

№ 12 90/ (2301)

ISSN 0016-7886

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА



Том 37, 1996

ИЗДАТЕЛЬСТВО СО РАН
НИЦ ОИГГМ СО РАН
НОВОСИБИРСК

РЕЦЕНЗИЯ

КРУПНЫЙ ВКЛАД В ИССЛЕДОВАНИЯ
ГЛУБИННОЙ ГЕОДИНАМИКИ ЗЕМЛИ
(о книге Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина
„Глубинная геодинамика“)

С. И. Шерман

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

Новизна и оригинальность книги базируются на комплексном объединении новых геологических и экспериментальных данных, позволивших аргументированно описать процессы на глубинах в сотни километров. Доказана двухуровневая конвекция в мантии, ее сочетание с плюм-тектоникой, периодичность этих процессов и их отражение в литосфере.

Монография открывает качественно новую ветвь в познании Земли — учение о геодинамике Земли.

Периодичность геопроцессов, глубинная геодинамика, мантийные плюмы.

A GREAT CONTRIBUTION INTO STUDIES OF DEPTH GEODYNAMICS OF THE EARTH:
„DEPTH GEODYNAMICS“ BY N. L. DOBRETSOV AND A. A. KIRDYASHKIN

S. I. Sherman

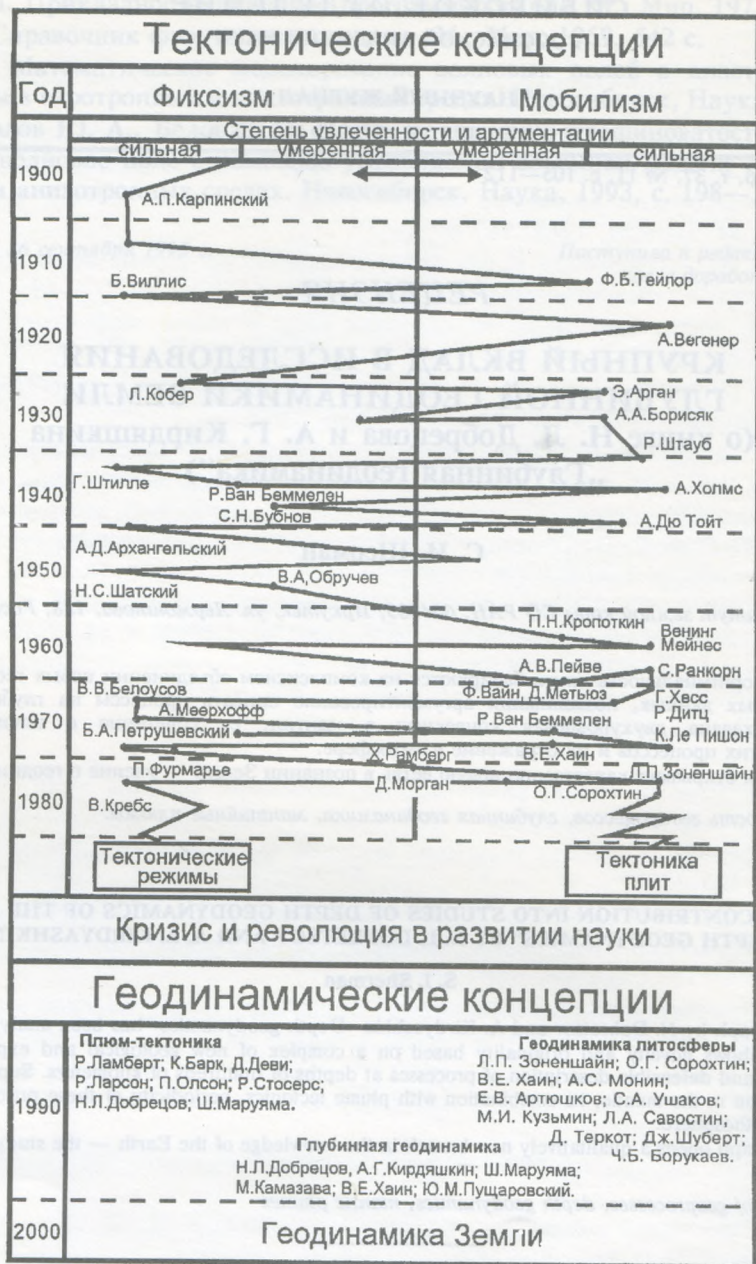
The monograph by N. Dobretsov and A. Kirdyashkin «Depth geodynamics» has been analyzed.

