ISSN 0002–3272

А. И. СУВОРОВ

ИСТОРИЯ МОБИЛИЗМА В ГЕОТЕКТОНИКЕ

·НАУКА·

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

А. И. СУВОРОВ

ИСТОРИЯ МОБИЛИЗМА В ГЕОТЕКТОНИКЕ

Труды, вып. 494

Основаны в 1932 году

МОСКВА
"НАУКА"
1994

ББК 26.3
С89
УДК 551.1/4.24

Russian Academy of Sciences

Geological Institute

A.I. Suvorov

HISTORY OF MOBILISM IN GEOTECTONICS

Transactions, vol. 494

С89 История мобилизма в геотектонике / А.И. Суворов – М.: Наука, 1994. — 224 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 494).
ISBN 5-02-002420-1.

В книге приведены и аналитически рассмотрены фактические данные о структурах литосферы континентов и океанов (геология, геофизика, космогония), полученные за несколько столетий, на базе которых сформировался современный мобилизм. Сопоставлены по отдельным этапам важнейшие теоретические обобщения и гипотезы, направленные на выяснение механизмов и глобальных геодинамических причин структурообразования в литосфере. Сделан прогноз дальнейшего развития мобилизма.
Табл. 5. Библиогр.: 314 назв.

Ответственный редактор
академик *Ю.М. Пущаровский*

Редакционная коллегия:
академик *А.Л. Книппер* (главный редактор),
В.Г. Гербова, Ю.Б. Гладенков, Б.П. Золотарев

Рецензенты:
А.В. Лукьянов, Ю.Я. Соловьев

The book provides the analysis of geological, geophysical and cosmological data on the continental and oceanic lithosphere structures obtained during several centuries which form the basis of modern mobilistic views. Compared are most important theoretical hypotheses developed at different stages aimed to reveal the mechanisms and geodynamic causes of the structure formation in the lithosphere. Further evolution of mobilistic ideas is forecasted.

Responsible editor
Academician *Yu.M. Pushcharovsky*

Editorial Board:
Academician of Russian Academy of Sciences
A.L. Knipper (Editor-in-Chief),
V.G. Gerbova, Yu.B. Gladenkov, B.P. Zolotarev

С $\frac{1804030000-251}{042(02)-94}$ Без объявления

ББК 26.3

ISBN 5-02-002420-1

© А.И. Суворов, 1994
© Российская академия наук, 1994

ПРЕДИСЛОВИЕ

Яркая и достаточно аргументированная теория тектоники литосферных плит с ее физико-математической основой снискала себе огромную популярность. Но сколько же блестящих идей, и геологических и геодинамических, было высказано до ее появления! Одна из таких идей — это, конечно, вегенеровский дрейф континентов — концентрированнейшее выражение мобилистского направления мысли.

Однако мобилизм как признание крупных горизонтальных перемещений масс Земли проявлялся в геологических построениях задолго до А. Вегенера. В течение длительного времени он шел рядом с вертикализмом (фиксизмом), никогда, впрочем, не одерживая над ним верха. То же самое было и после публикации теории Вегенера. Лишь недавно, всего два с половиной десятка лет назад, мобилизм внезапно завоевал почти все идейное пространство в геологии, и связано это было с появлением "тектоники литосферных плит". То, каким путем шло развитие мобилистской мысли, с его триумфами и драматизмом, и составляет содержание фундаментального труда А.И. Суворова.

Литература по истории геологии велика, причем достойное место в ней занимают отечественные публикации. История тектонических идей непременно присутствует в такого рода трудах, но она служила также и предметом специальных исследований. Однако книга А.И. Суворова среди всех имеющихся изданий занимает совершенно особое место, что определяется несколькими моментами.

Прежде всего в ней, как нигде ранее, достигнута полнота освещения истории мобилизма, доведенной до самого последнего времени. И сделано это настолько основательно, что, кажется, дополнить изложенное уже практически больше нечем.

Другая особенность книги состоит в том, что ее автор — доктор геолого-минералогических наук, будучи крупным ученым-тектонистом и одновременно широко образованным человеком, сумел раскрыть избранную тему во всей ее многосторонности. Для этого он вышел за рамки собственно геологических построений и идей и показал связи мобилизма с геофизическими и космологическими гипотезами и теориями. При этом он избрал спокойный, созерцательный, в лучшем смысле этого слова, тон, хотя сам является убежденным и давним сторонником особенно большой роли в структурных преобразованиях геосфер горизонтальных движений.

И наконец, отмечу адекватность рассуждений, ремарок и утверждений, содержащихся в книге, современности. Все ее разделы написаны на фоне новейших фактов или воззрений.

Об актуальности исторического экскурса, предпринятого А.И. Суворовым, говорить не приходится, в истории как науке явственно просматривается закономерность — возвращение время от времени к одной и той же теме. Труд А.И. Суворова — еще одно убедительное доказательство справедливости и эффективности для истории естествознания такой закономерности. В эпоху "новой глобальной тектоники" окинуть широким объективным взглядом историю и состояние научной геологической мысли не пытался пока никто.

Ценное свойство книги состоит еще и в том, что она весьма информативна в отношении истории многих тектонических терминов. Особенно важно это свойство для молодых поколений геологов, которые еще не успели познакомиться с историческими корнями используемого ими научного языка. Кстати, такие обычные термины, как лежачая складка, надвиг, раздвиг, рифтовая долина, введены в тектонический словарь 100 или даже 150 лет тому назад. Заметим, что по столь значительной давности рождения опорных терминов и понятий геотектоника сходна с классическими разделами естествознания.

Нельзя не сказать, что в работе упоминаются имена многих ученых, давно забытых или не понятых в свое время.

К каким же основным выводам приходит в конце концов автор? Их два, и оба они разносторонне аргументированы и поданы с философским осмыслением.

Первый вывод касается взаимоотношения фиксизма и мобилизма. Взвешивая все "за" и "против" относительно той и другой идеологии, А.И. Суворов заключает, что противопоставление фиксизма мобилизму неправомерно и что фиксизм в действительности является составной частью мобилизма. Это последнее высказывание и есть новый и оригинальный вывод в этой непростой проблеме. Отношение к нему,вероятно, может быть разным. Мне лично такой вывод не кажется парадоксом, поскольку современная эмпирическая база мобилизма благодаря интерферометрии на длинной базе и спутниковой геодезии, стала чрезвычайно прочной, и уже безвозвратно ушло время, когда мобилизм можно было сводить к частностям геотектонического процесса.

Второй вывод касается будущего тектоники литосферных плит. Западный геологический мир до сих пор поклоняется ей как абсолюту. При этом проявляется полная нетерпимость к инакомыслию. А.И. Суворов полагает, что апогей в своем развитии эта теория прошла и что появляется новое знание о Земле, которое приведет к замене ведущей геологической теории. Автору этих строк такая мысль весьма близка, однако разноречие может быть в том, находится ли в данное время наука на дороге к новой теории или только на тропе, ведущей к этой дороге. Более предпочтительным представляется второй вариант.

Но как бы то ни было, все это совершенно не означает, что в обозримом будущем мобилизм сойдет со сцены. Крупнейшие горизонтальные перемещения коровых, литосферных и мантийных масс несомненно будут

лежать в основе новых геодинамических конструкций, однако теория перестанет быть чисто детерминистской. Уже сейчас обратил на себя внимание богатый спектр нелинейных геодинамических явлений и процессов, которые в общих построениях будущего, вполне вероятно, будут играть первостепенную роль.

Словом, и познавательное, и теоретическое значение книги совершенно несомненно; она вносит очень большой вклад в историю геологического знания.

Академик *Ю.М. Пущаровский*

"... Самая важная задача — отыскать в прошлом то, что мы можем применить для современности".

Н.С. Шатский [1965]

ВВЕДЕНИЕ

Понятие "мобилизм" в последние десятилетия получило в геологии весьма широкое распространение. Оно используется в различных представлениях о движениях литосферы, о происхождении и развитии всевозможных тектонических форм, о процессах, происходящих в земной коре и мантии, которые формируют общую структуру и лик планеты Земля в целом.

Дословно "mobilis" в переводе с латыни означает "подвижный". В таком смысле этот термин употребляется для разных целей, например для обозначения мобильных зон или поясов (mobile belt), т.е. наиболее пластичных участков земной коры, подвергающихся складкообразованию в периоды сильного проявления тангенциального давления. Он же имелся в виду при характеристике "подвижных областей", которым свойственны интенсивные движения земной поверхности, нарушения изостатического равновесия земной коры, высокая сейсмичность, повышенный тепловой поток, вулканическая деятельность. В качестве примеров подобных зон и областей указывались геосинклинали, орогенные пояса, системы линеаментов, островные дуги, глубоководные желоба, рифтогены и т.д.

В узком, конкретном, смысле термин "мобилизм" в начале XX в. предложил Э. Арган после выхода в свет в 1912 г. известной работы А. Вегенера о дрейфе континентов. Предложен он был как альтернатива другому, куда более известному и общепринятому в мировой литературе термину "фиксизм", отрицавшему какой-либо континентальный дрейф и вообще утверждавшему в качестве доминанты не горизонтальные, а вертикальные движения земной коры и стабильное положение возникавших в процессе этих движений тектонических структур.

Время появления термина "мобилизм" в таком понимании пришлось на пик борьбы двух направлений в геотектонике — фиксистского и мобилистского, однако началась эта борьба значительно раньше, задолго до появления гипотезы А. Вегенера и проходила она в нескольких направлениях, касаясь не только континентального дрейфа, но более широкого спектра геологических явлений в литосфере Земли, возникающих при горизонтальных стрессах и формирующих структуры Земли как в целом, так и в отдельных ее частях по горизонтали и вертикали. Некоторые из этих

явлений были известны уже в глубокой древности, а последующая история их открытия протекала на фоне многих событий в общественной жизни разных стран и сопровождалась ожесточенными схватками разного рода философских и натуралистических идеологий и была связана со многими славными именами.

Поэтому термин "мобилизм" имеет, безусловно, более широкий смысл, чем тот, который придал ему Э. Арган. Исходя из истории геологических знаний, касающихся проблемы в целом, мобилизмом мы называем генетическое направление в геотектонике, объясняющее происхождение и развитие структур литосферы взаимосвязанными латеральными напряжениями и горизонтальными перемещениями большой амплитуды.

Работа по теме "История мобилизма в геотектонике" была начата в Геологическом институте АН СССР в середине 1989 г. и продолжалась до конца 1993 г. Автором был проработан большой объем геологической отечественной и зарубежной литературы, однако все, что касается проблемы, вероятно, не было охвачено — поток публикаций оказался слишком обширным. Автор приносит извинения всем, на кого не удалось сослаться в этой работе. Вместе с тем он надеется, что основные вопросы затронутой проблемы так или иначе получили в ней освещение.

Пользуясь случаем, автор выражает глубокую признательность за поддержку при постановке и проведении работы по теме академикам А.Л. Книпперу, Ю.М. Пущаровскому, В.Е. Хаину, П.Н. Кропоткину и докторам геолого-минералогических наук А.В. Лукьянову и А.А. Моссаковскому.

Работа публикуется при финансовой поддержке РФФИ.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ МОБИЛИСТСКИХ ИДЕЙ

ЭМБРИОНАЛЬНЫЙ ЭТАП (ОТ СТРАБОНА ДО ЛОМОНОСОВА)

В истории развития геологических знаний фиксизм всегда был приоритетным направлением. И это понятно, поскольку легче было увидеть и осознать относительные перемещения по вертикали (образование гор, равнин, движения береговых линий и т.д.), чем найти на земной поверхности реперы горизонтальной миграции ее отдельных участков.

Корни фиксизма уходят в глубокую древность. Уже в древней Греции зарождаются представления об изменчивости земной поверхности. Так, выдающийся географ и историк Страбон (~ 63—21 гг. до н.э.), написавший многотомную "Географию", в которой обобщил известные в то время данные по Европе, Азии и Африке, высказался о вертикальных движениях земной поверхности, приведя в качестве доказательств находки морских раковин в горах вдалеке от моря. По его мнению, земная поверхность в разные эпохи могла подниматься и опускаться относительно уровня моря, обусловливая возникновение не только малых островов, но и целых материков. Он различал быстрые воздымания, связанные с землетрясениями, и медленные, на больших площадях, не сопровождающиеся какими-либо нарушениями. Основную же причину земных колебаний видел в действии огня "под многими землями", а землетрясения объяснял действием "подземного ветра", выносящего в вулканических областях на поверхность жар и пламя.

Зарождение мобилистских взглядов произошло, как это ни кажется странным, именно в недрах фиксистских представлений. Во времена Страбона, например, было известно предание о том, что "Сицилия была когда-то соединена с Италией и отделилась от нее вследствие подземного переворота" [Павлов, 1921. С. 14]. А позже, по мере развития геологической мысли и новых наблюдений, становились известными новые факты, за которыми следовали новые оригинальные догадки. Далеко не всегда они прямо указывали на проявления горизонтальных перемещений или напряжений в земной коре, но не всегда их и исключали при попытках объяснить видимые изменения земной поверхности. Так или иначе они с самого начала послужили своего рода базой для дальнейших попыток понять эти изменения.

Правда, этот процесс протекал крайне сложно. Средние века характеризовались застойными явлениями, когда открытия древних греков были почти забыты, и абсолютное господство получили ложные представления

о неподвижности и неизменяемости земной поверхности. В этот период существовали лишь отдельные геологические идеи, возрождавшие представления древних греков. Как отметил И.В. Мушкетов [1899], идеи о длительности существования и постепенной изменчивости Земли придерживался, например, Леонардо да Винчи (1452—1519 гг.). Важнейшее значение для геологии будущего имели также труды Николая Коперника (1473—1543 гг.), доказавшего гелиоцентризм солнечной системы.

После эпохи Возрождения в XVII и XVIII вв. круг общих геологических данных значительно расширился, хотя на этот счет высказывались разные точки зрения. И.В. Мушкетов [1899], например, отметил, что этот период, от И. Фракасторо до А.Г. Вернера, характеризовался обилием фантастических гипотез, "заглушавших правильное развитие науки". Э. Эйхвальд [1846. С. 12], касаясь подобного рода теорий и гипотез, писал, что они, "не будучи основаны на прямых наблюдениях и опытах, не имеют большого достоинства". В.В. Белоусов же назвал все эти теории "пресловутыми"; по его мнению [1939. С. 108], «эти многочисленные "теории" представляли собой фантастические измышления, основанные частью на библейских сказаниях, частью на необузданной фантазии авторов, для которых наблюдения, факты, действительность не имели никакого значения». Однако нам, скорее, надо согласиться с мнением А.П. Павлова [1921] о накоплении в этот период фактических знаний о строении Земли. А предложенные в то время гипотезы, несмотря на их слабую обоснованность, надлежит рассматривать как величайшее озарение человеческого ума, скованного догмами и предрассудками своего времени. Неудивительно, что отзвуки целого ряда этих представлений и догадок достигли современности и пользуются популярностью в наши дни.

