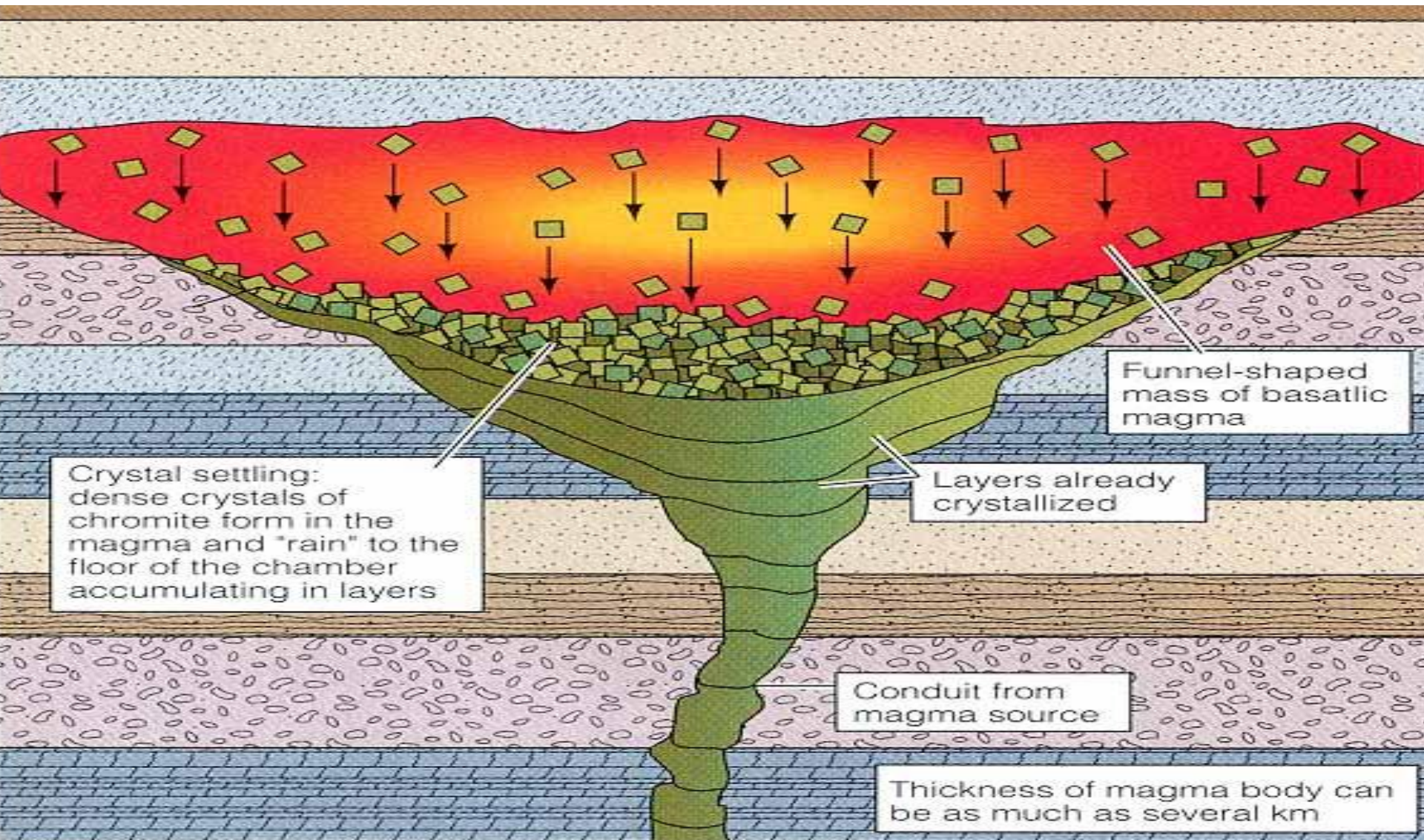


# Зарождение и подъем магматических расплавов



- Поведение магм в процессе зарождения, подъема и затвердевания в значительной мере определяется физическими свойствами расплавов, главные из которых:

- **Температура**

- **Плотность**

- **Вязкость**

# Температура

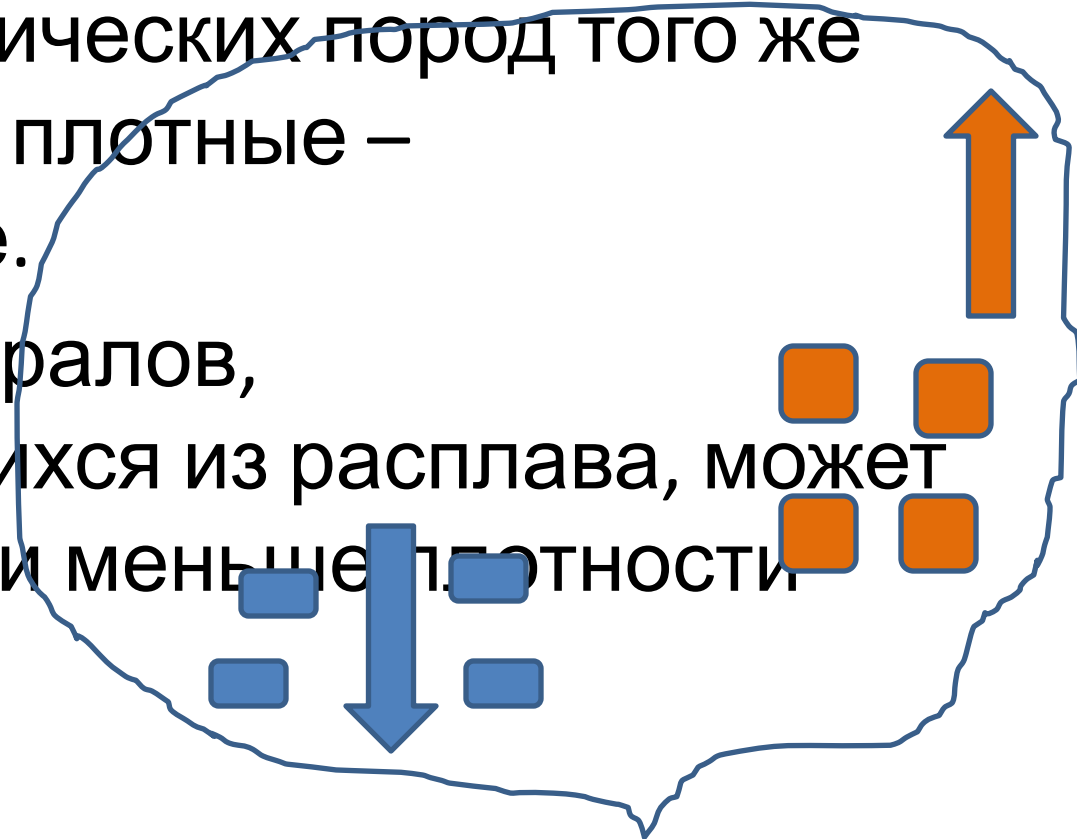
- От 1800-1600°C – ультрамафитовые коматиитовые и пикритовые магмы
- До 600-500°C – кислые гранитные магмы

# Летучие компоненты

- Температура, при которой магмы могут существовать в жидком состоянии, значительно понижается в тех случаях, когда силикатные расплавы содержат растворенную в них воду, фтор, углекислоту. Максимальное содержание воды в магме, затвердевшей в виде горной породы, не более 10 мас.%, F – 1-2 мас.%. При подъеме расплавов избыточная газовая фаза удаляется в виде пузырьков.

# Плотность

- Плотность жидких магм  $2.2 - 3.0 \text{ г/см}^3$ , что примерно на 10% меньше плотности твердых магматических пород того же состава. Самые плотные – ультраосновные.
- Плотность минералов, кристаллизующихся из расплава, может быть больше или меньше плотности жидкой фазы.



# Вязкость

- Характеризует подвижность жидкости при наличии градиента давления.
- Обусловлено трением между струями жидкости в ламинарном потоке. Измеряется в Па·с или в пуазах; 1 Па·с = 10 пуаз
- Вязкость базальтового расплава при 1200 °С =  $10^1 - 10^2$  Па·с
- Вязкость риолитового расплава при 1200 °С =  $10^5$  , при 800 °С  $10^8$  Па·с.
- Рост вязкости вызван увеличением степени полимеризации расплава по мере возрастания содержания SiO<sub>2</sub>.

# Давление и вязкость

- Косвенно влияет на вязкость, т.к. при повышении давления в магме растворяется больше воды, что снижает вязкость.
- Даже кислые магмы очень подвижны по сравнению с твердым веществом земной коры



## **Магмы возникают в результате частичного плавления вещества земной коры и верхней мантии.**

**Самые глубинные магмы, достигшие поверхности Земли, образованы на глубине 150 – 250 км при давлении 5 -8 ГПа (алмазоносные кимберлиты, лампроиты).**

**Минимальная глубина магматических очагов – 10 - 15 км ( $P = 250-500$  МПа) (некоторые граниты).**

**Максимальная доля жидкой фазы, которая появляется в зонах магмообразования, не превышает  $40 \pm 10$  об.%**



# Почему происходит частичное плавление?

- 1. изобарический нагрев вещества выше температуры плавления
- 2. адиабатический подъем нагретого твердого материала в область меньшего давления
- 3. дегидратация гидроксилсодержащих минералов с выделением воды, снижающей температуру плавления.