This book shows novelty and originality based on a complex of new geological and experimental data permitting logical and defensible description of processes at depths of hundreds of kilometers. Support is given to two-level convection in the mantle, its combination with plume tectonics, periodicity of these processes and their reflection in the lithosphere.

The monograph opens a qualitatively new branch in the knowledge of the Earth — the study of the Earth's geodynamics.

Periodicity of geoprocesses, depth geodynamics, mantle plumes

Исследованиям по геодинамике Земли в последние десятилетия придается очень большое значение. Достаточно упомянуть работы коллектива авторов под редакцией О. Г. Сорохтина [1], исследования Е. В. Артюшкова [2, 3], Л. П. Зоненшайна и Л. А. Савостина [4], Л. П. Зоненшайна и М. И. Кузьмина [5], Ю. М. Пушаровского [6], В. Е. Хаина [7—9], несколько зарубежных работ, среди которых выделяются исследования Ш. Маруяма [10, 11], А. Шейдеггера [12], Д. Теркота и Дж. Шуберта [13] и многих других. На фоне этих публикаций выделяется монография Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина „Глубинная геодинамика“ [14]. Она продолжает разработку одной из актуальнейших проблем современной геологии — геодинамику развития Земли. Интерес к проблеме проявился примерно с начала столетия и вращался вокруг двух эпохальных концепций: фиксизма и мобилизма, вылившихся в теорию геосинклиналей и теорию тектоники литосферных плит (рисунок). В течение последних 50 лет каждая из этих теорий разрабатывалась многими глубоко профессиональными коллективами специалистов, можно сказать, международными школами. Пополнялись с годами аргументы, и чаша весов общегеологического мнения склонялась то к одной, то к другой концепции. Такое колебание однозначно свидетельствовало о том, что ни одна из концепций не смогла трансформироваться в достаточно аргументированную модель геодинамического развития



Развитие тектонических и геодинамических концепций в XX столетии (по [30] с добавлениями).

Земли. Были и чисто профессиональные причины. До 90-х годов проблемами геодинамики занимались профессионалы главным образом в области тектоники, а также и геофизики, геохимии, физики, механики и др. Именно благодаря широкому кругу таких разносторонних специалистов к концу 80-х годов сложились две парадигмы в геодинамике [15]. Одна из них [2 и др.] в значительной мере разрабатывала идеи геосинклинальных концепций с приматом вертикальных движений коры. Вторая [1, 4, 7, 13] развивала, в определенной мере, подытоживала идеи плитотектонических концепций. Эта парадигма опиралась, в основном, на тектонические и (или) физико-математические построения. В ней были хорошо разработаны механизмы, связанные с дифференциацией вещества по плотности на границе ядро—мантия, а также взаимодействие аномальной мантии с литосферой. Большой вклад в расчетную часть и аргументацию процессов был внесен Е. В. Артюшковым [2, 3], в том числе совместно с А. Е. Шлезингером и А. Л. Яншиным [16]. По Е. В. Артюшкову [2], основным источником тектогенеза является гравитационная дифференциация на границе ядро—мантия Земли. Между ядром и мантией Земли возникают условия тепломассопереноса. Тяжелые продукты низов мантии присоединяются к ядру, а дериваты легких продуктов вначале скапливаются

на границе с нижней мантией, а накопившись, всплывают до литосферы. Здесь они могут временно накапливаться до определенного объема и 1) вызвать изостатическое всплывание литосферы над линзами аномальной мантии, что обеспечивает вертикальные движения; 2) при некотором объеме они начинают растекаться, обеспечивая горизонтальное движение блоков литосферы.

Сторонники плитотектонической концепции также считают, что источником тектонических движений Земли является гравитационная дифференциация вещества в первую очередь на границе ядро—мантия. В дальнейшем происходит термодиффузионная конвекция. Формируется система ячеек, на границах которых функционируют восходящие и нисходящие потоки вещества, а между ними — участки его горизонтальной транспортировки. Структура конвективных ячеек в Земле — дискуссионная проблема. Предполагалось, что в мантии Земли может существовать одно- или двухъячейная структура конвективных течений.

Таково принципиальное положение исследований, сложившееся к концу 80-х годов. Для полного торжества теории тектоники плит необходимо было увязать в единый системный ансамбль процессы, происходящие на глубинах свыше 200—300 км до глубин 2900 км — границы внешнего ядра.

Требовалось физическое обоснование законов теплогравитационного движения вещества в глубоких недрах, в логической связи с петрологическими характеристиками и фазовыми переходами на различных глубинных уровнях.

