

Конвекция «термической литосферы» и формирование эпиконтинентальных осадочных бассейнов

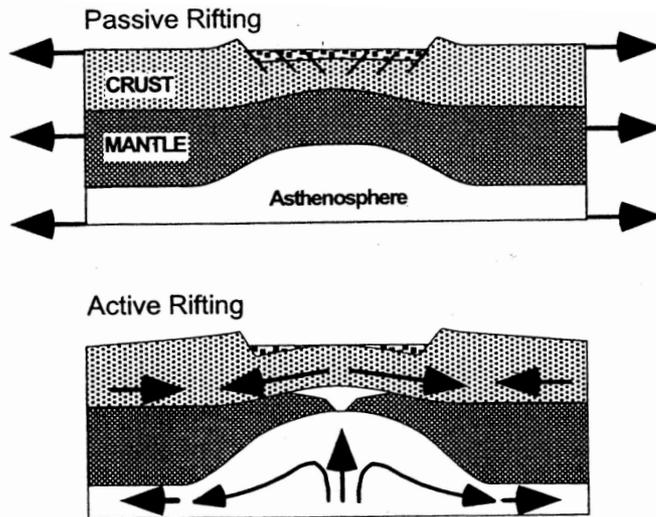
Б.В.Лунёв, В.В.Лапковский

лаборатория мат. моделирования природных нефтегазовых систем
ИНГГ СО РАН

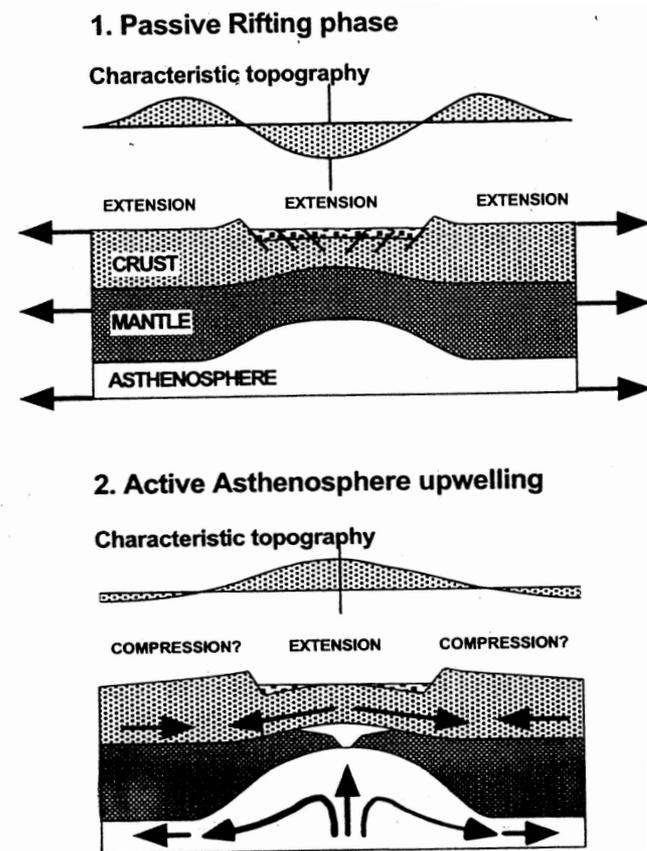
ПЕТРОМОДЕЛЬ - 2014

Основные гипотезы образования крупных осадочных бассейнов

Пассивный и активный рифтогенез

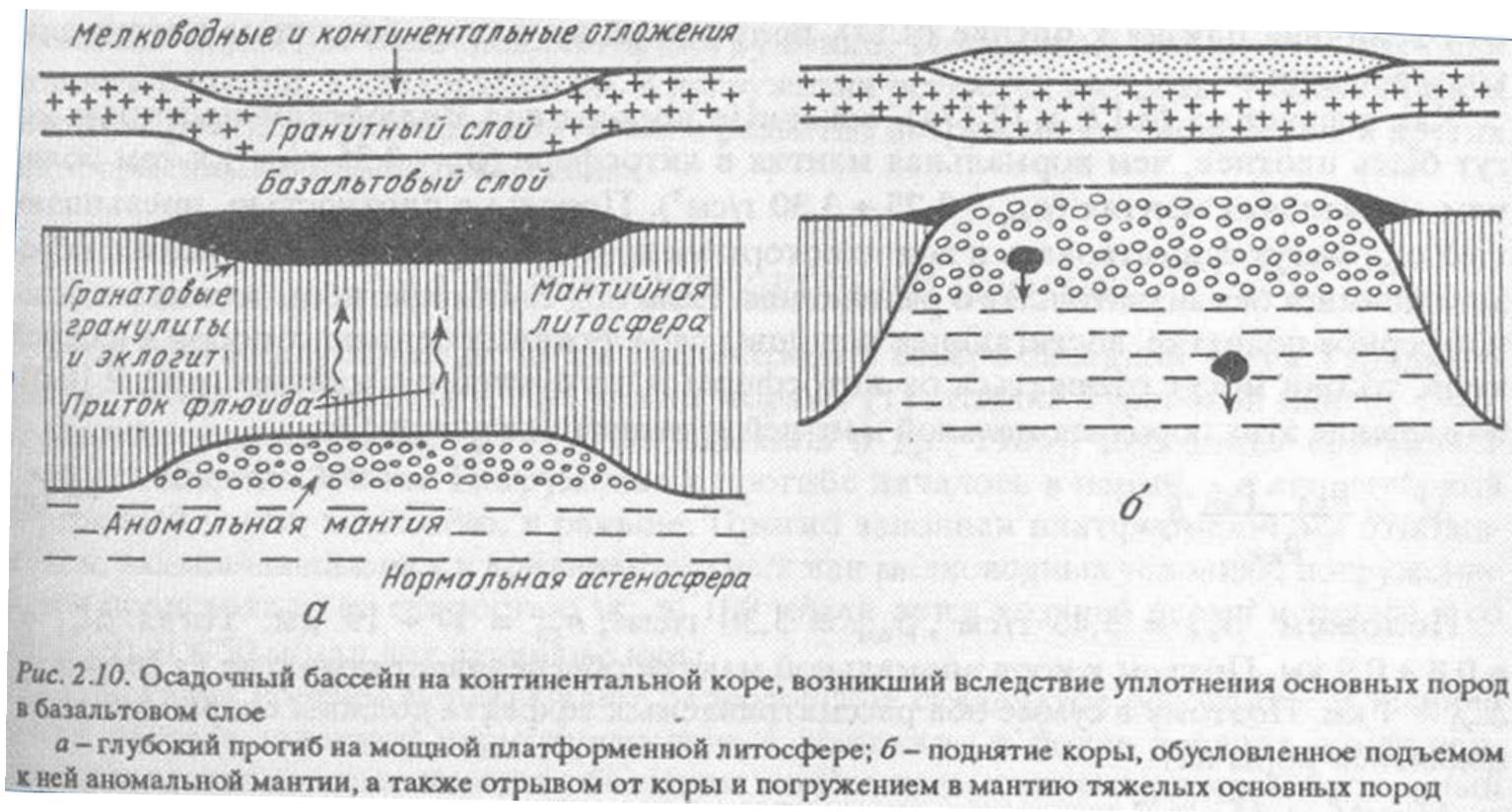


Комбинированная модель



Huisman et al., 2001

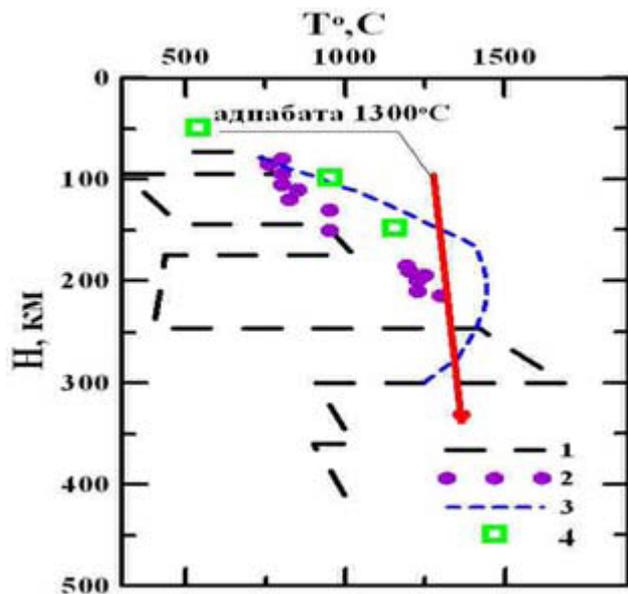
Модель эклогитизации (Е.В.Артюшков, 1993)



