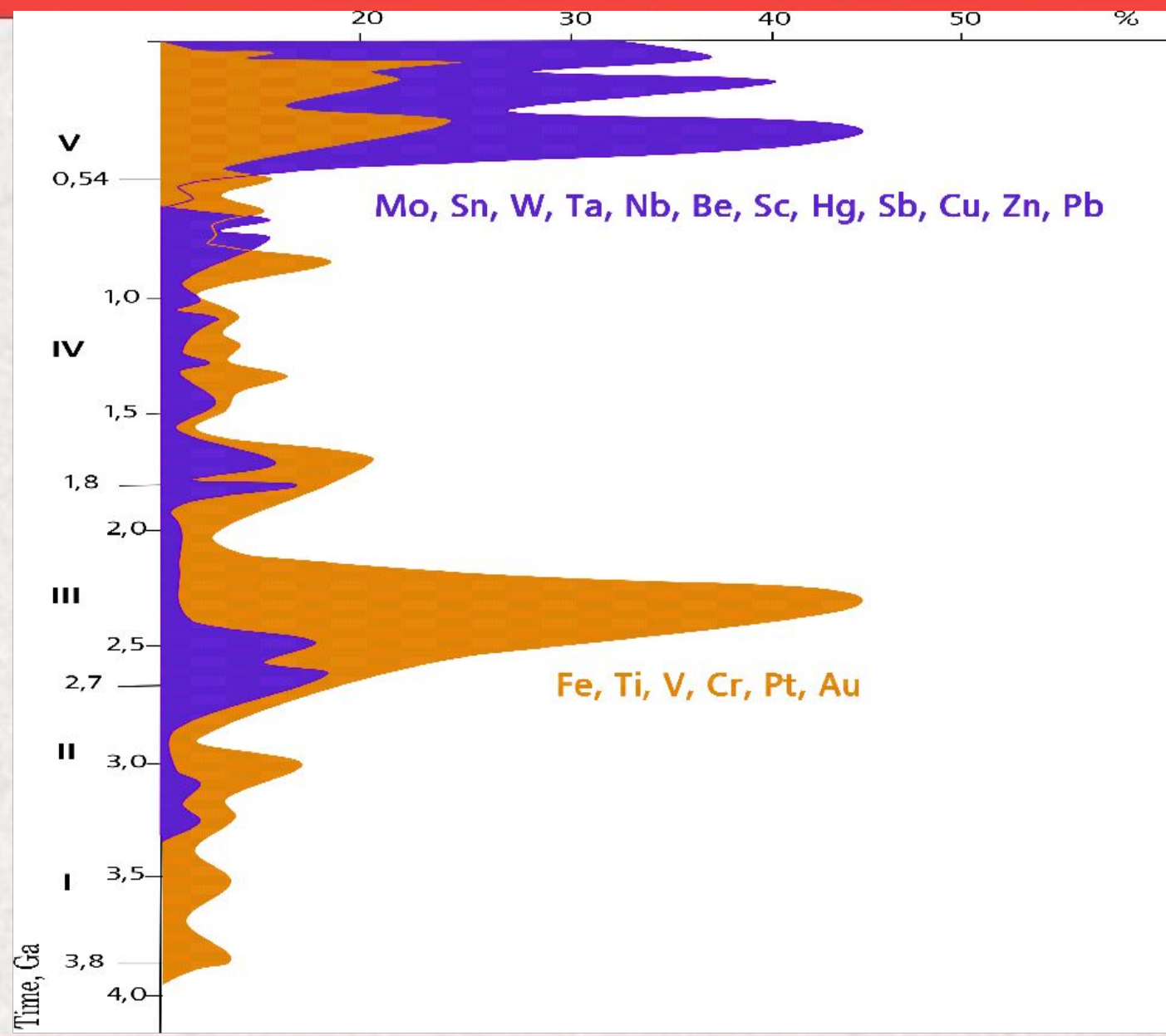


**Тектоно-
металлогеническая модель
Земной коры**

- **Металлогения** - одна из областей геологии, в которой процессы и результаты самоорганизации геологической среды проявляются убедительно и наглядно.
- Применение идей и принципов синергетики даёт не только теоретический, но и практический эффект. Это связано с особенностями металлогенических процессов и систем.

- В общем виде перераспределение элементов в геологической среде происходит по одной схеме: **переход элемента в подвижное состояние (область мобилизации V_1) \rightarrow перемещение \rightarrow переход элемента в неподвижное состояние (область отложения V_2).**
- Эту систему можно охарактеризовать набором перераспределяемых элементов (E_j), объемами зон мобилизации и отложения, массой перераспределяемых
- элементов m_j , степенью выноса из зоны отложения α_j , где $\alpha_j = [m_{oj}(V_1) - m_j] / m_{oj}(V_1)$
- $2\beta_j = [m_j + m_{oj}(V_2)] / m_{oj}(V_2)$, где m_j - начальная масса элемента j в V_1 , $m_{oj}(V_1)$ - уровнем накопления элементов в зоне отложения коэффициентом рудоносности, показывающим долю от m_j , концентрированную в виде рудных скоплений. Считается, что в среднем коэффициент рудоносности 0.1.



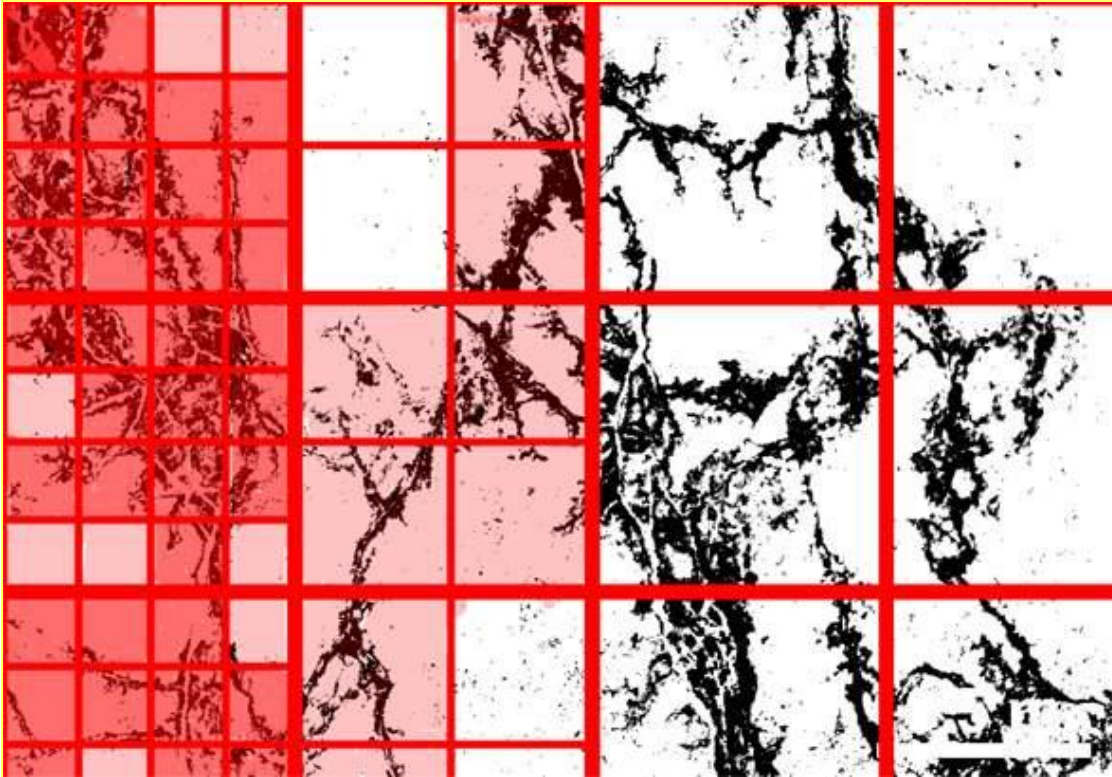
ЕМЛН.

Полигональная делимость континентов



«Поля и межи» О.Ю.Кратца и В.А.Дедеева формируют искаженно-шестиугольные ячейки фундамента Русской платформы

Напомним, как определяется фрактальная размерность



Изображение
плотно
покрывается
клеточками все
меньшего и
меньшего размера
(вплоть до 1
пикселя) и
подсчитывается
число «непустых»
клеточек.

Если это число изменяется по степенному закону $N \sim r^{-D}$,
то наклон билогарифмической зависимости $\log N(r) = f(r)$
и покажет фрактальную размерность кластера.

Совершенно очевидно, что перколяционная кластеризация литосферы, сохраняя структуру заполняемого собой тектонического пространства, постепенно укрупняла ячейки.

Стало быть, связная структура становилась более разреженной.

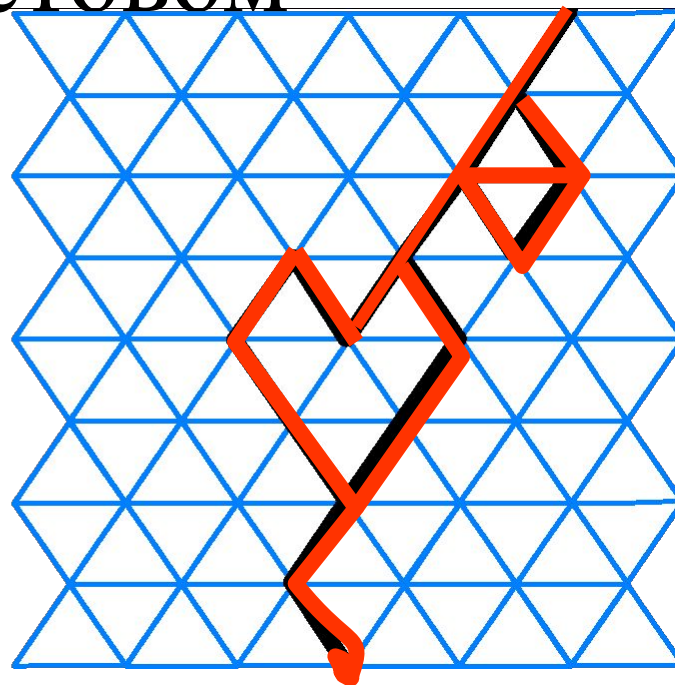
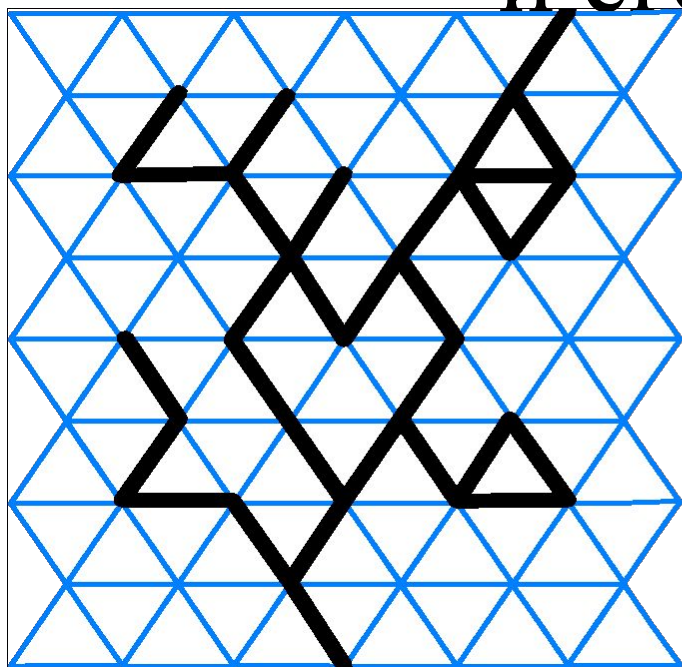
Это и понятно: этой структуре незачем формировать новые сети перколяции при наличии уже развитой.

