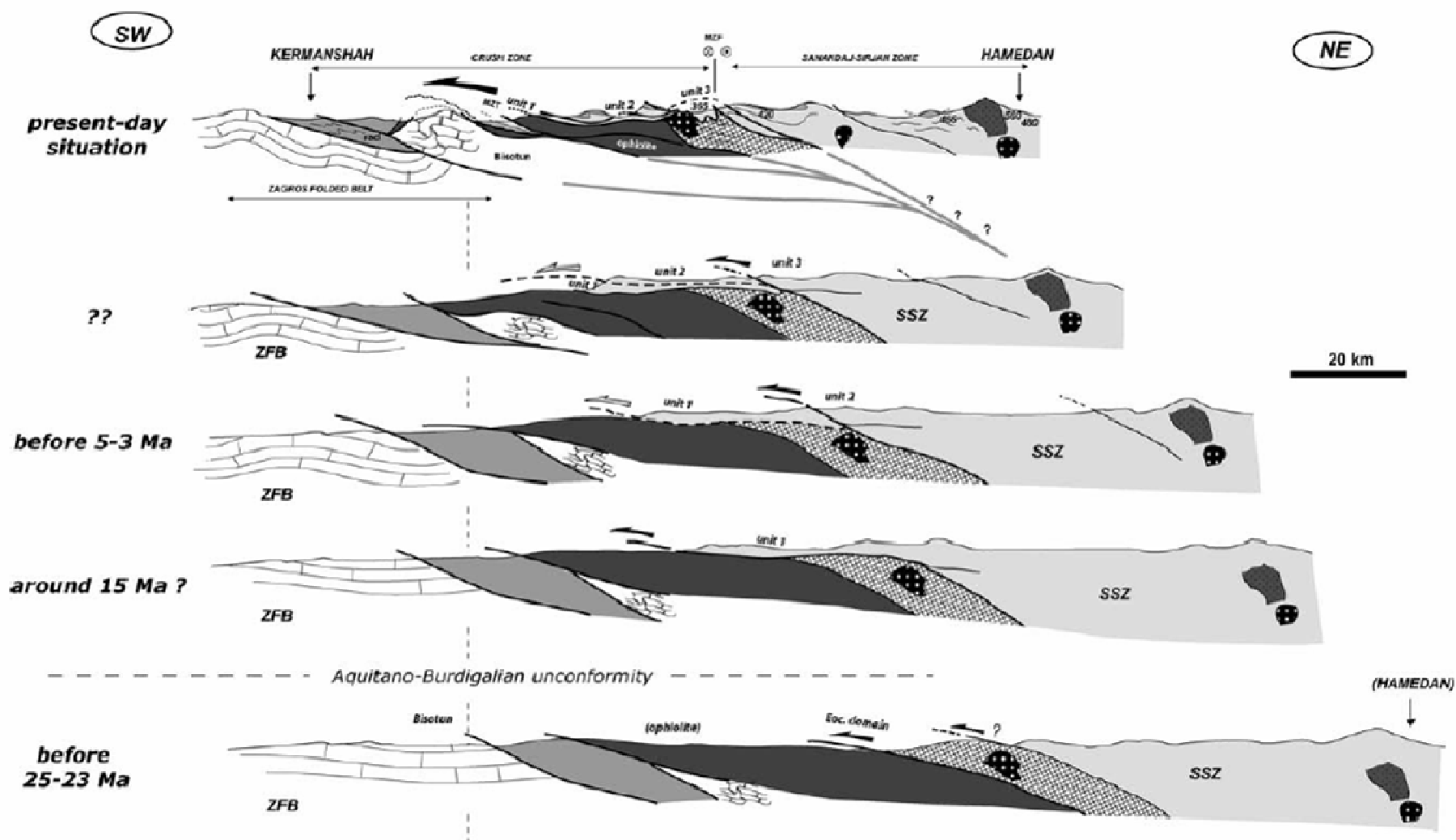
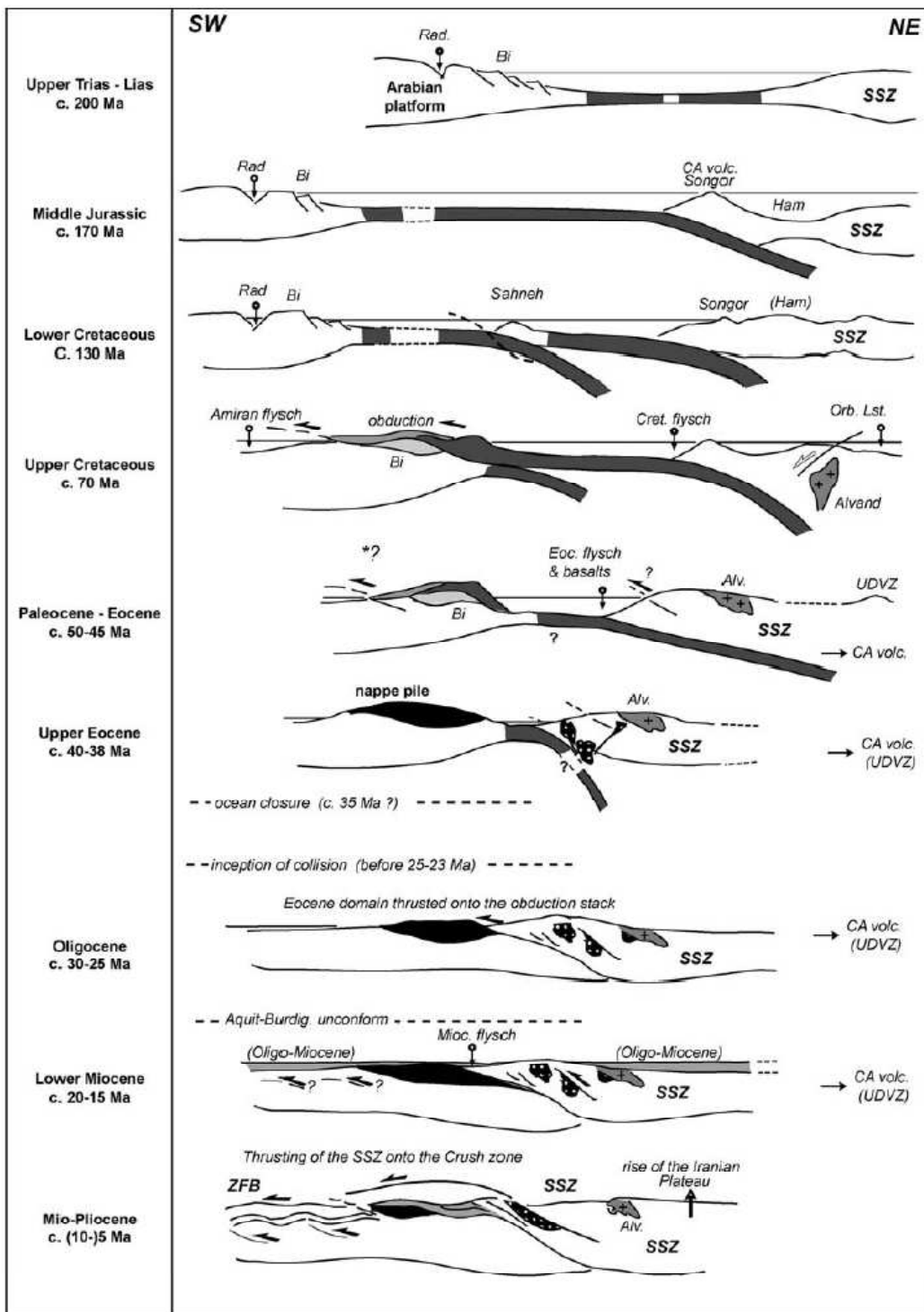