Так, в 1269 г. Петр де Мерикур в своей книге "Заметки о магнетизме" описал собственные опыты с намагниченной сферой, уподоблявшейся Земле. А несколько столетий спустя английский физик Уильям Гильберт (1540—1603 гг.) в труде "О магните, магнитных телах и великом магните Земли", изданном в 1600 г., впервые выдвинул теорию о Земле как о большом магните, имеющем два полюса. На модели намагниченного шара он показал, что магнитная стрелка по отношению к нему колеблется так же, как и относительно полюсов Земли, и что наклонение поля Земли сходно с наклонением поля намагниченной сферы из магнетита. Астроном Э. Галлей (1656—1742 гг.) представлял внешние части земного шара в виде скорлупы, а внутренние — ядра. Он предположил, что "внешняя оболочка и ядро вращаются с несколько различными скоростями, и этим объяснил западный дрейф элементов геомагнитного поля" [Кэри, 1991. С. 49]. С тех пор и до начала XX в. господствовало убеждение, что источником геомагнитного поля является сильно намагниченная область внутри Земли, а позже палеомагнитные исследования (см. ниже) создали прочную основу для теории перемещения полюсов и континентального дрейфа [Ботт, 1974].

В 1620 г. английский философ Фрэнсис Бэкон [1561—1626 гг.) впервые обратил внимание на параллелизм противоположных берегов Атлантического океана, и с тех пор этот примечательный факт, столь важный ныне для доказательства континентального дрейфа и расширения Земли, стал предметом обсуждения многих геологов [Холмс, 1949]. Об этом гово-

рили уже в XVII в., например в 1668 г. появилась книжка аббата Франсуа Пласе, в которой утверждалось, что в прошлом Америка вовсе не была отделена от Старого света морем, она отделилась от Старого света много позже [Личков, 1936].

Французский философ Р. Декарт (1596—1650 гг.) считал, что материю и ее движение сотворил Бог. Материя состояла из светящегося элемента, из которого образовались Солнце и звезды, прозрачного элемента — неба и темного элемента, давшего вещество планетам. Первоначально Земля состояла из светящегося элемента, но затем покрылась пятнами и корой и превратилась в планету с раскаленным ядром. Развивая представления Р. Декарта, немецкий математик и философ Г.В. Лейбниц (1646—1716 гг.) пришел к заключению, что раскаленная светящаяся масса Земли подверглась охлаждению, на ней образовалась кора, а от сгущения водяных паров возник всемирный океан. Воды затем проникли во внутрикоровые пещеры, их своды обрушались, а слои приняли наклонное положение. Причину тектонических нарушений английский естествоиспытатель Р. Гук (1635—1703 гг.) связал с подземным огнем, который вызывает землетрясения и вулканизм. По его мнению, именно благодаря землетрясениям моря превращаются в сушу, суша в моря, равнины становятся горами, горы — равнинами. Касаясь всех этих вопросов, Б. Гутенберг в середине XX в. укажет: "По крайней мере со времен Декарта обсуждается теория, согласно которой Земля охлаждается, сжимается и, таким образом, образуется ее верхняя оболочка — кора" [Внутреннее..., 1949. С. 185].

Первые структурные наблюдения связываются с именем датчанина Николауса Стено (1638—1687 гг.). На примере геологии итальянской провинции Тосканы Н. Стено установил, что осадочные слои первоначально отлагаются в горизонтальном положении и каждый из них ограничен двумя параллельными поверхностями. В дальнейшем они или благодаря подземным толчкам снизу вверх (от внезапного возгорания подземных паров) или подмыву и обрушению приобретают наклонное и даже вертикальное положение. От действия же подземного огня, который извергает пепел, серу и горную смолу, возникают горы. Для пояснения геологической истории Тосканы Н. Стено составил первые геологические профили.

Идеи Н. Стено не получили должного признания и надолго были забыты. Как отмечает В.В. Белоусов [1939. С. 111], "сочинение датчанина было вновь открыто А. Гумбольдтом и Эли де Бомоном". К этому добавим, что именно последний подобные деформации слоев объяснил действием горизонтального сжатия (контракции) земной коры. И.В. Мушкетов [1899] высказал мнение, что Н. Стено положил начало учению о дислокации земной коры, а В.В. Белоусов подчеркнул, что Н. Стено вообще является основоположником тектоники.

После Н. Стено, полувеком позже, профессор медицины в Падуе Антонио Валиснери (1661—1730 гг.) обнаружил сложное складчатое строение в Альпах и также изобразил складки графически. Берлинский преподаватель минералогии и горного дела, позже российский академик И.Г. Леман (1700—1767 гг.), установил интересные закономерности в расположении горных поясов на земном шаре (широтные и меридиональные тракты) и подразделил их по возрасту на первородные и вторичные. Он также

составил геогностические профили вторичных гор. Г.Х. Фюксель (1722—1773 гг.) составил первую геогностическую карту Германии, доказав, что все пласты были горизонтальны, и затем вследствие поднятий и опусканий "они приняли косвенное или вертикальное положение" [Эйхвальд, 1846. С. 14]. Во Франции Ж.Э. Геттар в 1751 г. составил карту пород и руд Парижского бассейна, а Н. Домаре (1725—1815 гг.) разработал схему стратиграфии вулканической области Центральной Франции. Отмечается, что все эти первые собиратели геологических фактов были большими энтузиастами. Н. Домаре, например, был совершенно равнодушен к материальным условиям своего существования, "он обыкновенно предпринимал свои путешествия пешком с куском хлеба и сыра в кармане и никогда не заботился, где ему придется провести предстоящую ночь" [Павлов, 1921. С. 27].

В России активная геологическая деятельность начинается в конце XVII и в XVIII вв. в связи с поисками и добычей полезных ископаемых. Появляются первые геологические сведения, опубликованные В.Н. Татищевым, В.И. Генниным, И.Г. Гмелиным, Г.В. Рихманом, С.П. Крашенинниковым, И.И. Лепехиным и др.

Наиболее ярким исследователем заслуженно считается М.В. Ломоносов (1711—1765 гг.), перу которого принадлежат две замечательные работы — "О слоях земных" и "Слово о рождении металлов от трясения земли", написанные в 1757—1759 гг. и опубликованные в 1763 г.

О Ломоносове как геологе и географе написано свыше трех десятков работ. Им высказано много новых идей о развитии Земли, о взаимосвязи землетрясений и вулканизма, о горообразовании, о толщине земной коры, о закономерностях образования рудных жил и т.д. Он считается основоположником "гипотезы поднятия" [Белоусов, 1939], подразделившим, как и Страбон, движения по вертикали на быстрые и медленные и объяснившим их "господствующим жаром в земной утробе". Основываясь на данных о распространении и характере землетрясений, а также исходя из размеров горных областей, Ломоносов сделал попытку определить толщину земной коры и глубину очагов "подземного жара". Цифры, полученные таким способом о толщине земной коры, оказались близкими к современным данным. Ему же принадлежат первые слова, по крайней мере в России, о горизонтальных перемещениях земной коры, вызванных землетрясениями.

В самом общем виде им [Ломоносов, 1949. С. 164—165] выделено четыре типа движений при землетрясениях: 1) "когда дрожит земля частыми и мелкими ударами"; 2) "когда надувшись встает к верху, и обратно перпендикулярным движением опускается"; 3) когда происходит "поверхности земной коры на подобие волн колебание"; 4) "когда по горизонтальной плоскости вся трясения сила устремляется, тогда земля из под строений яко бы похищается". В связи с расположением фрагментов рудных жил им также различались сдвиги и раздвиги — "пустые щели, которыми пресеченные жилы в стороны сдвинуты бывают, также промежки которыми жилы от горы разделяются, ... ясно представляют, что они после произведения жил родились большим их расширением" [Там же. С. 181].

Внутренний жар "в земной утробе" Ломоносовым представляется как горение серы от трения слоев, тем большее, чем положение серы глубже.

Трение же он считал результатом горизонтальных подвижек, происходящих в земной коре от давления по вертикали.

В упомянутых выше двух работах Ломоносов вплотную подошел и к возможности дрейфа континентальных масс Земли. По этому поводу он писал: "Трудно представить, откуда взялись ... слоновые кости, чрезвычайной величины, в местах к обитанию им не удобных, и особенно в полуночных суровых краях сибирских, и даже до берегов пустозерских" [Ломоносов, 1949. С. 90]. "Но большего удивления достойны морские черепокожные..., кои находят окаменелые на сухом пути в горах лежащие к северу, где соседственные моря их не производят; но родят и показывают воды лежащие под жарким поясом в знатном количестве". "Еще чуднее, что в холодных климатах показываются в каменных горах следы трав Индейских". Этому Ломоносов видел две причины (отдавая предпочтение второй из них): 1) "бывшие главные земного шара превращения, коими великие оного части перенесены с места на место чрезвычайным насильством внутреннего подземного действия" и 2) нечувствительное наклонение "всего земного глобуса, которое во многие веки переменяет расстояние еклиптики от полюса" [Там же. С. 92].

В это же время высказанные ранее взгляды Г.В. Лейбница на формирование Земли как космического тела получили новое развитие. Французский естествоиспытатель Ж.Л. Бюффон (1707—1788 гг.) в популярном трактате "Теория Земли" (1749 г.) предположил, что Земля и другие планеты отделились от Солнца в результате падения на него кометы. По мере медленного (в течение 74 800 лет) охлаждения на Земле образовалась твердая кора, водяные пары сгустились, возникло первичное море. Под влиянием вращательного импульса, полученного Землей при отрыве от Солнца и обращения Земли в одной и той же плоскости, воды первичного моря начали двоякое движение — слабое с востока на запад и более сильное — приливов и отливов. У экватора, где центробежная сила была больше всего и куда в бóльших количествах, чем к полюсам, приносились размываемые материалы, возникли первые цепи поднятий. Мягкие толщи были затем подвергнуты усыханию и сокращению, за которыми последовали вулканические извержения и землетрясения, а дальнейшее течение воды в совокупности с деятельностью ветра завершили формирование неровной земной поверхности.

И хотя в указанной работе Ж.Л. Бюффон проповедовал неверные нептунические идеи (от которых, впрочем, он отошел в другой работе — 1778 г.) и не принимал во внимание факты движения земной коры, его заслуга в развитии геологической науки бесспорна — он положил начало ротационным представлениям в тектонике, которые потом получат широкое распространение (и, в частности, в объяснении механизма горизонтальных перемещений). Исходя из таких представлений, Б. Герман в 1797—1801 гг. высказался о концентрическом расположении вещества Земли под действием центробежных сил вращения: легкие, в том числе воды, сконцентрировались в центре, тяжелые по периферии, образовав земную кору.

Дальнейшее развитие и усложнение космогонической теории мы находим в работах немецкого философа И. Канта (1724—1804 гг.) и французского натуралиста П.С. Лапласа (1749—1827 гг.), выдвинувших и

обосновавших представление о происхождении миров из космического тумана в 1755 (первый) и в 1796 (второй) годах. Согласно гипотезе Канта—Лапласа бесформенная неразлагающаяся туманная масса, состоящая, по Канту, из рассеянных пылеобразных частиц, а, по Лапласу, из газообразной материи, превращается в спиральную, а затем в планетную туманность и, наконец, в самосветящиеся звезды белого, желтого и красного цвета, будучи сначала жидкими, а затем твердыми, сфероидами. Планеты солнечной системы образовались в результате отрыва от Солнца, а спутники планет — в результате отрыва от этих последних. Это предположение в дальнейших поисках истины ляжет в основу гипотезы отрыва Луны от Земли, что найдет отражение и в представлениях некоторых мобилистов, которые будут усматривать в этом одну из причин дрейфа континентов (см. ниже).

Производятся первые гравиметрические наблюдения и опыты, позволившие открыть новые явления и константы Земли. Так, французской геодезической экспедицией под руководством Буге, измерявшей в Перу в 1735—1745 гг. положение дуги меридиана, было обнаружено, что Анды воздействуют на вертикальное положение отвеса, вызывая его отклонения. Было установлено, что наблюдаемые отклонения вертикали много меньше теоретически рассчитанного влияния Анд. Это расхождение расчетных и фактических данных, подмеченных Буге, несколько лет спустя было объяснено Босковичем недостатком вещества под горами [Ботт, 1974].

Этому вопросу уделил внимание и М.В. Ломоносов. Существует мнение, что "первым, кто вообще стал наблюдать колебания отвеса и изменения силы тяжести в данном месте под влиянием "космических" сил, был знаменитый М.В. Ломоносов. Сама постановка вопроса и предложенная Ломоносовым программа наблюдений в мировом масштабе свидетельствует о глубоком интуитивном понимании им, как он выражался, "натуральных потаенных действий" (Д.И. Мушкетов [1935. С. 52]). Через сотню лет аналогичные данные будут получены в предгорьях Гималаев, а в конце XIX в. явление назовут "изостазией", которая сейчас широко используется при объяснении как вертикальных, так и горизонтальных движений.

В конце XVIII в. проводились также опыты по определению плотности и средней плотности Земли — в 1774 г. Н. Маскелином и Хатном, а в 1799 г. Г. Кавендишем [Внутреннее..., 1949]. Позже эти данные также сыграют свою роль в выявлении закономерностей внутреннего строения Земли, без чего сейчас не может обойтись ни одна из многочисленных мобилистских гипотез.

Вторая половина XVIII в. и особенно его последние десятилетия характеризовались новой волной накопления фактического геологического материала. По результатам описательной геогнозии и их обобщения известность приобрели: в России — П.С. Паллас, уже отмечавшийся выше И.Г. Леман, в Англии — Дж. Геттон, Дж. Мичел, в Германии — И. Шарпантье, Ф.Л. Гейм, в Швейцарии — Г.Б. Соссюр и др. Некоторые из полученных ими данных имели косвенное или прямое отношение к проблеме истоков мобилизма.

В 60-х годах Дж. Мичел (1724—1793 гг.), развивая представления

Н. Стено о первичном горизонтальном положении земных слоев (что не все еще принимали и в XVIII в.), определил их последовательность на пространстве от Иоркшира до Ла-Манша. Он установил в них вторичную складчатость с размытыми сводами, что и предопределило, по его мнению, полосовое расположение собранных в пачки слоев параллельно главным хребтам. Причину их поднятий Дж. Мичел предположил в действии сильно сжатых паров в полостях и трещинах земной коры.