Перколяционный кластер архейской литосферы входил в более молодую перколяционную структуру, в которой многие ранние элементы отмирали.

Остовы же нового перколяционного кластера очерчивали все более крупные ячейки

Соотношение между перколяционным кластером (слева)

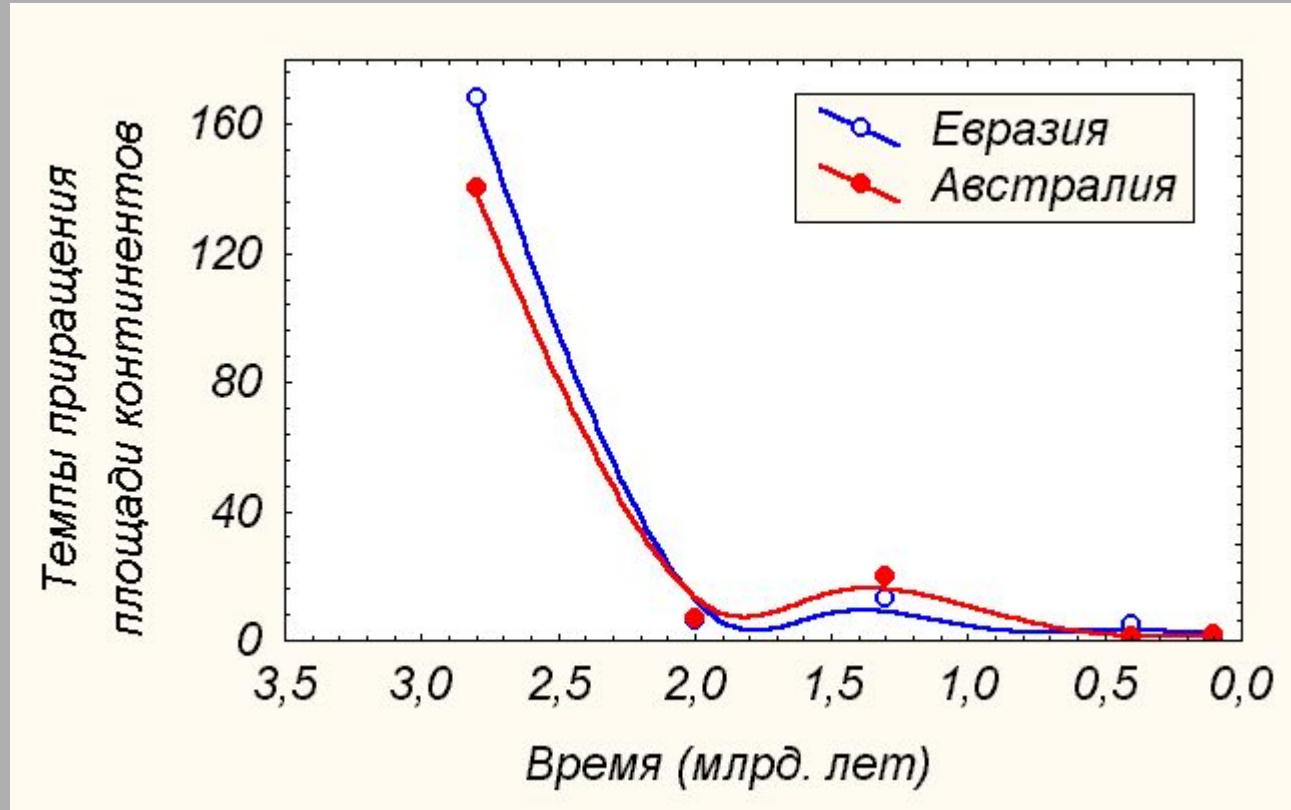
и его остовом



*Остов кластера, отвечающий за
связность, контролирует и
землетрясения, и вещественную
неоднородность*

Во все времена перколяционная структура литосферы обеспечивала ее структурно-вещественное

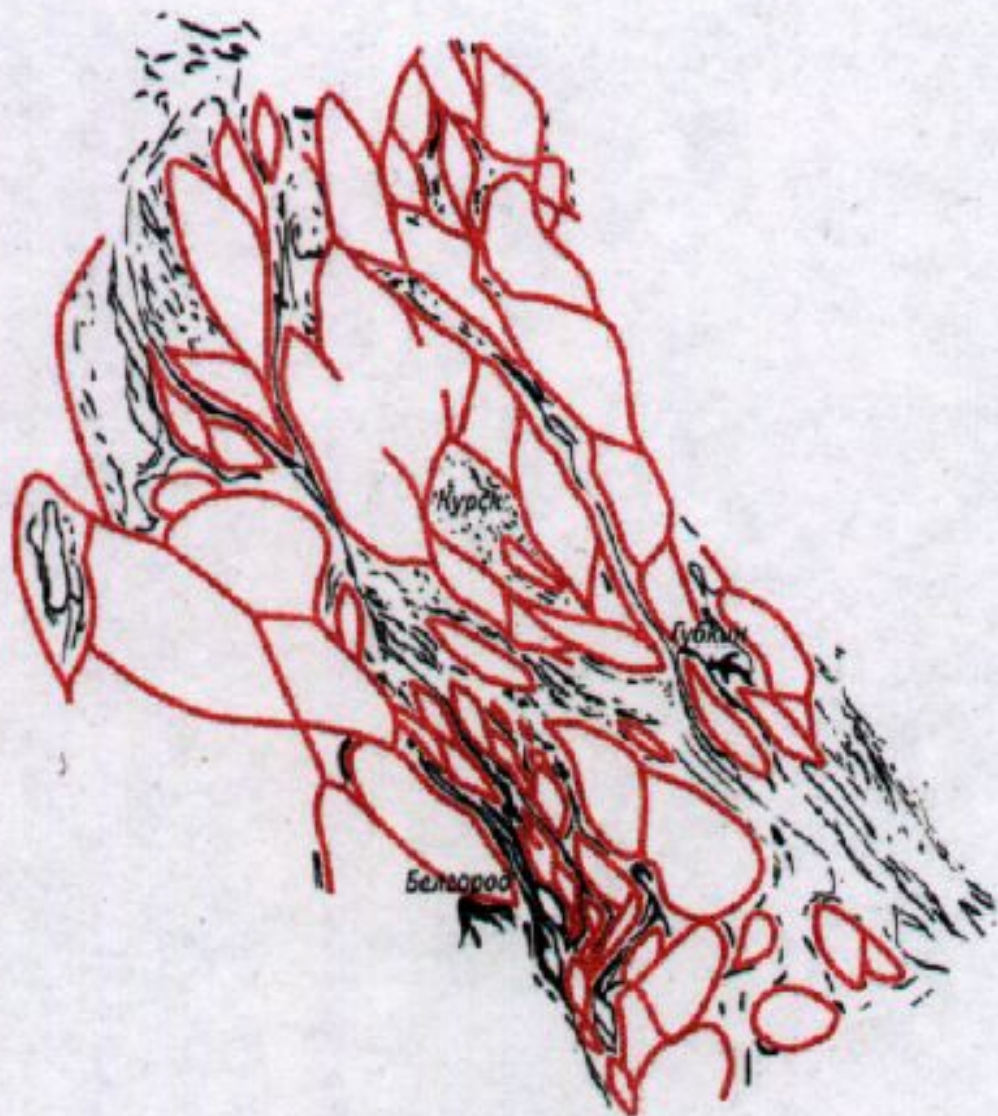
разнообразие, формирование сиалической коры, рудных поясов и провинций,



**Железистые кварциты - это
концентрированная геология
докембрия.**

**Их пояса фиксируют
перколяционную сеть эндогенной
энергетической разгрузки.**

- В самом деле, архейские тектонические комплексы - продукт кооперативной динамики. Они не что иное, как своеобразный **аналог структур Бенара**. А это отменяет традиционное понимание процессов структурирования по принципу пассивного накопления деформаций, также как и основанный на нем, транспортный эффект образования железорудных м-ний.
- Основным структурообразующим мотивом в районах развития железистых кварцитов является сочетание овальных блоков тоналитов с полосчатыми железорудными комплексами.



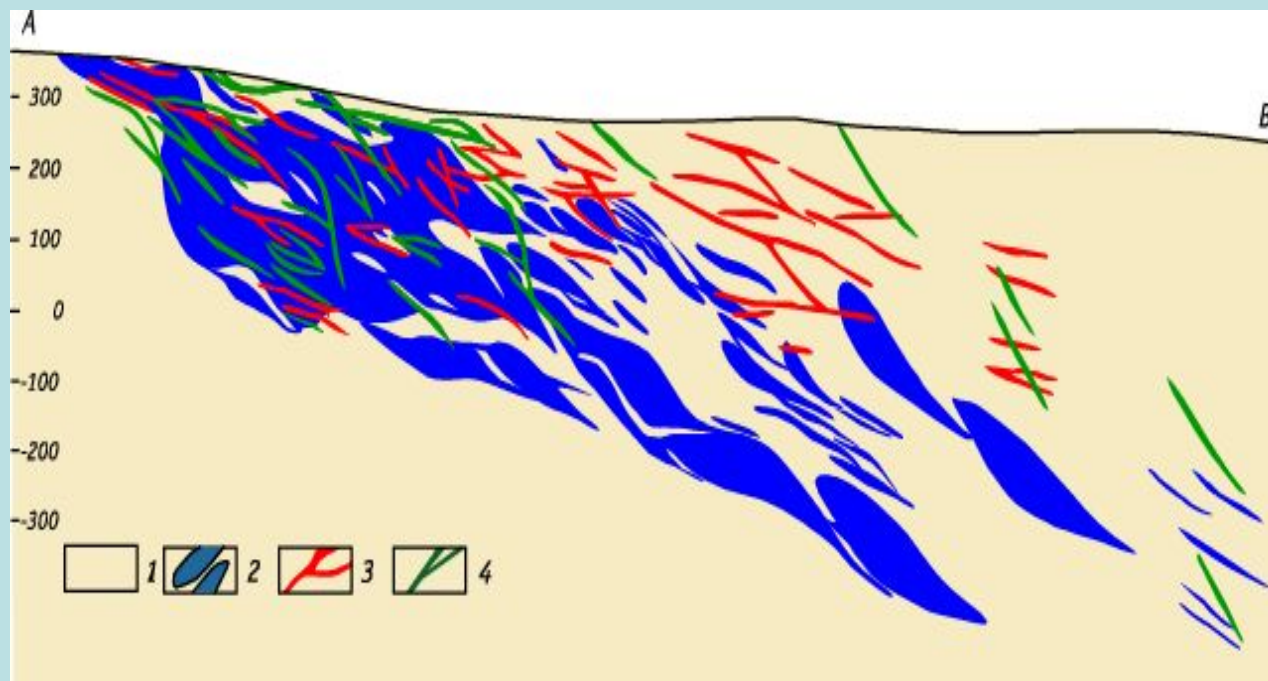
Линзовый мотив в организации архейских железорудных комплексов КМА и блока Йиллгарн, Зап. Австралия (по Gole, 1981). Розовое – контуры тоналитовых линз, черное – месторождения и рудопроявления железистых кварцитов.

