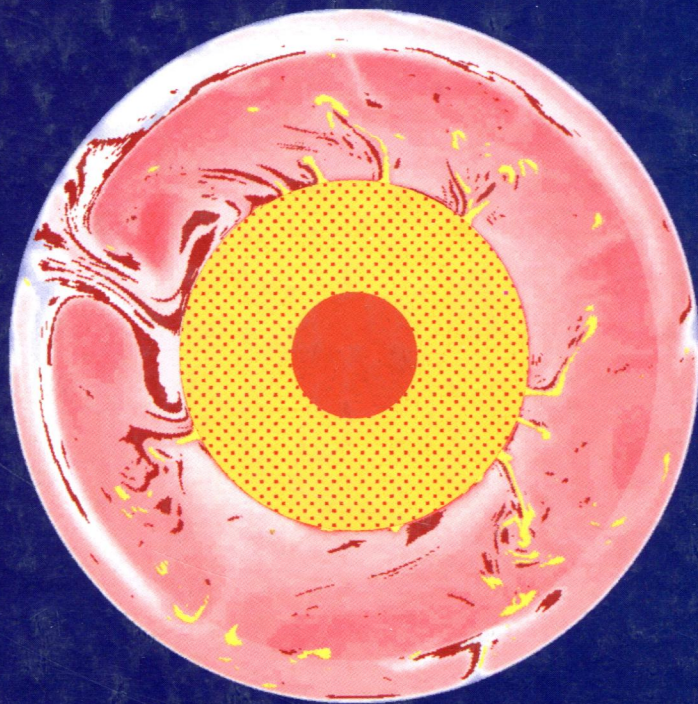
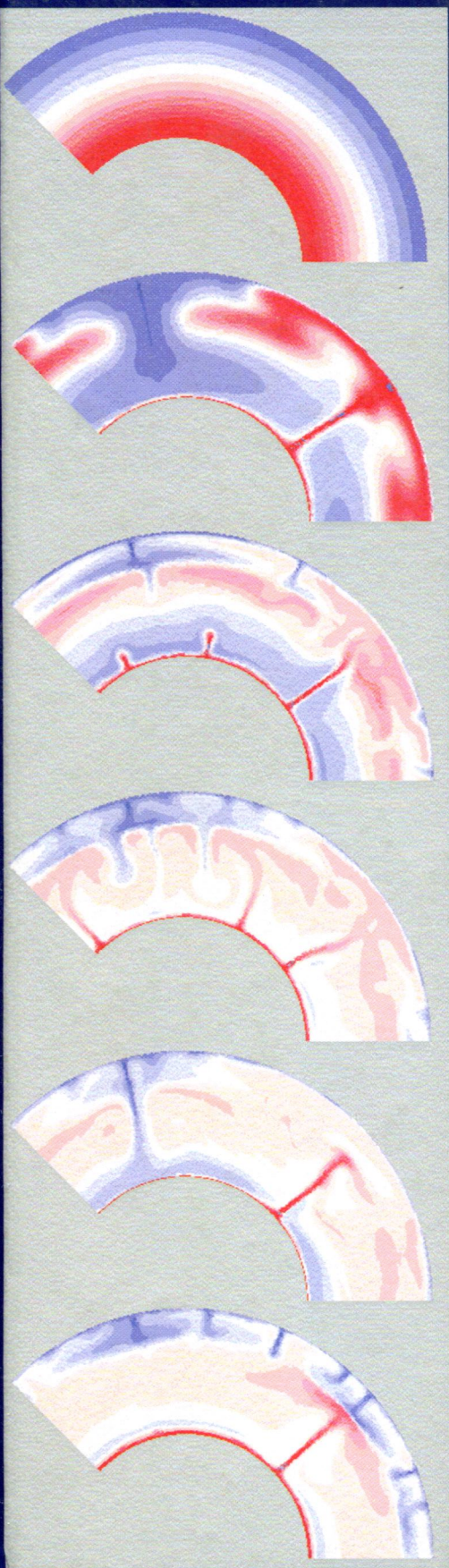


Л.И. Лобковский
А.М. Никишин
В.Е. Хаин

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ



НАУЧНЫЙ МИР

Л.И. Лобковский, А.М. Никишин, В.Е. Хаин

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ

МОСКВА
НАУЧНЫЙ МИР
2004

УДК 551.24
ББК 26.324
Л 68

Лобковский Л.И., Никишин А.М., Хаин В.Е.