Публикация книги Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина „Глубинная геодинамика“ существенно восполнила недостающие звенья в согласовании глубинных процессов в мантии и ее астеносферном слое с крупными геологическими перестройками на литосферном уровне. Книга закрывает неоднолетние дискуссии о фиксизме и мобилизме, четко показывает, что движение литосферы — частное отражение более сложных глубинных процессов, инициированных границей ядро—мантия. Естественно, что обсуждение подобных вопросов требовало глубокого анализа петрологических проблем, уже хорошо знакомых авторам [17].

Существенный толчок к разработке проблем глубинной геодинамики дали исследования Л. П. Зоненшайна и М. И. Кузьмина [5, 18], которые суммировали имеющиеся сведения 1) о процессах на границе ядро—мантия; 2) о пульсирующем характере эволюции эндогенной активности Земли; 3) а также показали внутримантийную геохимическую гетерогенность [18]. В этой работе был частично развит высказанный ранее тезис Л. П. Зоненшайна [19] о том, что в программе будущих работ важное место должна занять глубинная геодинамика. О ней в том же 1991 г. в обращении к III Международному совещанию по тектонике плит Л. П. Зоненшайн писал: „Назревает новая революция, она рождает новую науку, ее можно было бы назвать глубинной геодинамикой. Тектоника плит входит в нее лишь составной частью. Имеются в виду процессы в нижней мантии и на границе ядро—мантия (многие пионерские работы в этом направлении делались и в нашей стране, и об этом надо помнить“ [20].

Книга Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина [14] открывает первые страницы нового раздела геологической науки — глубинной геодинамики. Рассмотрим более подробно принципиальные положения книги.

„Глубинная геодинамика“ композиционно построена на тесном сращении и единстве геологических и экспериментальных данных. Ни одна из известных автору книг по геодинамике не опиралась в таком большом объеме на результаты моделирования. Подобный подход сегодня естественен. Человек даже в далеком будущем не сможет непосредственно исследовать процессы в глубинах Земли, превышающих сотни километров. Геофизические методы позволяют получить некоторые характеристики физических свойств вещества на упомянутых глубинах и представляют широкие возможности их геодинамической интерпретации. Физическое моделирование ограничивает вольную широту интерпретаций, оставляя в своих рамках только реальные с точки зрения физических законов геодинамические концепции. Широкое использование в книге физического и математического моделирования, в том числе специально проведенных авторами экспериментов для конкретизации выводов, решает проблему аргументации описания процессов на глубинах, недоступных непосредственному геологическому (в классическом понимании термина!) изучению. Одновременно принятый подход лишает авторов возможности построения умозрительных гипотез, какими богаты многие прежние тектонические построения.

Одна из важнейших проблем глубинной геодинамики — конвективные течения в мантии.

В монографии Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина рассмотрены физические условия возникновения конвекции, особенно ячейистой конвекции в горизонтальном бесконечном слое. Хорошо известно, что конвекция начинается при нарушении устойчивости низковязкой среды. Устойчивость оценивается критерием Рэлея (Ra) и наступает, когда он больше некоторого критического значения $Ra_{кр}$ для данной среды.

Специальные эксперименты и визуальные наблюдения показали, что с ростом Ra происходят качественные изменения пространственных форм течения: при малой надкритичности ячейистое течение квазипериодично, с увеличением надкритичности квазидвумерная стационарная волновая

структура превращается в трехмерную, а затем и в осциллирующую. Показана, что очень важно для геологических интерпретаций, зависимость режимов течения от соотношений числа Ra и критерия Прандтля (Pr) ($Pr = \nu/a$ — мера подобия температурных и скоростных полей). Для нижней мантии Земли $Pr \sim 10^{23}$. Это очень высокое значение, поэтому в нижней мантии Земли наиболее вероятно турбулентное движение.

Экспериментально также показано, что числа Ra и Pr , а также критерий гомохронности $H_0 = ut/e$ определяют неустойчивый характер движения в мантии. Нестационарность вызывается тепло-инерционностью. Увеличение перепада температур на границах конвектирующего слоя влечет за собой увеличение скорости течения, оно изменяет Ra и H_0 . Хотя каждое из характерных чисел-критериев Ra , Pr , H_0 изменяются в мантии незначительно, они в интегральном виде приводят к неустойчивому характеру движения. Средние периоды неустойчивости для нижней мантии оцениваются в диапазоне 200—900 млн лет при $2,4 \cdot 10^5 < Ra < 1,1 \cdot 10^6$.