П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк, 2001

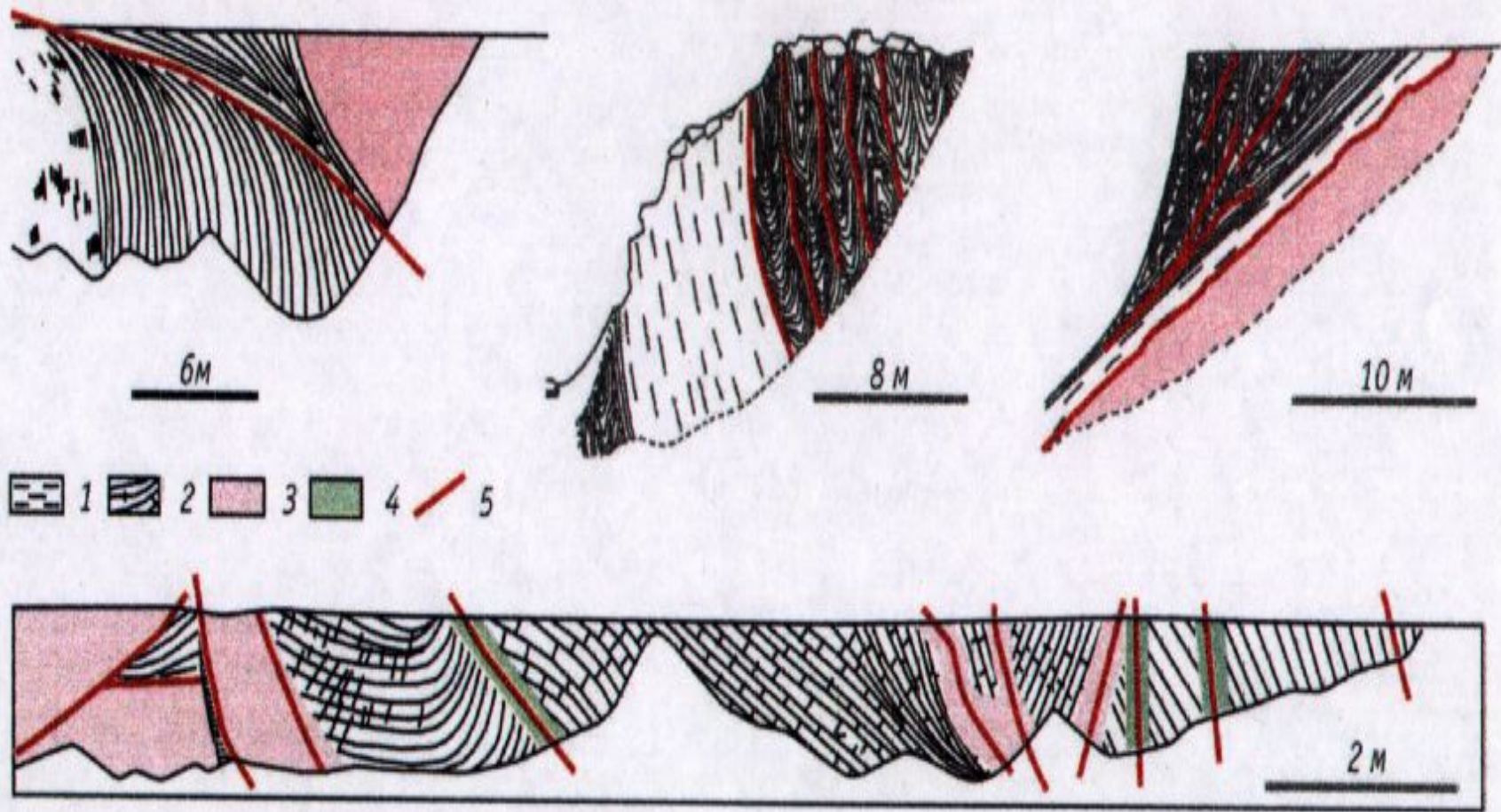
- **Анализируя фактические данные, можно прийти к выводу, что самая древняя перколяционная зона архей-кайнозой имеет прямое отношение к динамике железорудного процесса.**
- **Железорудные пояса – продукт дифференциации протовещества Земли, протекавшего под действием эндогенного энергопотока.** Реализовался он по синергетическому сценарию. По мере формирования новых структурных этажей, **каждая очередная железорудная формация накладывается на другую**

- Действительно, при сопоставлении обнаруживается, что все железорудные м-ния **Балтийского щита** располагаются вдоль **трансформных разломов древней перколяционной сети**.
- При этом в строении м-ний бросается в глаза **разномасштабное себеподобие, фрактальность**. Так, **Кольско-Норвежский мегаблок имеет форму падающей капли**. Он включает в себя **12 м-ний железистых кварцитов, того же каплевидного очертания**.

- В плане линзы железистых кварцитов всегда криволинейны и группируются в компактные зоны субсогластного простирания.
- Рудный район, поле, м-ние, отдельная залежь или её фрагмент образуют подобный структурный линзовидный узор всё более меньшего размера, зависящего только от масштаба исследования. Основной структурный рисунок рудных проявлений не усложняют и не нарушают ортогональные дизъюнктивы, что не соответствует существующим представлениям о секции

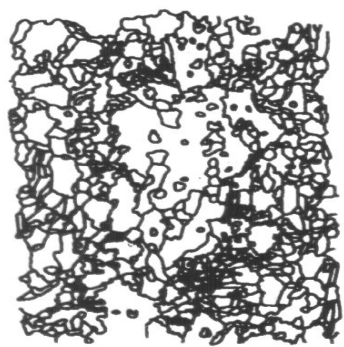
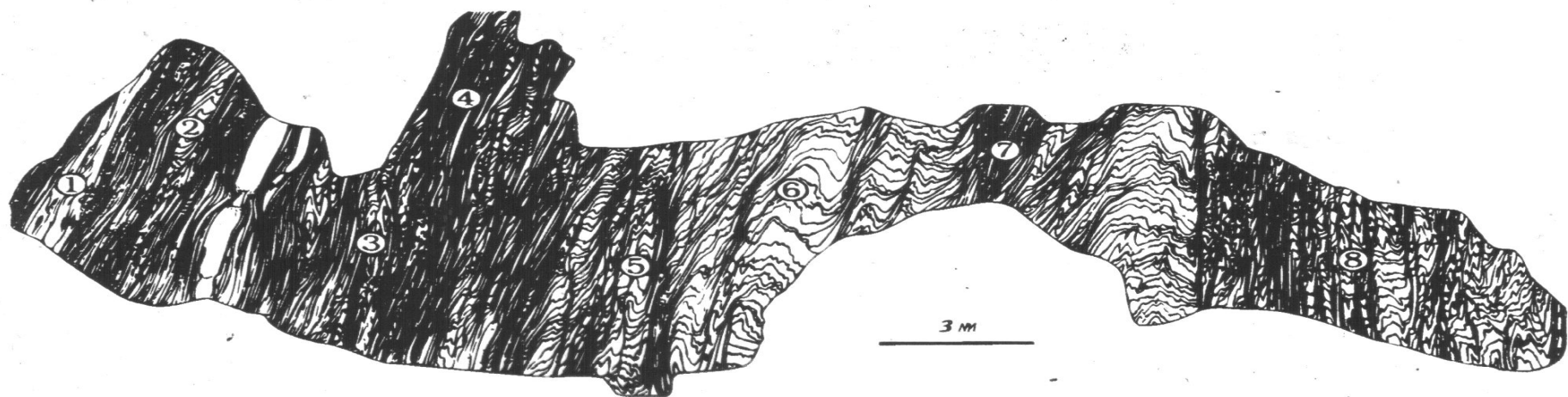


**Кировогорское месторождение
железистых кварцитов**

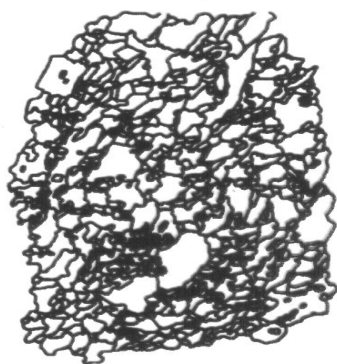


Примеры активной внутрирудной микроблоковой динамики в рудных телах Кировогорского месторождения: 1 - глиноземистые гнейсы; 2 - железистые кварциты; 3 - керамические пегматиты; 4 - долериты; 5 - дизъюнктивы.

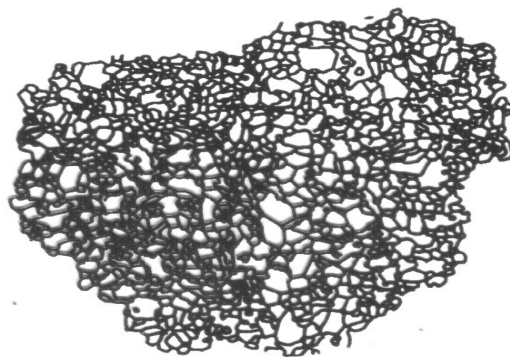
П. М. Горяинов, Г. Ю. Иванюк, 2001



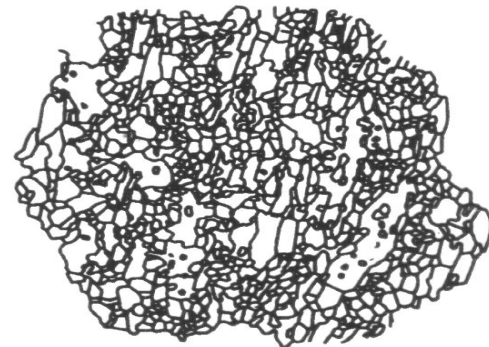
1



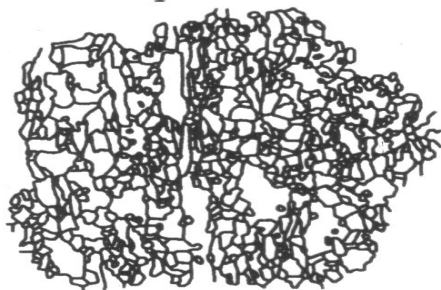
2



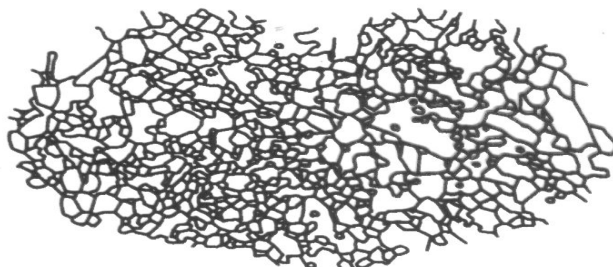
3



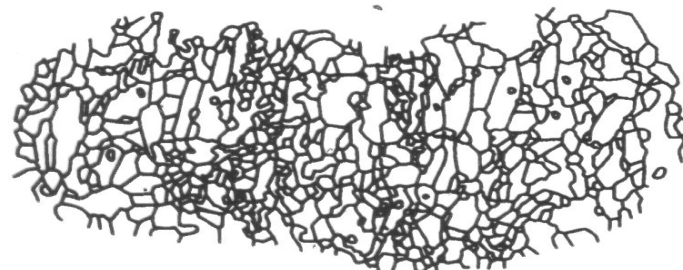
4



5



6



8

Рис. 3.43. Структуры межзерновых границ железистых кварцитов Печегубского месторождения. 1-8 - номера образцов.