- Нагрев коры и верхней мантии обусловлен накоплением тепла вследствие радиоактивного распада химических элементов (U, Th, K).
- Источником тепла, под воздействием которого плавится материал континентальной земной коры служат высокотемпературные мантийные магмы, перемещенные на меньшую глубину.

- Температура плавления силикатных пород, не содержащих воды, снижается с уменьшением давления. Если нагретое глубинное вещество обладает пластичностью, достаточной для его относительно быстрого перемещения, то в процессе подъема может быть достигнута температура солидуса, и появится магматическая жидкость, количество которой по мере падения давления будет возрастать.

### 3) Add volatiles (especially H<sub>2</sub>O)

Растворимость воды в силикатном расплаве уменьшается по мере подъема. Относительно низкотемпературный водонасыщенный расплав достигает солидуса не доходя до поверхности.

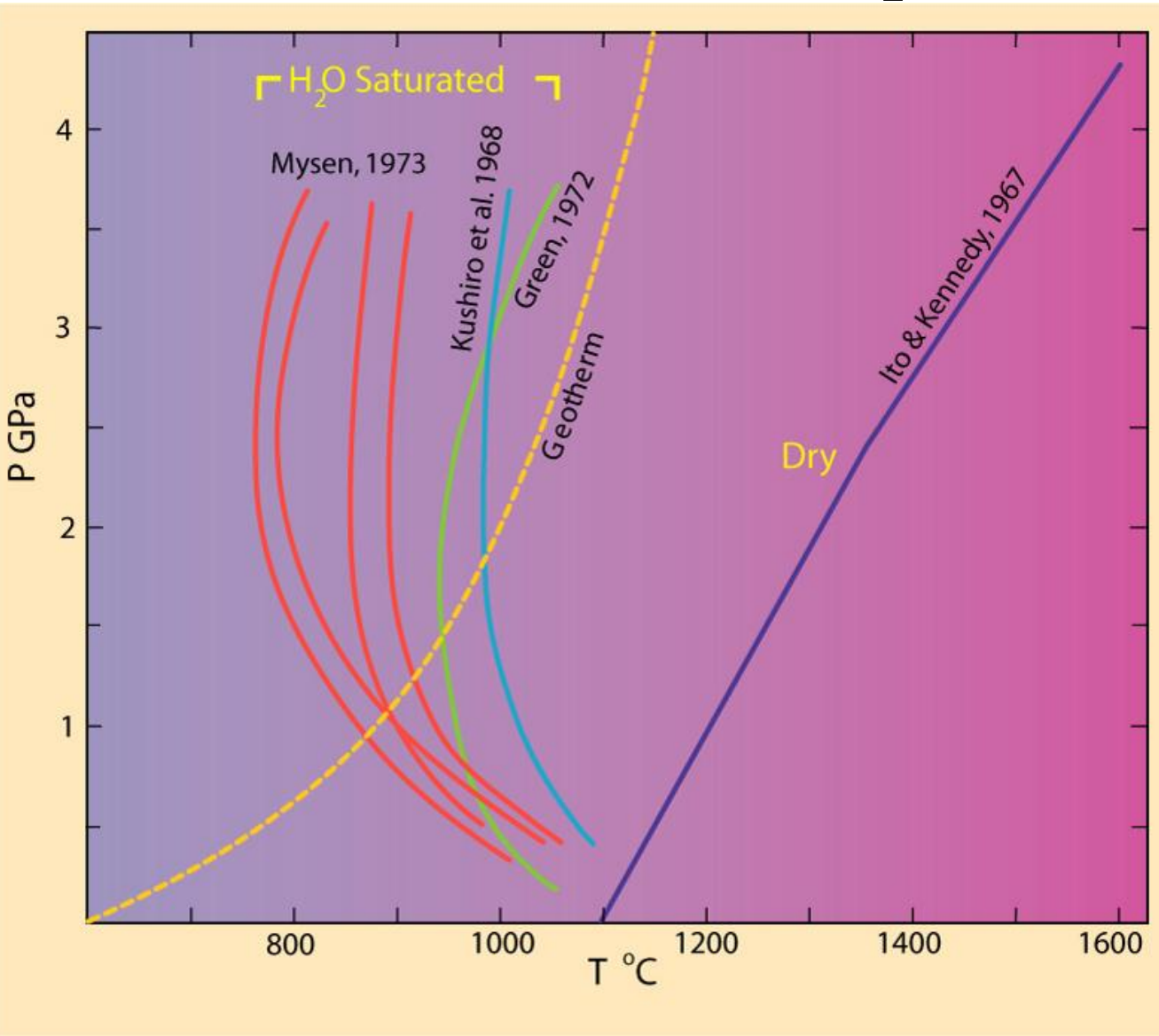


Figure 10.4. Dry peridotite solidus compared to several experiments on H<sub>2</sub>O-saturated peridotites.

# Генетическая систематика магматических горных пород

- Породы мантийного происхождения
- Породы корового происхождения
- Породы гибридного происхождения, образованные в результате смешения мантийных и коровых магм, ассимиляции мантийными магмами твердого корового материала или растворения мантийных пород в коровых магмах.

# Породы мантийного

## происхождения

Продукты затвердевания  
первичных мантийных  
магм

- Коматииты и пикриты.
- Бониниты
- Кимберлиты и лампроиты

Дифференциаты и  
кумуляты мантийных магм

- Расслоенные плутоны, сложенные габбро, анортозитами, норитами, пироксенитами, перидотитами, дунитами
- Автономные анортозиты

# The Bushveld Complex, South Africa

The biggest:  
300-400 km x 9 km

Lebowa granitics  
intruded 5 Ma  
afterward

**Simplified geologic Map  
and cross section of the  
Bushveld complex. From  
The Story of Earth & Life  
McCarthy and Rubidge**