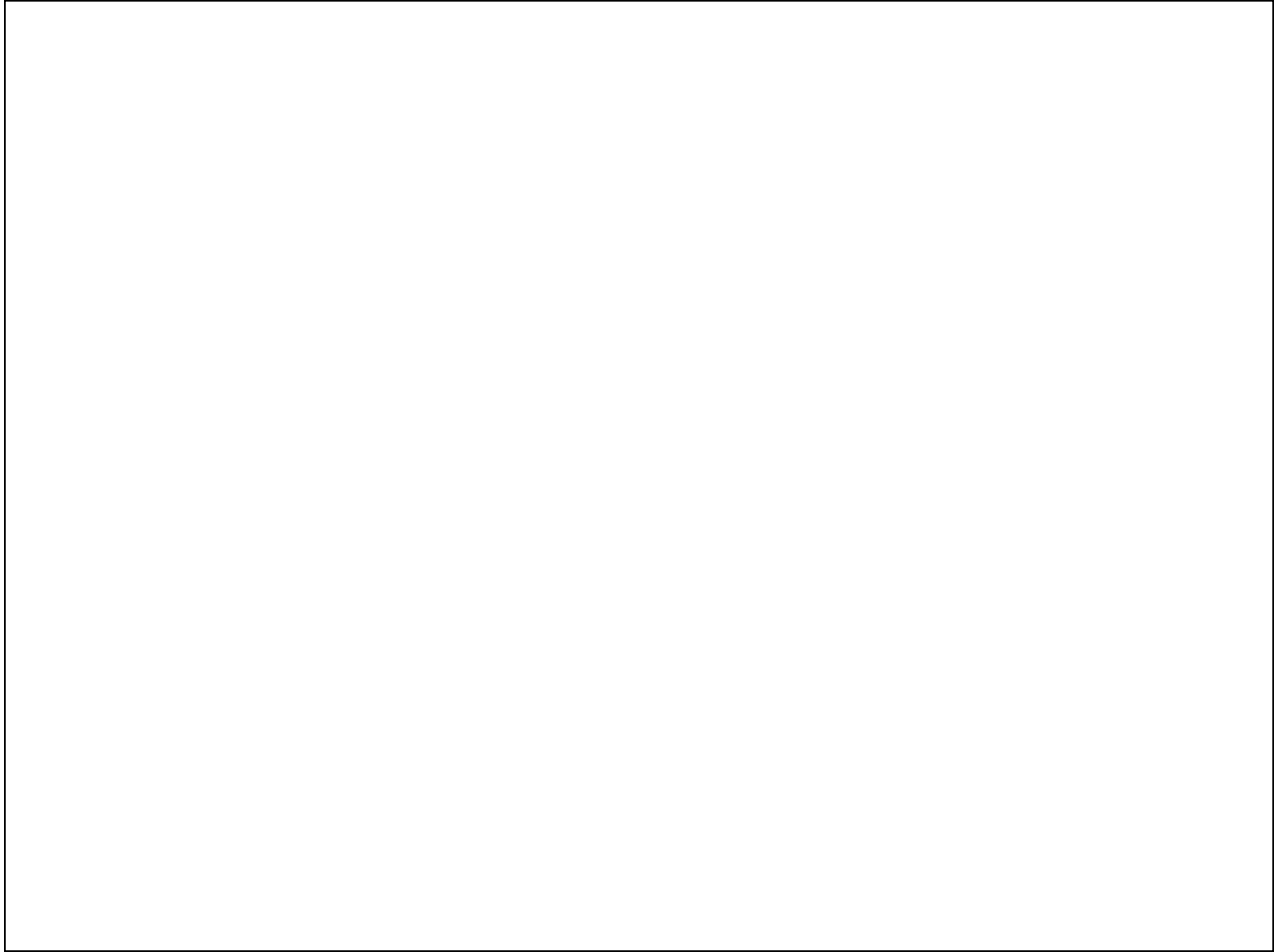
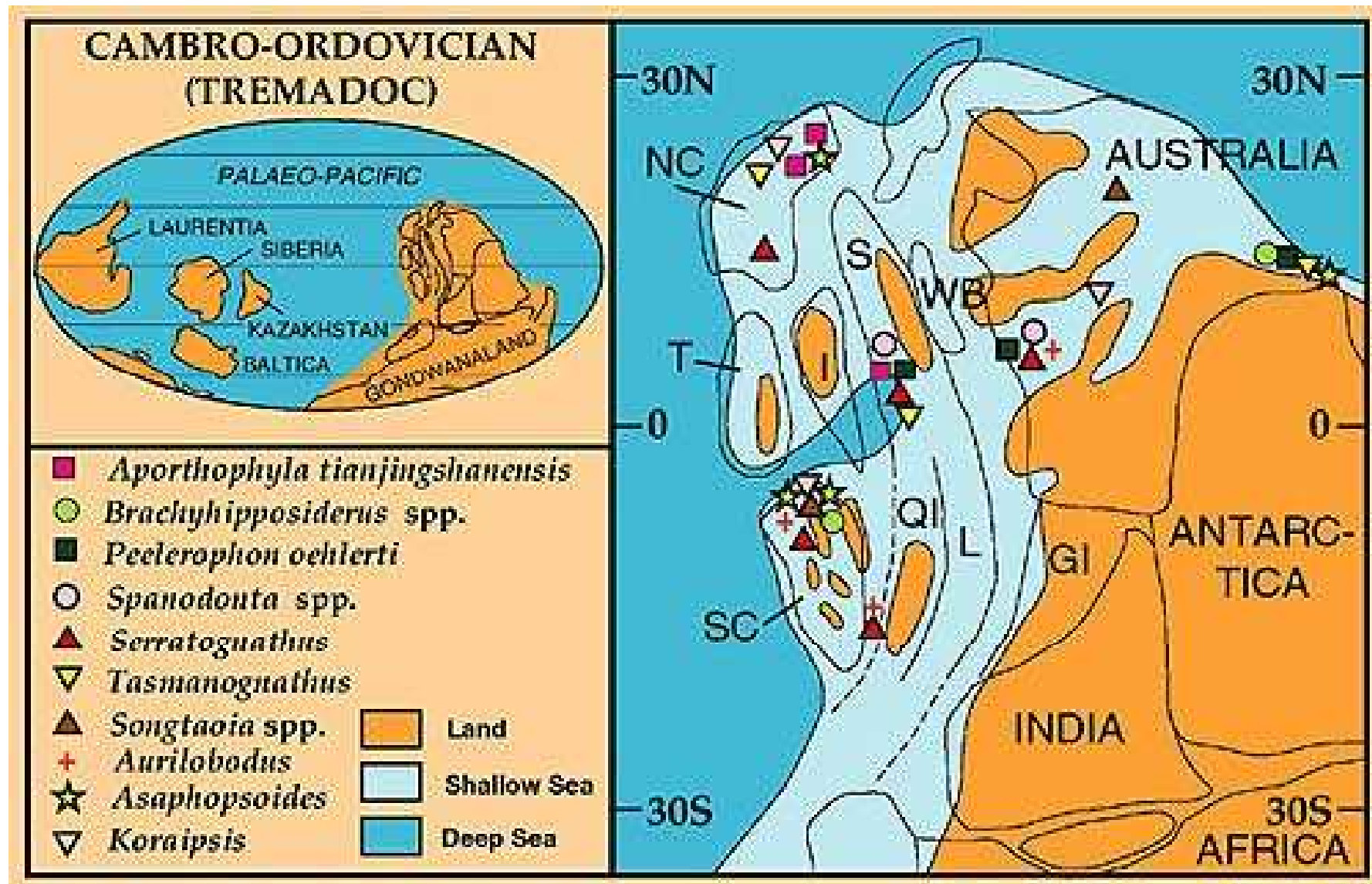