- Синергетический подход в геологическом прогнозе касается не только железорудных м-ний. Общность принципов самоорганизации позволяет распространить его и на металлогению др. эл-тов.
- Практически то же самое можно сказать о формировании **бескорневых золоторудных м-ний**. Высвобождение самородного золота из **вулканогенно-осадочных пород** по той же перколяционной сети и режиму с обострением.
- **Нелинейная геология** лишь идет дальше, вводя достижения новейшей физики и математики в геологическое познание.

- **Последовательный детальный анализ** главных элементов строения и состава архейско-протерозойских комплексов выявил другую их **фундаментальную особенность** – **соответствие структуры и состава** слагающих образований. В строении продуктивной толщи на различных масштабных уровнях систематически повторяется **одна и та же зональность**.
- **Вокруг каждой линзы железистых кварцитов последовательно выделяют:**
 - 1. лептиты, 2. биотитовые гнейсы,**
 - 3. роговообманковые гнейсы,**

- При этом чем мельче тела кварцитов, тем больше меланократовых пород и меньше мощность рудоносной толщи.
- Все линзы имеют форму падающей капли; их утолщенная часть в разрезе ориентирована вверх по восстанию.
- С глубиной размер линз уменьшается и гломера –

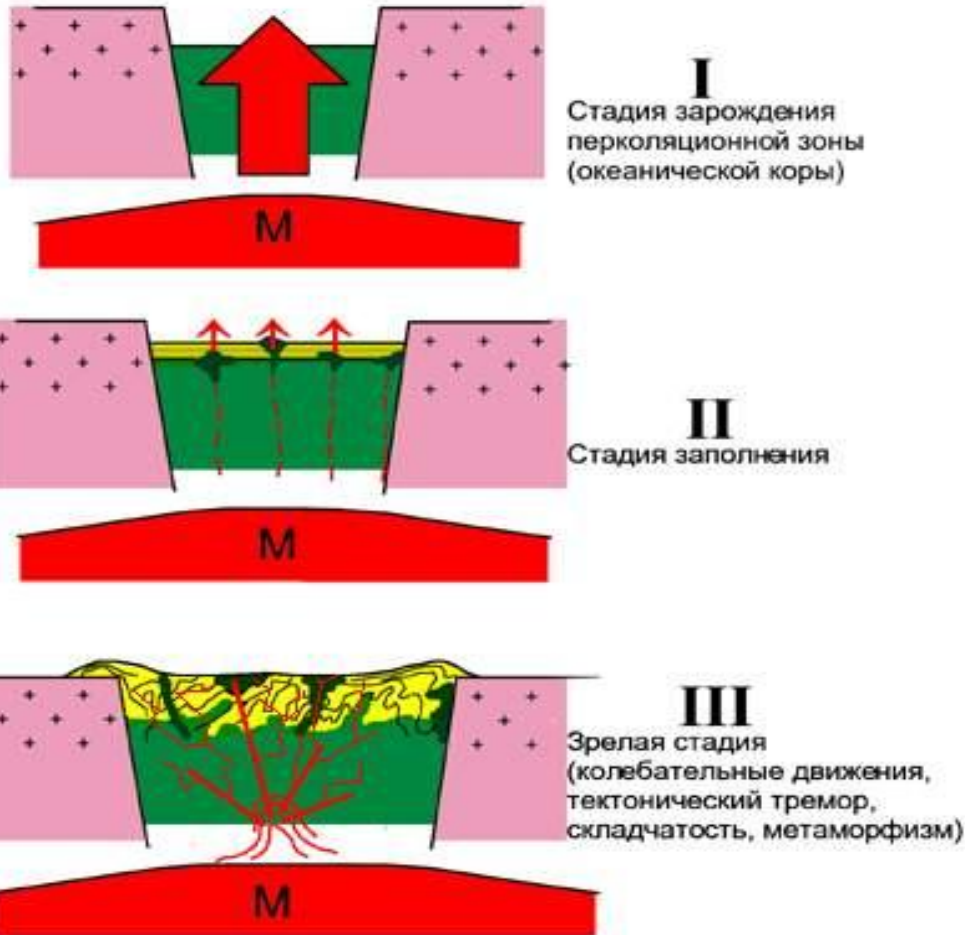
- **Образование описанного ансамбля связано с эндогенным энергопоток**
, который:
- **1. по планетарной перколяционной сети достигал высоких горизонтов;**
- **2. формировал метаморфогенный облик пород;**
- **3. по мере ослабления образовывал по более мелкоячейстой сети – дайки и жилы.**

Система рифтов Земли - остов перколяционной структуры литосферы

Рифты, островные дуги, орогенные пояса – это не генетически разные части тектоносферы. Иерархичность, фрактальный характер всей этой сети говорит о том, что мы имеем дело с подсистемой.

Иными словами - это единая геодинамическая конструкция : литосферный кластер эндогенной перколяции

Переход стадии от рифта («юная» океаническая кора) через стадию островной дуги к орогену («дряхлая», переходная к континентальной, кора) - «цикл Вильсона» в свете перколяционной геодинамики.



Классический цикл Вильсона предусматривает зарождение океанического ложа на первой стадии, его заполнение осадками на второй и замыкание («сжатие») на третьей.

Перколяционная модель предусматривает развитие всех трех стадий на фоне глобального расширения и процессов «зарастания» перколяционного канала осадками и магматитами, что в конце концов вызывает в нем возникновение ударных тектонических возмущений (солитонные выбросы, землетрясения, и, наконец, складчатость, метаморфизм)

Ведущие металлогенисты

- Ю. А. Билибин, В. И. Смирнов, П. Рутье, А. Митчелл, М. Гарсон, Г. Тишендорф, П. Лаффит, П. Лазничка, А. Д. Щеглов, Л. Бауман, Г. А. Твалчрелидзе, В. Н. Козеренко, Р. Х. Силитое и другие.
- **Варианты металлогенических построений:** блоковый, линеаментный, стереометаллогенический, нелинейный и ротационный.

Линеаментная металлогения

- Ведущая роль принадлежит глубинным разломам (И.Н. Томсон, М.А. Фаворская, Я. Кутина, Е. Дрисколь и др.)

Типы структурного каркаса металлогенических карт. *По И.Н. Томсону и др.*

- Масштаб
- Основные типы рудоносных площадей
- Структурные элементы
- Линейные
- изометричные
-
- 1 : 5000000,
- 1 : 2000000
- **Металлогенические провинции и пояса**
- **Системы линеаментов (ширина 100-200 км, длина тысячи километров)**
- **Глобальные мезаконцентрические структуры**
-
- 1 : 1000000,
- 1 : 500000
- **Металлогенические зоны**
- **Зоны линеаментов (ширина 10-20км, длина сотни километров)**
- **Мега- и мезаконцентрические структуры**
-
- 1 : 200000,
- 1 : 50000
- **Рудные районы и рудные узлы**
- **Элементарные линеаменты (ширина 5 км, длина десятки километров)**
- **Секториальные блоки сводов, очаговые структуры, узлы пересечения линеаментов**

Стереометаллогения

- Глубины залегания геофизических границ – Конрада и Мохоровичича. Л.Н. Овчинников. Для Урала он установил уровень расположения месторождений от поверхности до базальтового слоя для:
- хромитовых полей - **17,2 км**,
- титаномагнетитовых- **16,5 км**,
- колчеданных -**13,5** и т.д.

Нелинейная металлогения

- (А.Д. Щеглов и И.Н. Говоров)
- Обосновывается глубинный мантийный источник минерального вещества и условия формирования независимые от процессов, протекающих в земной коре.
- Это режимы: геосинклинальный, орогенный, активизационный и субдукционный.

Ротационная тектоника и металлогения.

- Ли Сыгуан разработал ротационный механизм деформаций, представленный винтообразной системой осей скалывающих и нормальный напряжений.
- Виды ротационных структур: 1) вихревые, 2) типа «S», 3) типа «эта» «I», 4) типа эpsilon ψ .