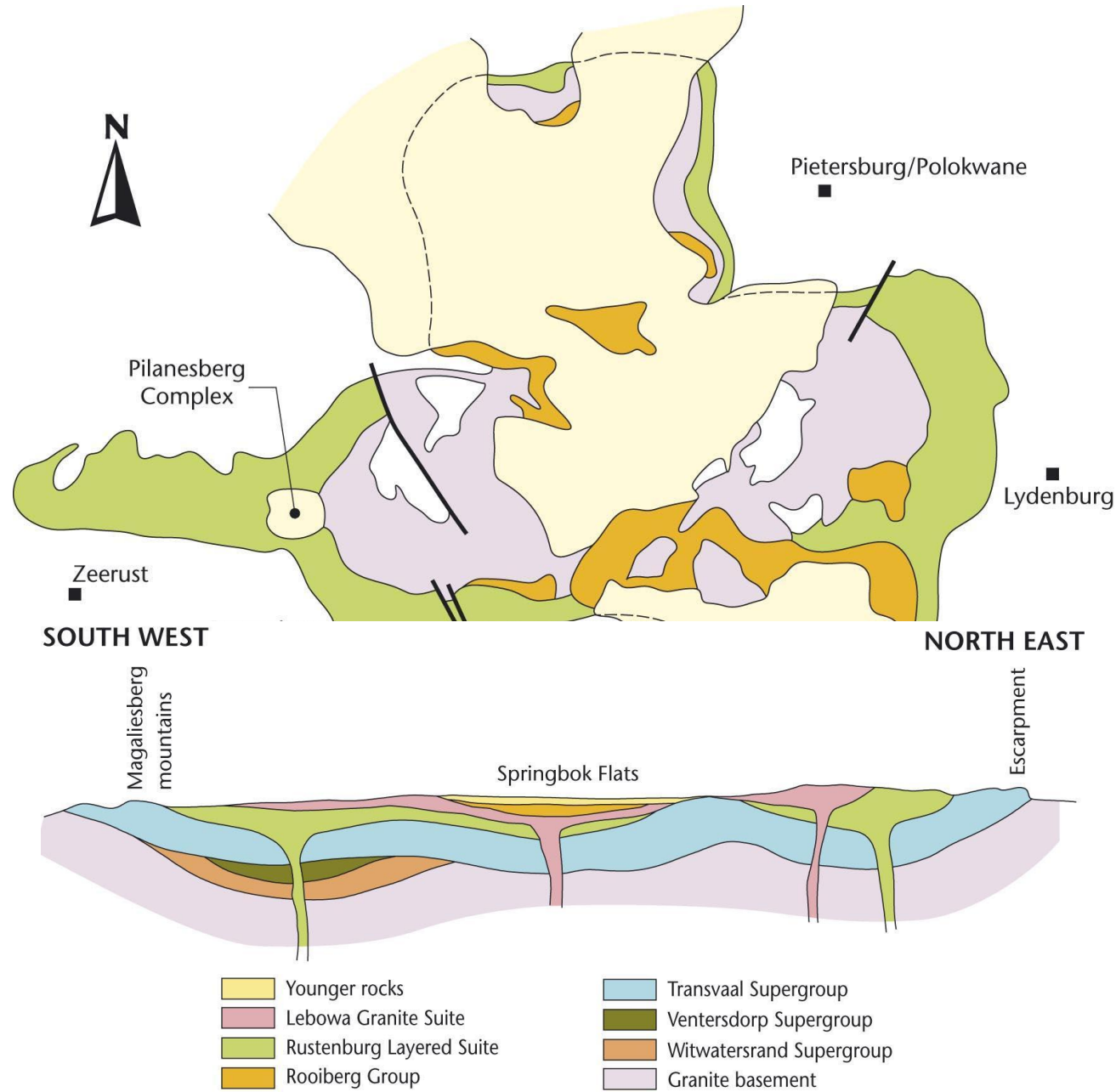
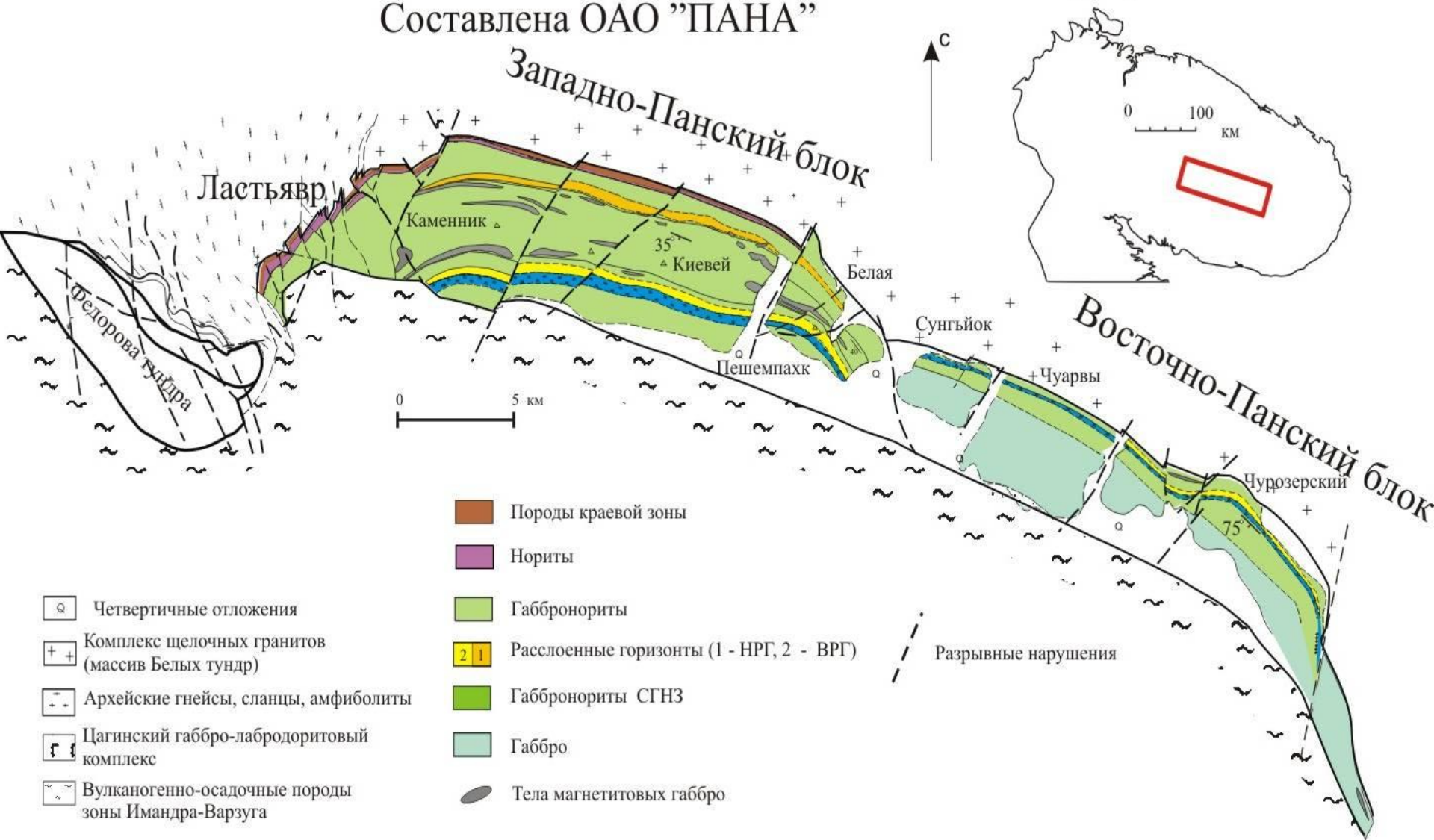
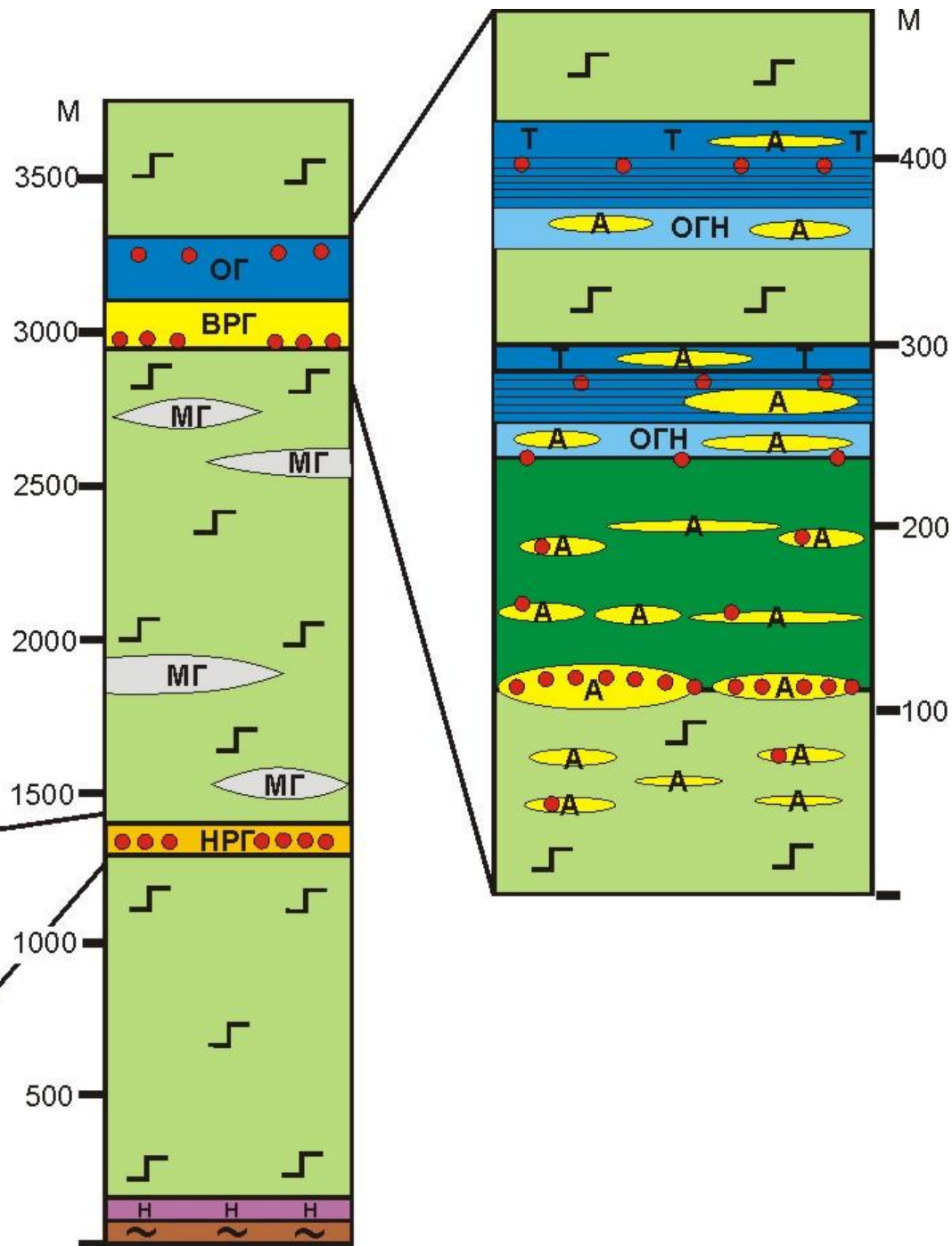
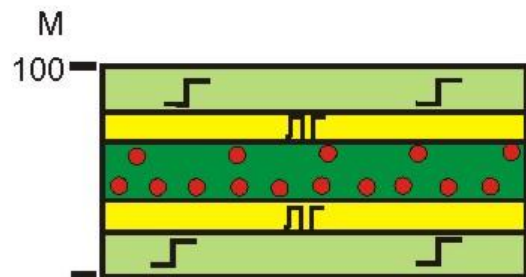
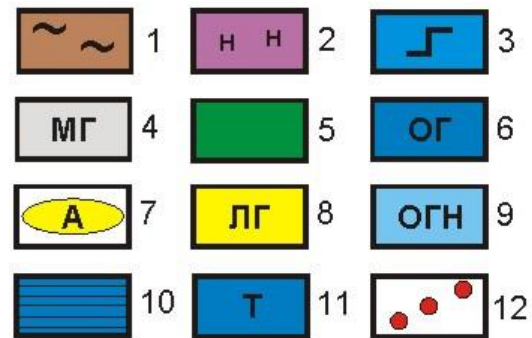