Fig. 11 Progression of convergence with time in the Crush zone as deduced by unfolding the cross-section of Fig. 10a. Changes through time SW of the ophiolite unit are only indicative since our study focused on structures located beyond, to the NE; in particular, neither the amount and the timing of shortening in the Zagros Fold belt, which probably started during the latest stages of this evolution, nor the respective amount of shortening of the Bisotun units associated with collision or obduction are known with precision. The amount of shortening in the Crush zone deduced from this reconstruction (about 50–70 km during the last 20–15 Ma) should therefore be considered as a minimum estimate

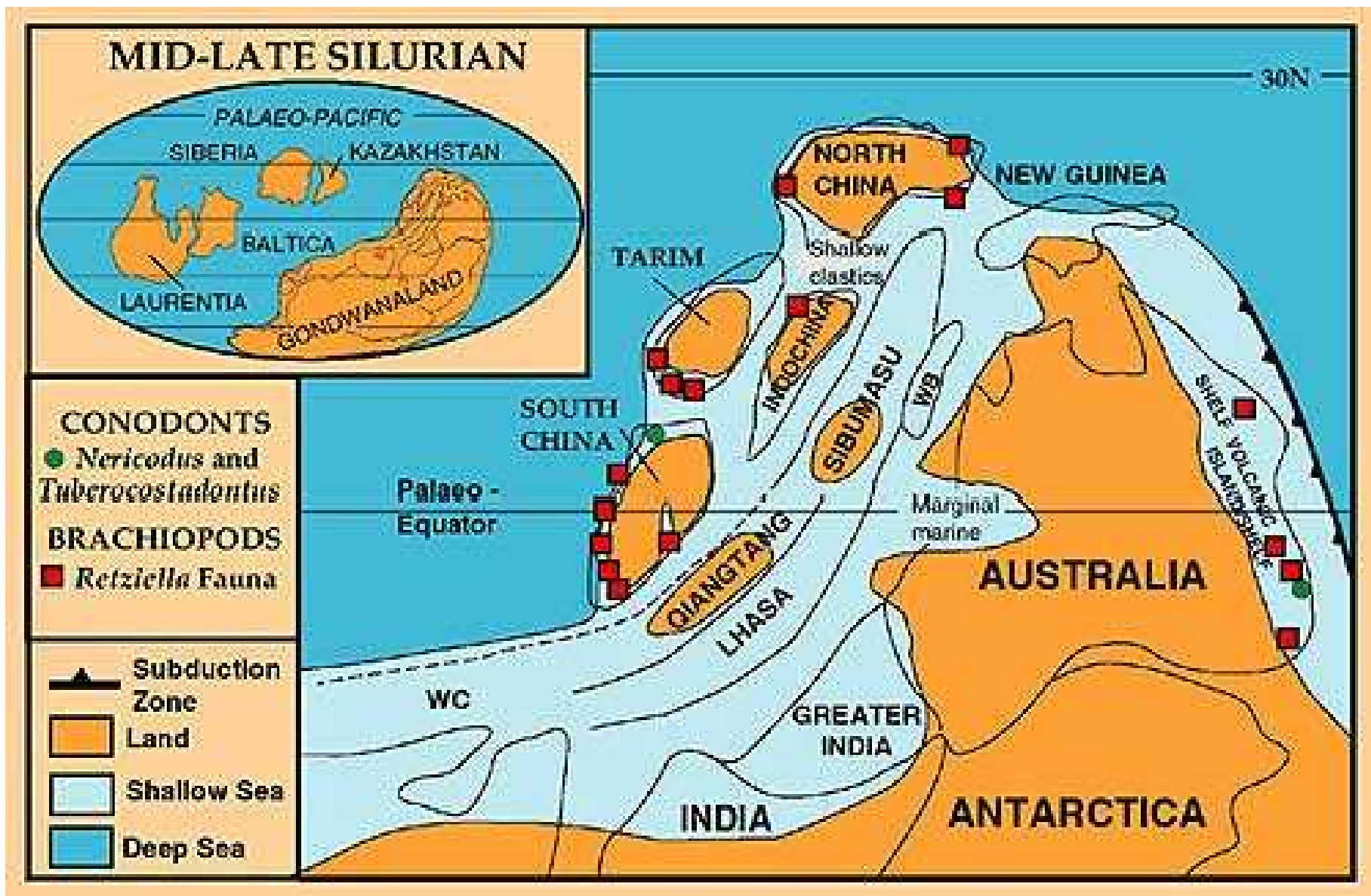


Tentative geodynamic evolution for the convergence between Arabia and Iran (Eurasia), as deduced from our data and from the literature. Alv. Alvand intrusion; Bi Bisotun unit; CA volc. calc-alkaline volcanism; Cret. Cretaceous; Ham Hamedan; Orb. Lst. Orbitolina limestone; Rad radiolarian through; SSZ Sanandaj-Sirjan zone; UDVZ Urumieh-Dokhtar volcanic zone; ZFB Zagros Fold belt. \*? Early Tertiary deformation within the