Поле напряжений

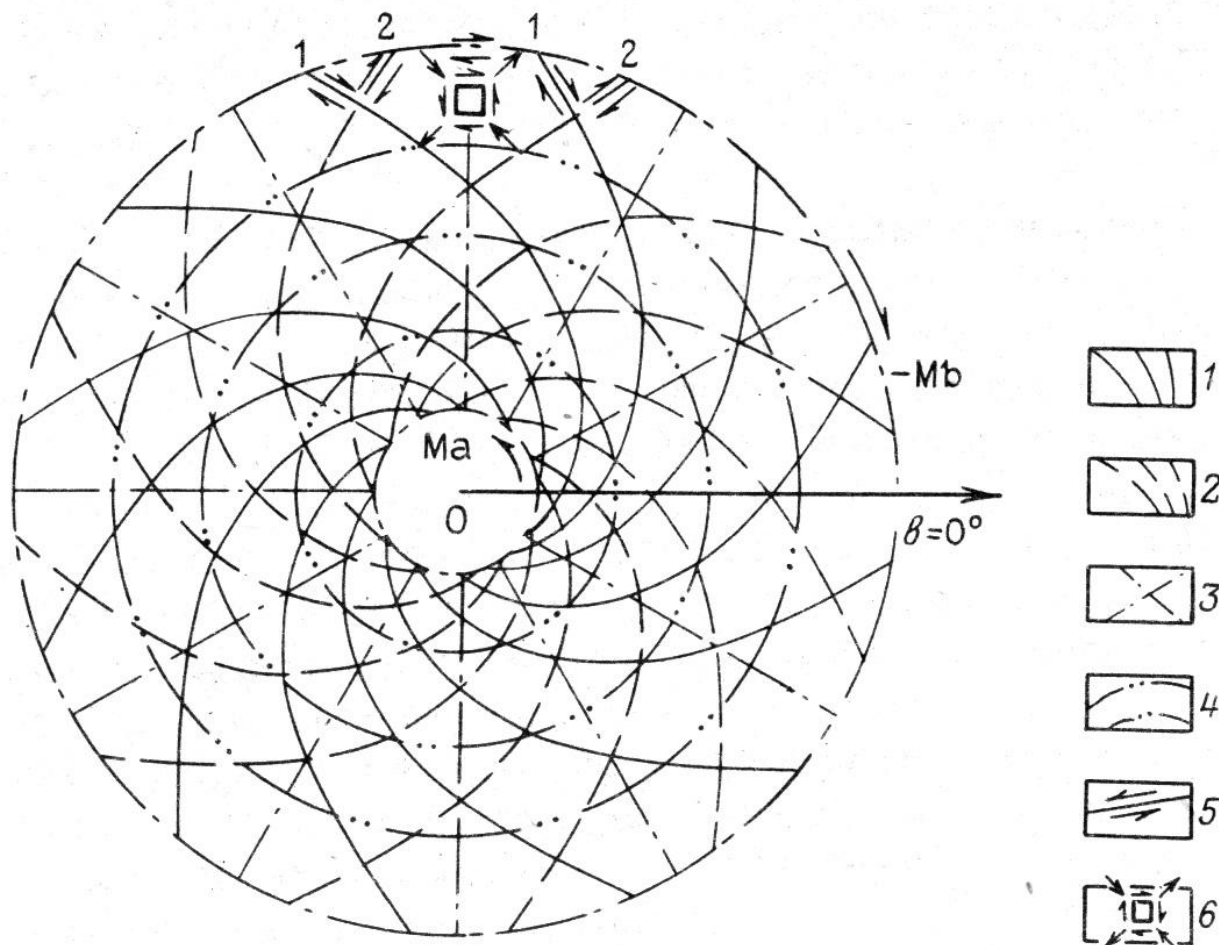


Рис. 5. Поле напряжений вихревой структуры. По Янь Эньдэ.

1–2 – главные нормальные напряжения: 1 – минимальные, 2 – максимальные;
3–4 – главные скалывающие напряжения: 3 – минимальные, 4 – максимальные,
5 – направление перемещений по разломам, 6 – характер перемещений частиц
в элементарном объеме

Рудное поле Шакси

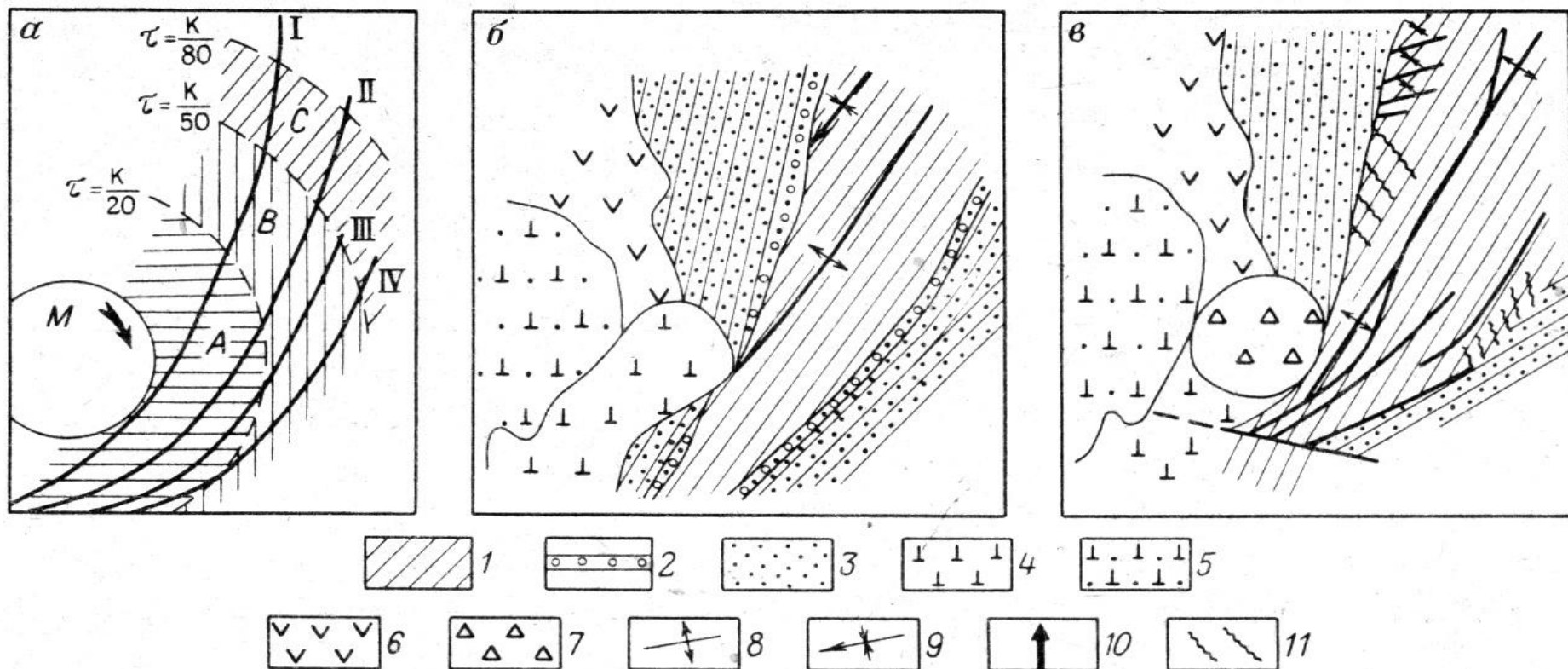


Рис. 6. Геология и механизм формирования медно-порфирового рудного поля Шакси [49].

а — тектонофизическая зональность; *б* — реконструированная структура для первого этапа; *в* — постротационная структура (второй этап): 1 — силурийские мелкозернистые песчаники; 2—3 — юрские породы: 2 — конгломераты, 3 — грубозернистые песчаники; 4—6 — постмеловые образования: 4 — диориты, 5 — субвулканические порфириты, 6 — лавы андезитового состава; 7 — брекчии взрыва; 8—9 — оси складок; 8 — антиклинальных, 9 — синклинальных; 10 — направление вращения; 11 — трещины отрыва

- Современное строение земной коры является результатом длительных эволюционных процессов развития Земли и её оболочек.
- Наблюдаемые ныне разномасштабные геологические структуры сложены гетерогенным агломератом минеральных комплексов, существенно различающимся в глобальных геотектонических ансамблях, слагающих различные территории земного шара.

- Земная кора состоит **из трех типов областей** с резко отличающимися уровнями энергии тектонических и металлогенических процессов:

- **Первый тип - Мировой океан.** Низкая магматическая дифференциация мантийного вещества, низкая эндогенная металлогеническая продуктивность. Молодой Mz-Kz возраст. Истощенная, лишенная аномальных концентраций рудных элементов мантия. Отсутствуют месторождения Sn, Mo, W, Hg, Sb, U, Pb, алмазов.

- **Второй тип.** Широко развиты тектоно-магматические процессы докембрия. Мантия была богата рудными элементами. Формировались сидерофильные мест-ния; пегматиты с мусковитом, Be, Cu-Ni руды с платиноидами; Cu, Pb, Zn.
- **Третий тип.** Масштабная дифференциация магматических формаций. Широкое развитие всех типов структур земной коры: архейских кратонов, эпикратонных впадин, P_{rt} подвижных поясов, областей протоактивизации, каледонид, герцинид, мезозоид, альпид, кайнозоид и максимально проявленная фанерозойская тектоно-магматическая активизация.

- К настоящему времени сложилась картина строения земной коры, когда литосферные плиты состоят из фрагментов, образовавшихся в различные периоды эволюции Земли. Назовем их **глобальными металлогеническими мегаблоками**. Подобный анализ впервые был выполнен В.Н. Козеренко, который предложил выделять в пределах континентальной земной коры **две категории** блоковых структур: **Глобальные мегаблоки (суперансамбли) и 2. Мегаблоки первого порядка.**

● **Условные обозначения**

● **Фрагменты Гондваны:** **(глобальные мегаблоки)**

1. Южно-Американский
2. Африканский;
3. Индостано-Мадагаскаро-
Западно-Австралийский;

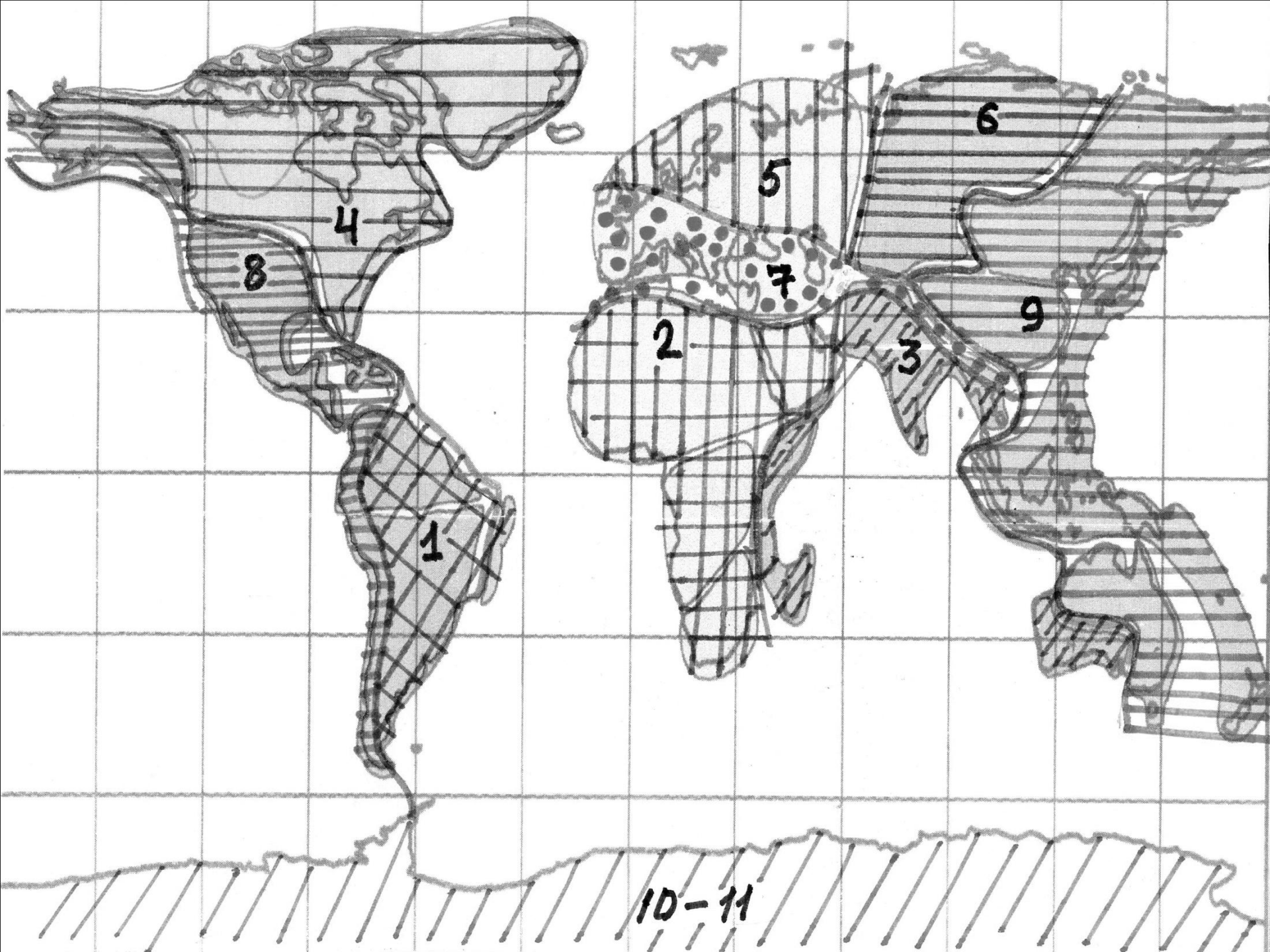
● **Фрагменты Лавразии:** **(Глобальные мегаблоки)**

4. Американо-Гренландский;
5. Европейский;
6. Сибирский;

Глобальные мобильные **металлогенические пояса:**

7. Средиземноморско-
-Центрально-Азиатский
(Тетис)
8. Андийско-Кордильерский
9. Азиатско-Австралийский
- 10-11. Северо-Антарктический
Центрально-Антарктический,
нерасчлененные.