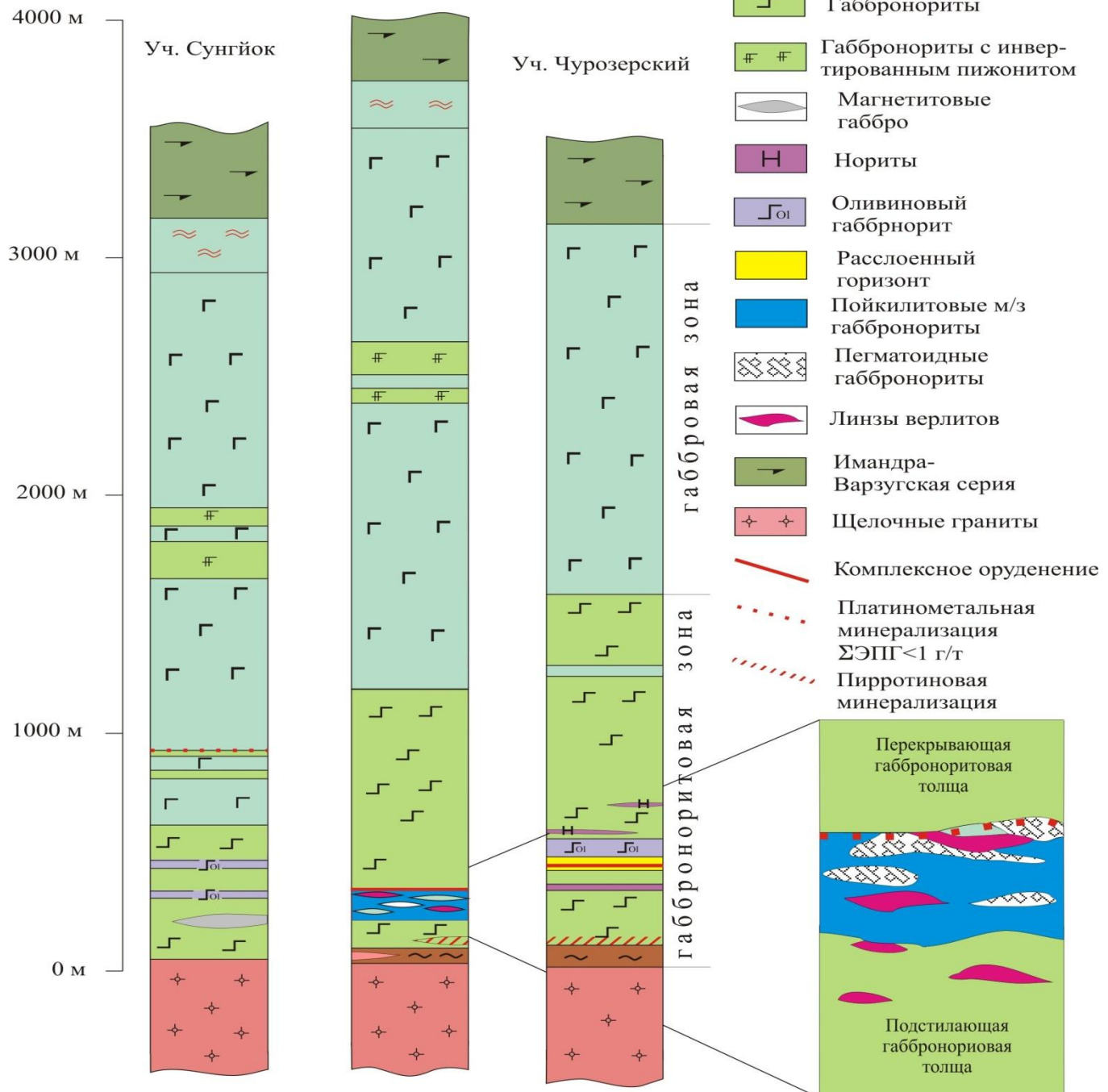


Рис. 1.2. Схематическая геологическая карта массива Панских тундр  
Составлена ОАО "ПАНА"





Уч. Восточный Чуарвы



# Породы мантийного

## происхождения

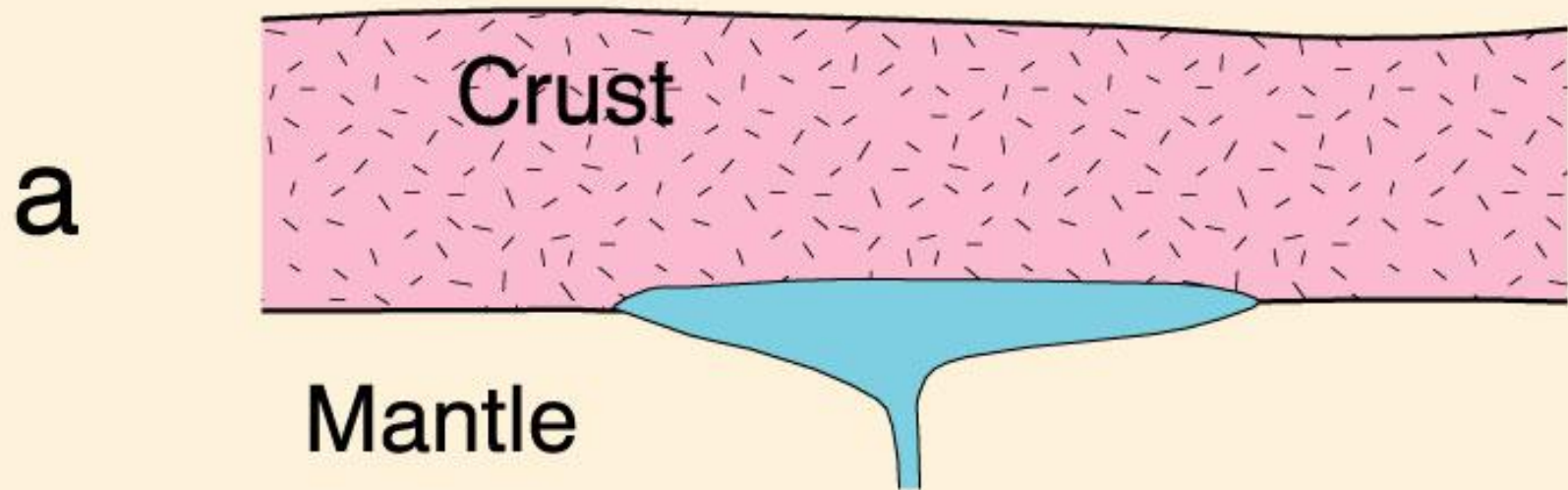
Продукты затвердевания  
первичных мантийных  
магм

- Коматииты и пикриты.
- Бониниты
- Кимберлиты и лампроиты

Дифференциаты и  
кумуляты мантийных магм

- Расслоенные плутоны, сложенные габбро, анортозитами, норитами, пироксенитами, перидотитами, дунитами
- Автономные анортозиты

# Модель образования автономных анортозитов (по Emsly, 1978)



- а. Внедрение большого объема мантийных магм в основание мощной континентальной коры (на границе МОХО).

(Рисунки заимствованы из книги Ashwall (1993) *Anorthosites*. Springer-Verlag. Berlin.  
Winter (2001) *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice Hall



# Модель образования автономных анортозитов (по Emsly, 1978)

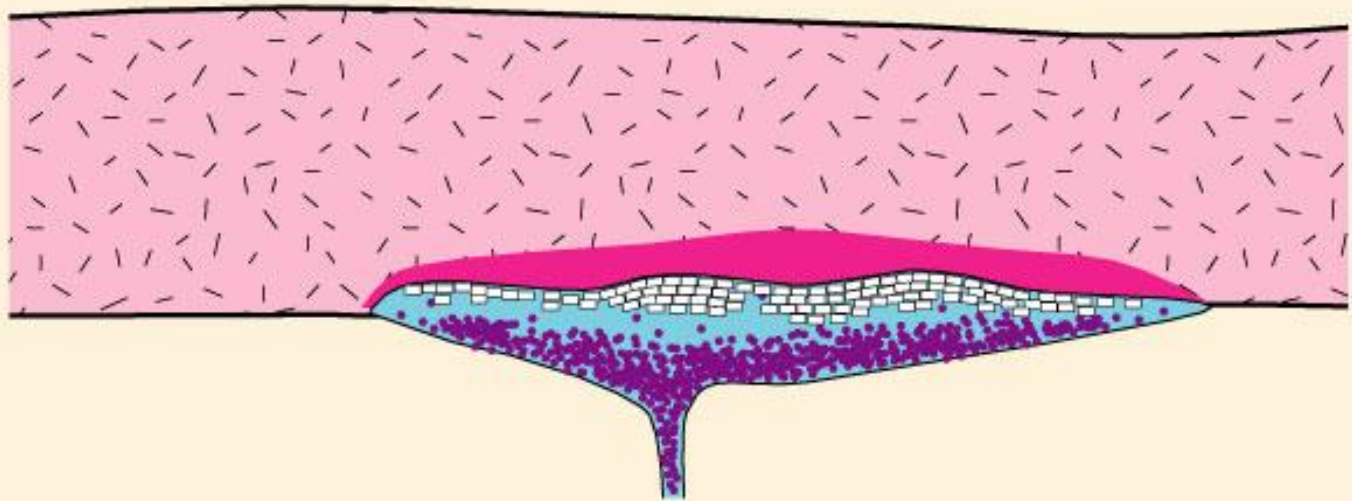
b



**b.** Начало кристаллизации (оливина и глиноземистого ортопироксена) в глубинной камере и частичное плавление низов коры. Остаточный расплав обогащается Al и растет Fe/Mg.