Таким образом, физическое и математическое моделирование показало, что при определенных значениях чисел Ra , Pr и критерия гомохронности H_0 в вязкой среде может развиваться двухуровневая конвекция, движения в которой носят неустойчивый во времени характер, с временным циклом 200—900 млн лет.

Естественно, что моделирование необходимо увязать с глубинными процессами в мантии Земли. Это успешно проделано авторами с привлечением наиболее корректных данных по опубликованным российским и зарубежным источникам. Реологическая модель современного разреза Земли принята по Маруяма [10, 21], хотя принципиально она мало отличается от реологической модели Л. П. Зоненшайна и М. И. Кузьмина [18] и от общих представлений Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина [14]. Исходя из принципиального совпадения реологической модели [10, 14, 18, 21] — назовем ее классической реологической моделью земного шара — в книге Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина описывается целенаправленно проведенный физический эксперимент для исследования закономерностей развития двухслойной конвекции. Экспериментальная установка из специальной емкости с боковыми прозрачными стенками, теплообменников и др. приспособлений позволяла визуализировать и фиксировать изменения скорости и структуры конвективных течений в различных слоях жидкостей, заполняющих емкость. В экспериментах использовались жидкости различной плотности и вязкости с отличающейся толщиной слоев. Как и следовало из теории, в начальный этап, т. е. при неустановившемся режиме в каждом из слоев возникали свои ячеистые течения, горизонтальные размеры которых были соизмеримы с толщиной соответствующего слоя: тонкого верхнего и более мощного (толстого) нижнего. При установившемся стационарном режиме в нижнем слое устанавливаются горизонтальные размеры ячеек в соответствии с его мощностью и разностью температур по ограничивающим горизонтальным поверхностям. В верхнем же тонком слое горизонтальные размеры конвективных ячеек полностью контролируются нижними. Как отмечают авторы, фиксируется корреляция между опускающимися и поднимающимися потоками. „Она является следствием природы свободно-конвективных течений в двухслойной модели, когда толщина верхнего слоя менее вязкой жидкости много меньше толщины нижнего, более вязкого слоя“ [14]. Следовательно, конвективные течения в астеносферном слое Земли не являются свободно развиваемыми астеносферными „кинематическими“ структурами. Их размеры и направление потоков в общем случае подчинены нижнемантийной конвекции, толщина конвектируемого слоя которой больше и, следовательно, больше и горизонтальные размеры ячеек как в нижнем, так и верхнем астеносферном слое. Отсюда горизонтальные размеры ячеек в астеносфере, контролирующие кинематику плит, подчиняются нижнемантийной конвекции. Поэтому наличие крупных плит на Земле и большеамплитудных горизонтальных движений на поверхности астеносферного слоя означает, что глобальная кинематическая ситуация и плитная тектоника контролируются нижнемантийным массопереносом вещества. Более того, наличие значительных горизонтальных перемещений на поверхности астеносферы не означает, что существуют единые общемантийные конвекционные ячейки.

Проведенные экспериментальные исследования двухслойной конвекции в мантии могли бы быть еще более информативны, если бы в расчетную часть эксперимента был бы введен дополнительный параметр, связывающий время, вязкость и линейные размеры объекта. Для этого можно было бы воспользоваться критерием-комплексом подобия [22]:

$$\rho g L T / \eta = \text{const},$$

где L — линейные размеры; T — время; η — динамическая вязкость, ρ — плотность. Это уравнение является одной из форм представления числа Рейнольдса (Re). При моделировании движения тела в несжимаемой вязкой жидкости число Re отражает ламинарный или турбулентный характер потока. Уравнение позволяет сопоставить размеры модели (ячеек) с разрезом Земли (конвекции в мантии) и доказать вторую, не менее важную часть проблемы — масштабное подобие процессов в экспериментальной установке глобальным явлениям в мантии Земли. При этом можно воспользоваться

л-теоремой подобия [22], для оценки количества критериев подобия, достаточных для установления сходства между экспериментом и натурой.