**Глобальные мегаблоки и пояса разделяются
на мегаблоки первого
порядка , региональные
провинции и субпровинции**



10-11

- **Схема райнирования Восточноевропейско-Баренцевской мегапровинции на единицы трансрегионального (область, провинция) и регионального (мегазона, субпровинция) уровня (По Г.С. Гусеву, Н.В. Межеловскому и др., 2008)**
- **БЩ – область Балтийского щита. Мегазоны:** БЩ I – Кольско-Норвежская, БЩ II – Кольско-Карельская, БЩ III – Карельская, БЩ IV – Свекофенская, БЩ V – Старорусско-Южнофинляндская. **ВЕ – Восточно-Европейская провинция. Субпровинции:** ВЕ I – Нарва-Онежская, ВЕ II – Архангельско-Мезенская, ВЕ III – Московская, ВЕ IV – Белорусская, ВЕ V – Волго-Уральская, ВЕ VI – Воронежская, ВЕ VII – Прикаспийская, ВЕ VIII – Приднепровно-Донецкая, ВЕ IX – Южно-Предуральская, ВЕ X – Балтийская.
- **СВ – Свальбардская провинция. Субпровинции:** СВ I – Западно-Баренцевская, СВ II – Восточно-Баренцевская, СВ III – Франца-Иосифа, СВ IV – Приновоземельская.
- **КР – Карская провинция. Субпровинции:** КР I – Западно-Карская, КР II – Восточно-Карская.
- **ПБ – Печора-Баренцевоморская провинция. Субпровинции:** ПБ I – Тимано-Печорская, ПБ II – Канин-Колгуевская, ПБ III – Прикольская, ПБ IV – Печора-Коротайхинская.

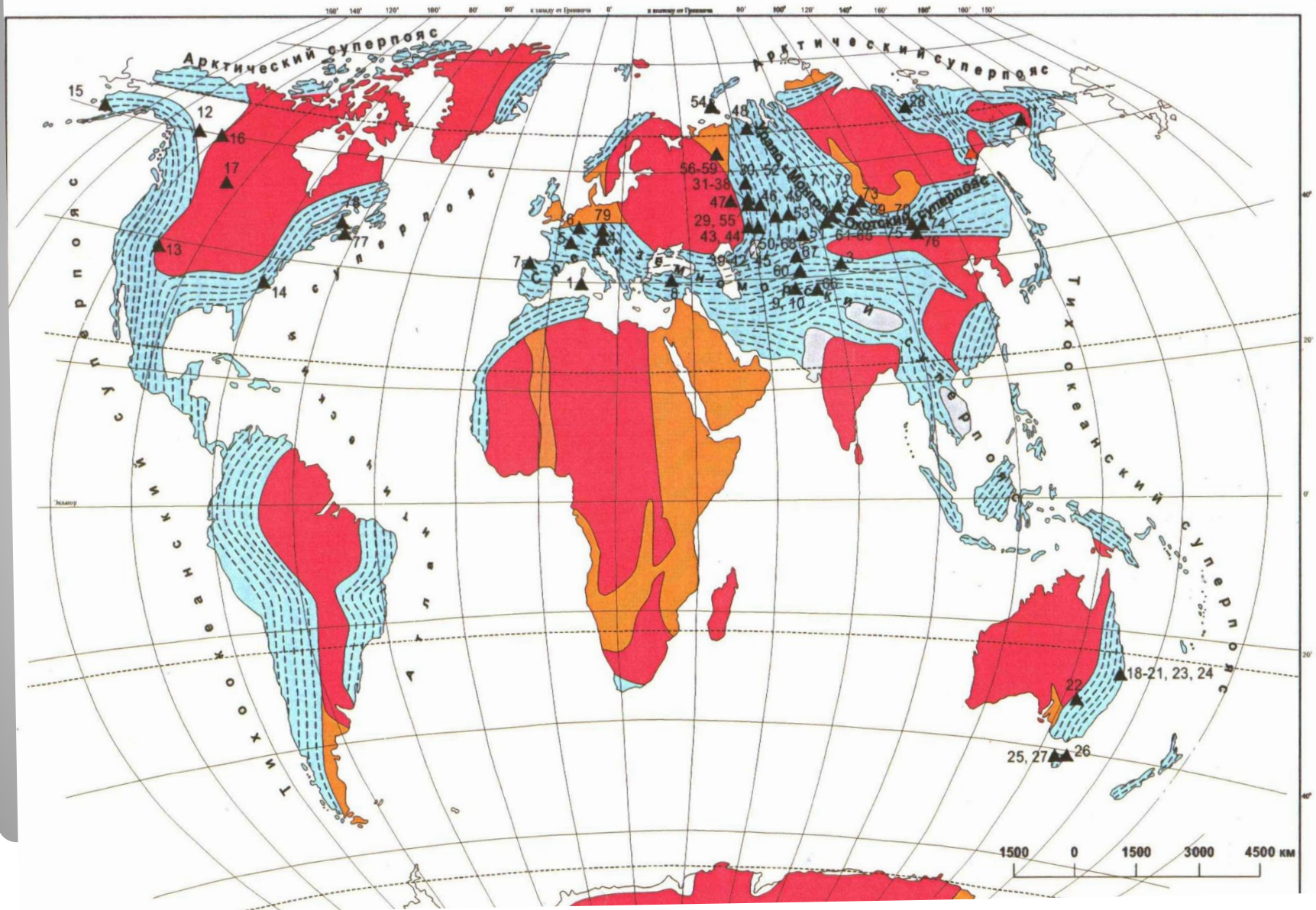
Планетарные мобильные металлогенические пояса:

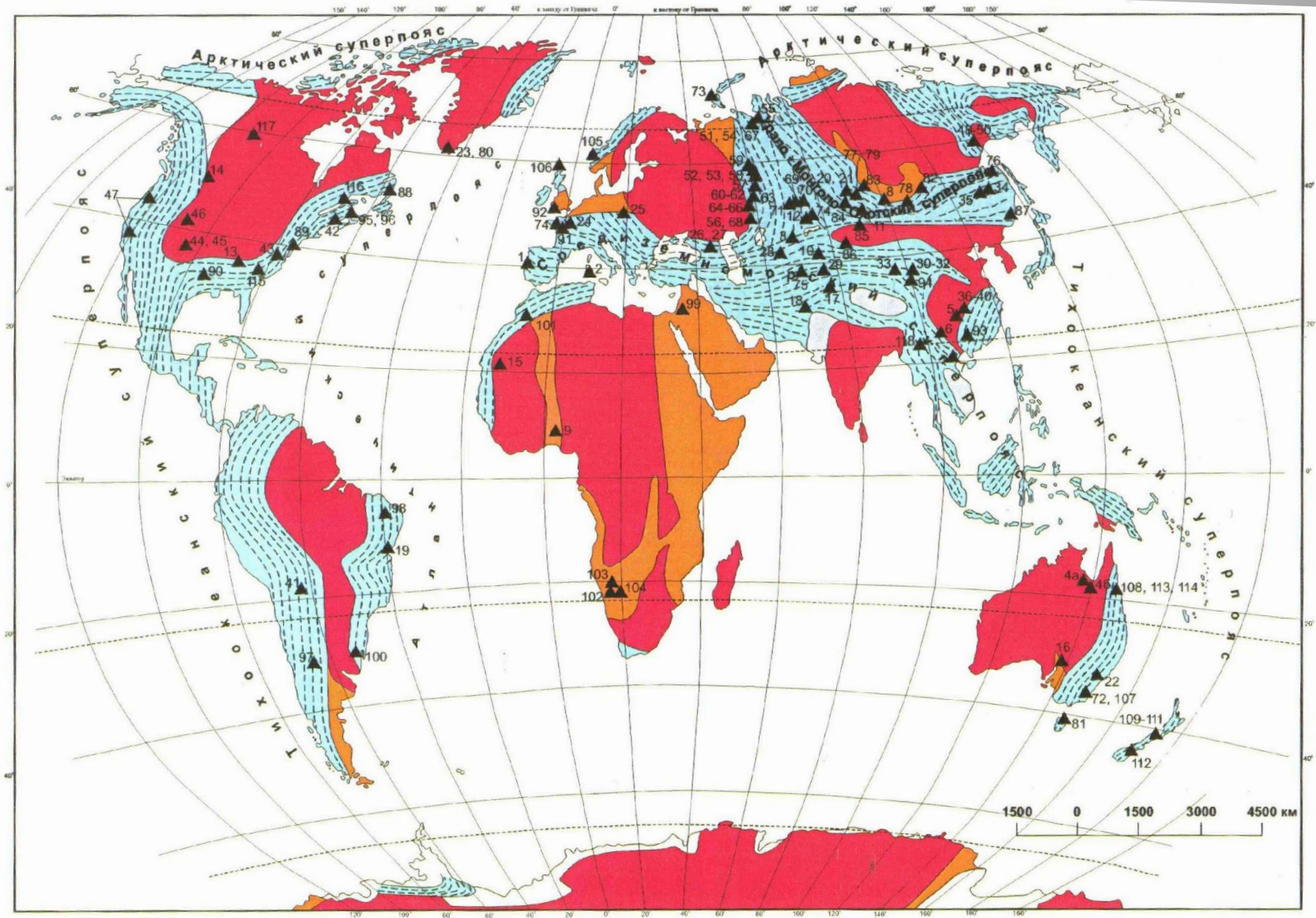
7. Средиземноморско-Центрально-Азиатский (Тетис) (48-48) и Урало-Монголо- Охотский (26-28-83)