# Модель образования автономных анортозитов (по Emsly, 1978)

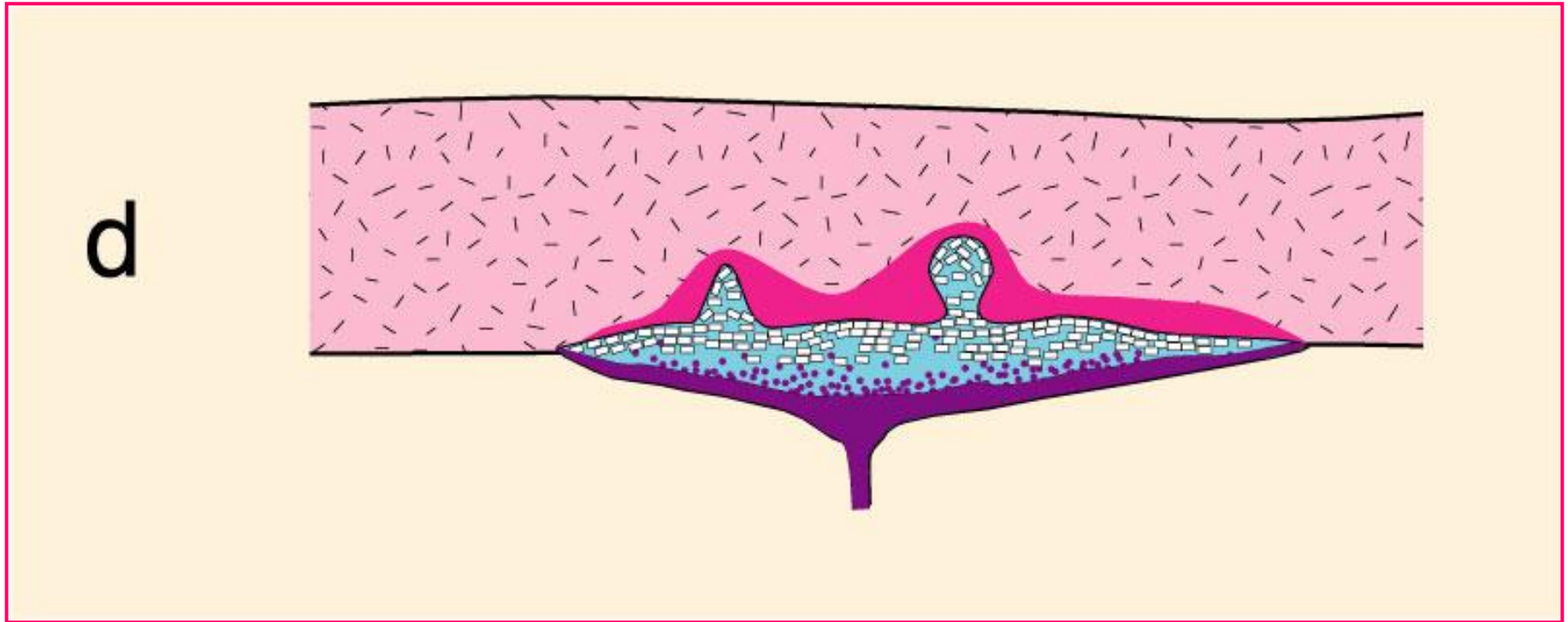
**с**



**с.** Начало кристаллизации плагиоклаза (андезина), который всплывает в верхнюю часть камеры и смешивается с остаточным железистым расплавом.

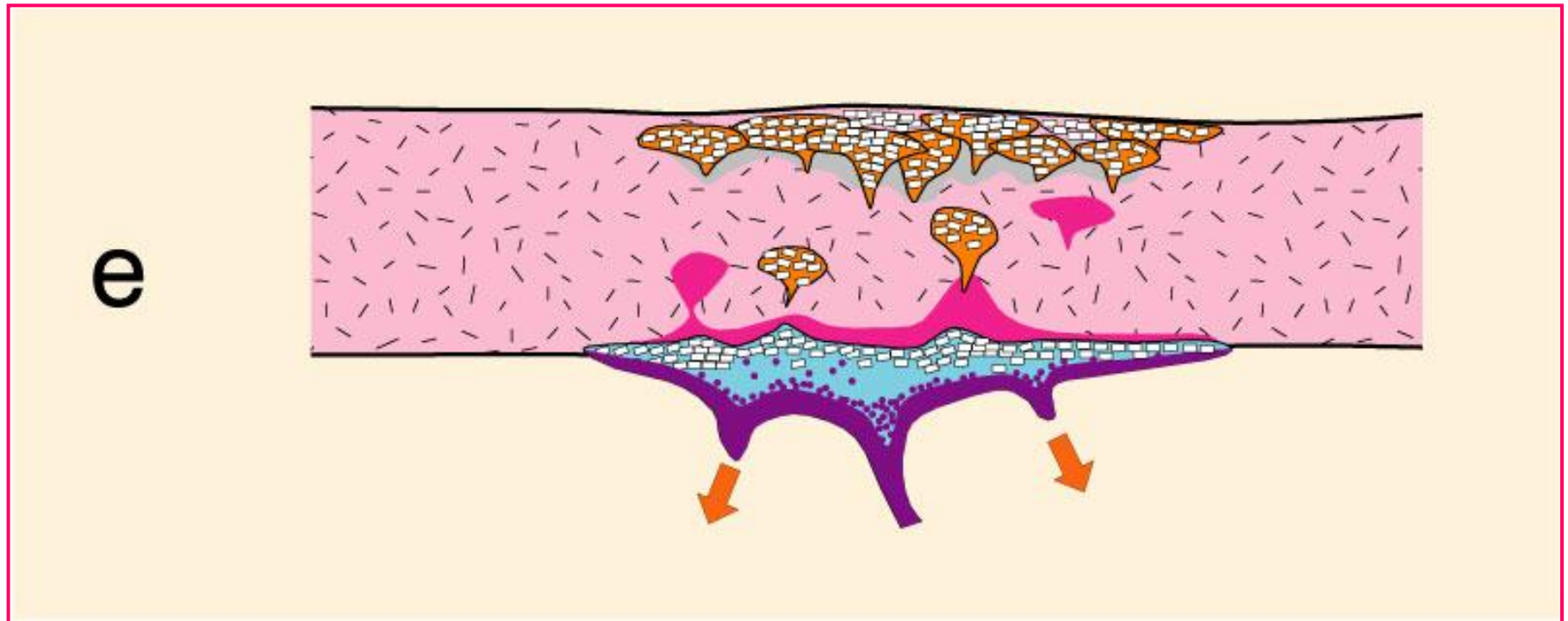


# Модель образования автономных аноктозитов (по Emsly, 1978)



**d.** Плагиоклазовый кумулянт становится менее плотным нежели разогретая и частично расплавленная кора, в результате магматическая «каша» из кристаллов плагиоклаза и расплава поднимается в верхние части коры

# Модель образования автономных анортозитов (по Emsly, 1978)



**e.** В верхней части земной коры формируются огромные массивы анортозитов, тесно ассоциирующие с гранитами рапакиви. Ультрамафитовые кумуляты могут отрываться и погружаться в мантию (деламинация)

# Породы корового происхождения

- Автохтонные граниты зон ультраметаморфизма
- Аллохтонные граниты, гранитоиды малых глубин и кислые вулканиты

# Магматические породы гибридного происхождения

## Генетические типы пород

- Продукты смешения первичных мантийных магм и их дифференциатов в промежуточных камерах
- Продукты контаминации мантийных основных и ультраосновных магм сиалическими горными породами корового происхождения

## Состав пород и их генетическая позиция

- Разнообразные базальтоиды и габброиды
- Гиперстеновые лейкобазальты, андезибазальты, нориты, в том числе краевые зоны некоторых расслоенных плутонов

# Магматические породы гибридного происхождения

## Генетические типы пород

- Продукты контаминации кислых коровых магм более основными горными породами
- Продукты контаминации кислых магм высокоглиноземистыми метаосадочными породами

## Состав пород и их генетическая позиция

- Кварцевые диориты, гранодиориты эндоконтактных зон гранитных плутонов
- Высокоглиноземистые граниты, гранитоиды и их вулканические аналоги

# Магматические породы гибридного происхождения

## Генетические типы пород

## Состав пород и их генетическая позиция

- Смеси  
коматиитов с  
низкокалиевыми  
дацитами -  
риодацитами
- Смеси пикритов с  
дацитами –  
риодацитами

- Бониниты, базальты и их  
интрузивные аналоги
- Магнезиальные андезиты

Продукты смешения  
мантийных и коровых  
магм

# Магматические породы гибридного происхождения

## Генетические типы пород

## Состав пород и их генетическая позиция

- Смеси  
низкомагнезиальных  
(высокоглиноземистых )  
толеитовых базальтов с  
дацитами –  
риодацитами
- Смеси щелочных  
базальтов с кварцевыми  
трахитами,  
риодацитами

- Андезибазальты,  
андезиты,  
андезидациты и их  
интрузивные аналоги –  
габбро- диориты,  
диориты, кварцевые  
диориты
- Латиты, трахиты и их  
интрузивные аналоги –  
монцониты,  
монцодиориты,  
сиениты