Г.Б. Соссюр (1740—1799 гг.), касаясь природы вертикальных слоев, писал: "Если еще можно допустить, что мелкие частицы собираются и агглютинируются, образуя верикальные слои, то, чтобы камень величиной с голову остановился посередине вертикальной стены и ждал там, пока мелкие частицы его окружат и прикрепят, — это предположение абсурдно и невозможно"[Белоусов, 1940. С. 107]. Наклонное и вертикальное залегание слоев он считал вторичным. В четырех томах "Путешествия в Альпах" он привел данные о разнообразии форм залегания слоев, установил веерообразное строение Альп, выделил концентрические своды, *S*-образные лежачие складки. Что же касается механизма их образования, то Г.Б. Соссюр видел его в давлении снизу вверх и отталкивании (refoulement) масс в стороны, т.е. в их горизонтальном сдавливании. В литературе отмечается фактографичность его исследований, а за острую наблюдательность, добросовестность, беспристрастность и любовь к своему делу его назвали "рыцарем наблюдательной гелогии" [Белоусов, 1940].

П.С. Паллас (1741—1811 гг.) был последовательным фиксистом и плутонистом, развившим представления Ж. Бюффона и Г. Лейбница. Работал он в Европейской России и Сибири, главным образом наУрале и в горах Алтая. На базе этих работ образование гор он связывал с взрывной силой расширяющихся газов, что и явилось, по его мнению, причиной раскалывания и поднятия земной поверхности. На заседании Российской Академии наук 23 июня 1777 г. он выступил с сообщением о природе гор, где предложил следующую схему: ядро горных хребтов составляет первозданный гранит, к массиву которого прилегают круто наклоненные или вертикальные вулканогенные и осадочные породы — продукт разрушения гранитов с морской фауной. Наклонное положение слоев этих пород он объяснил действием вулканических сил. Говоря о происхождении конкретных структур, он вместе с тем допускал разные механизмы их образования. Его фиксистские взгляды не помешали ему, например, в 1788 г. утверждать, что котловина оз. Байкал представляет собой огромную трещину или щель между раздвинувшимися горами [Обручев, 1931].

Иначе на происхождение оз. Байкал смотрел другой российский академик — И.Г. Георги (1775 г.), а именно, что котловина озера возникла не в результате расщепления (раздвига), а вследствие большого провала земли в связи с сильнейшим землетрясением; этот взгляд долгое время будет господствующим, хотя потом предпочтение отдадут мнению Палласа.

При исследовании в ущелье р. Иртыш ниже Бухтарминска Б. Герман в 1797 г. обратил внимание на странное налегание гранита на глинистые сланцы. Он объяснил это надвиганием гранита на сланцы (что тогда казалось невероятным) и изобразил это графически. Он же, как уже отмеча-

лось выше, высказывался о концентрическом расположении вещества Земли под действием центробежных сил вращения.

Оригинальный механизм горообразования был выдвинут в это время Е. Патрэном (1788 г.). Причину этого процесса он усматривал в брожении на глубине "гранитно-соляного теста", которое вздулось, подняло глинисто-сланцевые слои, прорвало и наклонило их. При этом последние, сползая, изогнулись и были опрокинуты [Обручев, 1931]. Такая гравитационная модель складко-горообразования ("пассивный мобилизм") позже получит достаточно широкое распространение и дальнейшее научное развитие.

На протяжении всего рассмотренного эмбрионального этапа абсолютно господствовала, таким образом, идея о вертикальных движениях земной поверхности. Венцом этих представлений стала гипотеза поднятия, основоположником которой, как уже отмечалось выше, считается М.В. Ломоносов. Но это не совсем верно, поскольку Ломосонов, придавая важное значение поднятиям, отнюдь не ограничивал ими историю развития земной поверхности. В его представлениях движения были как позитивные, так и негативные, как медленные, так и быстрые, как вертикальные, так и горизонтальные.

Поэтому главным автором гипотезы поднятия, подхода в общем-то довольно одностороннего, следует считать шотландца Джеймса Геттона (1726—1797 гг.), у которого были как предшественники, так и, еще больше, последователи. В своем сочинении "Теория Земли", опубликованном в 1788 г. в трудах Эдинбургского Королевского общества, Дж. Геттон, как и Ломоносов, утверждал, что внутренний жар нашей планеты, нагревая горные породы, вызывает их расширение, которое и приводит к поднятию земной поверхности. При этом слои первоначально горизонтальные наклоняются, приобретают вертикальное положение и разбиваются трещинами. Намечая только один процесс — воздымание, Дж. Геттон отметил (и это его очевидная заслуга) множественность причин этого процесса. По его мнению, Земля — это машина, построенная на химических и механических принципах, где действуют явления нагревания и охлаждения, солнечный свет, электрические и магнитные силы, а также сила тяжести.

После смерти Дж. Геттона его ученик Дж. Плейфер в 1802 г. издал книгу "Иллюстрации к геттоновской теории Земли". Ему принадлежат слова о том, что "хотя первоначальное направление силы, которая подняла слои, должно было быть снизу вверх, она так комбинировалась с тяжестью и сопротивлением масс, к которым она была приложена, что создавалось боковое и наклонное давление и возникли те изгибы слоев, которые, когда они достигают большого масштаба, принадлежат к числу наиболее поразительных и поучительных явлений в геологии" [Белоусов, 1954. С. 28]. Эти высказывания близки к взглядам Г.Б. Соссюра, и в этом также можно видеть новые ростки мобилизма, зарождающегося в недрах фиксистских представлений.

На примере рассмотренного эмбрионального этапа, наиболее продолжительного и тяжелого в развитии геологической науки (он длился от глубокой древности до конца XVIII в.), можно видеть, с каким трудом ростки знания о Земле пробивались к свету через стену незнания. Мы

видели также, что наряду с наивными и ложными утверждениями были и замечательные открытия, предположения и просто потом подтвердившиеся догадки, и все это сыграло свою позитивную роль в становлении первых робких мобилистских концепций на общем фоне потока мыслей о происхождении, строении и развитии Земли.

Прежде всего следует отметить появление сведений о Земле в целом (первая группа данных), без которых в дальнейшем не могли бы существовать никакие научные теории, в том числе и мобилистские. Это установление гелиоцентризма в строении солнечной системы, выводы о шарообразной или сфероидальной форме Земли, об изменчивости ее поверхности, о постепенном охлаждении и сжатии Земли, о вращательном импульсе и его влиянии на изменение облика земной поверхности, о наличии ядра и концентрическом расположении слоев вокруг него, о Земле как о большом магните с двумя полюсами, о средней плотности Земли, наконец, о толщине земной коры.

Вторая группа данных заключает в себе основания, на которых в дальнейшем возникли некоторые мобилистские гипотезы, а часть этих данных была непосредственно использована в гипотезах. Таковы, например, соображения о параллелизме берегов Атлантического океана, предположения об отделении Америки от Старого Света. Первые геологические профили и карты, а также графические изображения складчатости способствовали установлению лежачих складок, происхождение которых нельзя было объяснить вертикальными движениями. Были выявлены изостатические явления (хотя термин "изостазия" еще не существовал), которые позже также были использованы в мобилистских концепциях. Такую же роль спустя некоторое время сыграют представления о вращении Земли и центробежных силах, возникающих при этом вращении.

Третью группу составляют фактические данные о конкретных горизонтальных перемещениях и напряжениях и о связанных с ними структурных формах. Сюда относятся уже упоминавшиеся лежачие складки, небольшие горизонтальные сдвиги, возникающие при землетрясениях, а также сдвиги и раздвиги в зонах проявления рудных жил. Отмечены, наконец, надвиги в обнажениях и высказаны соображения о расщелении (раздвигании) горных массивов и образовании между ними крупных котловин типа котловины озера Байкал.

МОРФОГРАФИЧЕСКИЙ ЭТАП (ОТ ЛОМОНОСОВА ДО ЭЛИ ДЕ БОМОНА)

Этот сравнительно непродолжительный по времени этап (конец XVIII — первая половина XIX в.) отличался резким расширением геологических исследований в ряде стран — в Англии, Франции, Германии, Швейцарии, России. За этот период был собран огромный фактический материал по геологии этих стран, и не случайно этап в дальнейшем получит название "героический" [Тихомиров, Хаин, 1956]. С ним же будет связано и становление собственно геологии. По А.П. Павлову [1921. С. 6], "геология является младшей сестрой в семье наук, и дата ее рождения относится примерно к началу истекшего XIX столетия". Что же касается мобилистских представлений, по этому поводу В.В. Белоусов [1954] заме-

тит, что приблизительно в это время была создана новая тектоническая система взглядов, согласно которой в земной коре господствуют уже не вертикальные, а горизонтальные силы.

Главное достижение в геологии начала XIX в. — создание новой, одной из важнейших ее отраслей — стратиграфии. Попытки создания стратиграфических схем делались уже главой школы нептунистов А.Г. Вернером (1750—1817 гг.), который определил также точное название формаций и ввел понятие о рядах формаций [Эйхвальд, 1846]. Однако они оказались неудачными, поскольку в основу стратиграфических построений были положены односторонние взгляды о ведущей роли в развитии Земли поверхностных, экзогенных процессов.

Более удачные разработки в этом плане принадлежат В. Смиту (1769—1839 гг.). Еще в 1799 г. он разработал "шкалу осадочных образований Англии", а в 1816—1819 гг. расширил ее и на этой основе составил первую геологическую карту Англии, Уэлса и Шотландии, снабдив ее геологическими профилями.

Ж. Кювье (1769—1832 гг.) и Ал. Броньяр (1770—1847 гг.) изучили фауну и флору различных слоев Парижского бассейна и в 1817 г. опубликовали геологическую карту этого района. Ж. Кювье считается основателем палеонтологии позвоночных и автором теории катастроф. Ж.Б. Ламарк (1744—1829 гг.) основал палеонтологию беспозвоночных. К этому времени (1821—1838 гг.) относятся стратиграфические разработки К.М. Щтернберга на основании изучения флор.

В 30-х годах в Англии устанавливаются силурийская система (Р.И. Мурчисон), кембрийская и девонская системы (А. Седжвик), в России — пермская система (Р.И. Мурчисон, Д.И. Соколов, Г.П. Гильмерсен), в Германии — триасовая система (Ф.А. Альберти) и т.д. Делаются попытки составления сводных геохронологических таблиц (Д.И. Соколов, 1839 г., и др.) и на их основе создаются обзорные геологические карты (Г.П. Гильмерсен, 1841 г., и др.). В это же время Ч. Лайель (1797—1875 гг.) в противоположность катастрофистам выдвинул тезис о постепенном преобразовании Земли и земной поверхности и о том, что в современную эпоху геологические процессы развиваются так же, как и в минувшие геологические времена.

Основным тектоническим воззрением в начале XIX в. была гипотеза поднятий. Весьма популярные до этого представления нептунистов были поколеблены, и большое значение в развитии земной коры стали придавать глубинным силам и магматическим процессам в недрах Земли. Важную роль в разработке плутонических взглядов сыграли А. Гумбольдт (1769—1859 гг.) и Л. фон Бух (1774—1853 гг.). По их мнению, именно расплавленные массы, находясь в кашеобразном состоянии, поднимались кверху, прорывая, воздымая и деформируя осадочные пласты. В качестве доказательств этого А. Гумбольдт указывал на расположение вулканов в виде рядов или цепей, которые, с его точки зрения, намечают положение трещин или разрывов, проникающих в глубокие области Земли. Л. фон Бух после посещения вулканических областей Италии и Франции выдвинул гипотезу "кратеров поднятия и взрыва". Вулканические конуса, центральные и рядовые (расположенные рядами), а заодно и горные хребты, внешне с ними сходные, он представлял как куполообразные поднятия

или их фрагменты с кристаллическими породами в срединной части и с осадочными, наклоненными от центра, по периферии. Воздымание куполов связывалось с внедрением авгитовых порфиров, причем по мере роста куполов их своды по трещинам оседали, и на них возникали кратеры (отсюда название гипотезы). Бух утверждал о чрезвычайной скоротечности этих вертикальных движений, на основании чего возникло мнение, что "Бух, а не Кювье был истинным творцом учения о разрушительных катастрофах" [Павлов, 1921. С. 54].

Плутонические идеи прочно привились и в России. Так, в "Курсе геогнозии" Д.И. Соколова, изданном в 1839 г., движения почвы были объяснены "извержениями огненных пород", а поднятия горных кряжей предполагалось отличать от движений, создающих складки. Чередование в разрезе морских и пресноводных отложений связывалось с попеременными поднятиями и опусканиями тех или иных участков. По Д.П. Соколову, вулканизм и землетрясения порождаются одними и теми же силами, но что это за силы и каков генезис всех этих движений, как он заметил, "ученые еще не знают".

Глобальный генетический смысл эти представления получили в "Геогнозии" Э.И. Эйхвальда. Он полагал, что "большая часть возвышений и опусканий поверхности произошла от давлений жидкого ядра на твердую кору Земли, которая по совершенном охлаждении своем почти более не снижается, но в первобытное время часто колебалась от механических потрясений (землетрясений), от извержения расплавленных горных масс... и от поднятия самой твердой, прежде существовавшей коры Земли или высоких горных хребтов. Все эти явления... — следствие сильного действия жидкого ядра Земли на поверхность ее" [Эйхвальд, 1846. С. 58].

Сходные взгляды высказывались И.И. Эйхвельдом, Н.И. Воскобойниковым, А.Д. Озерским и др. А.Д. Озерский, например, выявив волнообразно изогнутые силурийские известняки в Прибалтике, пришел в 1844 г. к выводу, что эти деформации являются результатом мелких местных поднятий и погружений, а в 1849 г. увидел причину "изогнутия пластов в колебательных движениях", среди которых он различал "частные" и "общие".

По мере накопления фактических данных создавались новые предпосылки для дальнейшего развития и мобилистских идей.

И. Кант в своих лекциях по физической географии в 1802 г. высказался о перемещениях полюсов Земли. По его мнению, возникновение гор вызвало изменение в положении земной оси, отчего то, что прежде лежало в жарком климате, оказалось в умеренной или холодной зоне. Доказательства этому были те же, что раньше приводились М.В. Ломоносовым — именно находки остатков "индийских зверей, двухстворчатых раковин и растений" в Европе. Более определенно мысль о широких перемещениях и одновременных деформациях материков была высказана Сц. Брейслаком (1819 г.) [Д.И. Мушкетов, 1935].

Шотландский геолог Дж. Холл (1761—1832 гг.) в 1812 г. предпринял первую попытку воссоздать формы складчатых слоев экспериментально. Несколько кусков полотняной и шерстяной ткани он положил друг на друга на столе и придавил их тяжелой дверью. Две доски он поставил затем вертикально на концах переслоенной массы и передвигал их друг к

другу ударами молотка. Слои при этом образовали выпуклые вниз и вверх складки, очень похожие на извилины в пластах девонских сланцев в утесах Фаст Кэстля на берегу Бервикшайэра.