Экспериментальная картина всегда идеальная. Для ее коррекции и согласования с натурой авторы монографии воспользовались сейсмографической картиной нижней мантии. Расчеты авторов показывают, что в нижней мантии от границы 670 км до внешнего ядра 2900 км можно выделить 10—14 восходящих потоков. Эти потоки формируют крупнейшие источники геодинамического потенциала Земли — мантийные плюмы, которые регулируют глобальную геодинамику Земли. Структура мантийных потоков, в том числе также и на базе экспериментальных исследований, подробно рассмотрена в монографии [14]. Естественно, что мантийные каналы с плюмами формируются над восходящими конвекционными потоками. Сочетание плюмов с конвекционными потоками с физической точки зрения не простая проблема. Ее экспериментальное решение (см. ниже) правомерно, хотя могут быть и другие точки зрения, особенно по величине вязкости в мантии и ее соотношению с вязкостью модельных композитных материалов.

Совершенно новыми являются полученные экспериментальные данные по тепломассопереносу в мантийном канале. Канал представляет собой неустойчивую по тепломассопереносу и структуре потока систему. По вертикали поток разбивается на ячейки, длина которых в 2,5—4 раза больше диаметра. На границе ячеек формируется смещение потоков от одной стенки к другой. Образуется своеобразная бегущая волна с винтовым вращением около вертикальной оси, проходящей через источник. Вращение вокруг оси создает в проекции на земную поверхность периодические в горизонтальной плоскости смещения, с амплитудой отклонения от оси в 1—2 диаметра. Горизонтальная неустойчивость „канала“ во время его продвижения вверх впервые установлена авторами и имеет интересные геологические интерпретации, связанные с плюм-тектоникой.

Но прежде отметим другое. Фактически авторами установлен колебательный характер изменения во времени границы раздела расплав—твердое тело над локальным источником тепла. Источник тепла не меняет ни своего положения, ни своей тепловой мощности (в конкретном эксперименте). Перекидывание (термин авторов) подъемного потока с одной стороны на другую в канале на разных глубинных уровнях свидетельствует о колебательном (возможно строго периодическом) характере процесса при стационарном источнике возбуждения.

Близкая по внешней форме закономерность была обнаружена в миграции полей деформаций в зоне формирующего разлома. Экспериментами В. Ю. Буддо [23, 24] показано, что в областях динамического влияния разломов во время их формирования фиксируется неравномерное распределение максимумов полей деформаций. Причем поля с максимальными значениями мигрируют из одного крыла в другое как вкрест, так и по простиранию зоны разлома. Этот колебательный миграционный процесс происходит в однородной среде при равномерном нагружении. Источником его возбуждения являются более общие процессы. Общее же по двум совершенно разным экспериментам, направленным на изучение различных явлений в земле, скорее всего заключается в том, что в природных геологических процессах проявляется ритмичность, по-разному выраженная. Очень подробно, в применении к одному из разделов геодинамики, этот вопрос изучил А. Г. Гамбурцев [25]. Им выявлен периодичный характер вариаций для широкой группы параметров геофизической среды, с преобладающими периодами в 11—12, 6—7, 2—3, 1 год, 14—15; 6; 2; 1; 0,5 месяцев [25]. Эти периоды отражают очень небольшой интервал геологического времени — десятки, первые сотни лет. Масштабные, глобальные процессы, анализируемые в книге Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина, охватывают более крупные временные периоды. Можно утверждать, что для большинства геодинамических процессов разных иерархических уровней и физических состояний (от кратковременного сейсмического мониторинга до ритмичности в осадконакоплении, от движений магмы в магматическом канале до вариаций полей деформаций в зонах разломов, полученных в лабораторных экспериментах), характерна сложная временная и пространственная периодичность.

В книге Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина решена очень важная геодинамическая проблема — проблема плюмов. Рожденные на границе внешнее ядро—нижняя мантия эти тепловые мантийные неоднородности привносят громадную энергетическую мощность к подошве литосферного слоя. Плюму необходимо пройти практически без потери энергии и вектора движений конвектирующие слои мантии и астеносферы. Физически это возможно при быстрых скоростях подъема. Авторы, используя экспериментальные и геологические данные как свои, так и опубликованные в России и за рубежом, показали высокую скорость подъема мантийного плюма, 1 м/год, что в 50—100 раз выше скорости конвекции в мантии. При таких соотношениях скоростей мантийный плюм быстро и без существенной потери энергии проходит через нижнюю и верхнюю мантии. Он не может оказать и сколько-нибудь значительного влияния на установившееся течение в мантии. Правда, Н. Л. Добрецов и А. Г. Кирдяшкин считают, что „мантийные плюмы в периоды суперплюмов могут ускорять и перестраивать течения в нижней мантии, что отражается в совпадении восходящих потоков в мантии и крупнейших плюмов“ [14, с. 159]. Как отмечают и сами авторы,

вопрос этот сложный и в дальнейшем необходимо моделировать процессы взаимодействия мантийных плюмов с тепловыми гравитационными течениями в нижней и верхней мантии [14].