Продукты смешения  
мантейных и коровых  
магм



# How does the mantle melt??

## 1) Increase the temperature

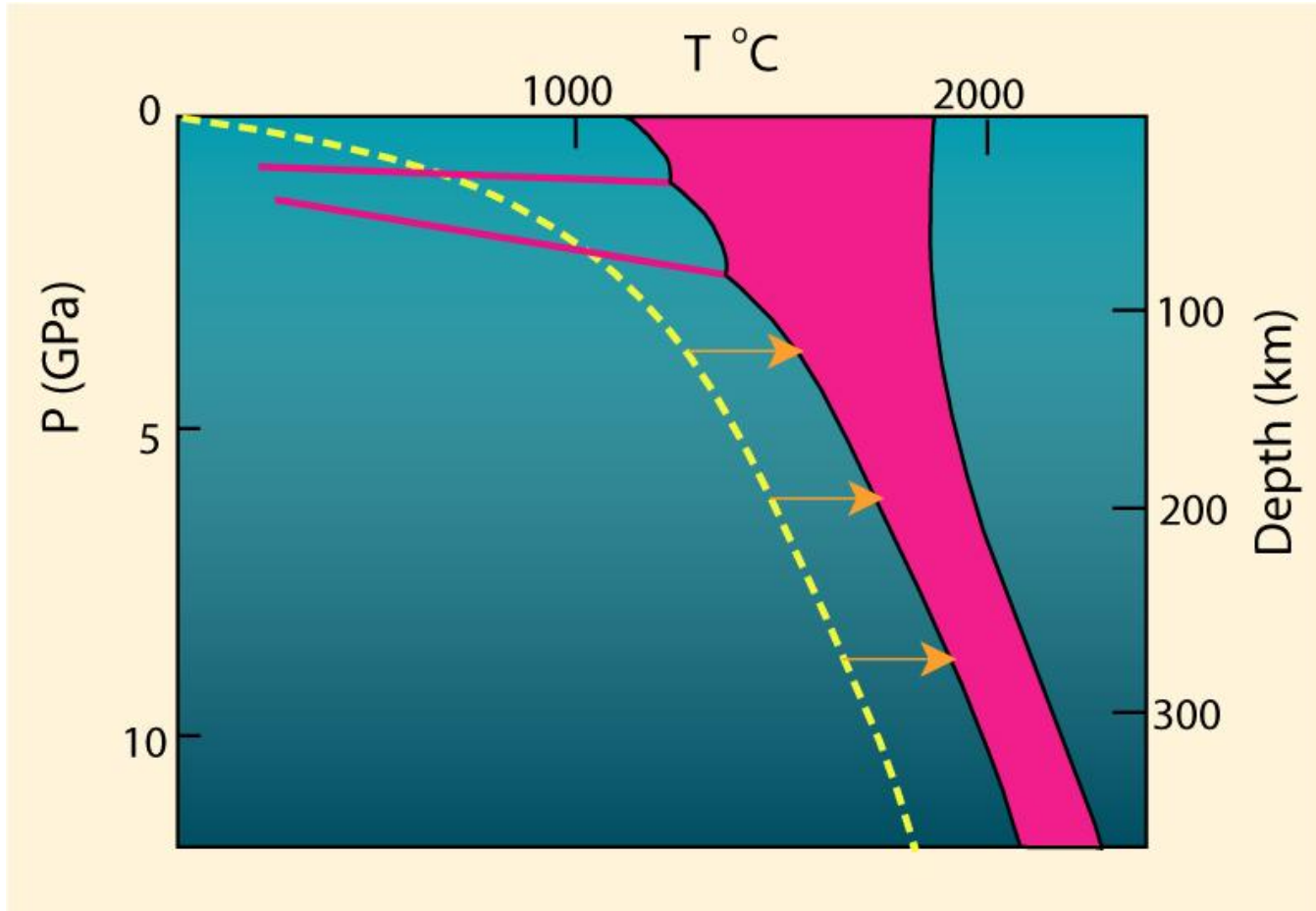


Figure 10.3. Melting by raising the temperature.

## 2) Lower the pressure

- *Adiabatic* rise of mantle with no conductive heat loss
- *Decompression partial melting* could melt at least 30%

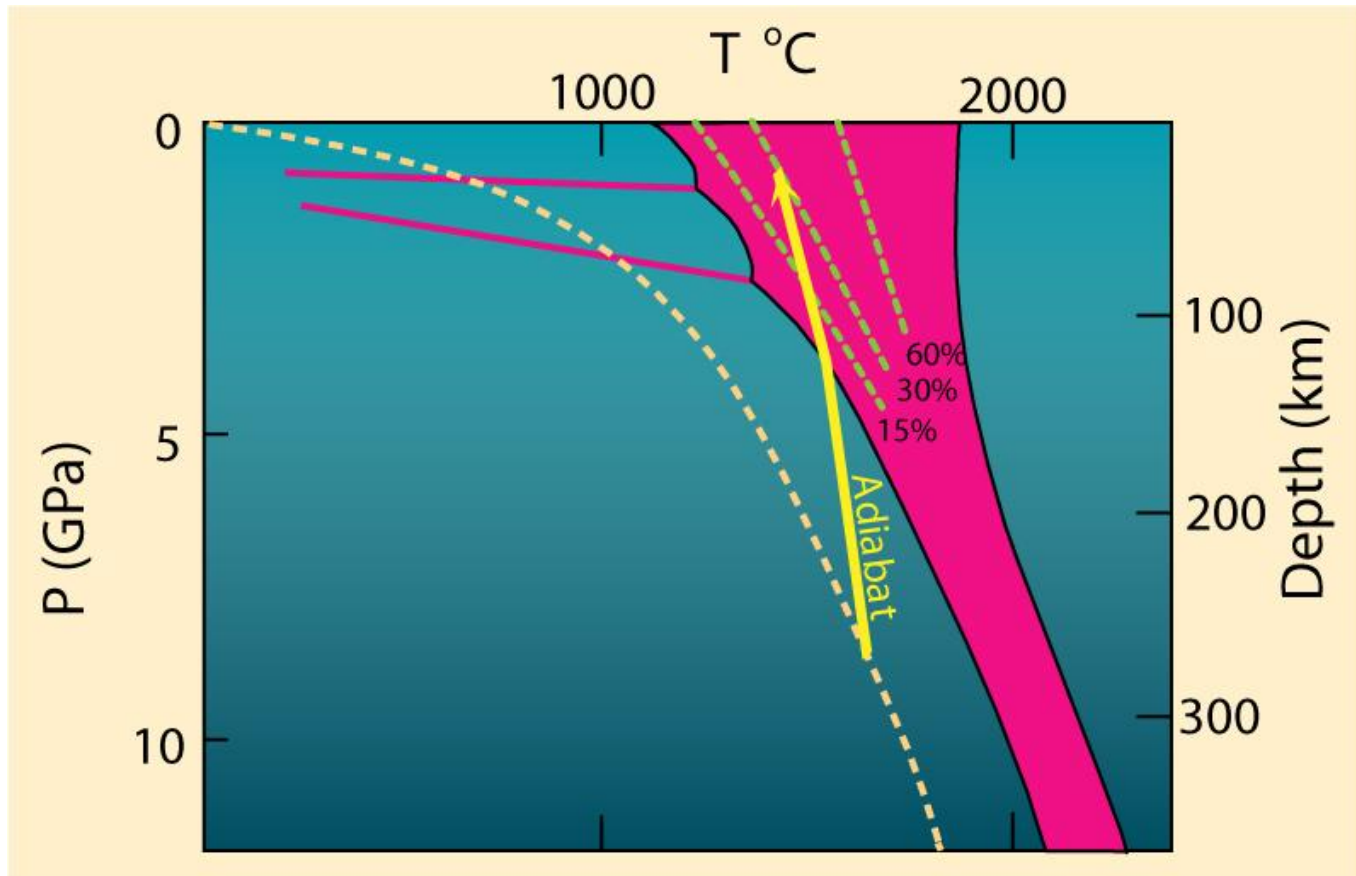


Figure 10.4. Melting by (adiabatic) pressure reduction. Melting begins when the adiabat crosses the solidus and traverses the shaded melting interval. Dashed lines represent approximate % melting.