Три года спустя Дж. Холл опубликовал работу "О вертикальном положении и изгибах некоторых слоев и их соотношении с гранитами". Будучи учеником Дж. Геттона, Дж. Холл, естественно, подтвердил идею вертикально-подъемного механизма складкообразования: магма в жидком состоянии выталкивается снизу вверх и затвердевает, а трещины в слоистых породах при этом закупориваются. Однако, по его мнению, вертикальная сила по инерции продолжает действовать и, не находя выхода вверх, устремляется в стороны, в окружающие породы. Если последние способны к изгибу, под боковым напором магмы они будут образовывать складки и сокращаться по площади. Этот механизм, основанный на принципе гидравлической передачи давления, Дж. Холл иллюстрировал складчатыми изгибами в обнажениях на берегу Бервикшайэра.

Иной механизм предположил Сц. Брейслак в упомянутой выше работе 1819 г. По мере охлаждения земная кора наращивается вниз в жидкую массу неравномерно. Огненно-жидкие ее части, насыщенные газами, под большим давлением устремляются вверх и приподнимают отвердевшую кору. Охладившись, газы обратным нисходящим потоком опускаются вниз, вызывая опускание твердой коры, ее растяжения и расколы. Вертикальные силы при этом создают и горизонтальное давление, сминая и выводя из первоначального положения еще не уплотненные и более податливые пласты, причем тем больше, чем сильнее это давление и в зависимости от того, как оно направлено.

Близкие взгляды были высказаны Б. Штудером (1794—1887 гг.). В конце 40-х—начале 50-х гг. он опубликовал "Курс физической географии и геологии" и "Геологию Альп", в которых изобразил механизм деформации по той же схеме: расширение гранитной магмы — подъем из внутренних зон Земли — внедрение в толщу осадочных пород и их раздвигание в стороны — возникновение в них складок и разрывов.

Вплотную подошел к признанию горизонтальных усилий в земной коре в связи с плутоническими идеями Д.И. Соколов (1788—1852 гг.). Он писал: "Переломы и сдвиги пластов, трещины, долины, жилы и дайки показывают... простиранием своим и то направление, по которому действовала сила, произведшая эти расстройства" [Д.И. Мушкетов, 1926. С. 17].

Начиная с 20-х годов предпринимается работа по систематизации складчатых нарушений, выделяются антиклинали и синклинали (В. Конибер и Д. Филлипс, 1824 г.). В 1830 г. бельгийский геолог Андре Дюмон в работе "Геологическое описание Льежской провинции" привел примеры опрокинутых складок и перевернутых слоев, что невозможно было объяснить вертикальными движениями. Для проверки установленных неординарных фактов была создана специальная комиссия из Бельгийской Академии наук, которая и признала их вполне достоверными. А. Дюмон же сделал вывод, что подобные складки своим возникновением обязаны силам, действующим не по вертикали, а в горизонтальном направлении.

Выявляются новые тектонические структуры, которые были названы покровами. Они были обнаружены в 1841 г. А. Эшером фон дер Линтом в Швейцарских Альпах и подробно охарактеризованы при описании Гларн-

ского надвига. В 1844 г. покровные структуры благодаря работам Дж. Николя стали известны и в Шотландии. В 1849 г. термин употреблялся К.Ф. Науманом. Однако существование покровных структур долгое время несправедливо оспаривалось или замалчивалось. Как отметил А. Холмс [1949. С. 445], "со времени открытия Эшером гигантских надвигов в Швейцарских Альпах много геологов посвятили свою жизнь раскрыванию структур, представляющихся в течение многих лет после того, как они были описаны, совершенно неправдоподобными тому, кем они не были фактически прослежены от вершины к вершине".

Возрождается идея о раздвиговом происхождении озера Байкал с плутонических позиций. По А. Эрману (1833, 1838 гг.), котловина Байкала — это вулканическая трещина. Под напором гранитных масс снизу каменноугольные пласты были приподняты, разорвались на огромном пространстве, частью провалились в этот разрыв и создали то расщеление (раздвиг), которое заполнилось озером [Обручев. 1934].

Продолжается развитие и смежных областей знания о Земле. Появляются, например, учебники, в которых содержатся близкие к современным данные о внутренних частях Земли (И. Шмидт, 1829 г.). В 1829 г. С.Н. Пуассоном были теоретически предсказаны сейсмические волны *P* и *S*, открытие которых в начале XX в. на имевшихся записях землетрясений сыграло огромную роль в расшифровке глубинного строения литосферы [Джеффрис, 1960]. В 1837 г. Дж. Гершель в частном письме Ч. Лайелю высказал идею о гравитационном уравновешивании глыб земной коры. В 1839 г. В. Гопкинс выдвинул предположение о том, что причиной горообразования являются подкоровые конвекционные течения [Ботт, 1974]. Бушпорн (1849 г.), напротив, усматривал причину образования и дислокации гор в изменении скорости вращения Земли; по его представлениям, при замедлении вращения на экваторе должны были возникать складки, а при увеличении — трещины и сбросы. Позже И.В. Мушкетов [1899] сочтет изменение скорости вращения Земли недоказанным.

С позиций геодинамики высказываются соображения об изменении тонкой внутренней структуры и отчасти состава пород при складкообразовательных процессах. Так, в 1835 г. А. Седжвик вводит термин "кливаж" при описании процесса раскалывания пород на тонкие пластинки. Шарп (1849 г.) определил сланцеватость как разновидность кливажа и связал ее образование с уплотнением частиц горных пород перпендикулярно сжимающим силам. В 1848 г. П.С. Усов выявил и сделал первое описание явлений дислокационного метаморфизма по обнажениям, а в 1849 г. Р. Мурчисон установил, что петрографический характер одновозрастных отложений Урала и Европейской России резко различается вследствие метаморфизации уральских осадков при дислокациях, которые в Европейской России проявляются весьма слабо. Аналогичные различия в 40-х годах были выявлены Х.Д. Роджерсом при сравнении одних и тех же палеозойских отложений Аппалачских гор и равнины Миссисипи (И.В. Мушкетов [1899]). Позже динамометаморфизм будет использован как один из индикаторов горизонтальных напряжений и перемещений.

Установление тектонических покровов, наклонных и опрокинутых складок, а также перевернутых пластов не могло найти объяснений с помощью механизма, предлагаемого всеми гипотезами поднятий. Точно так

же не могли найти объяснения и особенности пространственного расположения складок. Развернувшееся в это время геологическое картирование показало, что в складчатых областях складки располагаются не вокруг каких-то центров поднятия, а образуют линейные зоны, системы и пояса, которые протягиваются через целые континенты. Одними вертикальными усилиями все эти особенности в строении земной коры объяснять стало невозможно.

Тем не менее некоторые ученые все еще продолжали поддерживать и развивать идею о примате вертикальных усилий. Так, К.Ф. Науман, первым применивший термин "тектоника", в работе 1850 г. предпринял попытку объяснить вертикальные колебания земной поверхности влиянием жидкого ядра на оболочку. По его мнению, сильно сдавленные жидкие массы ядра переходят в твердое состояние на внутренней стороне этой оболочки и приподнимают ее в виде материков. Образованию горных цепей предшествуют трещины и разрывы земной коры на всю ее толщину, возникающие от давления на кору огненно-жидкого ядра и извержения огненно-жидкого материала на поверхность.

Но это уже не спасает гипотезу "кратеров поднятия и взрыва". Выясняется, что положенные в основу этой гипотезы фактические предпосылки неверны. В вулканических областях Италии и Франции было установлено, что вулканы с их кратерами состоят не из пластов, приподнятых напором магмы, как считали Л. фон Бух, А. Гумбольдт, Б. Штудер и другие вулканисты, а из продуктов извержения самих вулканов. Кроме того, гранитные массивы осевых зон горных сооружений в Альпах, внедрение которых, по утверждению названных авторов, якобы стимулировало поднятие пластов, оказались во многих случаях более древними по сравнению с приподнятыми осадочными толщами. Возражения против гипотезы "кратеров поднятия и взрыва" еще в 30-х годах приводил в "Основах геологии" Ч. Лайель, критикуя катастрофические увлечения плутонистов.

Все это подготовило отказ многих геологов от гипотезы поднятий и замену ее новой гипотезой — гипотезой контракции, в основу которой легли представления о преобладании усилий горизонтального сжатия в процессе деформации земной коры.

Создателем гипотезы контракции считается французский геолог Эли де Бомон (1798—1874гг.). Первоначально саму идею он высказал в 1829 г., но с полным обоснованием гипотеза была разработана в труде "О горных системах", опубликованном в 1852 г. В III томе своего труда он писал: "Медленное и непрерывное явление охлаждения земли вызывает последовательное уменьшение длины ее среднего радиуса, и это уменьшение определяет в различных точках поверхности центростремительные движения, которые, приближая каждую из них к центру, постоянно и незаметно опускают ее ниже ее первоначального положения". "Горные цепи в основном соответствуют тем частям земной коры, горизонтальное протяжение которых уменьшилось под влиянием поперечного раздавливания. Сохранившиеся в нетронутом виде части с обеих сторон потеряли связь между собой; они как бы образовали клещи тисков, в которых была сжата промежуточная часть" (по М.М. Тетяеву [1941].

Таким образом, по Эли де Бомону, основные черты рельефа земной

поверхности являются следствием постепенного охлаждения земного шара и сокращения объема его внутренней массы; при этом твердая и не участвующая в этом сокращении земная кора должна была приспосабливаться к внутренней массе и образовывать впадины и выступы, а при очень значительном напряжении давать трещины. Последние открывали выход на поверхность вулканическим массам, а возникавшее при этом боковое давление разрешалось образованием складок, системы которых и составляют горные цепи.

Считая горы параллельного направления одновременно поднятыми, Эли де Бомон насчитал в Европе 12 горных систем и вывел геометрическую закономерность, согласно которой горные цепи приурочены к большим кругам земного шара. Предположив, что 15 больших кругов соответствуют ребрам находящегося в центре Земли правильного икосаэдра, он установил пентагональную сеть (в дальнейшем не подтвержденную) в качестве основы всего распределения гор на земной поверхности. По его соображениям, эпохи воздымания горных систем отвечают границам отдельных геологических формаций. Они, как он считал, и были теми катастрофами, о которых говорил Кювье в работе "Перевороты на земной поверхности".

Идея об охлаждении и сжатии Земли, высказанная Эли де Бомоном, не была совершенно новой. Как уже отмечалось выше, она родилась еще во времена Декарта. Позже ее придерживался Г.В. Лейбниц. Постулировалась она также в конце XVIII в. Кантом и Лапласом в их представлениях о происхождении небесных тел. На основании изучения гор Юра уже после первой публикации Эли де Бомона (1829 г.) гипотеза была дополнена и углублена М. Турманном (1804—1855 гг.). Существует также мнение [Д.И. Мушкетов, 1926], что первым наиболее полно изложившим контракционную гипотезу был немец К. Шимпер (1846 г.). Одним из основоположников гипотезы назывался еще и Дж. Дана (1847 г.).

Как видим, представления (прямые и косвенные) о преобладающей роли горизонтальных усилий в образовании горных поясов и их внутренней структуры принадлежат многим, отмеченным (и не отмеченным) здесь авторам. Но полное признание их пришло лишь в связи со становлением палеонтологии, палеоботаники, стратиграфии и геологического картирования, когда были получены многочисленные новые геологические и тектонические факты, а именно описания соответствующих разрезов складчатых зон и выявление в них опрокинутых складок, перевернутых пластов и тектонических покровов. Как раз на это время пришлась публикация работы Эли де Бомона "О горных системах". Она объяснила полученные геологические факты, которые не вписывались в старые фиксистские схемы плутонистов, и, таким образом, навсегда закрепила авторство контракционной гипотезы за Эли де Бомоном. Поистине время отмечает своих героев, и таким героем в истории мобилизма стал в конце первой половины XIX в. Эли де Бомон. А другой, несколько более ранний автор гипотезы — К. Шимпер, как заметил Д.И. Мушкетов [1926], навсегда погубил свою геологическую карьеру вследствие резкого несогласия с идеями плутонизма в лице Леопольда фон Буха.

Несмотря на незначительную продолжительность рассмотренного морфографического этапа (конец XVIII—первая половина XIX в.), он озна-

меновался событием огромной важности — концепция плутонистов, в основу которой были положены постулаты о преобладании в истории деформаций земной коры сил, направленных только по вертикали, оказались несостоятельными и были заменены новой системой взглядов, согласно которым в земной коре господствуют горизонтальные силы, порождаемые охлаждением и контракцией земного шара и приводящие к сокращению земной поверхности.В 80-е годы А.П. Карпинский [1947. С 102] скажет,что "идея о таком сокращении принадлежит к счастливейшим научным завоеваниям".

На протяжении рассмотренного этапа были выявлены и охарактеризованы новые структурные формы — тектонические покровы и ранее неизвестные дислокационные видоизменения вещества горных пород в процессе складко- и надвигообразования, которые позже будут названы динамометаморфизмом.

Наконец, были предсказаны новые возможные механизмы и причины образования горных кряжей и складчатых поясов — подкоровые конвекционные течения и изменения скорости вращения Земли, а также высказаны соображения о гравитационном равновесии глыб земной коры.

ГЛАВА ВТОРАЯ

МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЙ ЭТАП

Рассматриваемый этап, который мы назвали морфогенетическим, охватил вторую половину XIX и первую половину XX в. и характеризовался дальнейшим развитием практической геологии. Для координации геологосъемочных и поисковых работ в разных странах были созданы специальные государственные службы: в Англии (1835 г.), в Австрии (1849 г.), во Франции (1855 г.), в Швеции (1858 г.), в США (1867 г.), в Германии (1873 г.). В России в 1882 г. был организован Геологический комитет. Получают развитие масштабное геологическое картирование и геофизические методы исследования (сейсмология, гравиметрия, магнитометрия). Укрепляются международные связи ученых-геологов и созывается Международный Геологический конгресс, первая сессия которого состоялась в 1878 г. в Париже. Все это приводит к бурному росту геологических знаний о Земле и к разработке широкого спектра гипотез и новых обобщений как о строении и формировании структур земной коры, так и о структуре Земли в целом. Важный вклад в геологию и тектонику вносит открытие радиоактивности пород, а затем — абсолютной геохронологии, за которыми последовали дальнейшие обобщения.

Более разнообразными становятся представления о движениях земной коры, обнаруживаются целые зоны со структурными формами горизонтального сжатия и горизонтального растяжения, разрабатывается теория шарьяжей. Появляются первые структурные и тектонические карты, а более совершенные лабораторные эксперименты в значительной мере открывают завесу над механизмами образования структур.

В плане мобилистских реконструкций морфогенетический этап может быть подразделен на два подэтапа.

На первом из них, охватившем вторую половину XIX в., наибольшее признание и распространение получила гипотеза контракции, принявшая в качестве основного механизма структурообразования глобальное горизонтальное сжатие земной коры вследствие охлаждения и уменьшения объема вунтренних частей Земли. С помощью этой гипотезы легко объяснялись и становились понятными и тектонические покровы, и складчатость, и горообразование, и асимметрия рельефа и структур, и даже формирование геосинклиналей. Эта форма мобилизма (назовем ее стресс-мобилизмом) в качестве доминанты основных тектонических построений просуществовала до конца XIX в. В это же время была высказана никем не замеченная гипотеза дрейфа континентов.