ZFB (Mouthereau et al. 2005). See text for details. Note that this tentative evolution does not explain the origin of the Early Miocene calc-alkaline magmatism in the Urumieh-Dokhtar volcanic zone, which remains poorly studied and understood (e.g., Berberian and Berberian 1981)





Reconstruction of eastern Gondwanaland for the Cambro-Ordovician (Tremadoc) showing the postulated positions of the East and Southeast Asian terranes, distribution of land and sea, and shallow-marine fossils that illustrate Asia-Australia connections at this time. NC = North China SC = South China T = Tarim I = Indochina Qi = Qiangtang L = Lhasa S = Sibumasu WB = West Burma GI = Greater India. Present day outlines are for reference only.



Reconstruction of eastern Gondwanaland for the Mid-Late Silurian showing the postulated positions of the East and Southeast Asian terranes, distribution of land and sea, and shallow-marine fossils that appear to define an Australasian province at this time. WC = Western Cimmerian Continent WB = West Burma. Present day outlines are for reference only.

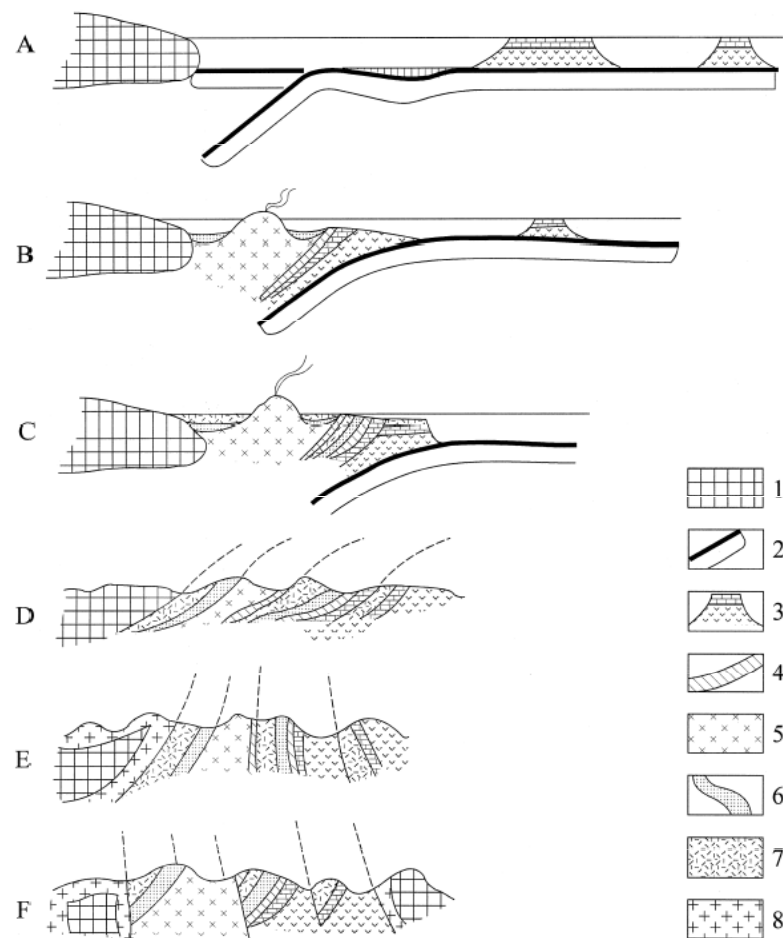
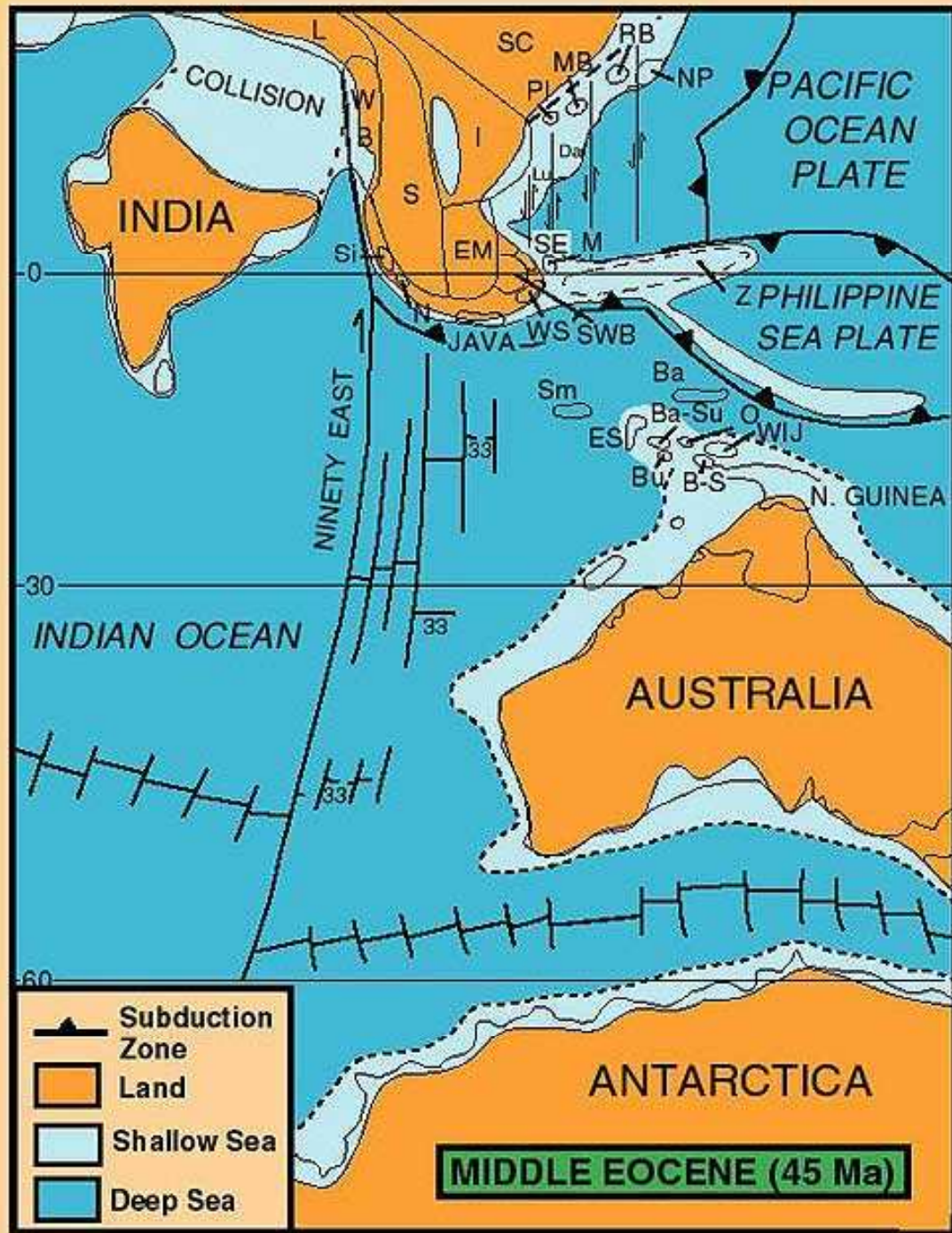