Характерные черты крупных эпиконтинентальных бассейнов

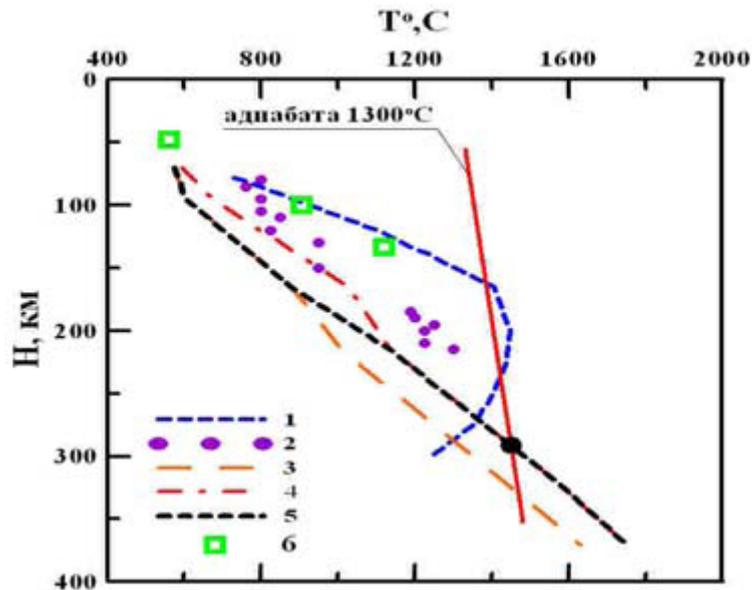
(по Е.В. Артюшкову)

- Значительные размеры (многие сотни – первые тысячи км)
- Значительная мощность накопленных осадков (5 – 15 км)
- Сокращенная мощность земной коры (подъем границы «М»)
- Повышенный тепловой поток
- Отсутствие признаков значительного растяжения (позволяющего объяснить глубину бассейна)
- Характерные этапы эволюции:
 - 1) скомпенсированное погружение
 - 2) период небольшого поднятия в центральной части, сопровождающийся вулканизмом (не всегда присутствует)
 - 3) быстрое нескомпенсированное погружение с накоплением доманикоидных нефтематеринских отложений
 - 4) накопление клиноформ
 - 5) медленное, скомпенсированное прогибание



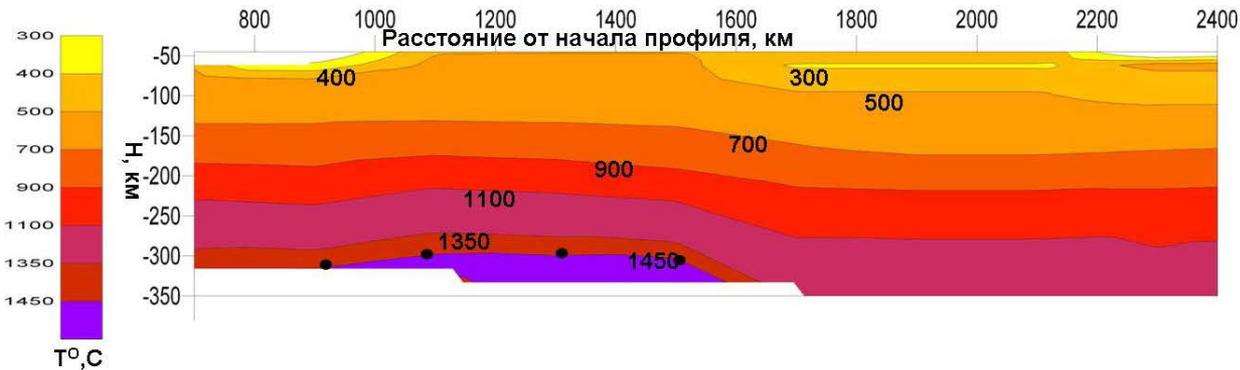
Распределение температур под Сибирским кратоном. Профиль Кратон:

1 - профиль температуры, восстановленный по региональной модели [9]; 2 - температуры по данным термобарометрии [11]; 3 - профиль температуры, восстановленный по глобальной референц-модели IASP91; 4 - оценки по поверхностным тепловым потокам [10]



Распределение температур под Сибирским кратоном. Профиль Кратон:

1 - профиль температуры, восстановленный по глобальной референц-модели IASP91; 2 - температуры по данным термобарометрии [11]; 3, 4, 5 - профили температуры, восстановленные по региональной модели [3] и петрологическим моделям: 3 - состав гранатового перидотита (GP); 4 - фертильное вещество примитивной мантии (PM); 5 - состав GP до 170 км, на больших глубинах - состав PM. Пересечение профиля восстановленных температур с потенциальной адиабатой 1300°C соответствует глубине термической литосферы; 6 - оценки по поверхностным тепловым потокам [10]



РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПЛОТНОСТИ В ЛИТОСФЕРНОЙ МАНТИИ СИБИРСКОГО КРАТОНА ПО ДАННЫМ РЕГИОНАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Прокофьев А.А., Кронрод В.А., Кусков О.Л. (ГЕОХИ РАН)

irishrover@yandex.ru, 2011

К вопросу о реологической модели

Из «Теории простых жидкостей с затухающей памятью»:

$$\text{При } \dot{\varepsilon} < \dot{\varepsilon}_{\text{критическая}}, \quad \sigma = \mathfrak{H}(\varepsilon) \rightarrow \sigma = -\delta_{ij} P + 2\mu\dot{\varepsilon}, \quad \dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right),$$

μ – «естественная вязкость» - верхняя асимптота вискозиметрических вязкостей материала.

По данным измерений новейших и современных движений:

$$\dot{\varepsilon}_{\text{критическая}} \sim 10^{-14} \text{ s}^{-1} \sim 10^{-7} \text{ год}^{-1}$$

(рубеж сейсмичности,
рифтовые дислокации срединно-океанических хребтов)

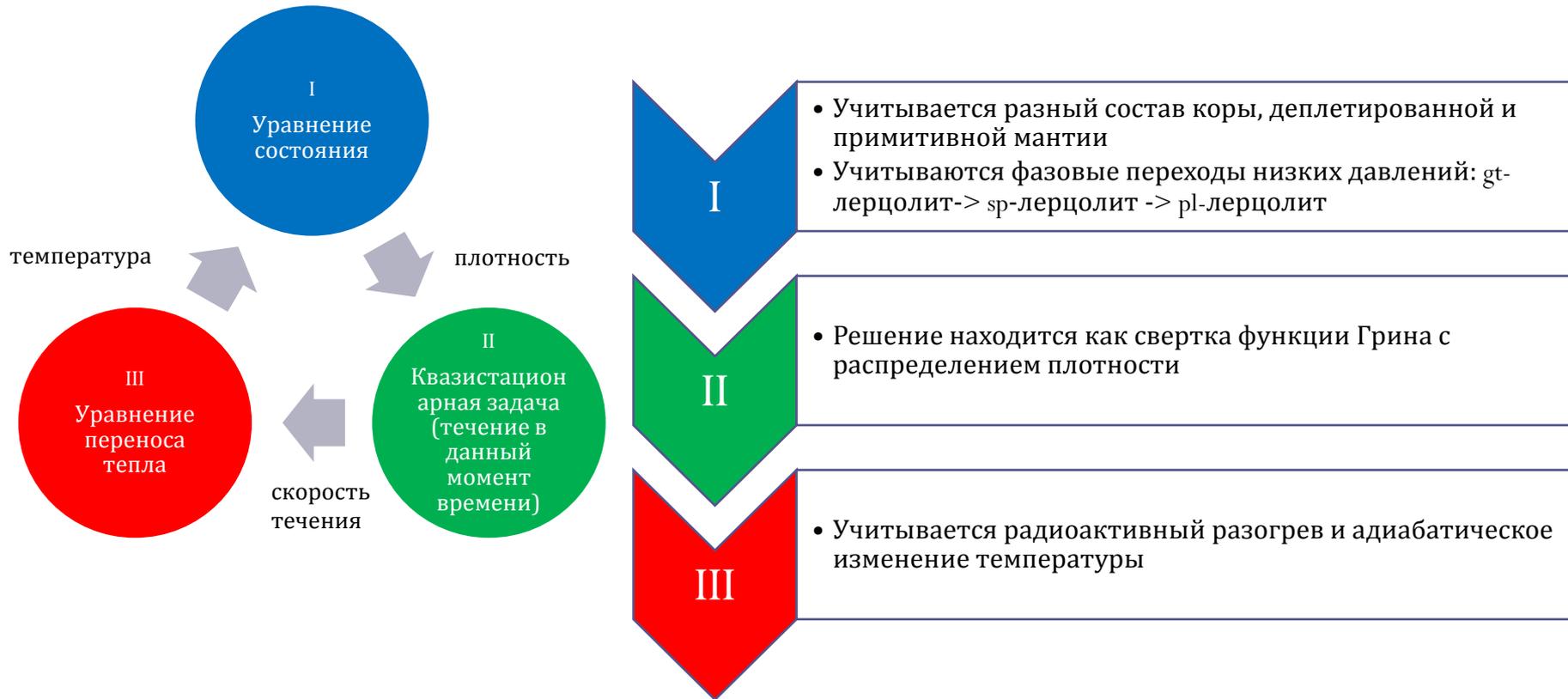
$$\mu \sim 10^{21} \text{ Pa} \cdot \text{s}.$$