С геодинамической точки зрения очень важно, что малое время подъема мантийного плюма дает объяснение псевдонеподвижности горячей точки на поверхности Земли относительно движений литосферных плит.

Заключительная глава книги рассматривает геодинамические процессы в литосфере и астеносфере. Среди них акцентировано внимание на спрединге, рифтообразовании, формировании океанической коры, а также диаметрально противоположных процессах — субдукции, коллизии, деструкции коры и некоторых других. Система доказательств строится прежде всего на обобщенных геологических материалах и физико-математическом моделировании. Проанализирована структура тепловых гравитационных течений в астеносфере, количественно оценены ее основные параметры: вязкость, температуры на подошве и кровле, толщина под плитами разной мощности, скорости, и, что очень важно, коэффициенты трения на границе—литосфера—астеносфера. Особое внимание уделено трансформным разломам — сложным по механизму образования разрывным структурам, преимущественно свойственным океанической литосфере.

Рассматривая формирование рифтов, авторы указывают на их большое генетическое разнообразие. Пожалуй впервые в геологической литературе известные разновидности рифтов согласованы с разнообразными по генерациям напряжениями растяжения, в том числе с их сложными сочетаниями со сдвиговыми. Выделены: периокеанический (Западно-Сибирский осадочный бассейн с рифтами); рассеянный спрединг (Тунгусская синеклиза, рифт Рио-Гранде — Северная Америка); простые линейные структуры растяжения (грабен Осло); рифты сдвигового типа (Байкальский рифт); задуговые рифты в тылу субдукционных структур андийского типа (рифт Альтиплано, Южная Америка); осадочные бассейны, в том числе линейные, сформированные в условиях сжатия (Тарим и Тянь-Шанские бассейны). Совершенно правильно обращено внимание исследователей на неправомерность использования термина „рифт“ как синонима зон растяжения, что, по авторам, недостаточно или неверно. К сожалению, в предложенной в качестве первого приближения классификации внутриконтинентальных рифтов, одновременно „работают“ три классификационных критерия: процесс (рассеянный спрединг); структурная позиция (перикокеанический рифтинг, задуговые рифты); региональное поле напряжений (рифты сдвигового типа); формы на поверхности (простые линейные рифты; осадочные бассейны). Желательно, чтобы любой из принятых классификационных критериев выдерживался по всему ряду обсуждаемых объектов. Например, перечисленные разновидности рифтов можно разделить на 3 группы по преобладающему региональному (или даже трансрегиональному) полю напряжений: рифты, связанные с растяжением (*a, б, в* по рецензируемой книге, с. 198), со сдвиговыми напряжениями (*г*, с. 198) и типа рампа на фоне регионального сжатия (*д, е*).

Не все исследователи согласятся, что Байкальский рифт следует относить в целом к рифтам сдвигового типа. Это внутриконтинентальный рифт, развивающийся на межплитной границе между Сибирской и Забайкальской (Амурской) плитами [26 и др.]. Из-за сложной *S*-образной формы первоначальной границы центральная часть рифта — типичная зона раздвига, его фланги — присдвиговые структуры типа „пул-апарт“, как и отмечено Н. Л. Добрецовым и А. Г. Кирдяшкиным. Авторы монографии при оценке Байкальского рифта как сдвигового опирались на предварительные результаты многоканального сейсмического зондирования оз. Байкал [27], по которому южно-байкальская, центральная и северная впадины акватории Байкала являются полуграбенами, а их взаимная структурная позиция и кинематика движений указывают на преобладание сдвиговых перемещений. Продолжающиеся в настоящее время разносторонние геолого-геодинамические исследования Байкальской рифтовой зоны позволят уточнить механизм формирования этого крупнейшего рифта Азии.

Авторами монографии внесен оригинальный вклад в развитие субдукционной модели, в частности в механизм формирования аккреционного клина и оценку его роли в субдукционном процессе при взаимодействии континента и литосферы океана. Доказана высокая вероятность возникновения вязкой клиновидной области между субдуцируемой океанической плитой и континентом. Показано, что эта область находится в состоянии динамической устойчивости, способна к „саморегулированию“ (определение авторов монографии — *С.Ш.*) при возмущениях формы клина и вязкости промежуточного слоя. С геодинамической точки зрения ценно следствие из расчетной части субдукционно-аккреционной модели: такой тип вязкого, без значительного по величине трения скольжения, взаимодействия между континентом и литосферой океана обеспечивает относительно продолжительное и устойчивое существование субдукции.