Fig. 10. Schematic model of the tectonic evolution of the Fan-Karatagin belt (not to scale); (A) initiation of subduction within the oceanic plate; (B) initiation of island arc; the arrival of seamounts at a trench, its submergence into subduction zone and incorporation into an accretionary prism; (C) collision of seamount with island arc, exhumation of blueschist/greenschist rocks; (D) formation of subduction-accretion-collisional complex of the Fan-Karatagin belt; (E) post-collisional orogenic climax in the Late Paleozoic; (F) modern tectonic structure (note south-dipping thrusts resulted from the obduction of south craton or microcontinent). (1) Precambrian craton; (2) oceanic plate; (3) carbonate-capped seamount composed of OIB and E-MORB basalts; (4) pelagic chert sediments; (5) island-arc volcanic rocks; (6) volcanoclastic sediments; (7) tuffs; (8) post-collisional granitoides.

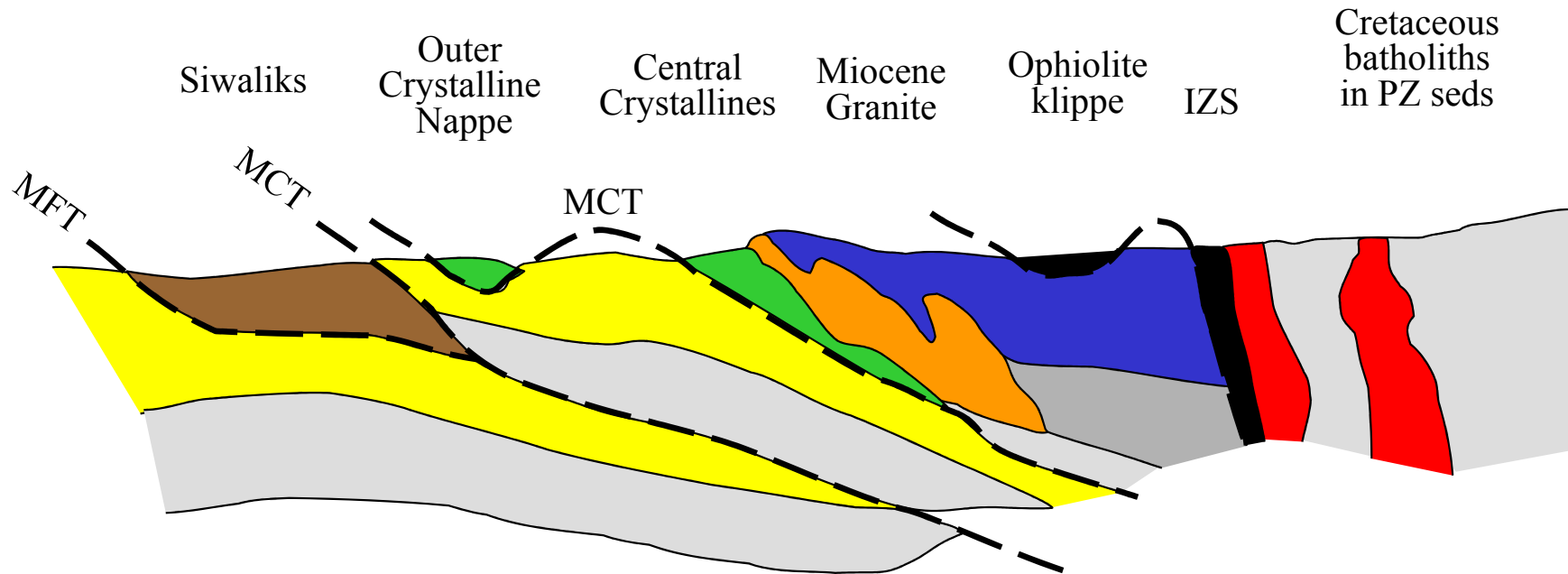
V oblasti SZ Sibiře (**Tajmyr**) byla důležitou událostí kolize mikrokontinentu Kara podél Tajmyrského pohoří v triasu. Na východní Sibiři **Verchojanského** pohoří (jura-spodní křída) reprezentuje akrečně-kolizní orogen kde ke konci mesozoika došlo ke kolizi s **omolonským** mikrokontinentem. Dále na východ **čukotského a korjasko-kamčatského** pásma reprezentují akreční orogeny s **teránní** stavbou.