(постгляциальное поднятие Фенноскандии,
расползание континентальных окраин,
эволюция гайотов,
скорости движения плит относительно плотностных неоднородностей мантии,
постсейсмические смещения)

Основные посылки предлагаемой модели

- У поверхности планеты существует тепловой погранслой со сверхadiaбатическим градиентом температуры, толщина которого под континентами составляет ~ 300 км.
- Вещество этого слоя, включая кору, необратимо деформируется в медленных геологических процессах, так что его ньютоновская вязкость определяется в пределах 10^{22} Па·с.
- Континентальная кора является довольно мощным слоем с малой, по сравнению с мантией, плотностью.
- Состояние вещества мантии и его плотность, в зависимости от P-T-условий, достаточно надежно установлены петрологическими экспериментами

Реализация модели конвекции



Модель заполнения осадочного бассейна терригенным материалом (вариант модели Слосса)

Рельеф фундамента и дневной поверхности

- Определяется динамическим равновесием литосферного течения с весом образующегося рельефа / отложенных осадков:
- $\sigma_{zz}(x, z=0) = -g \int_0^{h(x)} \rho^t dz, \leftrightarrow h(x) = -\frac{\sigma_{zz}(x, z=0)}{g\rho^t(x)}$.

Набор заполняющих бассейн терригенных фракций

- Задается (песок, алеврит, глина и т.д.)
- Каждая фракция характеризуется объемом поступления в бассейн (может быть функцией времени и / или высоты окружающих гор)
- Задается минимально допустимая глубина осаждения фракции и параметры уменьшения содержания фракции в воде по мере удаления от берега

Изменение осадков

- Для каждой фракции задается функция уплотнения от давления (изменение объема и плотности)
- Допускается эрозия отложившихся осадков при подъеме выше уровня моря
- Возможен учет эвстатических колебаний уровня моря

Фазовая диаграмма для «сухой» верхней мантии

380

S. K. SAXENA AND G. ERIKSSON

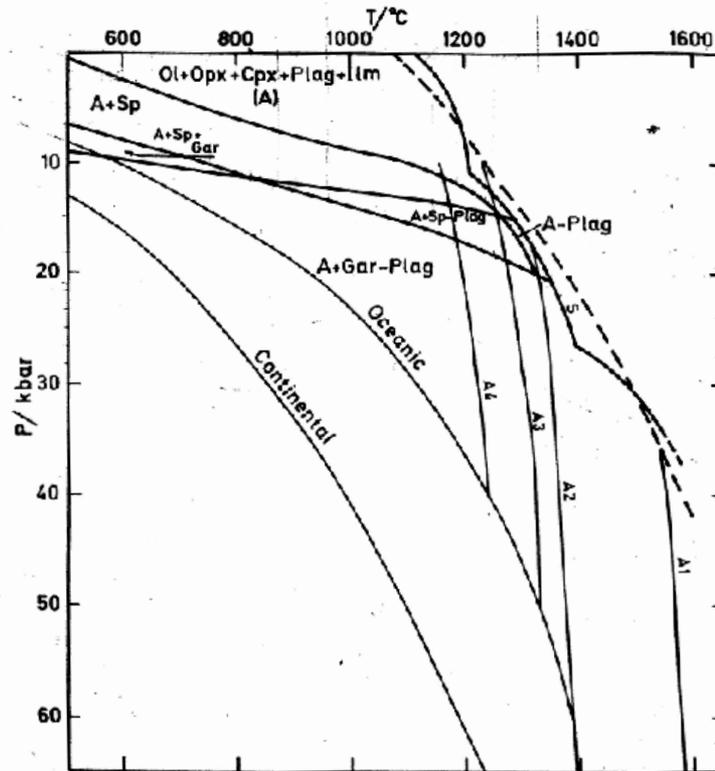
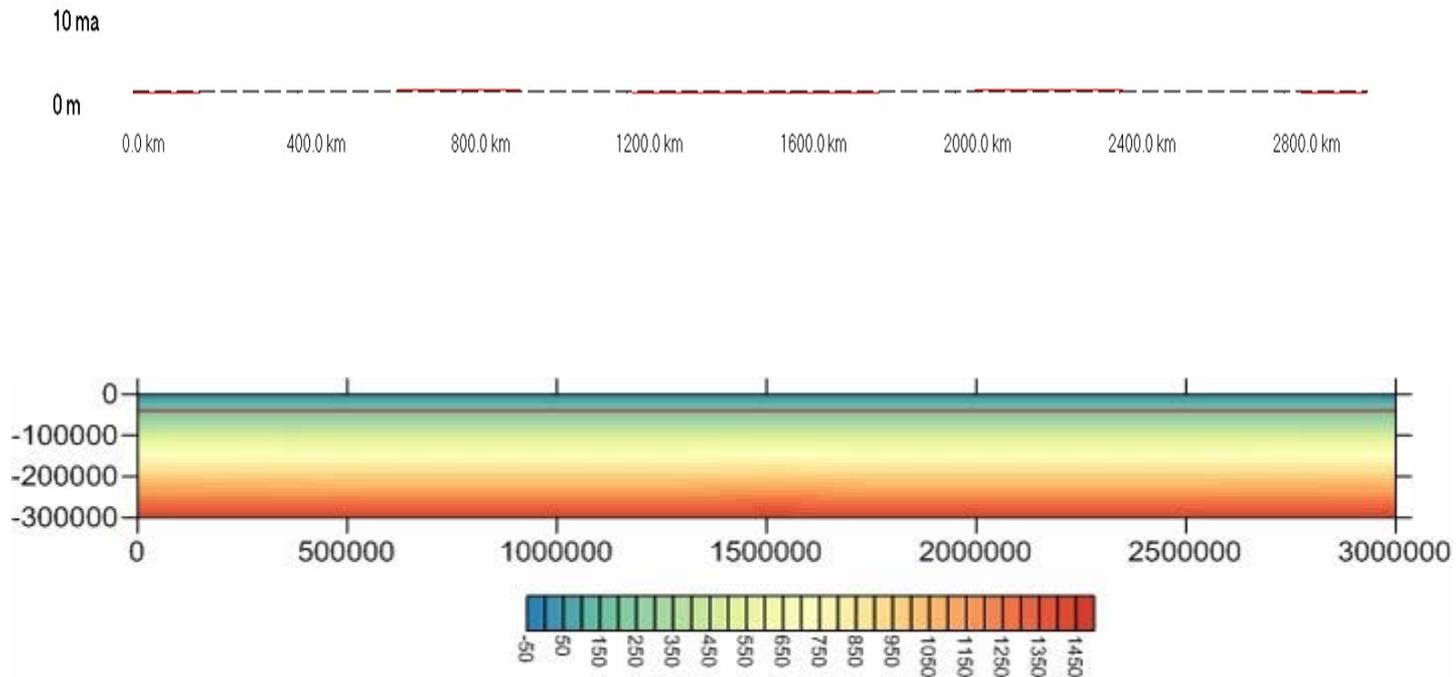