Л 68 **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОТЕКТОНИКИ И ГЕОДИНАМИКИ.** – М.: Научный мир, 2004. – 612 с., цв. вкл. 4 с.

ISBN 5-89176-279-X

В книге последовательно рассмотрены современные представления о внутреннем строении Земли и ее внешних оболочек, описаны процессы, происходящие на дивергентных, конвергентных и трансформных границах плит, а также во внутриплитных областях литосферы. Изложены современные взгляды о направленности и цикличности геологических процессов в истории Земли. Проанализированы актуальные проблемы геодинамики с позиций механики сплошной среды.

Для специалистов в области геологии, геофизики и геодинамики.



Публикуется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 00-05-78012)

Lobkovsky L.I., Nikishin A.M., Khain V.E.

CURRENT PROBLEMS OF GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS. – Moscow, Scientific World, 2004. – 612 p.

The book subsequently deals with uptodate ideas on inner Earth structure and its outer geospheres; processes occurring on divergent, convergent and transform plate boundaries as well as in intraplate lithosphere areas being described. Current views on direction and cyclicity of geological processes over the Earth history are discussed. Actual problems of geodynamics are analyzed from the point of view of continuum mechanics.

For the specialists of geology, geophysics and geodynamics.



Published at financial support of the Russian Foundation for Basic Research (grant № 00-05-78012).

На обложке приведены компьютерные изображения фрагментов термохимической конвекции в мантии, полученные в результате ее численного моделирования Л.И. Лобковским и В.Д. Котелкиным.

ISBN 5-89176-279-X

© Л.И. Лобковский, А.М. Никишин, В.Е. Хаин, 2004
© Научный мир, 2004

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ ЗЕМЛИ, ЛИТОСФЕРЫ И АСТЕНОСФЕРЫ	14
1.1. Деление твердой Земли на оболочки	14
1.1.1. Основные геосферы Земли	14
1.1.2. Земная кора	18
1.1.3. Верхняя мантия	22
1.1.4. Переходная зона от верхней к нижней мантии (410–670 км)	23
1.1.5. Нижняя мантия	23
1.1.6. Переходная зона мантия–ядро	24
1.1.7. Внутреннее ядро Земли	25
1.2. Литосфера и астеносфера	26
1.2.1. Литосфера	27
1.2.2. Астеносфера	33
1.2.3. Флюиды в мантии и ядре	34
Глава 2. ПРОЦЕССЫ НА ДИВЕРГЕНТНЫХ И ТРАНСФОРМНЫХ ГРАНИЦАХ ПЛИТ	36
2.1. Общие замечания	36
2.2. Зоны спрединга	41
2.2.1. Изменения морфологии и структуры зон спрединга вдоль их простиранья	41
2.2.2. Особенности строения и развития зон спрединга	44
2.3. Тройные сочленения	49
2.4. Трансформные разломы	50
2.4.1. Основные типы трансформных разломов	50
2.4.2. Строение зон трансформных разломов	55
2.4.3. Дополнительные замечания	57
Глава 3. ПРОЦЕССЫ НА КОНВЕРГЕНТНЫХ ГРАНИЦАХ ПЛИТ. СУБДУКЦИЯ	58
3.1. Общие замечания	58
3.2. Морфология зон субдукции и их глубинность	59
3.3. Миграция и перескок зон субдукции	66
3.4. Аккреция и эрозия вдоль зон субдукции	68