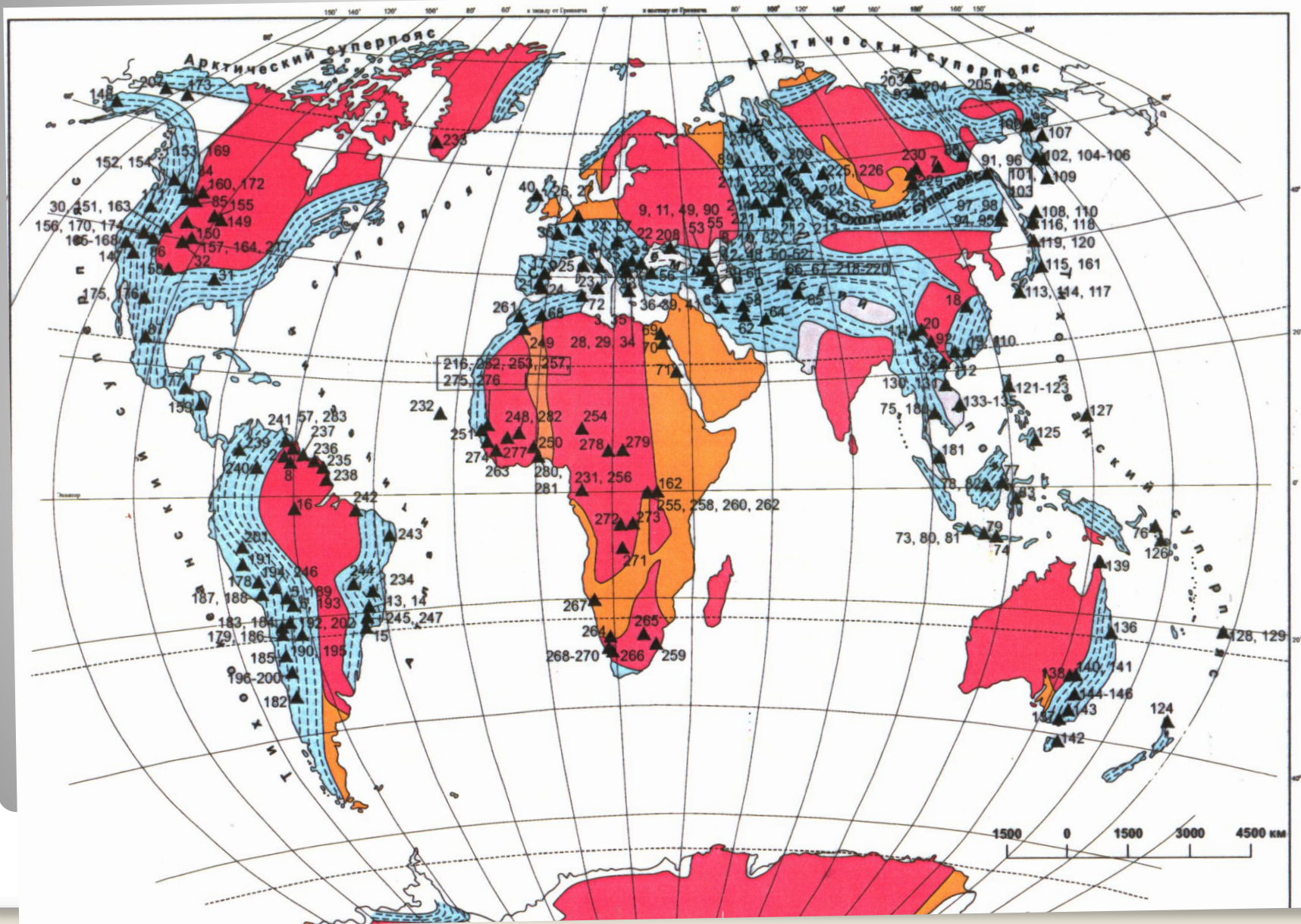
8. Андийско (55)-Кордильерский (73)

9. Азиатско-Австралийский (> 100)

10-11. Северо-Антарктический и Центрально- Антарктический, нерасчлененные.



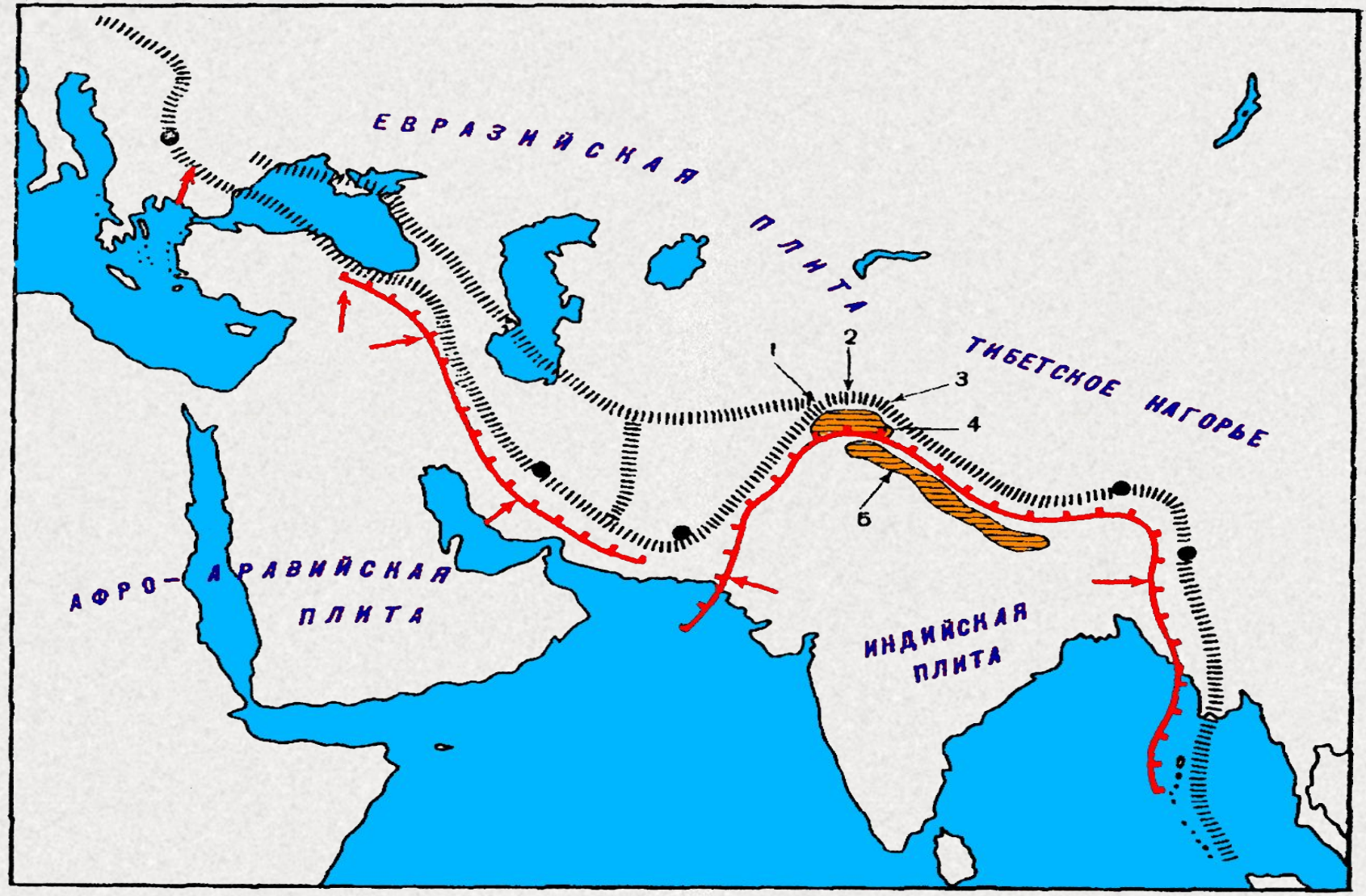




- 7. Средиземноморско-Центрально-Азиатский (Тетис)) и Урало-Монголо- Охотский Данный планетарный пояс – наиболее рудонасыщенный на нашей планете. Он зародился **в среднем палеозое** и активно развивался **до N-Q времени**. Выделяется два мегаэтапа: $Pz_2 - Mz_3$ и N-Q. С первым связано образование
- **Урало-Монголо- Охотского планетарного пояса**. В его пределах проявилась позднекаледонская, герцинская и раннекимерийская складчатость. Возникла основная масса рудных провинций Западной Европы, Урала и Северного Казахстана. В этих провинциях сформировалось около 140 уникальных месторождений и рудных полей.

Figure 1a

Тетис Евразийский металлогенический пояс



Тетис-Евразийский металлогенический пояс (заштрихованная полоса)

1 — Гиндукуш; 2 — Южный Памир; 3 — Каракорум; 4 — островная дуга Кохистан; 5 — Гиндукушская металлогеническая зона; заштрихованные кружки — медно-порфировые месторождения

- **Металлогенические зоны Средиземноморского мегапояса контролируются:**
- **1. Окраинно-морским типом литосферы**
- **2. Наличием срединных массивов Pz возраста**
- **3. Андезито-дацитовым магматизмом**
- **4. Микроплюмами, создающими микроконвективные рудоносные системы.**
- **5. Концентрическими и линейными типами рудоносных структур**