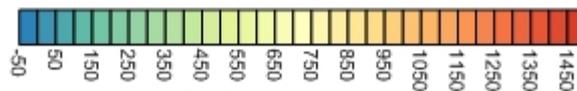
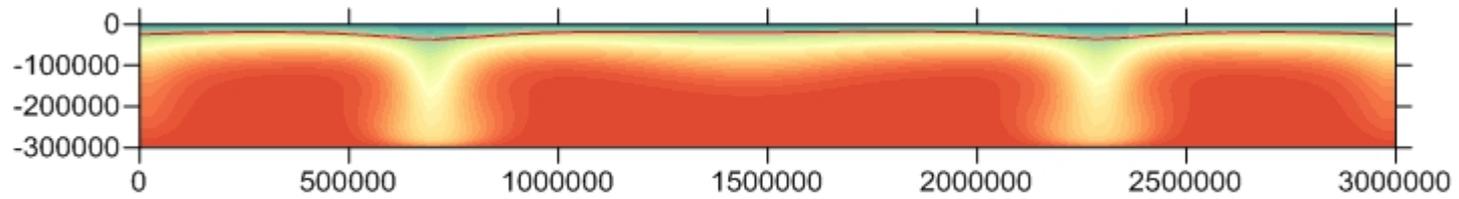
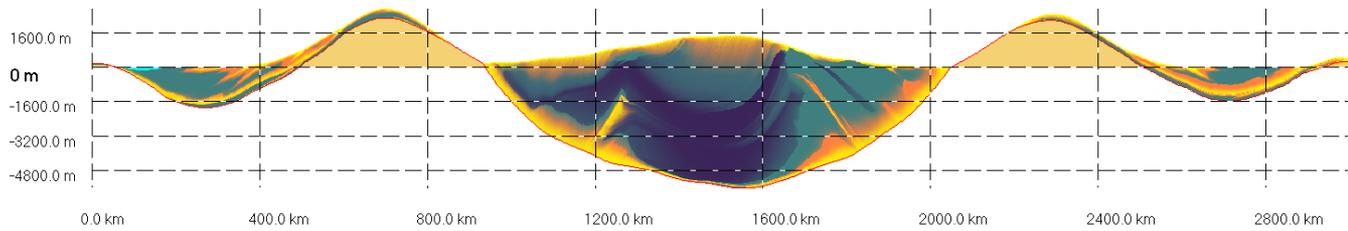
FIG. 1. Phase diagram for the estimated upper mantle composition (Saxena & Eriksson, 1984) in the system $\text{SiO}_2\text{-MgO-CaO-FeO-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-TiO}_2$. The continental and oceanic thermal gradients are from Clark & Ringwood (1964). The adiabats are calculated for diapirs ascending from the starting position: A1—100 kb and 1600 °C, A2—100 kb and 1400 °C, A3—50 kb and 1330 °C and A4—40 kb and 1240 °C. The solidus (S) is from Takahashi & Kushiro (1983) for peridotite (HK66). The dashed line is solidus for pyrolite from Ringwood (1975). A = olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, plagioclase and ilmenite. With increasing pressure below 800 °C first spinel and then garnet are added to the assemblage. These assemblages are shown as A + Sp and A + Sp + Gar respectively. On the high temperature side (> 800 °C) the A assemblage is first joined by spinel (A + Sp). With increasing pressure plagioclase disappears (A + Sp - Plag) followed by spinel which coincides with the appearance of garnet (A + Gar - Plag). In this and all succeeding figures the addition of a phase to the low pressure assemblage A is shown by a plus sign and the disappearance of a phase from A by a minus sign.

- C. A with spinel and garnet
- D. A with spinel, without plagioclase
- E. A without plagioclase
- F. A with garnet, without plagioclase

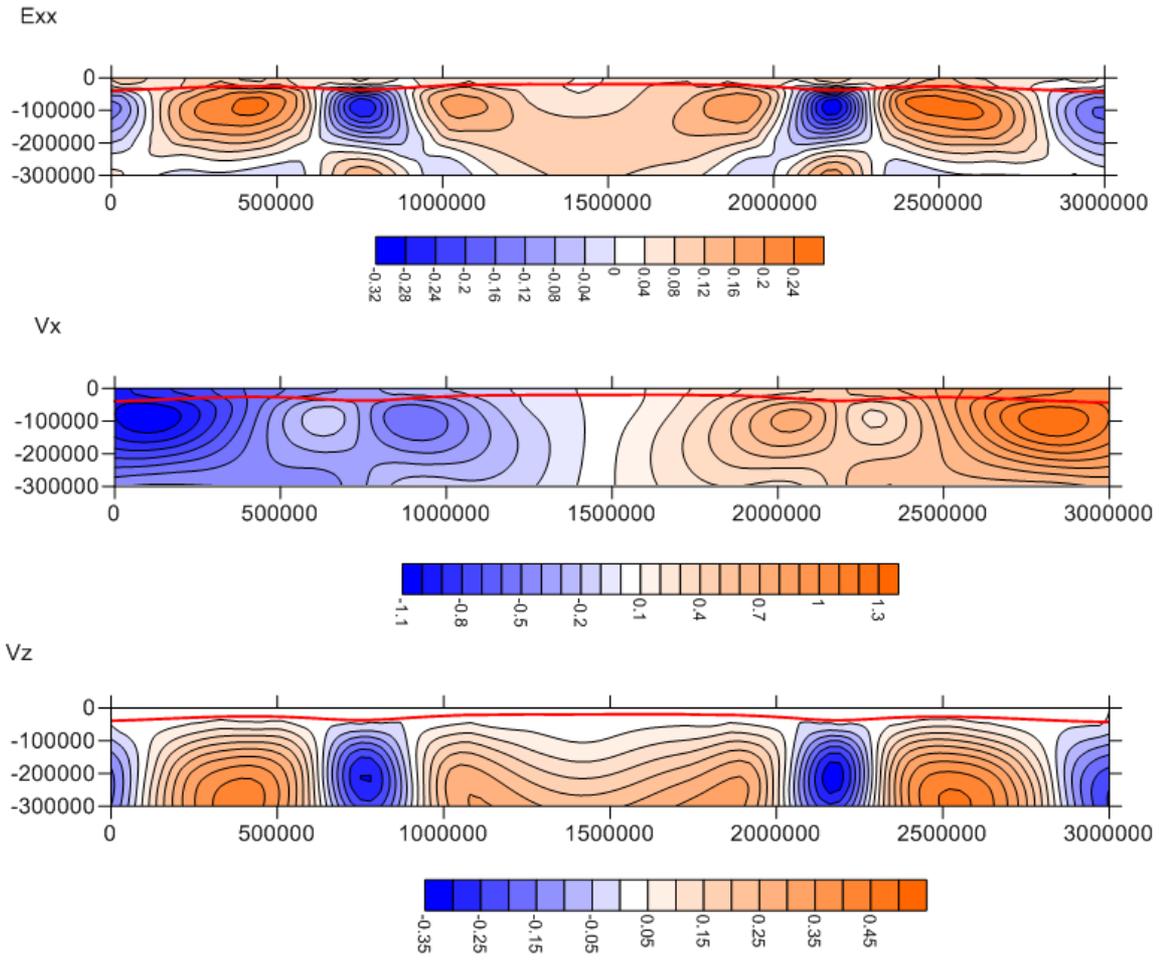
Конвекция в термической литосфере при «сухой» мантии и ее выражение на поверхности