3.5. Косая субдукция	74
3.6. Псевдосубдукция	75
3.7. Субдукционный магматизм	76
3.8. Субдукционный метаморфизм	79
3.9. Условия зарождения зон субдукции	80
3.10. Проблема происхождения крутых вулканических островных дуг	81
Глава 4. ПРОЦЕССЫ НА КОНВЕРГЕНТНЫХ ГРАНИЦАХ ПЛИТ.	
КОЛЛИЗИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ ОРОГЕНОВ	83
4.1. Общие замечания	83
4.2. Глубинные процессы в зонах коллизии	84
4.3. Подвиг континентальной коры и строение внешних зон орогенов	87
4.4. Обдукция и образование офиолитовых покровов	90
4.5. Глубокая субдукция континентальной коры, образование и эдукция (эксгумация) метаморфитов ультравысоких давлений	92
4.6. Строение внутренних зон орогенов и концепция террейнов	93
4.7. Коллизионный магматизм и метаморфизм	96
4.8. Косая коллизия, ее признаки и следствия	99
4.9. Постколлизионная стадия развития орогенов	101
4.10. Латеральные изменения в строении орогенных поясов и систем	101
4.11. Растяжение на фоне коллизии. Образование межгорных впадин	106
Глава 5. ВНУТРИПЛИТНЫЕ И ОКРАИННОПЛИТНЫЕ ПРОЦЕССЫ:	
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ ОБСТАНОВКИ И ВОПРОСЫ ГЕОДИНАМИКИ ...	107
5.1. Внутриплитные процессы – общие замечания	107
5.2. Внутриплитные поля напряжений	107
5.3. Континентальный рифтинг и связанные с ним процессы	117
5.3.1. Структура рифтовых зон и реология литосферы	117
Характер рифтинга в областях с “холодной” толстой дорифтовой литосферой континентов	119
Характер рифтинга в областях с “промежуточной” по толщине дорифтовой литосферой континентов	132
Характер рифтинга в областях с “горячей” и тонкой дорифтовой литосферой континентов	142
5.3.2. Рифтинг и образование пририфтовых плечевых поднятий	149
5.3.3. Рифтинг, вывод на поверхность метаморфических комплексов и метаморфизм	151
5.3.4. Рифтинг и куполообразование	152
5.3.5. Рифтинг и магматизм	155
5.3.6. Рифтинг и формирование пострифтовых осадочных бассейнов	161
5.3.7. Генетические модели рифтинга	167
5.3.8. Континентальный рифтинг в геологической истории Земли	174
5.4. Внутриплитные зоны региональных поднятий и погружений	175
5.5. Литосферные складки и проблема образования внутриплитных горных поясов сжатия	178

5.5.1. Введение	180
5.5.2. Синколлизионные деформации в западном сегменте Северной Перитетической области	181
Пояс периферических флексурных поднятий (peripheral lithospheric flexural bulges)	183
Синклиналеподобные общелитосферные синкомпрессионные депрессии	185
Антиклиналеподобные общелитосферные синкомпрессионные поднятия	186
5.5.3. Внутриплитные инверсионные структуры	186
5.5.4. Динамика западного сектора северной Перитетической области в олигоцене–квартере	188
5.5.5. Синколлизионные деформации в восточном сегменте Северной Перитетической области	189
5.5.6. Основные черты неотектоники Азии	189
5.5.7. Длинноволновые топографические деформации в Азии	193
Район Высокой Азии	193
Верхояно-Камчатский регион	195
Восточно-Азиатский регион	197
Индокитайский регион	198
Казахстано-Южно-Западно-Сибирский регион	198
Баренцево-Карско-Таймырский регион	198
5.5.8. Литосферная складчатость в Индийском океане	199
5.5.9. Литосферные складки или разломы – что формируется раньше?	201
5.5.10. Длины волн и амплитуды вертикальных движений при литосферной складчатости	201
5.5.11. Литосферная складчатость и ранее существовавшие литосферные неоднородности	203
5.5.12. Литосферная складчатость и коровые корни гор	205
5.5.13. Происхождение Тибетского плато	205
5.5.14. Литосферная складчатость и вулканизм	205
5.5.15. Общее расположение предполагаемых литосферных складок в Евразии	207
5.5.16. Литосферные складки других областей	208
5.5.17. Литосферная складчатость в геологическом прошлом	208
5.5.18. Литосферные складки и проблема природы внутриплитных напряжений	211
5.5.19. Выводы о литосферной складчатости	212
5.5.20. Два основных механизма формирования внутриплитных гор в обстановке сжатия	212
5.6. Внутриплитные континентальные высокие плато	214
5.7. Внутриплитная инверсионная тектоника	215
5.8. Сдвиговая, транспрессионная и транстенсионная тектоника	224
5.9. Краевые (передовые, флексурные) прогибы	229
5.10. Орогенные (межгорные) впадины	247