● **Металлогения океана**

Согласно фундаментальным
исследованиям

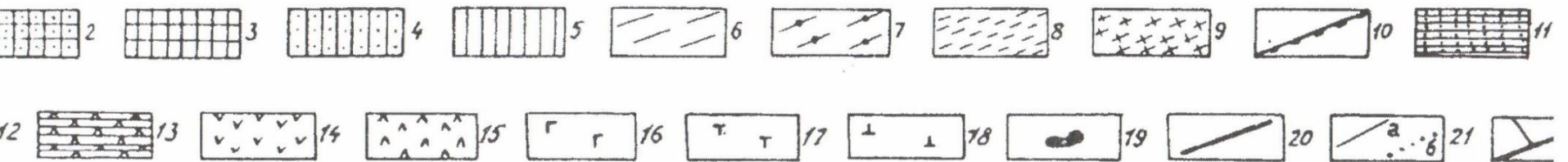
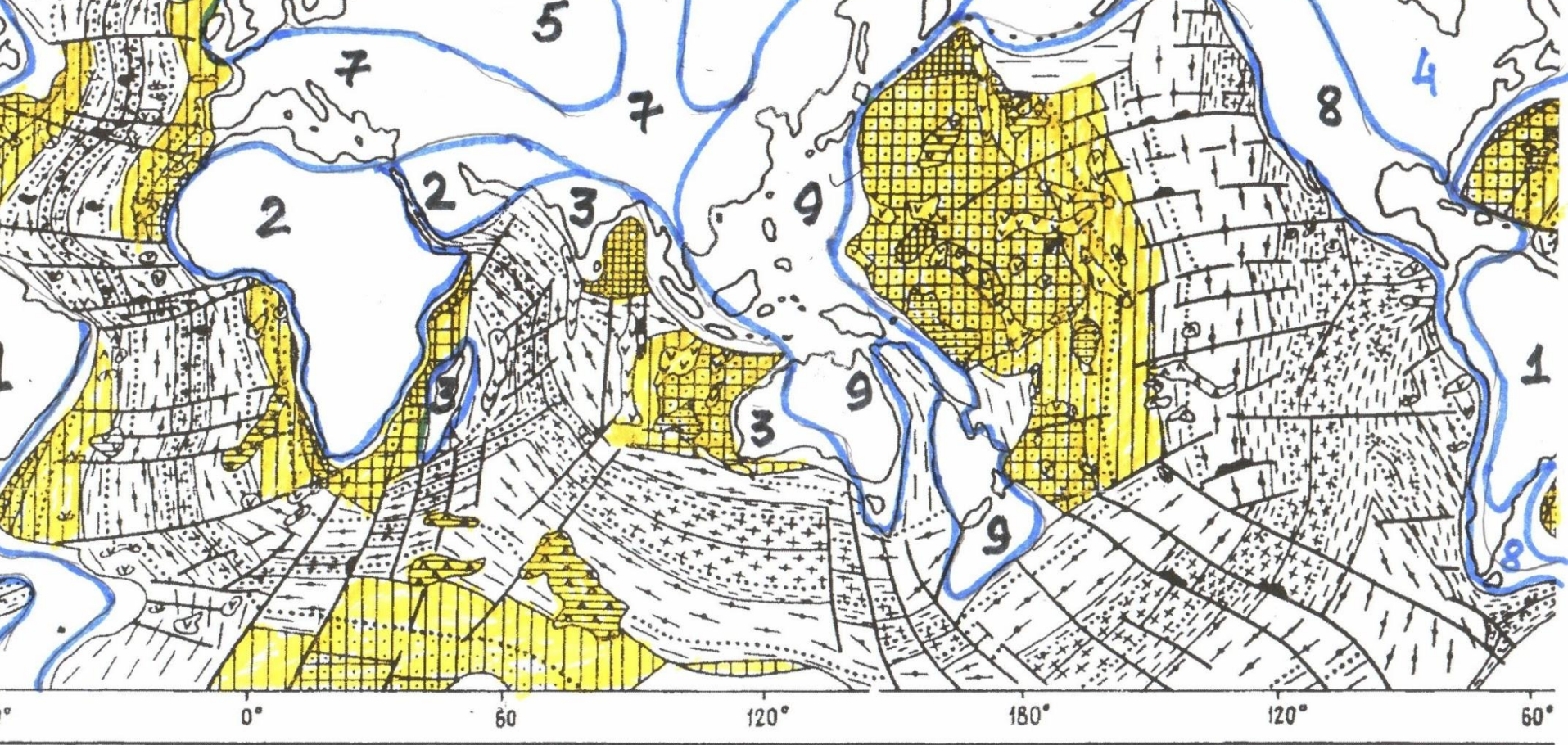
● **С.И. Андреев и И.С. Грамберга** установлено

● **1. >J₂ (170 млн.л.) –новый этап – возникла
Мировая**

● **Талассогенная (морская)система (базитовый
вулканно -плутонический импульс) –океанический
тип коры**

● **2. Три мегастадии:**

- **1. Мезозойская (50 млн.л.-ср.юра-ниж.мел)**
- **2. Меловая (40 млн.л.-апт-кампан)**
- **3. Кайнозойская (80 млн.л.-Pg-N-Q)**

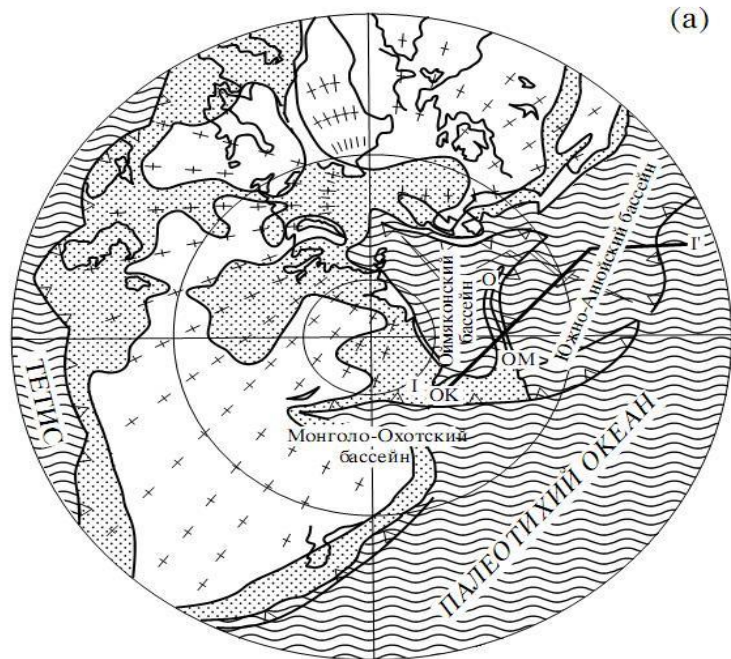
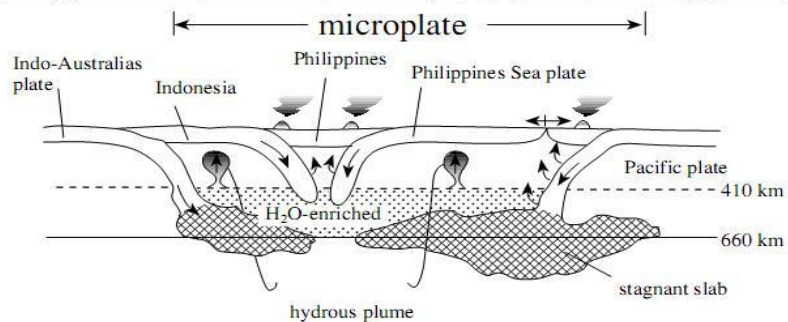
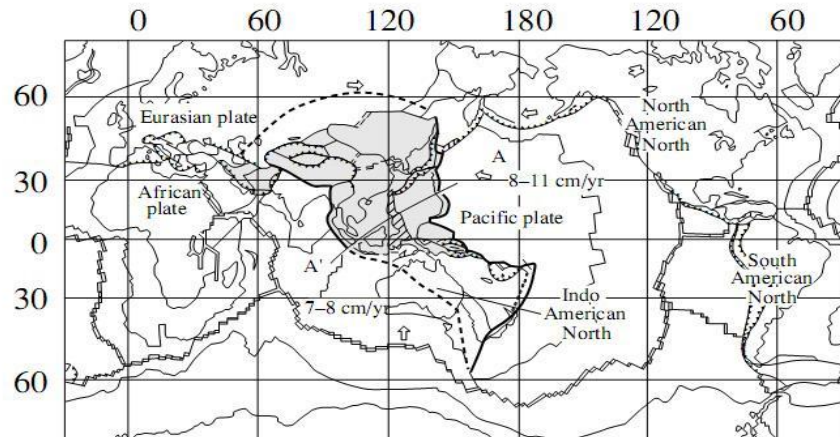


Подпись см. на след. стр.

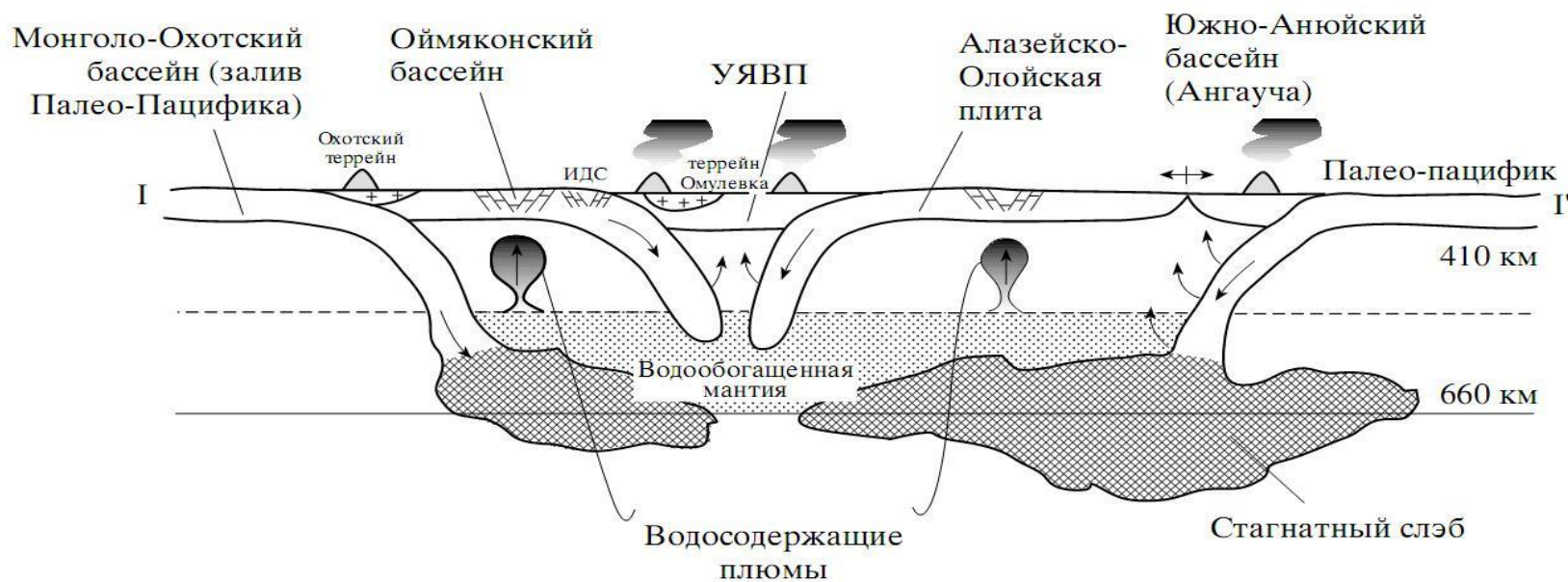
● Окраинноморской тип земной коры

все **окраинноморские бассейны** имеют отчетливые глубинные вплоть до литосферных границы, совпадающие с древними, либо с современными сейсмофокальными зонами и очерчивают **самостоятельные литосферные микроплиты**; с внутренним глубинным устройством, принципиально отличным и от океанических, и от континентальных площадей.

- **Охотоморская плита** является вполне самостоятельной и автономной тектонической единицей (точно так же, как таковыми являются, согласно тем же сейсмоотомографическим наблюдениям, смежные с нею **Япономорская и Беринговоморская**)
- Она включает в себя отдельные блоки континентальной коры (в том числе и Рст консолидации) и является местом развития малоглубинных мантийных плюмов, образующих локальные рифтогенные структуры (впадины, трогои).



(б)



- **Региональные металлогенические провинции, пояса и рудные районы**

сформировались в периоды однородного тектоно-магматического режима и характеризуются определенным типом магматизма, осадконакопления и рудообразования.

- Это конкретные металлогенические структуры, которые изучаются всем комплексом современных прогнозно-поисковых методов (геохимических, петрологических, рудноформационных и др.) с целью оценки их минерально-сырьевого потенциала.

- Следующим более детальным масштабным уровнем исследований земной коры является региональный, в задачи которого входит разделить мегаблоки первого порядка, на металлогенические провинции, пояса и рудные районы.
- Региональная металлогения изучает закономерности распределения месторождений полезных ископаемых во времени и пространстве в связи с особенностями геологического развития и строения крупных территорий.