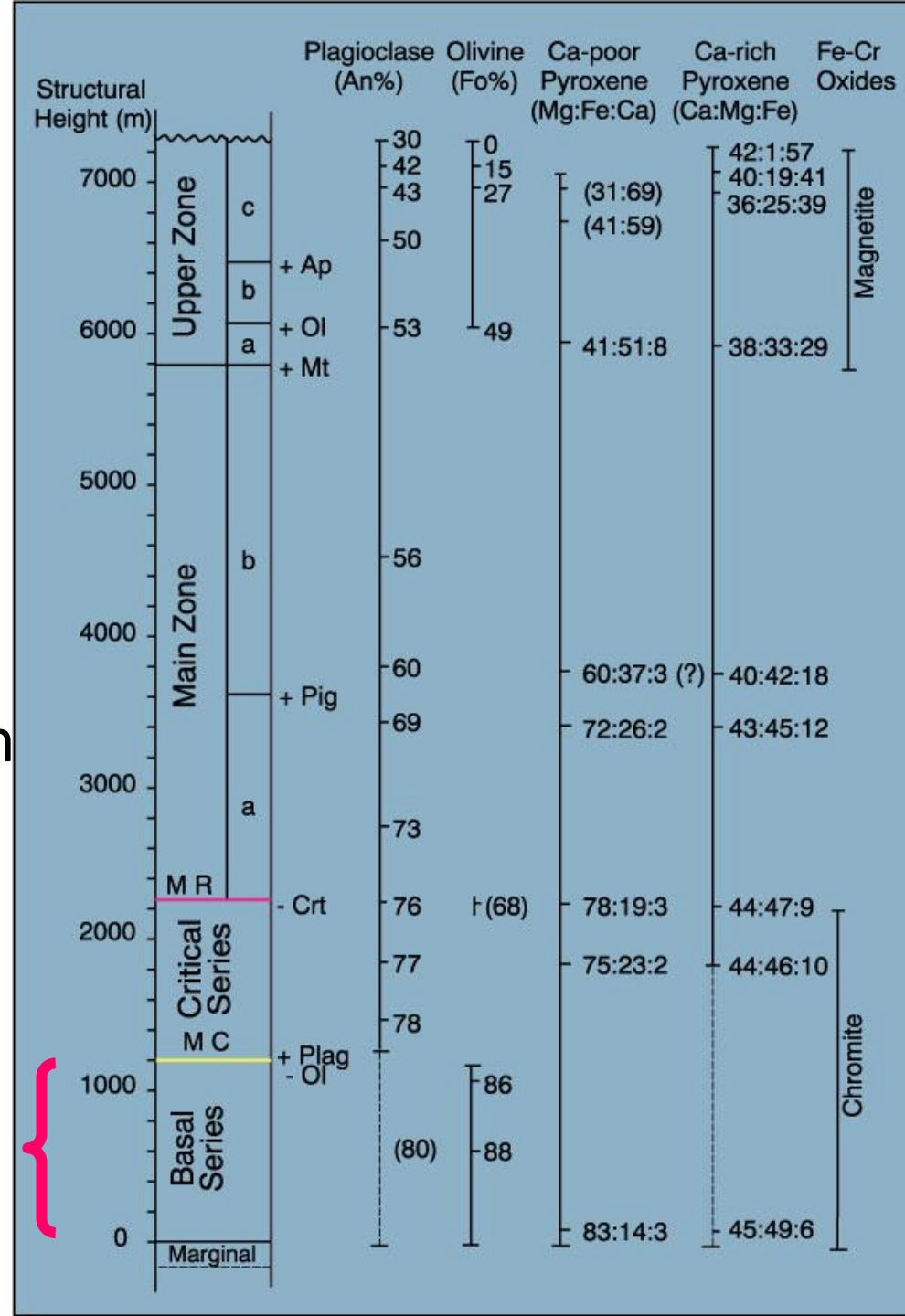
# Stratigraphy

## Basal Series

Thin uniform dunite cumulates alternating with orthopyroxenite and harzburgite layers

The top defined as the Main Chromite Layer

Figure 12.6. Stratigraphic sequence of layering in the Eastern Lobe of the Bushveld Complex. After Wager and Brown (1968) Layered Igneous Rocks. Freeman. San Francisco.

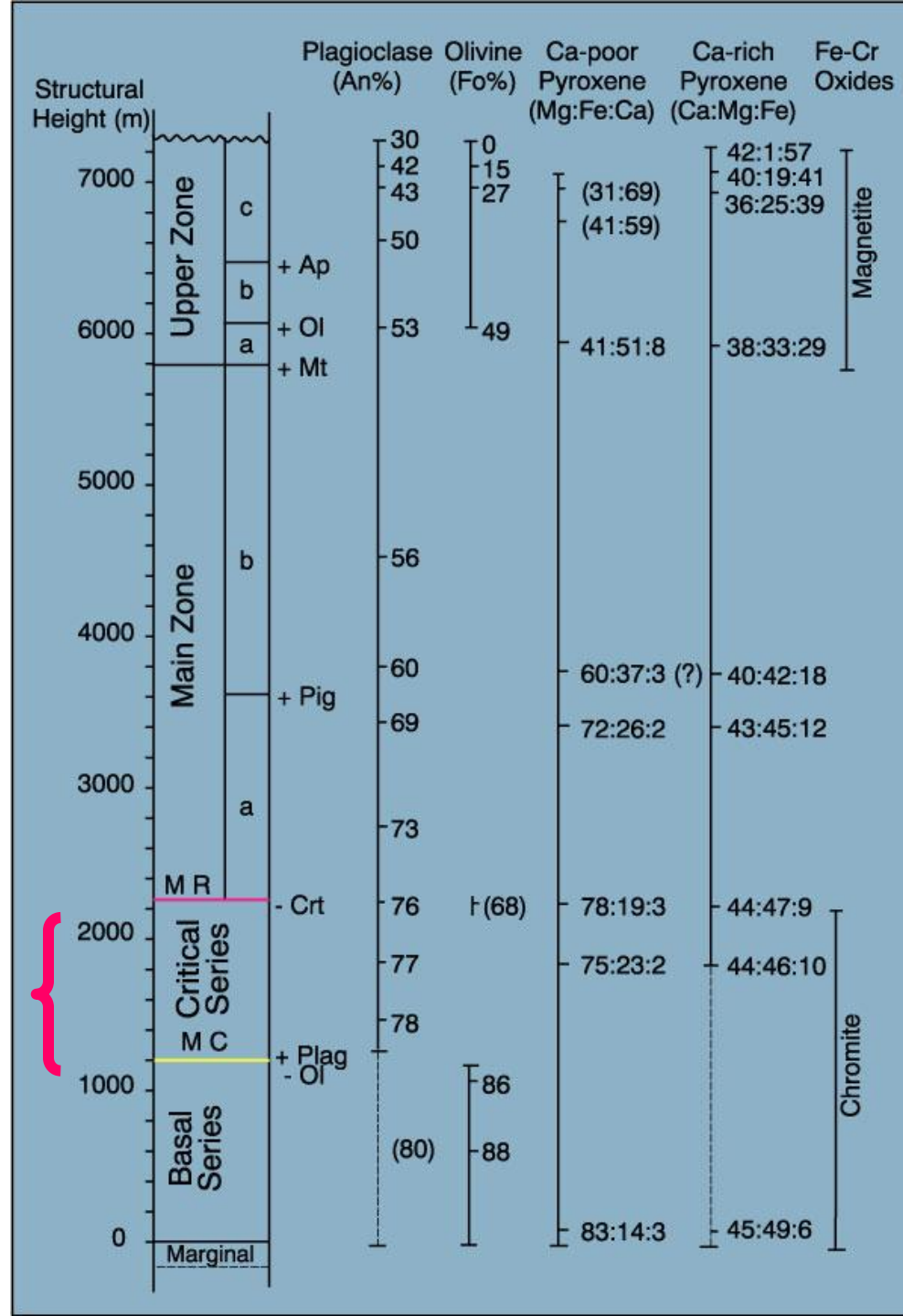


# Critical Series

Plagioclase forms as a cumulate phase (phase layering)

Norite, orthopyroxenite, and anorthosite layers etc

Figure 12.6. Stratigraphic sequence of layering in the Eastern Lobe of the Bushveld Complex. After Wager and Brown (1968) Layered Igneous Rocks. Freeman. San Francisco.



# The Merensky Reef

~ 150 m thick sequence of rhythmic units with cumulus plagioclase, orthopyroxene, olivine, and chromite