На втором подэтапе, с начала XX в., гипотеза контракции в связи с

новыми открытиями уступила место гипотезе дрейфа материков, основательно подкрепленной геодезическими, геофизическими, геологическими, палеонтологическими и палеоклиматическими аргументами. Эта собственно мобилистская гипотеза, во главу угла положившая крупноамплитудные горизонтальные перемещения, нашла многих сторонников. Но и она оказалась неспособной объяснить все особенности строения и развития земных структур. Появилось много других трактовок, в связи с этим и именно к этому времени относятся шутки о тектонике как о "сумасшедшем доме", хотя в действительности, как увидим из дальнейшего, никакого "сумасшедшего дома" не было. Каждая трактовка в рамках своего времени находит свое объяснение и свое право на местное, региональное или глобальное существование.

Отличаются эти подэтапы и методикой тектонических исследований. Если первый из них в значительной мере все еще оставался морфографическим, главным образом описательным, то второй из описательного перерастал в генетический, более познавательный, с попытками не только выявить видимые структурные закономерности, но и понять их глубинную природу и движущие механизмы — выявить, так сказать, многоликую "причину всех причин".

Перейдем к более подробной характеристике указанных подэтапов.

ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XIX в. (ОТ ЭЛИ ДЕ БОМОНА ДО Е.В. БЫХАНОВА)

Как уже было отмечено, гипотеза контракции получила широкое признание и использовалась многими видными геологами. Расцвет гипотезы связывается главным образом с исследованиями и обобщениями австрийского геолога Э. Зюсса (1831—1914 гг.), проанализировавшего происхождение Альп, швейцарца А. Гейма (1849—1937 гг.), проведшего исследования механизма горообразования, и американца Б. Виллиса (1857—1949 гг.), выяснившего на основе гипотезы контракции механизм образования аппалачских структур. Гипотезу поддержали и внесли свой вклад в ее развитие Дж. Дана и Ж. Леконт в Америке, М. Бертран и Э. Ог во Франции, другие европейские геологи, такие как А. Фавр, Г. Шардт и т.д. В России в числе сторонников гипотезы контракции мы находим А.П. Карпинского, Ф.Н. Чернышева, И.В. Мушкетова, А.П. Павлова, К.И. Богдановича, И.Д. Черского и др.

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Главной фактической основой гипотезы контракции явились структурные исследования, но в начале, да и в ряде случаев позже они оказались очень разноречивыми по результатам.

Еще в 1846—1848 гг. Дж. Дана (1813—1895 гг.) пришел к заключению, что центростремительное движение земной коры, обусловленное сокращением ядра, превращается, как в арке свода, в тангенциальное напряжение. Это напряжение и приводит к формированию складок, выраженных в рельефе в виде гребней и впадин. При этом возникают и разрывы, сопровождающие складчатость при погружениях, или происходят медлен-

ные поднятия горных систем, и по трещинам внедряются вулканические образования. Как результат тангенциального напряжения Дж. Дана отметил асимметричное строение горных систем.

Позже, в 1873 г. Дж. Дана ввел понятие "геосинклиналь". История этого вопроса уводит нас к 1859 г., когда другой американский геолог Дж. Холл (1811—1898 гг.) впервые установил, что складчатые зоны, в отличие от нескладчатых, характеризуются резко увеличенной мощностью и однообразием осадочных толщ. Не будучи сторонником гипотезы контракции, он предположил, что первоначально такие зоны возникают близ берега континентов, а земная кора прогибается под тяжестью накапливающегося обломочного материала. Однако именно эти складчатые зоны с увеличенной мощностью осадочных отложений, резко отличающиеся от соседних областей со спокойным залеганием пород, Дж. Дана и назвал геосинклиналями, но, в отличие от Дж. Холла, рассматривал их как крупные прогибы, образовавшиеся под влиянием горизонтальных сил сжатия. По его мнению, они возникали по краям континентов потому, что дно океана в процессе сжатия Земли опускалось между какими-то участками, которые затем, находясь под стрессом, давили на опущенную зону и сминали накапливающиеся здесь осадочные толщи в складки; последние протягивались на большие расстояния и получили выражение в рельефе в виде горных хребтов.

Другие авторы для объяснения горообразования привлекали температурный фактор в его прямом или косвенном действии. Так, в 80-х годах Меллард Рид в книге "Происхождение горных хребтов" предположил причину горообразования в расширении массы осадочных пород за счет нагрева. С его точки зрения, "горные хребты... появляются только на площадях большого накопления осадков. Причиной различных горизонтальных и вертикальных усилий, завершающихся рождением горного хребта, является подъем изогеотерм и соответствующее увеличение температуры новых осадков и той части старой коры, над которой они лежат" [Виллис, 1934. С. 63]. Между нижними (нагретыми) и верхними (деформируемыми) толщами, по М. Риду, находится промежуточная зона ("level of strain"), где нет сжатия. Складчатость, предшествовавшая горообразованию, возникала как результат разогрева, расширения масс и давления снизу вверх, разрывы и сбросы — как результат их остывания и сжатия.

В отличие от М. Рида, Ж. Леконт (1823—1901 гг.) причину возникновения складок, расколов и перемещений пород в земной коре видел в явлениях контракции. Он считал, что вертикальные движения участков земной коры, стремящихся опуститься вниз, по направлению к сжимающемуся ядру, создавали боковые напряжения. В более всего опустившихся зонах от воздействия повышенной на глубине температуры слои становились менее прочными и под действием бокового давления сминались в складки и приподнимались. Процесс затем повторялся в соседней полосе, и так возникали многоскладчатые горные цепи, построенные асимметрично.

Дальнейшее развитие теории геосинклиналей принадлежит французскому геологу Э. Огу (1861—1927 гг.). На рубеже XIX и XX вв. он высказал мнение, что вся поверхность Земли покрыта сетью геосинклиналей,

разделяющих континентальные платформы, и что с кембрия и до наших дней геосинклинали периодически и более или менее одновременно испытывали горообразовательные движения в связи с горизонтальным сжатием.

В работе немецкого ученого Б. Котта (1852 г.), который рассмотрел тектонические взгляды на горообразование и складчатость, господствовавшие в середине XIX в., выделены горы разного происхождения. Одни из них были названы складчатыми, созданными боковым давлением, другие — вулканическими, образованными излияниями и скоплениями изверженных пород, к третьей категории он отнес плутонические горы, возникшие от проникновения в земную кору различных интрузий.

Приведем, наконец, и еще один взгляд на формирование складчатых горных систем, высказанный еще в 1832 г. К. Прево и поддержанный в 1860 г. П. Лори и в 1879 г. Д. Маньяном, которые считали, что горные системы явились следствием соседних оседаний и провалов земной коры. При этом, как они полагали, по краям трещин, ограничивавших зоны провалов и оседаний, породы выпирали вверх и в них происходило смятие слоев [Обручев, 1934].

Решающее истолкование генезиса складчатости как следствия горизонтального сжатия (контракции) было намечено исследованиями Альп и Юры. В 1853 г. А. Эшер установил, что кристаллические массы осевой зоны Альп не являлись причиной поднятия этого региона (согласно бытовавцей в то время вулканической теории), но сами были вовлечены в процесс складкообразования, а М. Турманн в 1856 г. прямо указал, что 160 цепей Швейцарской Юры образовались благодаря боковому давлению (со стороны Швейцарии). Аналогичным образом высказался в 1875 г. и Э. Зюсс. В работе "Происхождение Альп" он писал, что главные деформации этого региона были вызваны односторонне направленными горизонтальными движениями. Чтобы объяснить изменчивый характер деформаций на поверхности Земли, Э. Зюсс в этой же работе внес в контракционную гипотезу представление о разделении земной коры на жесткие и пластичные участки. Жесткие участки земной коры (глыбы, массивы, платформы) играли роль тисков и, сдавливая более пластичные зоны, сминали их в складки.

Несколько позже, в первом томе "Лика Земли" (1887 г.) Э. Зюсс расширил свои представления о складчатости, исходя из той же идеи контракции. Он считал, что процесс сжатия земного шара вызывал не только тангенциальные, но и радиальные напряжения, предопределившие горизонтальные и вертикальные движения масс. Соответственно этому все формы дислокации разделяются на две главные группы. Горизонтальное стяжение разрешается складками в осадочных толщах, а вертикальные движения создают и в осадочных и в массивных кристаллических породах сбросы. В зависимости от этого возникают два вида гор — пликативные и дизъюнктивные. Касаясь направленности вертикальных движений, Э. Зюсс не допускал сосуществования опусканий и поднятий, считая последние маловероятными, — они бы противоречили общему стремлению охлаждающегося планетного тела к сокращению объема. Преобладали, по его мнению, опускания.

А. Гейм в работе "Механизм горообразования" (1878 г.) выявил и

охарактеризовал альпийскую систему громадных лежачих складок, в том числе так называемую двойную Гларнскую складку, которая сыграла затем важную роль в установлении в Альпах крупных шарьяжей. На основании большего фактического материала он пришел к заключению, что складки отражают степень сокращения Земли, главным образом уменьшения ее окружности, и предпринял попытку региональных подсчетов этого сокращения. Оказалось, что образование складок Юры уменьшило окружность Земли на 5200 м, а всей Альпийской системы — на 120 км. Делались также подсчеты укорочения радиуса Земли соответственно сокращению земной поверхности, но результаты оказались очень разными — по А. Гейму, это укорочение составило 57 км, а по А. Лаппарану (1886 г.) — 19 км. Последовавшее затем открытие шарьяжей внесло еще бо́льшие коррективы во все эти подсчеты. Сам А. Гейм будет потом считать, что шарьяж — это гигантская лежачая складка, которая в процессе своего образования — движения по поверхности Земли — превращается при редуцировании лежачего крыла и его раздавливании в покров с горизонтальной или волнистой подошвой, с амплитудой до десятков и более километров, с отрывом в ряде случаев от корней [Высоцкий, 1955].

Совершенствуются эксперименты по воссозданию складчатости боковым давлением. Французский геолог Г. Добре широко применял эксперимент для изучения геологических процессов. В 1879 г. он воспроизвел складчатость путем бокового сжатия слоистых материалов в ящике с одним или двумя поршнями. В 1887 г. А. Фавр подверг сжатию слои глины в ящике с поднимающейся крышкой, получив при этом формы антиклиналей и синклиналей, аналогичные наблюдавшимся в Альпах, а также формы рельефа, подобные хребтам. В опытах он использовал еще резиновую ленту, на которой размещал слои глины. При сокращении резины, сходном с сокращением земной коры, образовывались складки, также подобные альпийским.

В 1884 г. Г. Шардт подвергал сжатию массу из слоев разной твердости (глина и глина с песком). Он установил, что более твердые слои являются передатчиками сжатия, пластичные же захватываются ими при их передвижении и перетекают в процессе сжатия подобно тому, "как мягкая масса проходит сквозь пальцы при сжимании в руке". Он же отметил, что эффект сжатия изменяется в зависимости от положения слоев.

Примерно в это же время Г. Кэделл из Королевского общества в Эдинбурге проделал опыт горизонтального сдавливания гетерогенной массы (гипс, глина, песок) и выявил такие закономерности: 1) горизонтальное давление, приложенное в одной точке, не передается далеко вперед в массе слоев; 2) сжатие разрешается серией плоскостей разрыва, слегка наклоненных в сторону, откуда шло давление; 3) плоскости надвига не обязательно развиваются из складок, а возникают сразу при приложении горизонтального давления; 4) надвиговые поверхности могут изогнуться в складки, или разветвляться, или перейти по простиранию в опрокинутую складку; 5) веерообразные структуры могут быть созданы непрерывным сжатием простой антиклинали.

Б. Виллис в 1893 г. также экспериментально воспроизвел складчатость посредством бокового сжатия и сопоставил результаты своих опытов с

полевым изучением Аппалачских структур, сделав при этом выводы общего значения. Он ввел понятие скрытой пластичности горных пород, возникающей под давлением на глубине, и течения пластической массы. По его представлениям, земная кора покоится на пластичном субстрате, и характер ее деформации определяется либо гибкостью (прямая функция расслоения и вязкости слоев, а также глубины их залегания), либо твердостью (которая прямо пропорциональна толщине и обратно пропорциональна связности частиц слоя). По заключению Б. Виллиса, "давление на массивный известняк может действовать на большое расстояние от места его приложения, в то время как та же сила будет скорее растрачена в толще сланцев", т.е. "передача деформирующего давления есть функция твердости любого слоя и груза, лежащего на нем" [Виллис, 1934. С. 27].

В итоге своих экспериментов Б. Виллис ввел термин "компетентность горных пород", означающий способность слоев передавать давление, проявляя при этом минимальные следы пластических деформаций. Предпочтение им отдано "компетентной модели" формирования складчатых структур — "закон компетентной структуры является действительным законом природы", — писал он [Там же. С. 54]. В некомпетентных же (пластичных) породах форма слоя под действием сжатия изменяется не путем изгиба, а путем течения.

Перенеся результаты опытов на структуру Аппалачей, Б. Виллис сделал следующие выводы: 1) Аппалачские надвиги являются результатом своеобразного развития антиклиналей и произведены силой, переданной через полого падающее крыло складок; 2) образование разрывов задержало сгибание слоев на ступени перед чрезвычайным сжатием антиклинали; 3) решающая роль в формировании складок или разрывов в процессе горизонтального сжатия остается за особенностями слоистости и стратиграфических различий по площади (в северной половине зоны преобладают складки, в южной — разрывы).

Рождение теории шарьяжей связывается с именем М. Бертрана (1884 г.). Он еще раз обследовал выявленную А. Геймом гигантскую двойную Гларнскую складку и пришел к выводу, что эта структура не представляет собой двух лежачих складок, направленных вершинами друг к другу, а является единой складкой, опрокинутой и надвинутой с юга на север. Процесс надвигания и был им определен термином "шарьяж". Спустя три года М. Бертран развил идею о длительности формирования складок, получивших у швейцарских геологов название эмбриональных складок, из которых потом и возникают тектонические покровы. По мнению М. Бертрана, сложная пликативная дислокация с лежачими складками и шарьяжами, свидетельствующими о чрезвычайно сильном боковом давлении, должна быть приурочена к краю геосинклинали; она происходит в глубине коры, к поверхности же складки слабеют, и только разрывы, сопровождаемые шарьяжами, происходят уже вблизи поверхности.