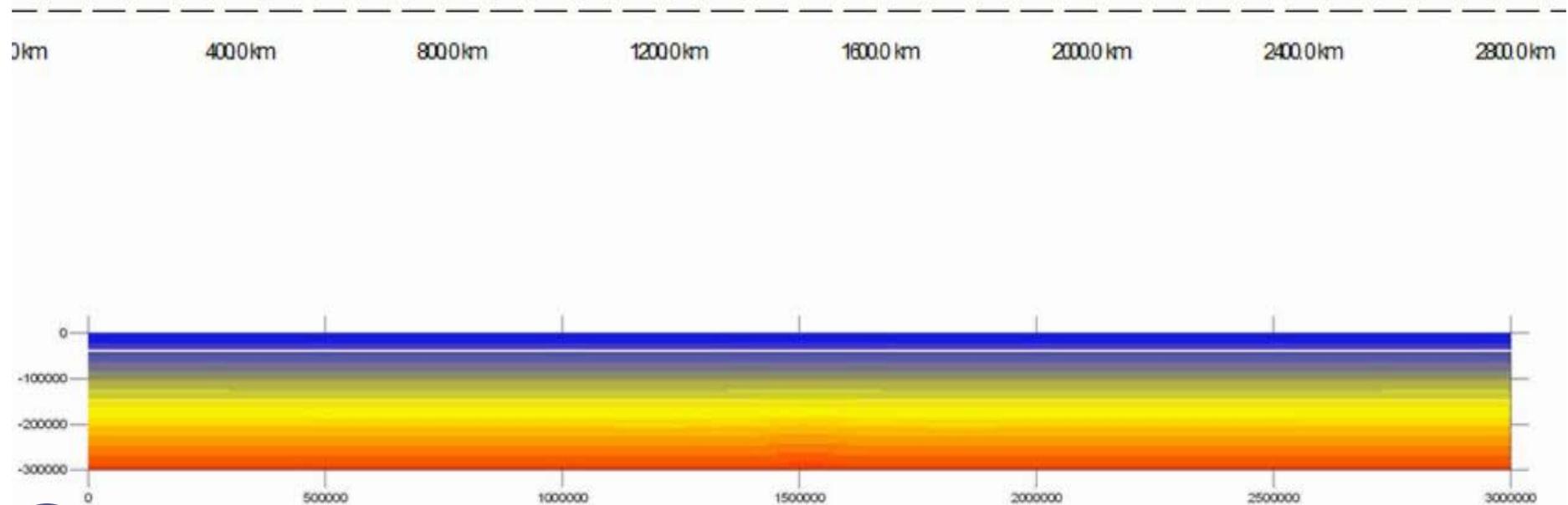
300 ma



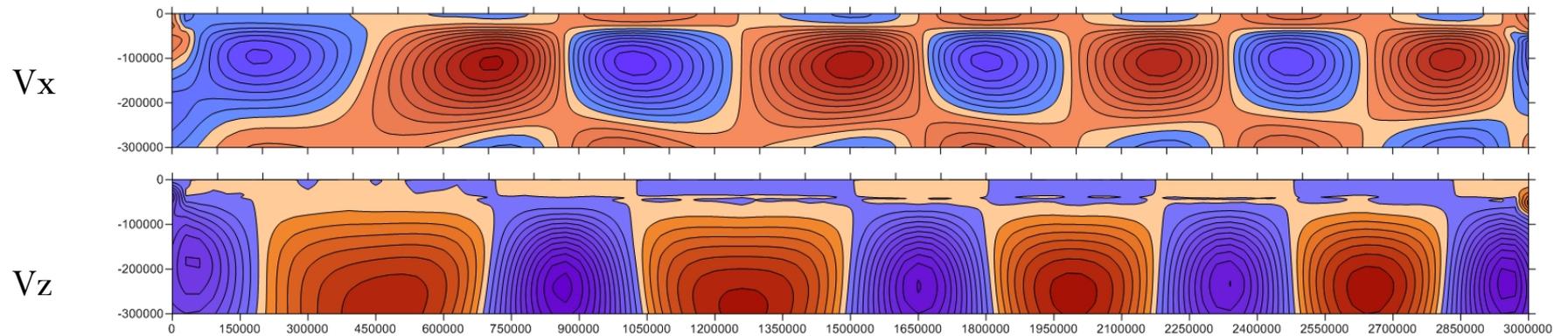
Кинематика течения



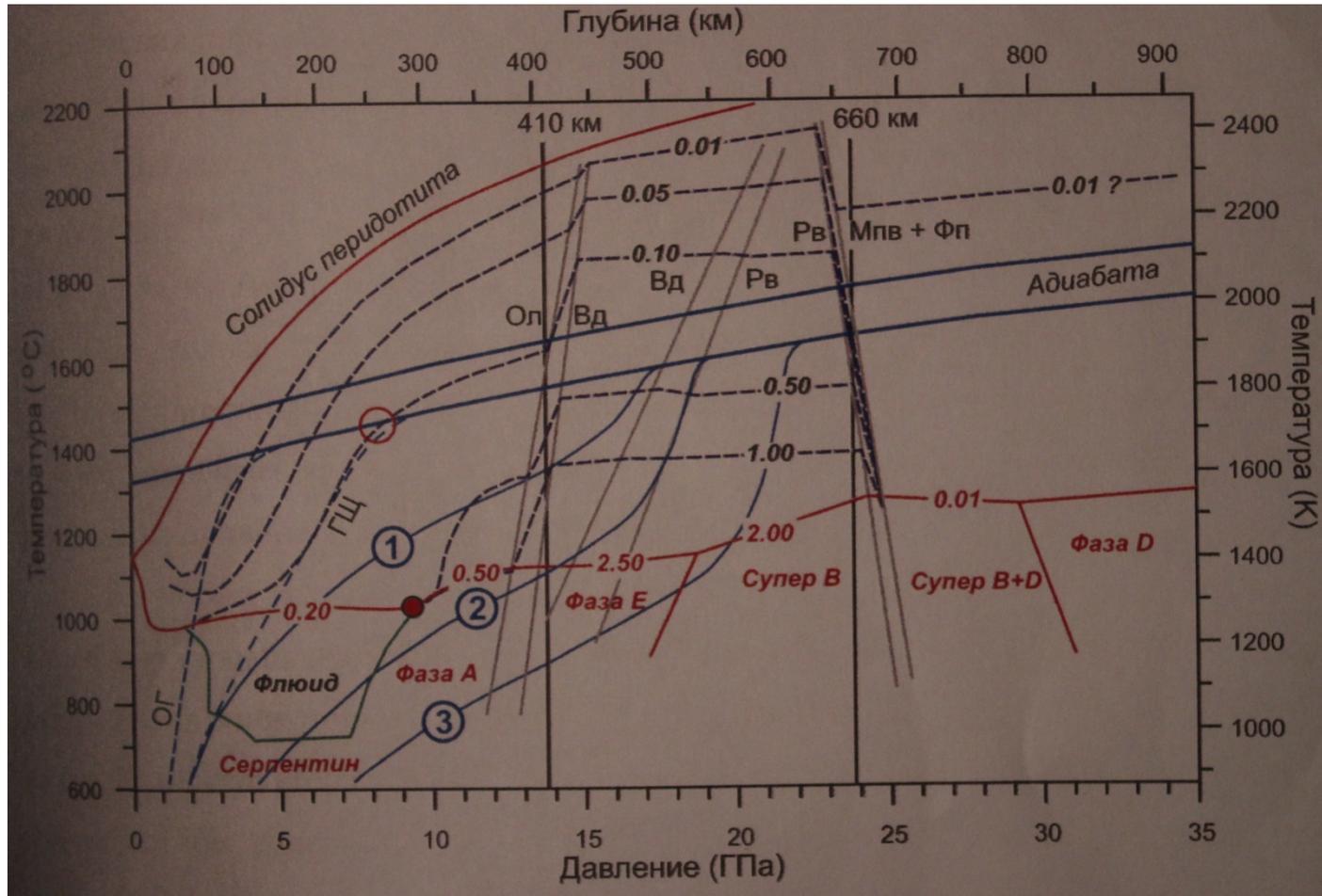
Конвекция в термической литосфере при «сухой» мантии выход на квазистационарный режим



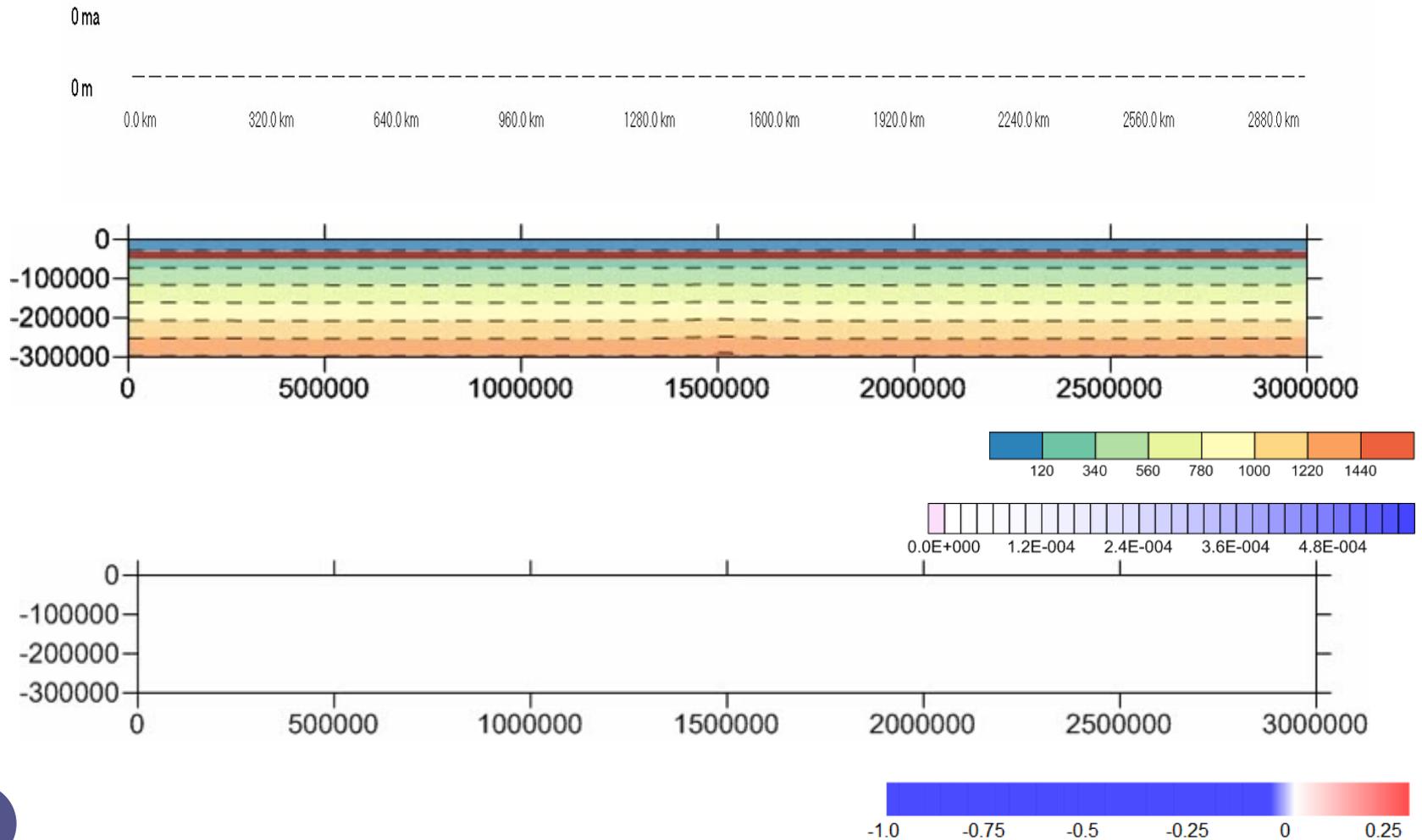
Структура течения в квазистационарном режиме