**Palaeogeographic reconstruction for Eastern Tethys in the Middle Eocene showing distribution of land and sea. SG = Songpan Ganzi accretionary complex SWB = South West Borneo (includes Semitau) NP = North Palawan and other small continental fragments now forming part of the Philippines basement Si = Sikuleh N = Natal M = Mangkaliahat WS = West Sulawesi Ba = Banda Allochthon ES = East Sulawesi O = Obi-Bacan Ba-Su = Banggai-Sula Bu = Buton B-S = Buru-Seram WIJ = West Irian Jaya Sm = Sumba PA = Incipient Philippine Arc PS = Proto-South China Sea Z = Zambales Ophiolite. M numbers represent Indian Ocean magnetic anomalies.**

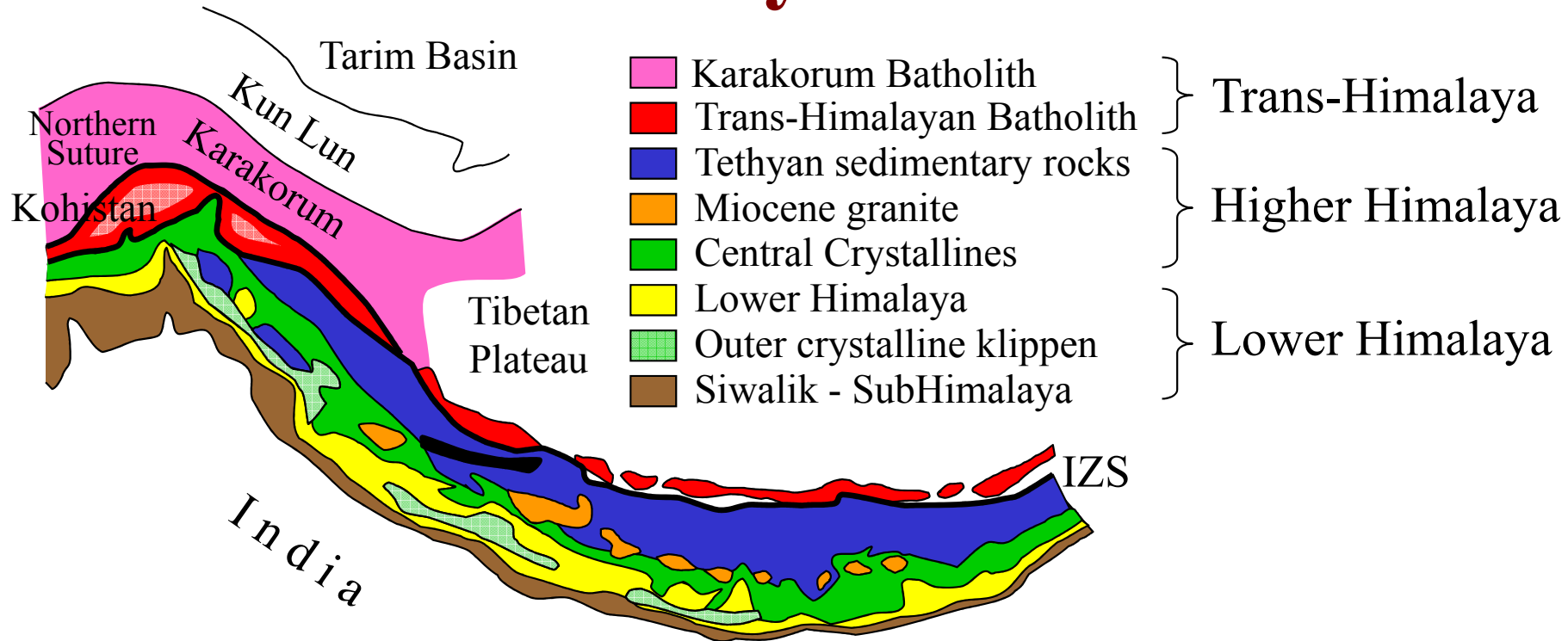


# Himalaya: cross-section



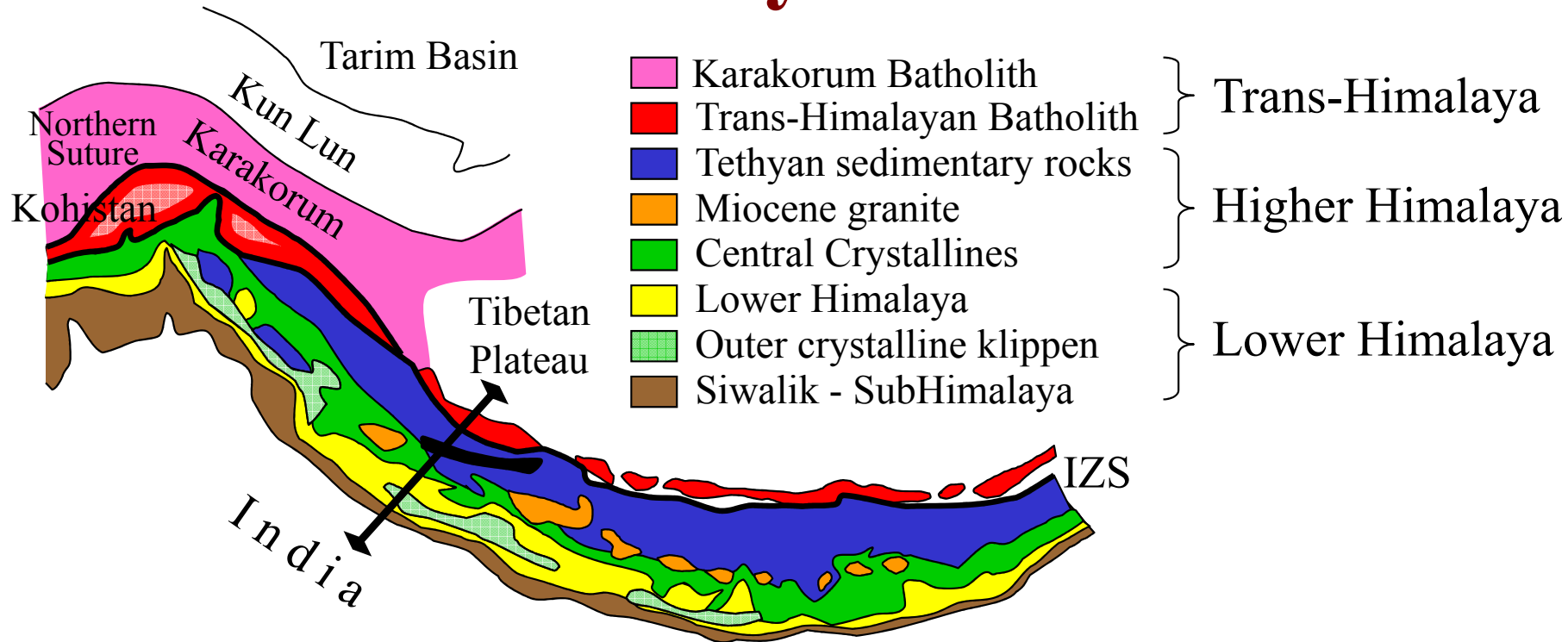
- Karakorum Range, former Andean margin
- Trans-Himalaya, plutonic belt, NeoTethyan Andean batholiths
- Indus-Zangbo (Yarlung-Tsangpo) suture zone
  - narrow discontinuous belt of ophiolite, blueschist facies rocks at the ends; forearc rocks in the central Himalaya
  - Jungbwa ophiolite - overthrust to the south
  - preserved as a klippe
  - not typical MORB - likely a shortlived arc back-arc floor