Кроме М. Бертрана, и раньше и позже покровными структурами занимались многие европейские геологи. Мы уже упоминали английского геолога Дж. Николя, который продолжил структурные исследования в Шотландии. В 1859 г. он выяснил, что в разрезе Шотландии после-

довательность слоев не седиментационная, а дислокационная. Верхние кварциты и кристаллические сланцы не представляют верхних горизонтов нижнего силура, а являются более древними породами, надвинутыми по пологой поверхности на силурийские пласты под действием бокового давления. Госселе в 1870 г. установил большие надвиги в угленосном районе Северной Франции. А. Тёрнебом в 1888—1896 гг. описал шарьяжи в каледонидах Скандинавии, перекрывших край Восточно-Европейской платформы. О крупных горизонтальных перемещениях в Альпах писал А. Ротплетц. Г. Шардт обследовал экзотические скалы в зоне Предальп в Центральной Швейцарии и составил первый профиль через Альпы, на котором показал залегание складок из более древних пород на более молодых породах. Он же в 1893 г. показал, что породы, составляющие экзотические скалы в зоне Шабле (Центральная Швейцария) — бескорневые и не имеют фациальных аналогов среди коренных пород, происходя из другой структурно-фациальной зоны. Этот фациальный критерий позже стал одним из основных в диагностике шарьяжей.

Разрабатывается новая терминология, обозначающая те или иные особенности строения и развития надвиговых и покровных структур. Впервые для Закарпатских обнажений юры А. Тахе (1871 г.) применил термин "клиппены", а в 1896 г. М. Люжон использовал этот термин для обозначения эрозионных останцов тектонических покровов. М. Бертран (1884 г.) употреблял термин "покровы перекрытия", Г. Шардт (1893 г.) — "аллохтонные пластины". В Шотландии были выделены "надвиги скольжения" и развивающиеся из антиклинали "надвиги разлома". Пример надвига растяжения как результата особо интенсивной складчатости с развитием опрокинутого растягивающегося крыла описан А. Геймом, а скольжение по поверхности Земли обозначено Хайэсом как эрозионный надвиг. Тектоническое окно как явление было описано в 1887 г. М. Бертраном и закреплено как термин в 1901 г. Э. Зюссом.

На рубеже XIX и XX вв. М. Люжон развил и завершил идеи М. Бертрана и Г. Шардта синтезом покровного строения Альп, а французские геологи П. Термье, Э. Ог и австриец Э. Зюсс распространили представления о покровном строении за пределы Швейцарских и французских Альп — на все дуги Альпийско-Карпатского региона. Складчатые горы представлялись состоящими из серий складчатых пакетов, перемещенных по латерали на многие десятки и сотни километров. На Международном Геологическом конгрессе в Вене в 1903 г. теория шарьяжей получила официальное признание — целый ряд докладов был посвящен тектоническим перекрытиям в Альпах, в Скандинавии, в Аппалачах и в Индии. Многими исследователями теория шарьяжей сочеталась с представлениями Дж. Дана о геосинклиналях и геоантиклиналях.

В России специальные структурные исследования (как в Альпах или Аппалачах) не проводились, но интересные данные о тектонических структурах в связи с гипотезой контракции были получены при геологических работах прикладного и общего характера.

Так, во время полевых работ на Урале геологи А.И. Антипов и Н.Г. Меглицкий в 1858 г. обратили внимание на волнистую складчатость в каменноугольных и пермских отложениях и сделали попытку выяснить причину ее возникновения. Они заключили, что волнистое положение

пластов является результатом совокупного действия поднятий и бокового сжатия в прибрежьях р. Урал. Было отмечено, что "с увеличением подъема увеличивалась и крутизна волн, учащались перемены и уменьшались поперечные размеры выхода всех формаций. Промежутки между формациями делались уже и извилистее" [Очерки.., 1953].

Профессор Казанского университета Н.А. Головкинский (1834—1897 гг.) в представлениях о тектонических движениях и деформациях большое значение придавал химическим процессам в горных породах, которые, по его мнению, вели или к увеличению, или к уменьшению объема горных пород и соответственно к расширению или сжатию и к поднятию или опусканию земной поверхности. В работе "О пермской формации в центральной части Камско-Волжского бассейна" (1868 г.) он обратил внимание на явление послойного движения вещества, которое он также связал с химическими процессами. По его словам, "различная мера движений неизбежно предполагает, что различные слои в большей или меньшей степени скользят по другим слоям". Это явление ни что иное, как результат "бокового давления на пластичный слой, заключенный между двумя твердыми" [Сократов, 1949]. Эти мысли Н.А. Головкинского о тектоническом течении вещества горных пород были высказаны на четверть века раньше, чем это сделал Б. Виллис.

В 1887 г. А.П. Павлов (1854—1929 гг.) выявил Жигулевский разлом на Русской плите и предположил его сдвиговую природу. В наше время это его предположение было подтверждено — для байкальского цикла амплитуда сдвигового смещения по этому разлому была определена в 25 км [Валеев, 1978].

А.П. Карпинский (1847—1936 гг.) в 80-х годах обрисовал общую картину дислокаций слоев в пределах Русской плиты. В 1887 г. он составил тектоническую карту Европейской России, где показал основные структурные элементы — антиклинали, сбросы, сдвиги и другие дислокации, а также горные кряжи. Общую причину всех этих процессов, в том числе и "кряжеобразовательных", Карпинский видел в контракции Земли. "Продолжая постепенно охлаждаться, — писал он — Земля уменьшается в объеме, вследствие чего в ранее образовавшихся поверхностных ее слоях возникают складки или морщины, весьма незначительные или даже ничтожные по отношению к объему Земли, но кажущиеся нам громадными" [Там же. С. 102].

И.В. Мушкетов (1850—1902 гг.) создает первую научную схему геологического строения Средней Азии. Им выделяются орографические поднятия двух главных простираний — северо-западного и северо-восточного, которые он объясняет последовательным проявлением двух эпох складчатых движений, в палеозое и кайнозое. Хребты им принимаются за антиклинали, межгорные впадины — за синклинали. По его мнению, "складки обусловлены горизонтальным давлением или, по отношению к Земле, тангенциальным стяжением; ... в зависимости от силы и направления этого давления или стяжения складки разнообразно видоизменяются в различных частях земной коры" [Мушкетов, 1899. С. 319].

Аналогичным образом думал и исследователь Сибири И.Д. Черский (1845—1892 гг.), считавший тангенциальное давление основной причиной

складкообразования в разных формациях (в работе 1886 г.). Действием этого давления он объяснял даже происхождение котловины озера Байкал. Он полагал, что "самым простым и естественным объяснением глубины ее юго-западной части является медленное сжимание синклинали, происходившее как в послесилурийские, так и в послеюрские периоды" [Обручев, 1934. С. 337]. Подтверждением контракции Земли считались многочисленные примеры опрокинутых складок, которые были обнаружены в Олекминско-Витимской горной области и на Ольхоне (В.А. Обручев, 1889—1891 гг.), по северной окраине Западного Саяна (К.И. Богданович, 1892 г.) и в других местах. В альпийских областях, например в Закавказье, складчатость также связывалась с боковым сжатием, "распространяющимся от центров поднятия" (А.И. Сорокин, 1877 г.).

В итоге структурных исследований второй половины XIX в. контракционисты серьезное внимание обратили на угловые несогласия, возникающие в процессе формирования складок. Угловые несогласия отмечались и раньше, например Эли де Бомоном, но теперь на них было указано как на метод восстановления истории тектонических движений. Заслуга здесь принадлежит прежде всего М. Бертрану, который в 1887 г. с помощью анализа угловых несогласий смог установить разновозрастные складчатые зоны — гуронскую (докембрийскую), каледонскую, герцинскую и альпийскую и на этой основе выявил периодический характер крупных тектонических движений, связанных с горизонтальным сокращением первичной поверхности земного шара.

Помимо складчатых и покровых структур, подтверждающих контракцию, выделяются горизонтальные сдвиги. Одним из первых на сдвиги обратил внимание Э. Зюсс, в 1882 г. применивший к ним термин "Blatt". Под этим термином он подразумевал часть коры между более или менее параллельными разломами сдвигового типа. Он же выделил и такие своеобразные формы, связанные с горизонтальными сдвигами, как горизонтальные флексуры. Работая в Средней Азии, И.В. Мушкетов пришел к заключению, что складки и сдвиги одинаково обусловлены боковым давлением, отметив, что в разных местах "целые свиты значительно передвигаются в горизонтальном направлении" [Мушкетов, 1899. С. 333]. Существование сдвигов на Русской плите, как уже упоминалось, предполагали А.П. Павлов и А.П. Карпинский. О сдвигах в Северо-Уссурийском крае вскользь писал в 1897 г. М. Иванов, В.А. Обручев же в 1891 г. высказал мнение, что Байкал образовался на месте древнего сдвига, вызванного оседанием одной из "полос" региона [Обручев, 1937].

Появляются новые представления и о раздвиговых структурах, обусловленных, по мнению одних, той же контракцией, а по мнению других, — растяжением земной коры. По утверждению Д.И. Мушкетова [1935], первым на это обратил внимание Т. Черульф, объяснивший современный рельеф и структуру Скандинавии образованием сложной системы трещин, появившихся, с его точки зрения, от перемещений в нижних слоях. Дж. Грегори в 90-х годах впервые употребил термин "рифтовая долина" при характеристике Кенийского грабена в Африке. Этот грабен возник, по его представлениям, в результате разрыва земной коры под действием горизонтального растяжения на оси сводового поднятия и в

связи с образованием наклонных сбросов, которые он назвал рифтами. Э. Зюсс подчеркнул, что образование глубоких грабенов не противоречит гипотезе контракции, приписав им провальное происхождение в связи со сжатием внутренних частей Земли. Близкой точки зрения относительно природы оз. Байкал в 1897 г. придерживался В.А. Обручев [1937], тогда как И.Д. Черский (1886 г.) отвергал идею провального происхождения оз. Байкал. Ф. Рихтгофен же в 1900 г. главной действующей силой, создавшей современный рельеф Восточной Азии, вообще считал не сжатие, а растяжение, обусловленное стремлением масс земной коры к югу и востоку, к огромной впадине Тихого океана. Позже Б. Виллис в отношении грабенов Восточной Африки и Ближнего Востока высказал мнение об их происхождении в связи со сжатием земной коры, о том, что они являются гравитационными структурами, а ограничивающие их сбросы на глубине трансформируются в крупные взбросы и надвиги.

ОТКРЫТИЯ ОБЩЕГО ПОРЯДКА

Наряду со структурными данными во второй половине XIX в. делается ряд открытий общего порядка. Они подкрепили идею о горизонтальных напряжениях в земной коре (как сжатия, так и растяжения) или послужили основой других мобилистских направлений, развивавшихся спустя некоторое время. Прежде всего, по данным геодезических наблюдений, стало известно об увеличении со временем длины градуса на земной поверхности. На этом основании в 1859 г. А.У. Дрейсон (Англия) в книге "Земля, на которой мы живем: ее прошлое, настоящее и будущее" пришел к заключению, что Земля с большой скоростью расширяется. Он утверждал, что сотворение Мира произошло примерно 6000 лет назад, и за это время диаметр Земли удвоился [Кэри, 1991].

Большой резонанс вызвали впервые установленные особенности рельефа в разрезе и в плане. Э. Зюсс в своих работах о происхождении Альп (1875 г.) и лике Земли (1883 г.) на огромном фактическом материале обосновал и детально разработал концепцию о несимметричном строении горных цепей, которое он объяснил влиянием бокового давления. Он ввел понятия о передовой (Vorland) и тыловой (Ruckland) сторонах гор и привел примеры горных цепей с двухсторонней вергентностью (Динариды, Альпы).

Генетическое значение дугообразных простираний, отвечающих асимметричному строению, впервые показано Э. Зюссом на примерах гетероморфных горных цепей. Их вогнутый склон более крутой, построен более сложно, с замаскированными складками, разнообразием сдвигов и сбросов и с выходами вулканических пород. Выпуклый склон, напротив, значительно положе вогнутого, сложен из более или менее правильных субпараллельных складок, с небольшими выходами вулканических пород или без них. Установленную орографическую особенность Э. Зюсс объяснил направлением горизонтального давления, приняв, что вогнутые склоны образуются в местах наибольшего его проявления.

В небольшой статье 1898 г. об асимметрии северного полушария Э. Зюсс указал на господство в Азии дугообразных в плане хребтов, обращенных выпуклостью на юг, как бы обусловленных движением масс

в южном направлении, к периферии материка, тогда как в Северной Америке движение масс происходило не к периферии, а внутрь материка. Эту противоположность в движениях между Северной Америкой и Восточной Азией он объяснил боковой асимметрией полушария, наметившейся с кембрия. Образование огромных складчатых дуг, выпуклых на юг, он связал с тангенциальным стремлением масс земной коры оттекать от полюса к экватору. Во второй части III тома "Лика Земли" Э. Зюсс рассмотрел также арктические дуги (Таймыр, Верхоянье) и переход азиатских островных дуг (Охотиды, Анадыриды, Аляскиды) в Америку. А еще раньше, в 1892 г., Э. Зюсс указал на различия "Атлантической структуры" с берегами, которые пересекаются в различных направлениях горными хребтами, и "Тихоокеанской структуры" с берегами, параллельными горным хребтам.

И.Д. Черский в 80-х годах установил дугообразное направление многих складок Сибири, подтвердил правильность представлений Э. Зюсса и ошибочность построений А. Гумбольдта и П.А. Кропоткина, проводивших полвека назад линии хребтов прямолинейно и параллельно. Термином "дуга" пользовался также И.В. Мушкетов (1886 г. и др.), выделивший две обособленные складчатые горные цепи Средней Азии — Срединную дугу (Кара-Тау—Хан-Тенгри) и окраинную дугу (Ферганский хребет—Кокшаал-Тау). По его мнению, ... "громадное большинство наиболее массивных складчатых кряжей отличается ... несимметричностью склонов, так что общая фигура поперечного разреза представляет собой разносторонний, а не равнобедренный треугольник", с одним крутым и противоположным пологим склонами. "Эта особенность присуща почти всем кряжам" [И.В. Мушкетов, 1899. С. 98]. Со ссылкой на А. Лаппарана И.В. Мушкетов называет эту особенность горных цепей "диссимметрией рельефа".

Многие исследователи второй половины XIX в. (А. Гумбольдт, Э. Зюсс, А.П. Карпинский, И.В. Мушкетов, Т. Фукс, Д. Циглер и др.) большое значение придавали "географическим гомологиям" (сходству материков и отдельных горных хребтов в очертаниях, ориентировке и строении). А.П. Карпинский в статье "О правильности в очертании, распределении и строении континентов" отметил и пояснил рисунком, что если снять изображения континентов с глобуса и, сохраняя их относительное положение, расправить их по плоскости таким образом, чтобы очертания их были менее всего деформированы, то можно получить огромный пояс суши, в состав которого войдут все материки. Этот пояс разделит водную поверхность Земли на два больших океана — Тихий и Атлантический со всеми остальными морями. Выяснится также, что характер побережья Тихого океана обусловлен складчатыми горными кряжами, тогда как побережье Атлантического, весьма бедное складчатыми образованиями, — сбросами (на что обращал внимание и Э. Зюсс). Первые развиты на левой, тихоокеанской, стороне материкового пояса, вторые на правой, атлантической. Главный деформационный ствол простирается вдоль тихоокеанского берега и следует по кругу, не проходящему через центр Земли; он произошел вследствие одностороннего надвигания масс на левую сторону, к западу. К главному стволу справа примыкают кряжи других, перистых или дугообразных, направле-

ний, причем те из них, которые параллельны главному стволу, также образованы надвиганием в левую, западную, сторону, поперечные же (Гималаи и др.) — надвиганием к югу.