5.11. Внутриплитные процессы, седиментация, эрозия и глобальная среда	259
Глава 6. ВНУТРИПЛИТНЫЙ МАГМАТИЗМ, МАНТИЙНЫЕ ПЛЮМЫ И ГЛОБАЛЬНАЯ ГЕОДИНАМИКА	262
6.1. Континентальные траппы и продолжающие их развитие области магматизма	262
6.2. Цепи разновозрастных вулканов в океанах	289
6.3. Океанические плато и океанические траппы	290
6.4. Цепочки разновозрастных внутриплитных вулканов – горячие линии	292
6.5. Внутриплитный трапповый магматизм в истории Земли	292
6.6. Геохимия внутриплитного магматизма и источники вещества	293
6.7. Некоторые закономерности плюмового магматизма	294
6.8. Краткоживущие и долгоживущие плюмы	301
6.9. Два типа долгоживущих плюмов	302
6.10. Два типа суперплюмовых событий	302
6.11. Тектоника литосферных плит и тектоника мантийных плюмов	303
6.12. Модель глобальной геодинамики Земли, основанная на единстве тектоники плит и плюмовой тектоники	319
Глава 7. НАПРАВЛЕННОСТЬ И ЦИКЛИЧНОСТЬ В ИСТОРИИ ЗЕМЛИ	322
7.1. Основные этапы эволюции Земли	322
7.1.1. Рождение планеты Земля и первая “догеологическая” стадия ее эволюции. Гадей (~4,5–4,0 млрд. лет назад)	322
7.1.2. Ранний архей (4,0–3,5 млрд. лет назад). Становление протоконтинентальной коры	325
7.1.3. Средний архей (3,5–3,0 млрд. лет назад). Первые гранит-зеленокаменные области и становление эократонов	331
7.1.4. Поздний архей (3,0–2,5 млрд. лет назад). Тектоника плит вступает в свои права и образуется первый(?) суперконтинент	334
7.1.5. Ранний протерозой (2,5–1,65 млрд. лет назад). Распад первого и становление второго суперконтинента. Тектоника малых плит	339
7.1.6. Средний протерозой (1,65–1,0 млрд. лет назад). “Смутное время” в истории Земли – образование или возрождение суперконтинента Родиния	345
7.1.7. Поздний протерозой и кембрий (1000–500 млн. лет назад). Распад Родинии и образование Гондваны	350
7.1.8. Ордовик–триас (500–200 млн. лет назад). Развитие палеозойских океанов и становление новой Пангеи	354
7.1.9. Юра–квартер (200–0 млн. лет назад). Распад последней Пангеи. Образование современных океанов. Новейший этап развития Земли	358
7.2. Крупномасштабная цикличность в тектонической истории Земли	361
7.2.1. Суперциклы, или циклы Вилсона	361
7.2.2. Циклы Бертрана	368
7.2.3. Циклы Штилле	373