Разрабатывая коллизионно-аккреционную модель в применении к однотипным конвергентным границам, авторы [14] показали, что в случаях коллизии континентальных плит, аккреционные клинья определяют основную структуру складчатых поясов. Коллизионно-аккреционная модель в предложенном варианте логически связывает парагенез офиолитов, глаукофановых сланцев, эк-

логитов с зонами меланжа и олистостромовыми комплексами. Как известно, эклогиты и глаукофановые сланцы образуются при давлениях, близких к 12 и более килобарам (до 30—40) и температурах более 300 °С [14, 28]. Если высокие давления связать с большой глубиной, то сложно объяснить быстрое выведение эклогитов и сланцев к приповерхностным уровням. Необходимое высокое давление, по мнению некоторых исследователей, может быть создано и на относительно неглубоких гипсометрических уровнях за счет локального тектонического сверхдавления. Однако независимо от генезиса, давление (не всестороннее!) в недрах земли не может превышать механическую прочность горных пород, которая на глубинных уровнях не превышает 10—12 кбар [29]. Более того, присутствие флюида снижает по эффекту Ребиндера прочностные свойства горных пород. Следовательно, о сверхвысоких давлениях, независимо от их происхождения (за исключением взрывов), речи быть не может. Остается одно из реальных решений — быстрый подъем из соответствующих глубинных уровней к приповерхностным условиям глаукофановых сланцев и эклогитов. Используя коллизионно-аккреционную модель клина, снижение вязкости на его границах при повышении давления авторами [14] была проведена оценка средней скорости возвратного течения в аккреционном клине в зависимости от ведущих параметров: внешнего давления, вязкости, размеров клина по высоте. Оказалось, что давления, возникающие при континентальных коллизиях, вызывают подъемное течение вещества, которое при вязкости 10^{18} Па·с вызывает скорость подъемного течения до 30 см/год. Вязкость оценивается с точностью не более чем на 1 порядок. При низкой вязкости (10^{17} Па·с) скорость течения, по авторам, может достигать 300 см/год, при высокой вязкости (10^{19} Па·с) — 3 см/год. В последнем случае величина 3 см/год сопоставима со скоростью конвекции, протекающей в „стабильных, нормальных“ условиях. Две другие цифры скоростей реальны для условий сжатия литосферы и доказывают геологическую обоснованность разработок авторов.

Большой по объему и широкий по спектру геолого-геофизических характеристик материал собран в книге Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина. Его однозначная геологическая интерпретация была бы невозможной без параллельного использования методов в основном теплофизического моделирования. Такого тесного объединения геологических и экспериментальных данных нет ни в одной крупной работе по тектонике и геодинамике. Сочетание на равных основаниях геологических и петрологических характеристик процессов и формаций с геофизическими параметрами среды, дополненные методами моделирования выделяют монографию Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина „Глубинная геодинамика“ из серии опубликованных в последние годы работ на аналогичную тему. Именно эта работа привнесла новые и аккумулировала известные данные о комплексности и взаимосвязи процессов в теле Земли. Она выдвинула во главу угла корреляции глобальных геологических событий, в том числе и глобальные изменения климата, связав все эти сложные явления с процессом на границе ядро—мантия — пульсационным отделением мантийных плюмов. Периодическое отделение мантийных плюмов в сочетании с двухуровневой конвекцией в мантии и астеносфере определяют геодинамику Земли. Тектонические движения литосферы и ее верхней части — земной коры, дискуссии о примате вертикальных или горизонтальных движений в литосфере, более широкие дискуссии о фиксизме и мобилизме становятся частными вопросами общего учения о геодинамике Земли. К этому учению вплотную подошла геологическая наука [8, 9, 29—30]. В этом плане монография Н. Л. Добрецова и А. Г. Кирдяшкина открывает качественно новую ветвь в познании Земли — учение о геодинамике Земли. И хотя у этой книги были предшественники (без чего не бывает ни одно качественно новое событие в науке), именно „Глубинная геодинамика“ аргументирует переход концептуальной основы геологии от тектонических концепций мобилизма и фиксизма (см. рисунок) к геодинамической теории Земли.