# Himalaya: a transect

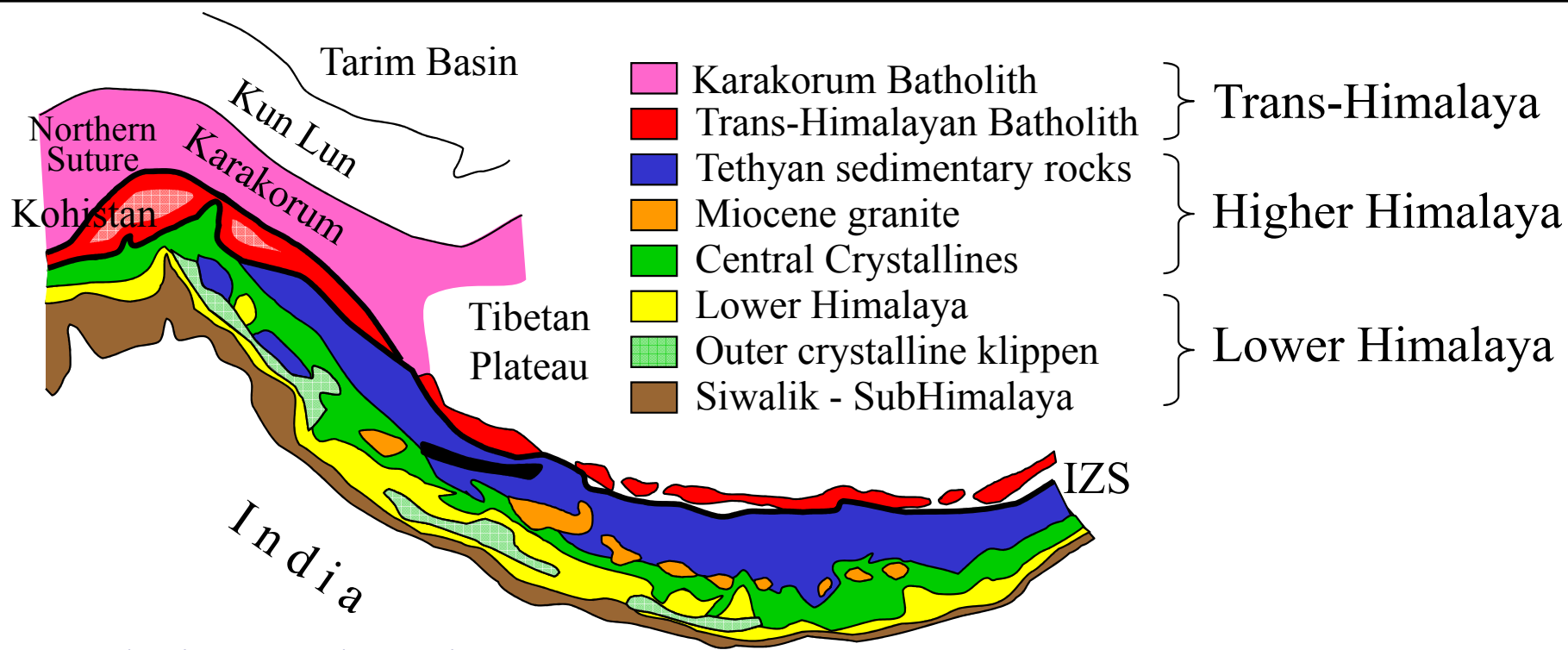


- Karakorum Range
  - between Kun Lun and Northern Suture
  - remains of an Andean margin, thrust to south over arc remnants
- Northern Suture
  - belt of mélangé, mafic and ultramafic rocks, slate