7.2.4. Тектоническая цикличность и ее отражение в других геологических процессах	377
7.3. Направленность в эволюции Земли	379
Глава 8. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ – ПОДХОД С ПОЗИЦИЙ МЕХАНИКИ СПЛОШНОЙ СРЕДЫ	388
8.1. Общие замечания	388
8.2. Термохимическая модель конвекции в мантии и ее геодинамические следствия	389
8.2.1. Общие представления о глобальном строении и развитии Земли, составляющие современную основу для моделирования ее эволюции	390
8.2.2. Модели конвекции в мантии Земли	398
8.2.3. Исходные положения модели термохимической двухъярусной конвекции в мантии и некоторые ее следствия	401
8.2.4. Математическая формулировка задачи термохимической конвекции	408
8.2.5. Некоторые результаты численного моделирования стационарной двухъярусной термической конвекции	411
8.2.6. Моделирование характерных элементов термохимической конвекции	414
8.2.7. Геолого-геофизические следствия термохимической модели мантийной конвекции	418
8.2.8. Численное моделирование глобальной эволюции Земли в целом на основе термохимической модели мантийной конвекции	422
8.2.9. Некоторые общие выводы	426
8.3. Геодинамические модели процессов образования и эволюции осадочных бассейнов	427
8.3.1. Современные представления о механизмах образования осадочных бассейнов	428
8.3.2. Двухмерная пластическая модель растяжения и утонения литосферы осадочных бассейнов	430
8.3.3. Геодинамическая модель упругого прогибания неоднородно нагретой (ослабленной) литосферной плиты в условиях растяжения	438
8.3.4. Геодинамическая модель образования осадочного бассейна в результате возникновения эклогитовой линзы в верхней мантии	442
8.3.5. Моделирование эволюции флюидосистем осадочных бассейнов на примере Прикаспийской впадины	457
Основные соотношения механики поронасыщенных деформируемых сред	459
Моделирование консолидации осадочной толщи	463
Моделирование эволюции аномальных давлений в подсолевом комплексе Прикаспия	465

8.4. Геодинамические модели структурообразующих процессов, происходящих в реологически расслоенной литосфере	471
8.4.1. Геодинамическая модель образования листрических разломов в коре и литосфере	472
8.4.2. Геодинамический анализ влияния течений нижней коры и верхней астеносферы на структуру и эволюцию пассивных континентальных окраин	476
8.4.3. Геодинамическая модель коллизионного процесса и ее геолого-геофизические следствия	488
8.5. Региональный геодинамический анализ сейсмотектонических процессов в зонах субдукции и внутриплитных областях литосферы	503
8.5.1. Анализ сейсмотектонического процесса в зонах субдукции	503
Анализ фронтальной сейсмичности в зонах поддвига плит и механизм цунамигенных землетрясений	504
Клавишная модель сейсмических циклов в очагах сильнейших землетрясений островных дуг и активных континентальных окраин	512
Механическая модель сейсмотектонической эволюции системы взаимодействующих блоков-клавиш в зоне субдукции	518
Выбор и анализ расчетных характеристик модели	523
Анализ результатов численных экспериментов по моделированию циклов сильнейших надвиговых землетрясений	525
Численное моделирование тектонических движений сейсмогенных блоков в зоне субдукции с учетом сильных сдвиговых и сильнейших надвиговых землетрясений	530
8.5.2. Анализ сейсмотектонического процесса во внутриплитных областях литосферы с разломно-блоковой инфраструктурой	535
Напряженное состояние земной коры в системе тектонических разломов	535
Определение мгновенного напряженного состояния литосферы с внутренней инфраструктурой по скоростям продольных и поперечных волн	539
8.5.3. Геодинамическое моделирование развития оползневых процессов на подводных континентальных склонах на примере Кавказского склона Черного моря	545
Условие прочности и закон течения	548
Постановка задачи	551
Результаты расчетов	553
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	557
ЛИТЕРАТУРА	561