Книга „Глубинная геодинамика“ с интересом воспринимается геологической общественностью. Очень желательно переиздать ее на общедоступном для мировой науки английском языке. Достижения российской геологической мысли должны стать достоянием мировой науки. Сделать сегодня это можно собственными силами и на российской полиграфической базе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геофизика океана. Т. 2. Геодинамика / Ред. О. Г. Сорохтин. М., Наука, 1979, 416 с.
2. Артюшков Е. В. Геодинамика. М., Наука, 1979, 328 с.
3. Артюшков Е. В. Физическая тектоника. М., Наука, 1993, 455 с.
4. Зоненшайн Л. П., Савостин Л. А. Введение в геодинамику. М., Недра, 1979, 311 с.
5. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И. Палеогеодинамика. М., Наука, 1993, 192 с.
6. Пущаровский Ю. М. Парадигмы в геологии // Природа, 1995, № 1, с. 33—42.
7. Хаин В. Е. От тектоники плит к более общей теории глобального тектогенеза // Геотектоника., 1978, № 3, с. 3—25.

8. Хаин В. Е. Основные проблемы современной геологии. М., Наука, 1994.
9. Хаин В. Е. Современная геология: проблемы и перспективы // Соросовский образовательный журнал, 1996, № 1, с. 66—73.
10. Maruyama Sh., Kumazawa M., Kawakami S. Towards a new paradigm on the Earth's dynamics // J. Geol. Soc. Japan, 1994, v. 100, № 1, p. 1—3.
11. Kamazawa M., Maruyama Sh. Whole Earth tectonics // J. Geol. Soc. Japan, 1994, v. 100, № 1, p. 81—102.
12. Шейдеггер А. Основы геодинамики. М., Недра, 1987, 384 с.
13. Теркот Д., Шуберт Дж. Геодинамика. М., Мир, 1985, т. 1 и 2, 730 с.
14. Добрецов Н. Л., Кирдяшкин А. Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск, СО РАН, 1994, 299 с.
15. Кучай В. К. Две геодинамики // Геология и геофизика, 1982, № 4, с. 126—131.
16. Яншин А. Л., Артюшков Е. В., Шлезингер А. Л. Основные типы крупных структур литосферных плит и возможные механизмы их образования // Докл. АН СССР, 1977, т. 234, № 5, с. 1175—1179.
17. Добрецов Н. Л. Глобальные петрологические процессы. М., Недра, 1981, 236 с.
18. Зоненшайн Л. П., Кузьмин М. И. Глубинная геодинамика Земли // Геология и геофизика, 1984, № 3, с. 8—18.
19. Зоненшайн Л. П. Итоги научной деятельности за последние 14 лет // Л. П. Зоненшайн. Очерки, воспоминания. М., Наука, 1995, с. 301—308.
20. Зоненшайн Л. П. Обращение к третьему Международному совещанию по тектонике плит в Звенигороде. Там же, с. 305—309.
21. Maruyama Sh. Plume tectonics // J. Geol. Soc. Japan, 1994, v. 100, № 1, p. 24—34.
22. Шерман С. И., Бабичев А. А. Теория подобия и размерностей в приложении к тектоническому моделированию // Экспериментальная тектоника. Методы, результаты, перспективы. М., Наука, 1989, с. 57—77.
23. Шерман С. И., Семинский К. Ж., Борняков С. А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сдвига. Новосибирск, Наука, 1991, 261 с.
24. Шерман С. И., Семинский К. Ж., Борняков С. А. и др. Разломообразование в литосфере. Зоны сжатия. Новосибирск, Наука, 1994, 262 с.
25. Гамбурцев А. Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М., Наука, 1992, 200 с.
26. Sherman S. I. Faults of the Baikal rift zone // Tectonophysics, 1978, v. 45, p. 31—39.
27. Хатчинсон Д. Р., Гольмшток А. Д., Зоненшайн Л. П. и др. Предварительные результаты многоканального сейсмического зондирования на оз. Байкал в 1989 г. // Геология и геофизика, 1994, т. 35, № 10—11, с. 19—27.
28. Добрецов Н. Л., Соболев Н. В., Шацкий В. С. Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях. Новосибирск, Наука, 1989, 235 с.
29. Uffen R. I., Jessop A. U. The stresses release hypothesis of magma formation // Bull. Volcanol., Napoly, 1963, XXVI, B.V.
30. Шерман С. И. К дискуссии по современным проблемам геотектоники // Методологические проблемы конкретных наук. Новосибирск, Наука, 1984, с. 88—97.

Рекомендована к печати 28 июня 1996 г.
Ч. Б. Борукаевым

Поступила в редакцию
28 мая 1996 г.