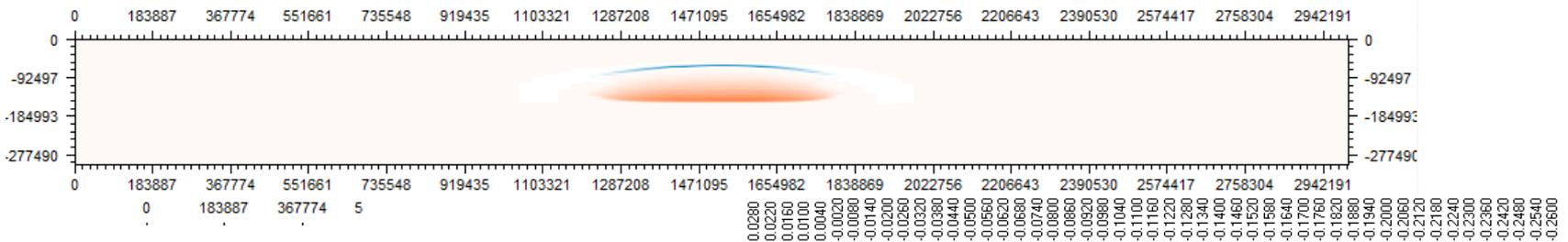
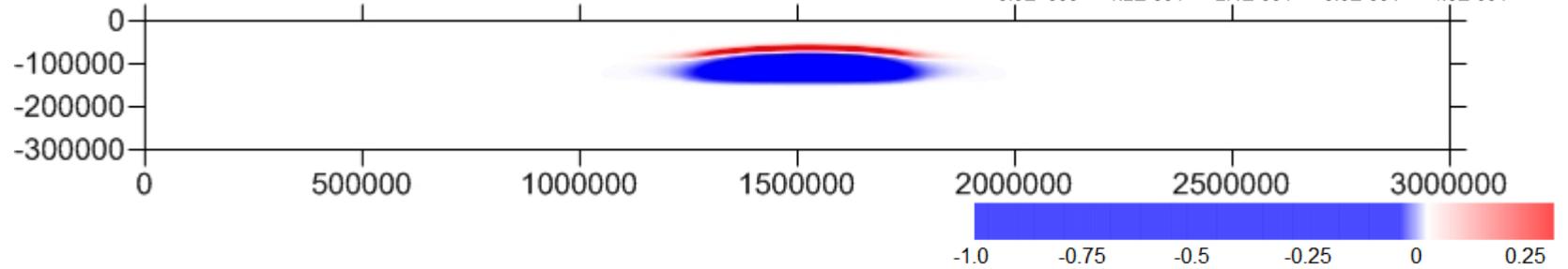
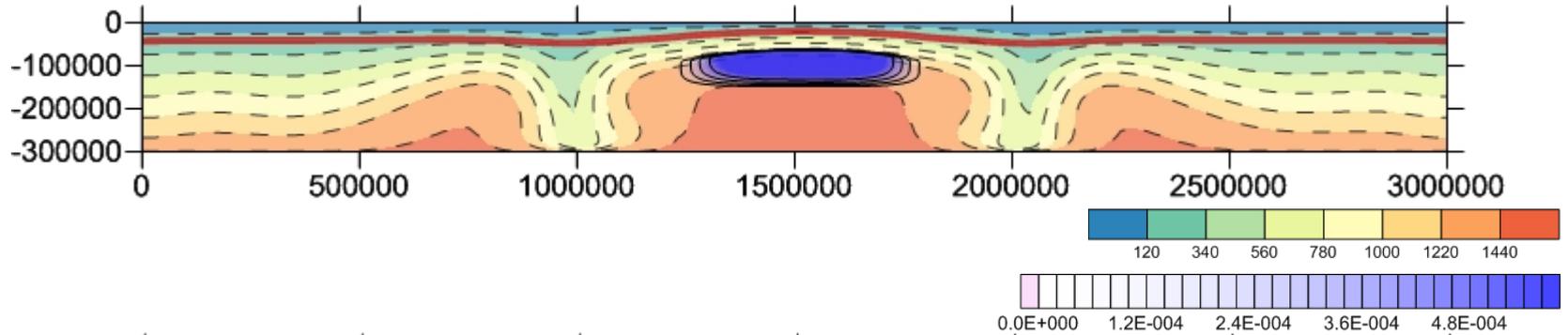
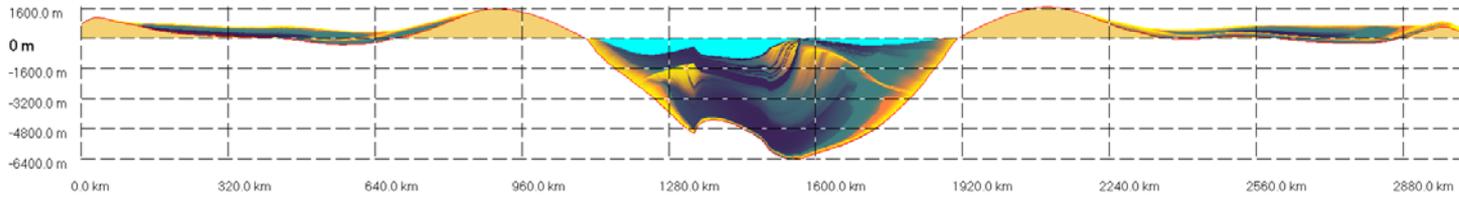
Фазовая диаграмма для «мокрой» верхней мантии (по Литасову К.Д.)



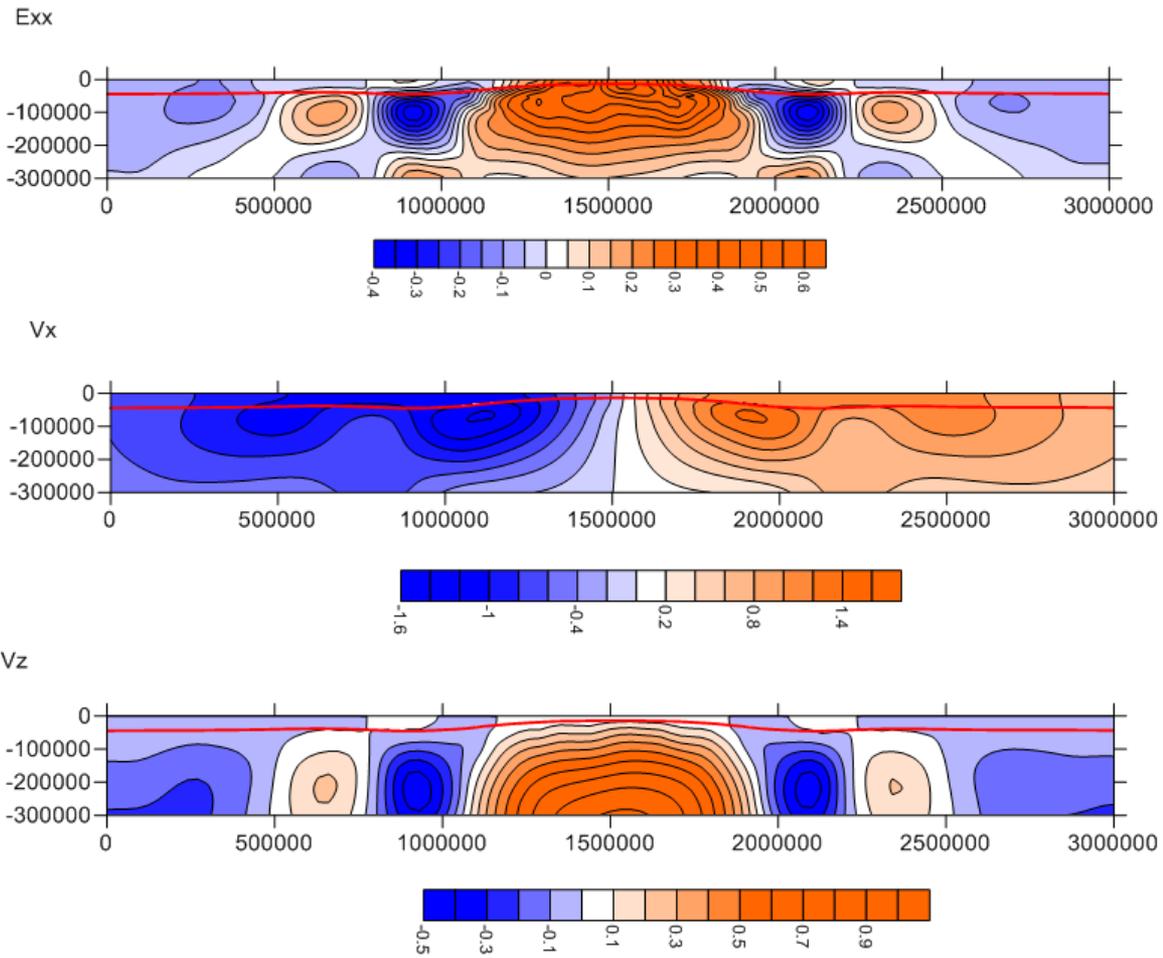
Конвекция в термической литосфере при «мокрой» мантии и ее выражение на поверхности