Вслед за Э. Зюссом и А.П. Карпинским географическим гомологиям отдает должное и И.В. Мушкетов. Он пишет: "Современные материки и части их, представляющие главным образом результат древних и новых дисклокационных процессов, должны обладать некоторою аналогией в очертании, а потому географические гомологии имеют действительное значение как следствие генезиса материков" [1899. С. 387].

К поискам географических гомологий близко примыкают построения гипсографических кривых — изображения по вертикали средних высот разных участков суши и глубины морей. Такую попытку предпринимал еще П.С. Лаплас, который предположил среднюю высоту суши в 1000 м. По данным А. Гумбольдта, эта высота равна 300 м. Наиболее точными оказались и были приняты многими определения Г. Вагнера, который в 80-х годах и представил глобальную гипсографическую кривую. По Вагнеру: "При средней высоте суши в 700 м и средней глубине морей в 3500 м можно представить себе всю сушу в виде обширного плоскогорья, имеющего общую высоту 4200 м, площадь 144 500 000 кв. км и объем 607 000 000 куб. км; эта часть земной коры, выступающая в виде цилиндра над средним уровнем морского дна, могла бы быть названа материковым или твердым остовом (Landblock) в противоположность морскому или водному (Wasserblock), имеющему 3500 м высоты, 365 500 000 кв. км площади и 1 270 000 000 куб. км объема" [Мушкетов, 1899. С. 87].

Все это наводило на мысль, что разные по высоте две части поверхности земного шара должны отвечать разным слоям земной коры с неодинаковым петрографическим составом. Именно в это время выдвигается гипотеза о всеобщем гранитном слое как о первичной верхней части земной коры. Э. Зюсс в "Лике Земли", основываясь на широком распространении гранитных масс, образующих континентальные щиты (докембрий), и песчаников с большим количеством кварца, предложил называть верхнюю оболочку "саль" (позже "сиаль"), для нижней же ввиду преобладания в ней алюминиевых и магниевых силикатов предложил термин "сима". Отсюда было уже недалеко до вывода о латеральном скольжении верхней оболочки по нижней, что и сделал с наибольшим обоснованием в 1912 г. немецкий геофизик А. Вегенер, а также некоторые его (близкие по времени) предшественники.

Еще одно важное открытие, которое позже будет способствовать развитию идей мобилизма в геотектонике, связано с выявлением и изучением океанических фаций и нахождением их в материковых разрезах. Так, в 1883 г. Т. Фукс в статье "Какие отложения мы можем рассматривать в качестве глубоководных" отнес к таковым юрские толщи Альп. По Э. Зюссу (1876 г.), в Альпах вообще преобладало глубоководное осадконакопление. М. Неймайр же в 1885 г. отнес к ним красные глинистые цефалоподовые известняки ("фации Аммонитико россо") в юрских отложениях не только Альп, но и Аппенин и Сицилии. В это же время вводится термин "пелагические осадки" (Д. Мэррей; А. Ренар, 1884 г.) для осадочных толщ, отложенных вдали от континентов (глины, известковистый ил,

радиоляриевый ил, диатомовый ил). Выясняется также парагенетическая связь глубоководных осадочных отложений с вулканическими основного и ультраосновного состава и связь последних в виде "зеленокаменных" образований (термин А.А. Иностранцева, 1877 г.) с крупными тектоническими нарушениями надвигового типа. Э. Зюсс указал на зеленые основные изверженные породы (габро, перидотиты, диабазы, змеевики) как на одну из особенностей, характеризующих альпийскую складчатую зону. По его убеждению, "эти породы являются, может быть, наиболее надежными генеральными линиями Средиземноморской складчатой зоны". Г. Штейнман в 1905 г. назовет их "офиолитами", а Р. Штауб в последующие годы определит их как "спутники тектонических движений, захватывающих глубинные части" [Мушкетов, 1935].

Установленные в 40-х годах XIX в. явления динамометаморфизма, обусловленные горизонтальными перемещениями пород по надвигам, начиная с 80-х подвергались систематическому изучению в полевых и лабораторных условиях. С. Добрэ (1879 г.) получил в образцах глины и свинца под действием бокового давления не только листоватое складчатое сложение, но даже веерообразную сланцеватость. По И.В. Мушкетову (1877 г.), плойчатое сложение доломитов Кусинского завода также вызвано динамометаморфическими процессами под действием горизонтальных сил. А. Гейм (1878 г.) ввел термин "кливаж размятия" (Ausweichungoclivage) и привел примеры динамометаморфических изменений пород в Альпах. Аналогичные породы были обнаружены А.П. Карпинским (1887 г.) на Урале. Лоссен (1877, 1883, 1897 гг.) доказал, что известково-серицитовые филлиты и серицитовые сланцы в горах Таунус на Рейне произошли при динамометаморфизме диабазов. Наконец, Ч. Ван Хайз в 1896 г. подвел итоги изучения кливажа и создал первую классификацию его разновидностей.

Нельзя не сказать еще о некоторых из открытий общего порядка (открытии магнитных свойств горных пород, радиоактивности и т.д.), которые потом также сыграют важную роль в развитии мобилистских идей.

В 1849 г. А. Деллес обнаружил, что некоторые современные лавы намагничиваются в направлении локального геомагнитного поля. То же самое было показано в 1853 г. М. Меллони на примере лав Везувия. А в конце XIX в. Д. Фольгерхайтер подтвердил это экспериментально. Он установил, что керамические изделия при обжиге намагничиваются также параллельно локальному полю, и эта намагниченность стабилизируется, позволяя проследить даже по археологическим остаткам историю наклонения геомагнитного поля [Кэри, 1991].

Явление радиоактивности было установлено французским физиком А. Беккерелем (1852—1908 гг.) в 1896 г. при исследовании урановых солей. Несколько позже М. Склодовская-Кюри определила, что пропорционально содержащемуся урану первоначальная урановая руда (до очистки) значительно более активна, чем чисто урановые соединения. Отсюда был сделан вывод, что руда содержит не только уран, но и какое-то другое, еще более радиоактивное вещество. Это вещество в 1898 г. ей удалось выделить из руды. Им оказался новый элемент, названный радием. В дальнейшем будет установлено, что радиоактивность горных

пород имеет существенное значение как источник внутренней тепловой энергии Земли, гипотеза контракции будет поколеблена, и вместо нее возникнут новые мобилистские концепции, с иных позиций трактующие механизмы крупных горизонтальных перемещений.

Измерение ускорения силы тяжести, проведенное в середине XIX в. у подножия Гималаев в Индии, показало (как и сотню лет назад в Перу), что отклонения отвеса заметно меньше тех, которые ожидались теоретически, с учетом притяжения огромных масс пород Гималайского хребта. Возникло предположение, что избыток масс у поверхности как-то компенсируется на глубине, отдельные же части земной коры, в зависимости от своей массы погружены на различную глубину в пластический подкоровый слой. Эту гипотезу высказал в 1855 г. английский астроном Дж.Б. Эри (1801—1892 гг.); она показалась геологам привлекательной. В 1892 г. представление об уравновешенной на глубине и как бы плавающей в пластическом подкоровом слое земной коре было изложено американским геологом К.Э. Деттоном (1841—1912 гг.) в качестве "теории изостазии". С помощью этой теории К.Э. Деттон пытался объяснить вертикальные движения земной коры (поднятия и опускания), считая их чуть ли не единственной реакцией земной коры на увеличение и уменьшение статической нагрузки осадочных пород. Складчатость же, с его точки зрения, порождается выдавливанием материала из-под перегруженных осадками прибрежных полос моря в направлении материков.

Почти одновременно появились попытки увязать изостазию с контракцией. Б. Виллис, например, в 1893 г. высказал мнение, что контракция дает изостазии нужную силу, изостазия же направляет контракцию, и обе они дают результат, который не могла бы дать ни одна из них в отдельности [Виллис, 1934]. А еще позже именно изостазия будет положена А. Вегенером в основу гипотезы континентального дрейфа.

К концу XIX в. относится становление науки о землетрясениях — сейсмологии, которая из описательной становится точной наукой, связавшей тектонические процессы с сейсмичностью Земли. Как отметил И.В. Мушкетов, "зависимость землетрясений от дислокаций положительно констатирована в первый раз замечтальными исследованиями Э. Зюсса (1873 г.) нижнеавстрийских и итальянских землетрясений, а затем целым рядом исследователей (Битнер, Гернес, Гоффер, Винн, Рейер, Тарамелли, Мильн и др.)" [Мушкетов, 1899.]. Примечательно, что Э. Зюсс в своих работах связывал землетрясения с конкретными структурами, вызванными горизонтальными напряжениями, например наволоками, тектоническими покровами (Бельгийское землетрясение, распространившееся по направлению каменноугольных бассейнов) или с горизонтальными сдвигами (землетрясение по линии р. Камп). По напряженным сейсмическим и вулканическим проявлениям Ф. Гохштеттер в 1886 г. выделил "пояс разлома" между северными и южными группами материков. И.В. Мушкетов подчеркнул, что "наиболее интенсивные проявления землетрясений свойственны тем частям коры земной, которые отличаются наисильнейшею дислокациею, выразившеюся или в крупных сбросах, или в нагромождении складчатых гор" [1899. С. 695]. А Э. Ог [1938. С. 305] тектонические землетрясения подразделил на две группы: "землетрясения, соответствующие тангенциальным движениям, и землетрясения, соответ-

ствующие вертикальным движениям земной коры". Первые, по его мнению, бывают чаще и проявляются более интенсивно.

Появляются относительно правильные данные о внутренних частях планеты. В 1897 г. Э. Вихерт выполнил первые теоретические расчеты плотности и установил, что средняя плотность Земли существенно выше плотности земной коры. Он предположил в недрах Земли металлическое ядро со средней плотностью несколько выше 8 г/см^3, окруженное мантией со средней плотностью 3,0—3,4 г/см^3. Средняя плотность Земли была определена величиной 5,53 г/см^3. Он снова подтвердил, что ядро должно состоять из железа, сжатого под давлением. Радиус ядра, по его мнению, порядка 5000 км, толщина мантии приблизительно 1400 км [Гутенберг, 1963].

НОВЫЕ ГИПОТЕЗЫ

Помимо господствующей гипотезы контракции, для объяснения механизмов складко- и горообразования, а также шарьяжей и других взбросо-надвиговых структур высказывались, конечно, и другие представления, но они на протяжении всей второй половины XIX в. так и не стали особенно популярными — их время еще не пришло, и признание важности некоторых из них придет позже.

Прежде всего здесь еще раз надо упомянуть теорию изостазии К.Э. Деттона. Этот автор считал гипотезу контракции "количественно недостаточной, а качественно неприложимой", поскольку тангенциальные движения, вызванные оседанием земной коры к сжимающемуся ядру, должны были бы одинаково действовать во всех направлениях, а не в одном, как это часто наблюдается. Объясняя образование горных цепей движениями вверх—вниз, стремящимися придать Земле фигуру ее равновесия, он в то же время пришел к интересному выводу о притоке вещества из областей, загруженных осадками, к областям, облегченным эрозией. Обусловленный этим притоком тангенциальный напор, направленный от морских окраин к берегу, должен, по его мнению, вызывать в прибрежной области формирование параллельных, опрокинутых в одну сторону складок.

Немецкий геолог Э. Рейер в 1888 г. в книге "Теоретическая геология" выдвинул гипотезу скольжения, согласно которой складчатость образуется при соскальзывании осадочных толщ по плоскостям с неравномерно приподнятых и наклоненных под разными углами глыб в процессе их дробления. Эти впервые высказанные и достаточно обоснованные представления о значении силы тяжести в проявлениях горизонтальных перемещений и образовании складок Э. Зюсс счел довольно существенными. В России гипотеза Э. Рейера была использована в 90-е годы К.И. Богдановичем (хотя он и придерживался в 1887 г. гипотезы контракции) для объяснения образования складок в средней части Сибири (Иркутский амфитеатр) в толщах красноцветных и подстилающих отложений, которые и послужили наклонной плоскостью для скольжения окраинных высот Прибайкалья и Саян к центральной части [Обручев, 1937]. К.И. Богданович в 1895 г. эту же гипотезу применил для объяснения дислокаций Закаспия. По его трактовке, складкообразование начи-

нается у материкового берега, направляясь в сторону моря, и приводит к тому, что на месте понижения возникают складчатые поднятия, а на месте материковой зоны — впадина.

Другие авторы причину образования гор и складчатых структур видели в подкоровых конвективных течениях. С этих позиций выступал, например, О. Фишер (1881 г.), а еще раньше, в 1839 г. — В. Гопкинс [Ботт, 1974]. О. Фишер говорил не только о подкоровых пластических потоках, но и о смещении материков по пластичному глубинному слою в западном направлении; оно было необходимо для заполнения дефекта коры на месте Тихого океана, образованного отрывом массы Луны от Земли. Однако это не нашло какого-либо признания и не имело влияния на развитие геологической мысли. Более того, по замечанию Д.И. Мушкетова [1926], этим Фишер губил свою репутацию, что произошло полувеком раньше с Шимпером по другому, но также "несвоевременному" поводу (несогласие с гипотезой поднятия).

Наравне с этим в разных странах выдвигаются все новые мысли о дрейфе континентов и о его движущих силах. В 1856 г. Ш. Шредер высказал мысль, что физические различия между земной корой и жидким магматическим поясом должны обусловить их разные угловые скорости при вращении Земли и, соответственно, вызвать самостоятельные движения коры относительно внутренних частей, а затем и разрывы материков. В 1857 г. В. Грин (Шотландия) упоминал о "сегментах земной коры, плавающих на жидком ядре" [Вегенер, 1984]. В 1858 г. Антонио Снидер (Париж) в своей книге "Мироздание и его разоблаченные тайны" опубликовал две карты, иллюстрирующие концепцию континентального дрейфа — от совмещенного положения континентов Африки и Америки в позднем карбоне до их разобщенного положения в настоящее время. Реконструкцией географии этой части Земли в каменноугольное время А. Снидер собирался объяснить идентичность каменноугольной флоры Европы и Северной Америки. В противовес этому физик Кельвин (В. Томсон) в 1862 г. выступил с идеей, согласно которой не материки перемещались по отношению к полюсам оси вращения планеты, а полюса изменяли свое положение в связи с перемещениями центра тяжести Земли при ее движении. Несколько десятилетий спустя Л. Кольберг (Германия) для обоснования миграции полюсов использовал известные в то время палеоклиматические и биогеографические аномалии [Хэллем, 1985].