# Himalaya: a transect

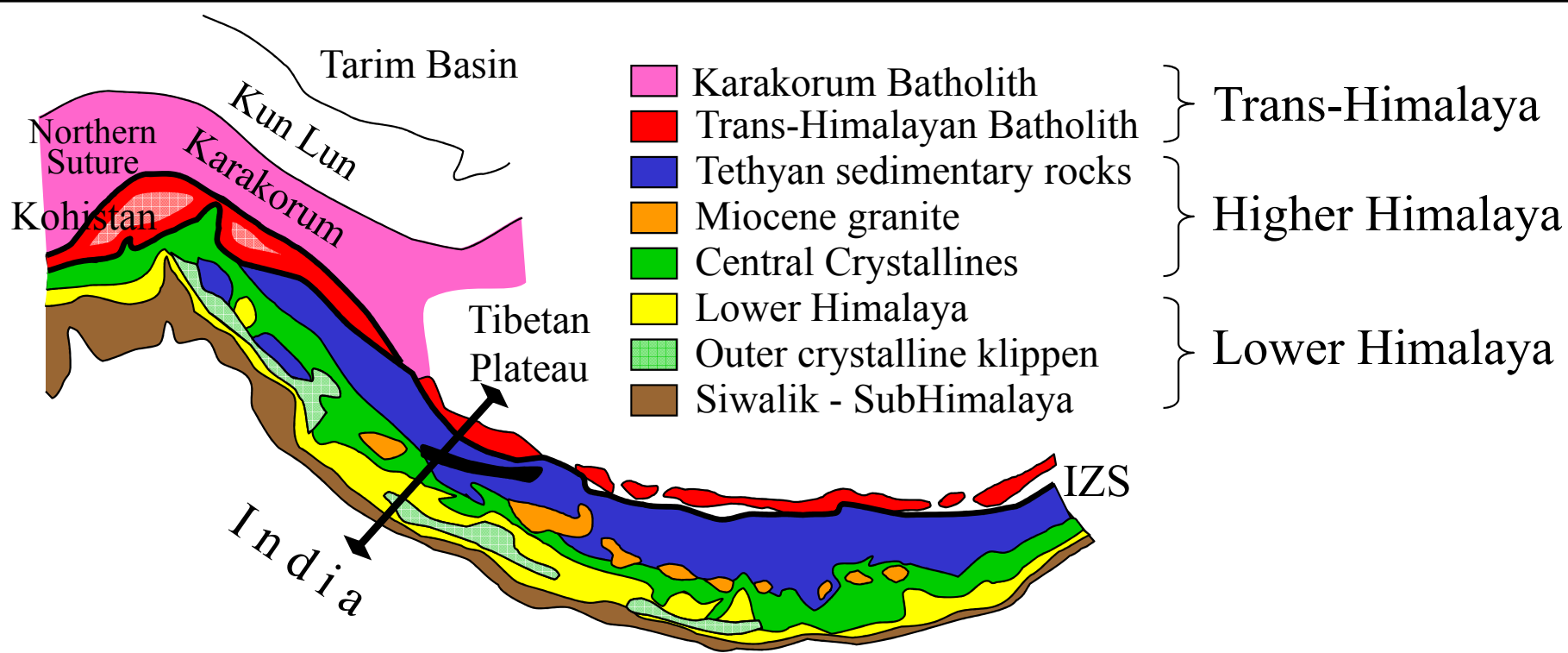


- Trans-Himalaya
  - plutonic belt, comprising Andean batholiths
  - diverges in the west around the Ladakh-Kohistan arc
  - Cretaceous Kangdese (Gandîse) granite - subduction of Tethyan ocean floor
- Indus-Zangbo (Yarlung-Tsangpo) suture zone
  - narrow discontinuous belt of ophiolite, blueschist facies rocks at the ends; forearc rocks in the central Himalaya



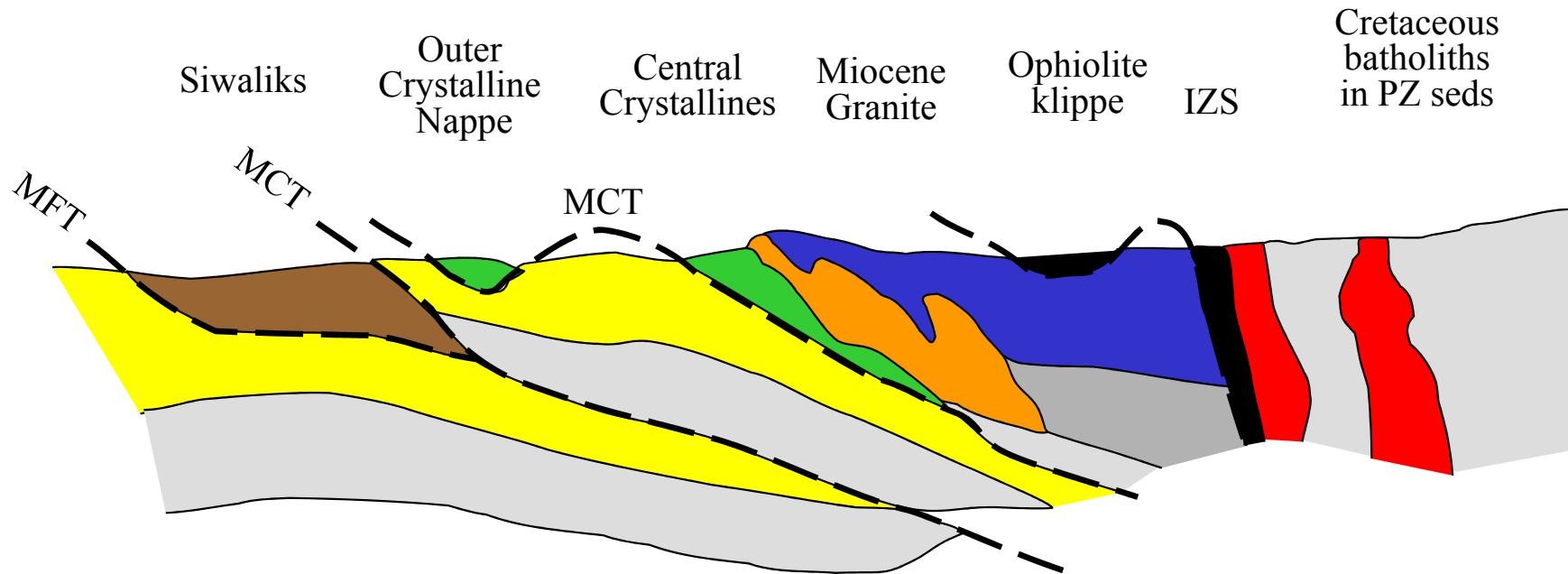
- Higher Himalaya

- **Central Crystalline Belt** - core zone amphibolite facies gneiss
- Indian in origin, basement + cover
- **Tethys Himalaya** - stack of south-vergent thrust sheets
- complete 10 km thick Cambrian to Eocene sequence
- sedimentary rocks on northern margin of protoIndia
- **allochthonous ophiolitic rocks** - derived from Indus-Zangbo suture zone, preserved as klippen. Immature ophiolites.
- **granite plutons** - very high  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios
- derived from melting of crust.



- Lower Himalaya
  - below Main Central Thrust, above Main Boundary Thrust
  - Proterozoic to Lower Paleozoic Indian miogeoclinal rocks
  - thrust south on to India
  - inverted isograds (hot thrusts)
- Sub-Himalaya
  - 7 km thick unmetamorphosed molasse (Siwalik Molasse)
  - Oligocene to Holocene deformation (offset river terraces)
  - carried on Main Frontal Thrust
- Ganga (Indogangetic) Plain - Indus-Ganges River, undeformed.

# Himalaya: cross-section



- Higher Himalaya
  - Central Crystalline Belt - core zone: Indian basement & cover
  - Tethys Himalaya - thrust stack, northern Indian margin
  - allochthonous ophiolitic rocks - Jungbwa ophiolite
  - granite plutons - Miocene crustal melting
- Lower Himalaya - lower parts of Indian miogeocline
- Sub-Himalaya - unmetamorphosed molasse (Siwalik Molasse)
- Ganga (Indogangetic) Plain

# Himalaya

- the Himalaya provides a good look at c-c collisions
- world's youngest and highest mountain range
- world's fastest uplift rate (10 mm/a at Nanga Parbat)
- world's maximum relative relief (>6,000 m, Indus Valley)
- world's largest high plateau (Tibet, >5,000 m)
- (nice feature!) produced from almost orthogonal collision
- tectonic development in brief:
  - Late Triassic: North Tibet collided with Eurasia, Paleotethys Ocean closed, Kun Lun Range initiated
  - Jurassic to Early Tertiary: several oceans (or arms of oceans) opened and closed; terranes were moved across Tethys to the north
  - Eocene: Neotethys Ocean closing, India collided with Eurasia
  - Eocene to Holocene: India still pushing north into Asia.