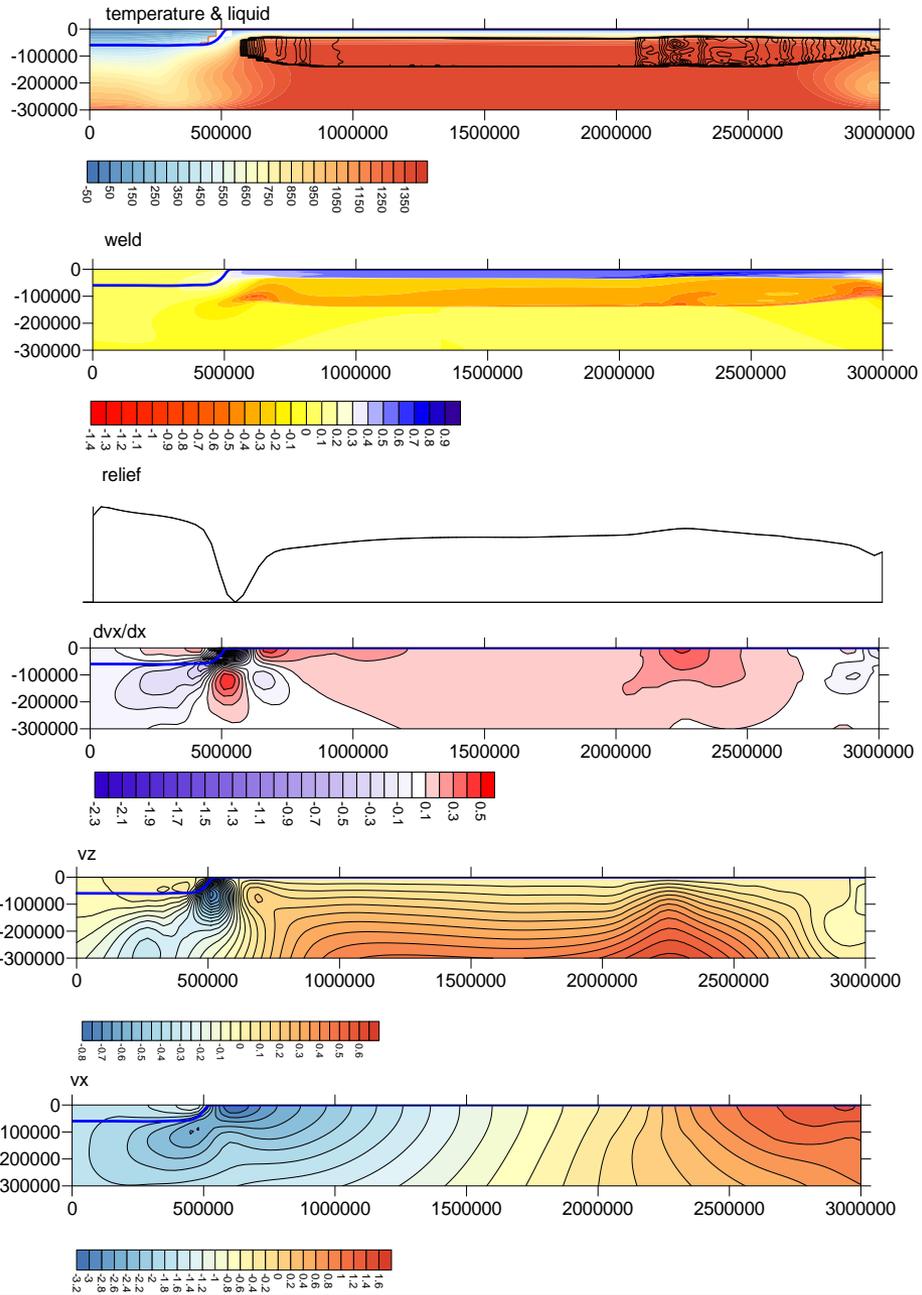
210 ma



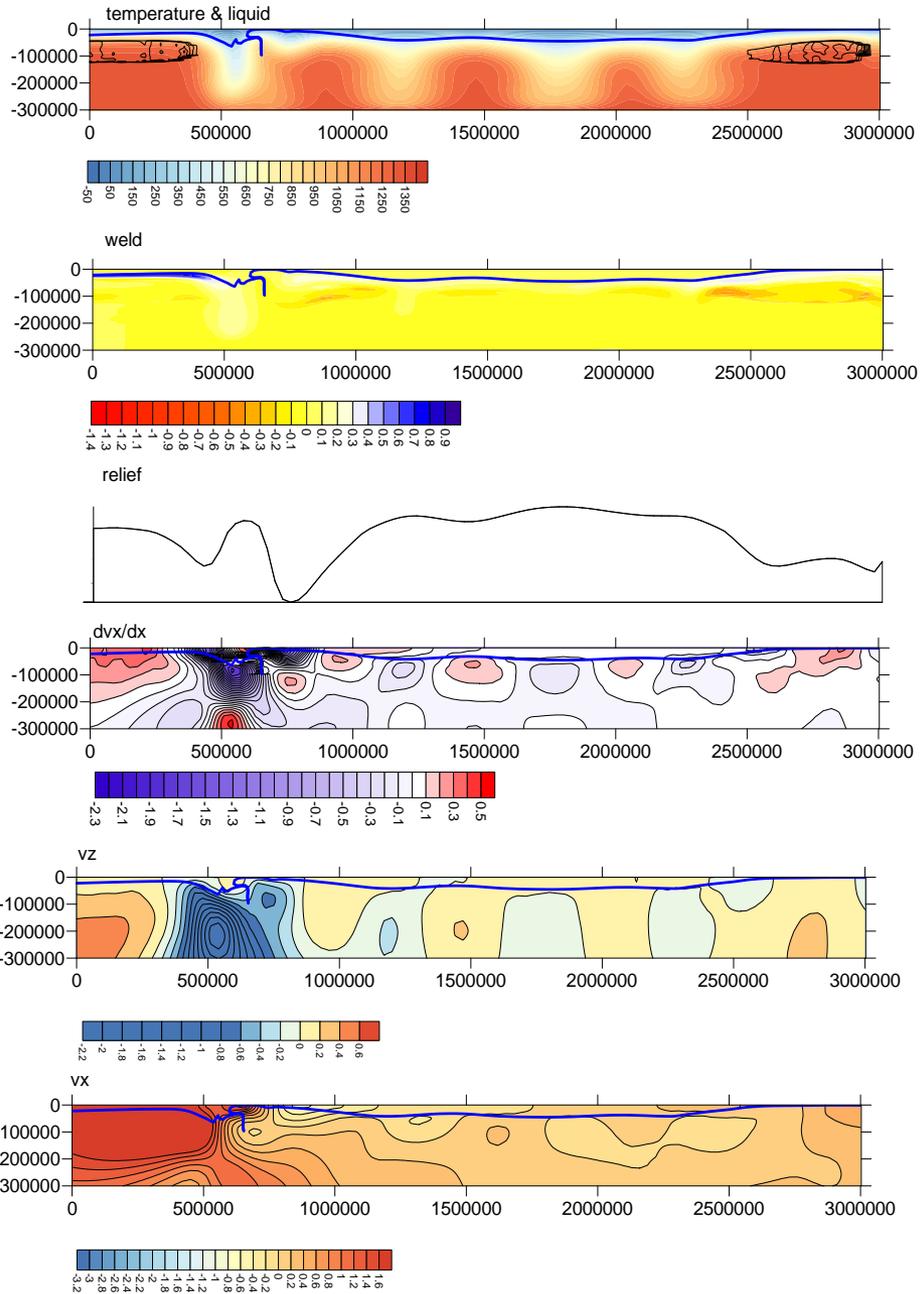
Кинематика течения



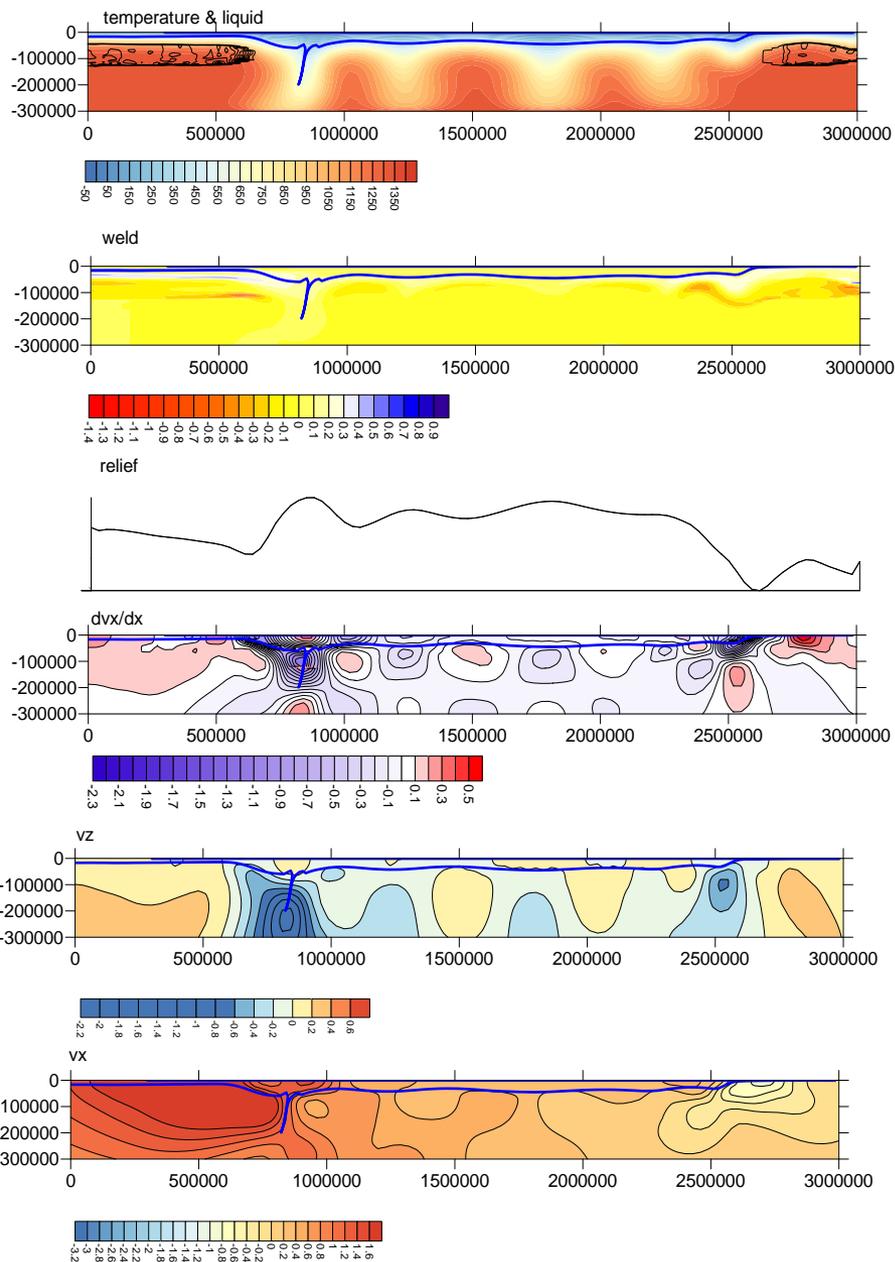
17.07.14_spreding_subduction_k4203



26.07.14_collision_k3501

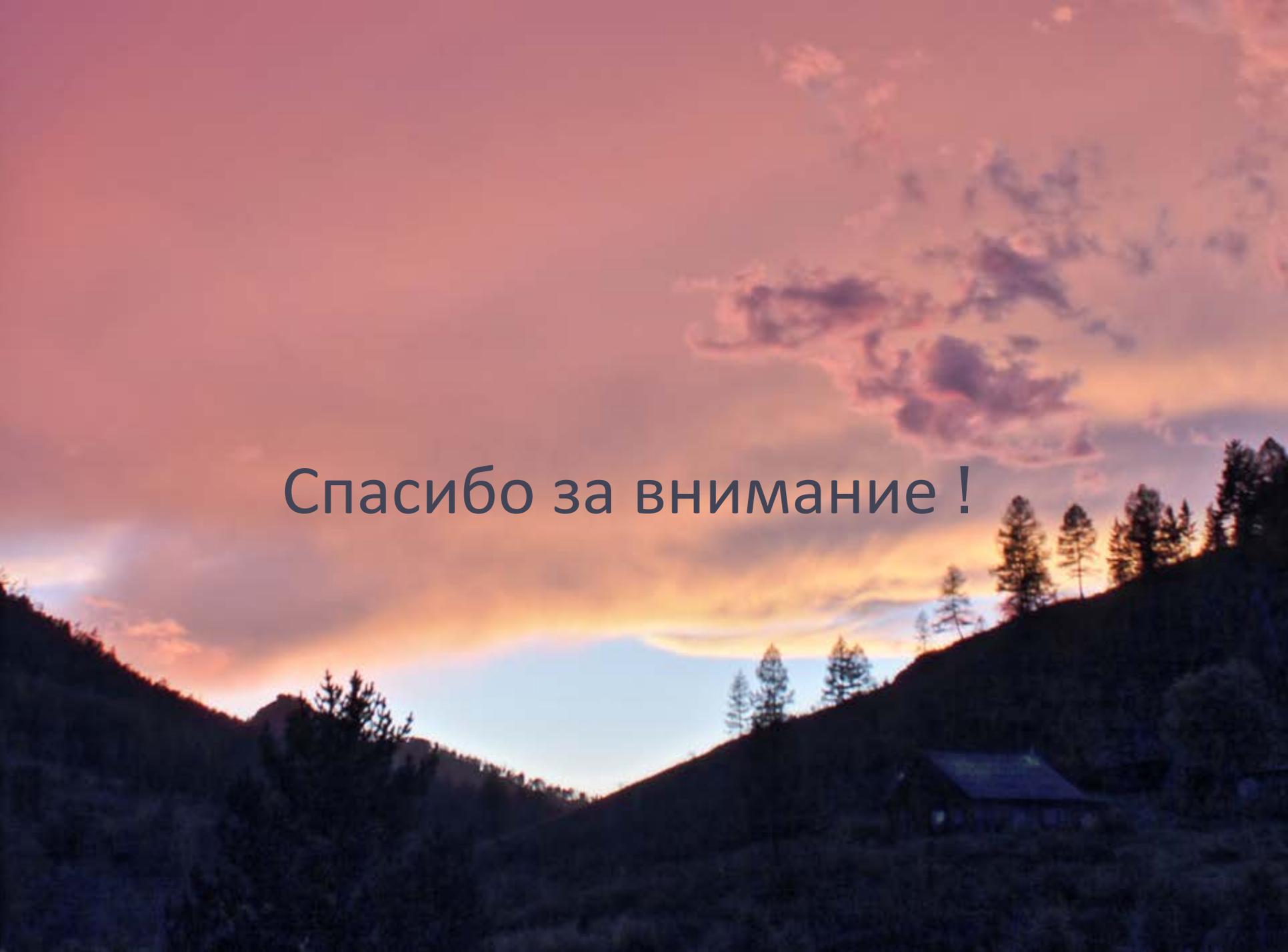


26.07.14_collision_k4203 (спустя 20 т.а. после к3501)



Выводы

- Сформирована геодинамическая модель первого приближения с минимальным числом произвольно варьируемых параметров, позволяющая описать во взаимосвязи процессы термохимической конвекции литосферы, магматизма, формирования петрохимической структуры коры и верхней мантии, рельефа дневной поверхности и осадконакопления.
- В рамках модели удастся описать формирование эпиконтинентальных бассейнов, без привлечения как «плохо диагностируемого растяжения», так и «ненаблюдаемого явления сплошной эклогитизации».
- Для адекватного описания процессов магматизма, расчета эволюции конкретных бассейнов, их географической и временной локализации, требуется дальнейшее развитие модели.

A scenic landscape at sunset or sunrise. The sky is filled with soft, colorful clouds in shades of pink, orange, and purple. The sun is low on the horizon, casting a warm glow over the scene. In the foreground, there are dark silhouettes of evergreen trees and a small cabin on a hillside. The overall mood is peaceful and serene.

Спасибо за внимание !