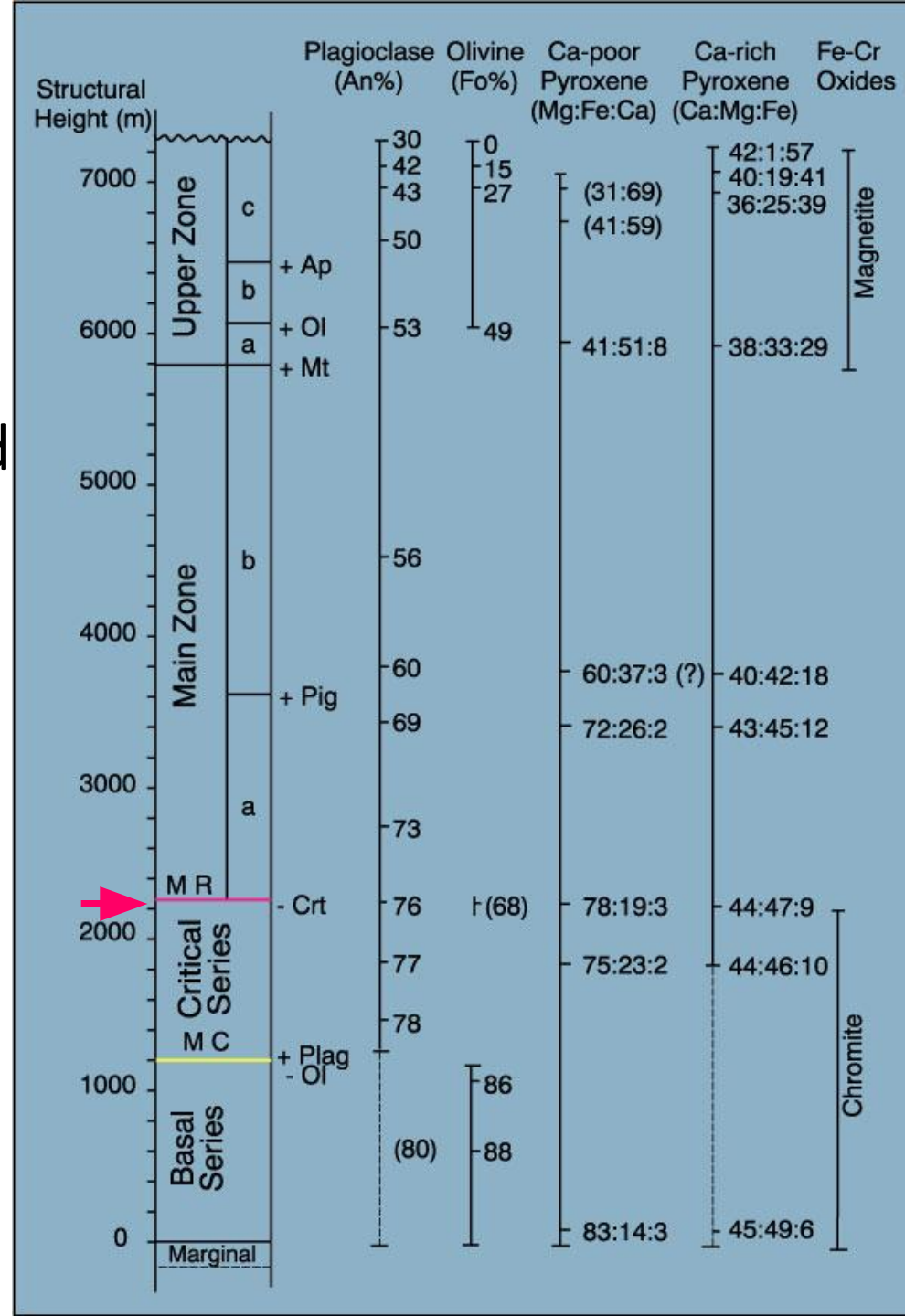


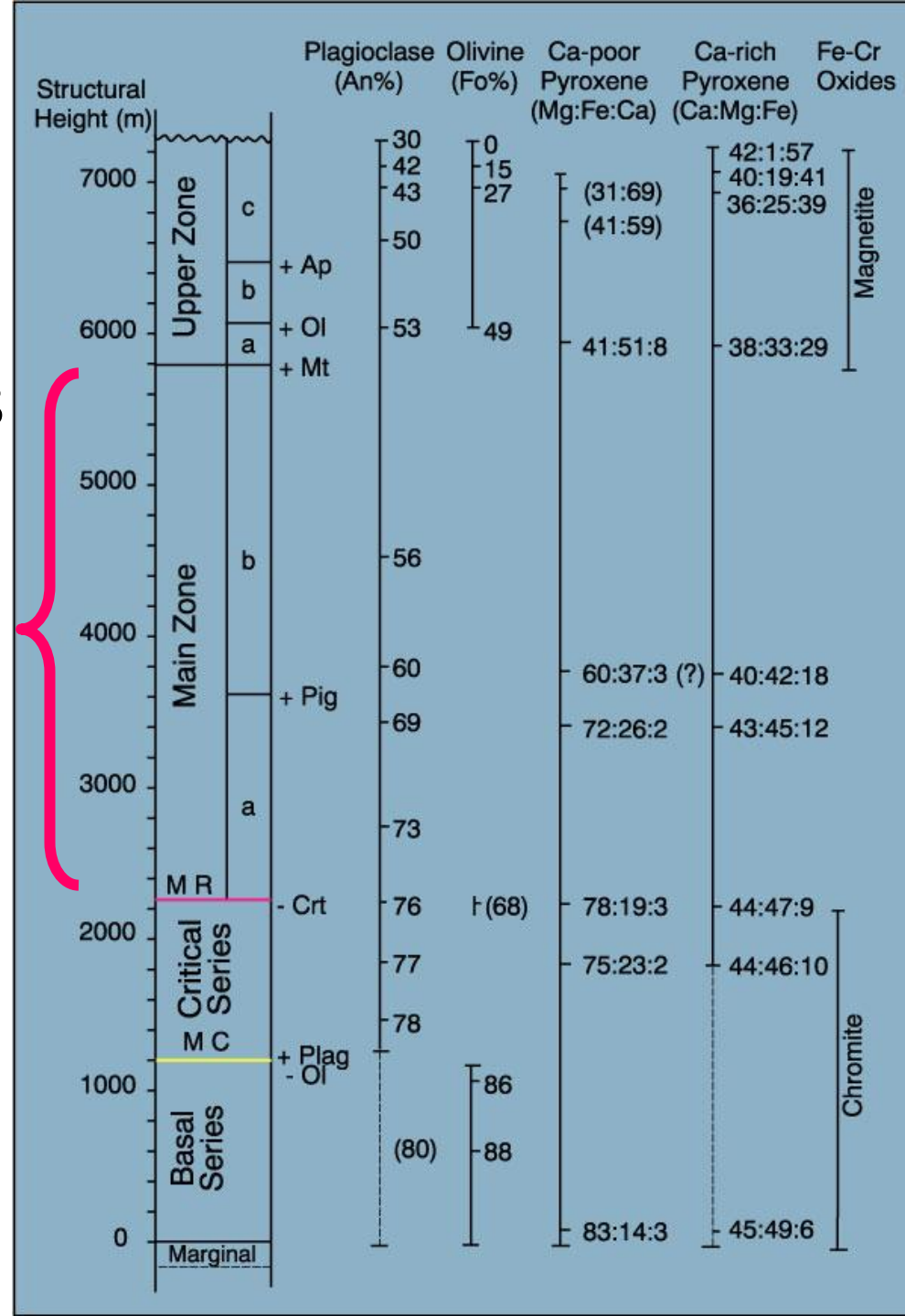
Figure 12.6. Stratigraphic sequence of layering in the Eastern Lobe of the Bushveld Complex. After Wager and Brown (1968) Layered Igneous Rocks. Freeman. San Francisco.



# Main Zone

the thickest zone and contains thick monotonous sequences of hypersthene gabbro, norite, and anorthosite

Figure 12.6. Stratigraphic sequence of layering in the Eastern Lobe of the Bushveld Complex. After Wager and Brown (1968) Layered Igneous Rocks. Freeman. San Francisco.

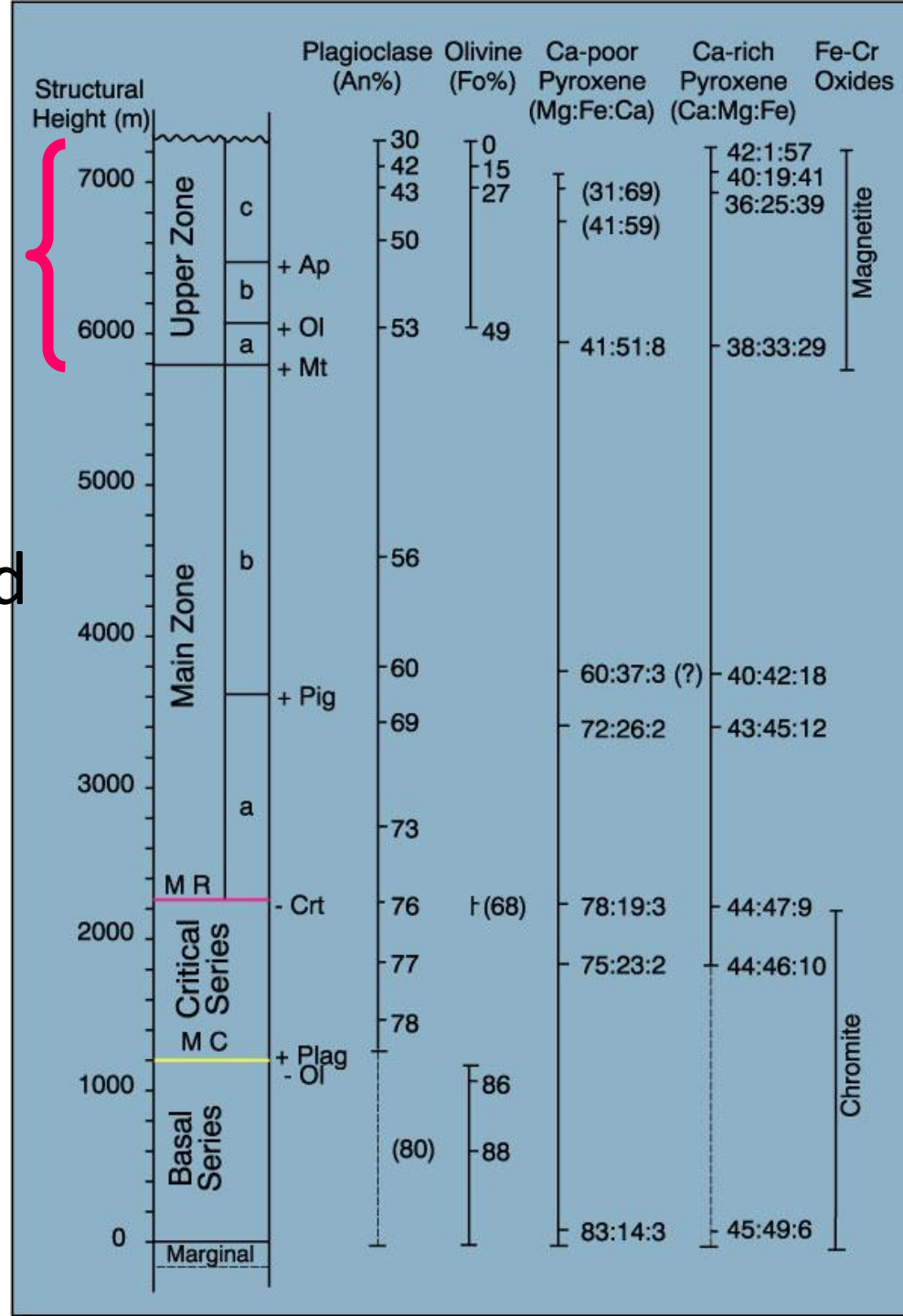


# Upper Zone

Appearance of cumulus magnetite (Fe-rich)

Well layered:  
anorthosite, gabbro, and ferrodiorite

Numerous felsic rock types = late differentiates



Also note:

Cryptic layering: systematic change in mineral compositions

Reappearance of Fe-rich olivine in the Upper Zone

Figure 12.6. Stratigraphic sequence of layering in the Eastern Lobe of the Bushveld Complex. After Wager and Brown (1968) Layered Igneous Rocks. Freeman. San Francisco.