В русской научной мысли идея о движении материков родилась в 70-х годах и принадлежала автору, долгое время остававшемуся неизвестным. В 1877 г. в г. Ливны была опубликована книга "Астрономические предрассудки и материалы для составления новой теории образования планетной системы", автор которой, по-видимому из скромности, не назвал себя. Первыми извлекли из неизвестности эту книгу Г.Г. Леммлейн и Б.Л. Личков [1946], а Н.И. Леонов [1952] установил, что имя этого автора — Евграф Васильевич Быханов (1838—1915 гг.). Ниже приводится основное содержание представлений Е.В. Быханова по публикациям названных авторов.

Е.В. Быханов не соглашается с заключением Лапласа о постоянстве Солнечной системы в связи с открытием факта замедления вращательного движения Земли и других "неправильностей" в распределении планет

по плотности, по скорости вращения и т.д. Ссылаясь на заметку в журнале "Кругозор", он отмечает, что, как установил Ньюкомб, Земля между 1850 и 1862 гг. запоздала в своем вращении на 7 с, а за 1862—1864 гг. ушла вперед на 8 с, тогда как Лаплас неверно утверждал о полной "неизменности звездных суток со времен Гиппарха". Он считает, что если изменялось осевое вращение Земли, то могло измениться и ее движение по орбите, а также положение земных полюсов, да и земная орбита могла расширяться. Горообразование им рассматривается как результат замедления во вращении Земли — при замедлении вращения центробежная сила должна была уменьшаться, а центростремительная возрастать, отчего во всех частях планеты (кроме околополярных стран) должно было происходить уплотнение вещества.

По мнению Е.В. Быханова, "земной шар на поверхности состоял почти из одной сплошной массы суши". В процессе вращения и увеличения размеров Земли ее твердая поверхность разъединилась. "Нижние твердые вещества образовали собою морское дно, а верхние, легкие — нынешние материки". В очертании материков земного шара замечается следующее: западные берега Европы и Африки почти параллельны берегам Америки "... и в других отношениях эти берега Старого и Нового Света имеют между собой сходство...". "Может быть, древний материк (Атлантида) вовсе не опускался вниз, как думают, и не покрывался водою, а только отодвинулся далее на запад и в настоящее время существует под именем Америки". Сдвинувшие его силы Е.В. Быханов видит в увеличении скорости вращения Земли. Он отвергает гипотезы о существовании "центрального огня" в глубинах планеты и повторяет слова К. Фогта: "Поместим смело источники теплоты глубочайших пластов коры в эти самые пласты, вместо того, чтобы выводить их... из центра Земли, образование которого нам вовсе неизвестно, и если возвышение теплоты значительнее в поверхностных слоях, то признаемся также, что здесь происходят более энергичные химические процессы" (Природа, 1875, № 1. С. 113—158). На это же в 1868 г. обращал внимание и Н.А. Головкинский.

Важное значение придавалось также приливам и отливам в земной коре, которые, по Е.В. Быханову, оказывали влияние на вращение Земли вокруг своей оси. В другой своей работе 90-х годов — "Нечто из небесной механики" — Е.В. Быханов говорит об увеличении массы Земли в результате падения на нее матеоритов и о том, что, "вероятно, постепенное падение на Землю таких веществ многократно нарушало центр тяжести земного шара и его осевое вращение".

Космические факторы для объяснения структуры Земли привлекались и другими европейскими естествоиспытателями. А. Блитт, например, из этих факторов в 1869 г. выводил напряжения сжатия Земли. Он полагал, что уменьшение скорости вращения Земли, вызываемое солнечными приливами, ведет к уменьшению сплющенности земного эллипсоида и к превращению его формы в более шарообразную. При этом в коре возникают напряжения, она дробится на глыбы, и последние смещаются соответственно изменившимся условиям распределения силы тяжести. Близкие взгляды высказывал также английский геофизик Дж. Дарвин (1879 г.).

Цюрихский естествоиспытатель Г. Веттштейн (1880 г.) придавал большое значение центробежной силе, которая возрастает от полюсов к экватору и должна вызывать скольжение верхних частей земной коры в этом же направлении, что и способствует образованию в области экватора наиболее высоких горных кряжей. Главную роль в этом процессе Г. Веттштейн приписывал притяжению Солнца, под действием которого в вязкожидком земном шаре возникали волны. Он же высказал предположение о больших горизонтальных относительных перемещениях материков, которые мигрируют на запад, влекомые приливными силами Солнца в вязкой массе ядра. В своей работе на эту тему ("Потоки твердых жидких и газообразных веществ и их значение для геологии, астрономии, климатологии и метеорологии") Г. Веттштейн научно обосновал положение о дрейфе материков и раскрытии Атлантического океана.

Близких взглядов придерживались Петрино (1859 г.), Пиляр (1871 г.), Коксвуорси (1890 г.), но высказывались и альтернативные точки зрения. Л. фон Кольберг, например, в 1886 г. высказал идею о перемещении континентальной земной коры при сохранении взаимного расположения ее отдельных частей и расстояний между ними. Эта идея нашла одобрение в работе М. Неймайра "История Земли", 1887 г. и в 1888 г. была поддержана Натгорстом [Вегенер, 1984].

Несмотря на все эти новые мобилистские высказывания, гипотеза контракции (стресс-мобилизма) продолжала все еще господствовать в умах многих видных геологов за рубежом и особенно у нас, в России, вплоть до конца XIX в. Земля все еще рассматривалась "как тело, отчасти остывшее, а потому до некоторой степени сжавшееся", предполагалось, что "внутри Земли находится постоянный и обильный источник теплоты, который представляет остаток от бывшего расплавленного состояния Земли" [Мушкетов, 1899. С. 116], что "материки и океаны абсолютно не перемещались", а "тектонические процессы видоизменяли, видоизменяют и будут видоизменять поверхность земного шара до тех пор, пока они не прекратятся с полным охлаждением Земли" [Там же. С. 91].

ПЕРВАЯ ПОЛОВИНА XX в. (ОТ Е.В. БЫХАНОВА ДО А. ВЕГЕНЕРА И А. ДЮ ТОЙТА)

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

На этом подэтапе морфогенетического этапа собственно мобилистские (латерально-кинематические) представления вспыхнули с новой силой и получили более широкое распространение, чем это было во второй половине XIX в. Они по-прежнему опираются на структурные исследования, выявившие в разных странах большое разнообразие структурных форм сжатия и растяжения в связи с крупномасштабными горизонтальными перемещениями масс.

Как уже отмечалось, на рубеже XIX и XX вв. официально было признано учение о шарьяжах с амплитудами горизонтальных перемещений на многие десятки и сотни километров. Наиболее полно его сформулировал Морис Люжон (1902 г.), выполнивший синтез покровного строения Альп. Затем оно дополнялось данными по Восточным Альпам (П. Термье,

1903 г.); по Западным Альпам (Э. Ог), открытием шарьяжей в Пиринеях (Л. Бертран и Л. Менгод, 1912 г.), новыми материалами по каледонидам Скандинавии (А. Торнебом, 1903 г.) и Шотландии (Б. Пич, Дж. Хорн, 1907 г.). Ряд надвигов в Европе отметил в 1935 г. С. Бубнов, в том числе крупный Моинский в каледонидах Шотландии, а О. Хольтедаль (1938 г.) обрисовал покровную структуру восточной зоны каледонид Швеции. Отдельные шарьяжи были разбурены в Бельгии (П. Фурмарье, 1933 г.).

П. Термье выделил два типа шарьяжей. Одни из них формировались при растягивании подвернутых крыльев лежачих складок, тогда как другие являлись тектоническими пластинами, надвинутыми на коренные породы или на нижележащий покров. Э. Ог совместо с М. Люжоном на примерах Швейцарских Альп и массива Сюлаис в Савойе выявили лежащие один на другом покровы наволоков (Nappe of charriage superposes), считая, что все они образовались из наложенных друг на друга лежачих складок, обращенные крылья которых были разрушены.

Л. Кобер проанализировал альпийскую систему Средиземноморья и среди покровов выделил поверхностные и глубинные. Он различал также их отдельные части — корни, тело, фронтальную часть. Образование покровов он связывал с контракционным давлением, под влиянием которого одни зоны опускались глубже, другие менее глубоко, возникали геосинклинали и геоантиклинали. Покровы зарождались на геоантиклиналях — сначала коренные, потом ответвленные, и процесс повторялся.

В общем виде проблема расслоенных покровов была рассмотрена Р. Хелблингом (1938 г.), который установил, что гетерогенные в вертикальном направлении осадочные серии в процессе деформации распадаются на независимые структурные элементы. Он же отметил значение пластичных горизонтов при шарьировании и разработал механизм образования покровов чехла.

Э. Ог альпийскую складчатость связал с горизонтальными сдвигами (blatt) Э. Зюсса, считая, что таких нарушений много в Армориканском массиве. Он указал и на возможность их разного генезиса — "причиной тангенциальных движений, результаты которых можно наблюдать в поверхностных слоях литосферы, может быть или сжатие, или одностороннее давление, или расширение минеральной массы", — писал он [Ог, 1938. С. 447].

Системы диагональных сдвигов были выявлены в горах Юры. Буксторф (1907 г.) полагал, что сдвиги не распространяются на глубину и связаны со скольжением слоистого комплекса мезозойских пород с соленосными отложениями триаса в основании по другому комплексу. А Гейм (1919—1921 гг.) указал на значительные размеры этих сдвигов с максимальной длиной смещения до 40—50 км. А еще позже, в 1946 г., У. Кеннеди дал описание сдвига Грейт-Глен в Шотландии, амплитуда горизонтальных смещений пород вдоль него была определена в 107 км.

В некоторых местах была произведена переоценка и сбросовых нарушений. В 1914 г. И. Вальтер вообще настаивал на ошибочности мнений о расколах как о "радиальных дислокациях", основанных лишь на неверном изображении всех сбросов, продолжающихся как бы до центра Земли, а на самом деле ограниченных снизу пологими волнистыми поверхностями и генетически связанных со складчатостью контракционным происхожде-

нием. Подобные любые "радиальные" дислокации экспериментально были получены Т. Чемберленом и Д. Квирке посредством чисто горизонтального давления [Д. И. Мушкетов, 1926].

Теория шарьяжей была распространена и на Карпаты. Первые работы в этом направлении принадлежат М. Лимановскому (1906 г.), В. Улигу (1907 г.), Р. Зуберу (1905 г.) и В. Фридбергу (1906 г.). В Улиг наметил в Восточных Карпатах наличие двух крупных шарьяжей — суббескидского и бескидского, а Р. Зубер увидел здесь ряд надвигов чешуйчатого типа. Несколько позже Б. Кропачек (1919 г.) выявил большую лежачую антиклиналь с мел-палеогеновым ядром, на которую надвинута окраина флишевых Карпат. К. Толвинский (1925 г.) подтвердил чешуйчатое строение Карпат, но одновременно выявил и "Магуро-Черногорскую плащевину" (покров). Чешские геологи З. Свидзинский и Д. Андрусов в 1936 г. подтвердили предположения В. Улига и М. Лимановского о покровном строении Закарпатья. На позициях шарьяжистов стояли также венгерские геологи Т. Салаи и Ф. Сентеш.

Некоторые российские исследователи в отношении тектоники Карпат высказывали иные точки зрения. В частности, Ю.М. Пущаровский [1951], проводивший в конце 40-х годов детальные исследования во внешней антиклинальной зоне Восточных Карпат, подошел к ее расшифровке более дифференцированно, выделив здесь разные по своему строению "поперечные" районы — юго-восточных чешуй, Самборского сужения и западных складок. Но он также подтвердил, что Внешняя зона надвинута на зону прогиба по системе надвигов длиной 250 км и что в районе Манявы "имеется тектоническое окно, в котором соленосная толща нижнего миоцена выступает на поверхность на 10 км вглубь от надвига Карпат" [Там же. С. 27]; чешуйчатые надвиги Ю.М. Пущаровский выводил из складчатых структур.

Из всего сказанного по Альпийско-Карпатскому региону можно сделать только один вывод — складчатость, чешуи и покровные пластины отражают один и тот же процесс горизонтального сжатия, их не следует противопоставлять друг другу и, тем более, одним из этих элементов отрицать другие.

В результате исследования покровных структур Европы появились новые термины "тектоническое окно" (Э. Зюсс, 1901 г.), "аллохтон" (О. Вилкенс, 1912 г.), "меланж", т.е. тектоническая смесь пород разного происхождения (Е. Гринли, 1919 г.), "скиба" (К. Толвинский, 1925 г.).

Следует заметить, что взгляды геологов на природу и парагенез покровных и складчатых структур оказались довольно разнообразными. Так, О. Ампферер, являясь сторонником гипотезы конвекционного перемещения подкорового вещества, в 20-х годах пришел к выводу, что большие перемещения в Альпах вызваны не движениями огромных опрокидывающихся складок, а являются пакетами сорванных пластин, которые при движении сминают в складки промежуточные между пластинами и основанием слоев участки с неограниченными пределами их деформированности (механизм "прокатывания"). При этом некоторые перекрытия развиваются непосредственно на дневной поверхности. Он в 1915 г. отстаивал представление о пассивности верхней оболочки коры, покоящейся на пластичной активной подстилке, течение масс в которой первую и дефор-

мирует. М.С. Смолуховский еще раньше, в 1909 г., предположил, что движение тектонических пластин происходит по пластичным эвапоритам. М.П. Рудский (1911 г.) связал происхождение шарьяжей и их перемещение с пластичным состоянием масс пород, обусловленным высокими температурами. Р.Д. Олдхем (1921 г.) высказал мысль о сегментарном перемещении тектонических пластин по частям, как это делает гусеница. Наконец, Ж. Мерла в 1951 г. при объяснении механизма шарьяжей воспользовался принципом серфинга — движением доски на гребне волны, — полагая, что доска — это аллохтонная пластина, а волна — тектоническое поднятие. Некоторые же авторы (В. Хобс, 1921 г.; Л. Кобер, 1921 г., и др.) большое значение придавали явлениям поддвигания одних пород под другие при образовании шарьяжей и крупных надвигов.

Одновременно развивались взгляды о преобладающей роли в формировании тектонических структур складкообразовательных движений. Согласно Г. Штилле (1913 г.), например, складчатость — это смятие горных пород под действием двухстороннего сжатия, "как бы между тисками", в более узкую зону. Согласно подсчетам в Гларнских Альпах, он допускал сокращение земной поверхности в таких зонах до 1/6 первоначальной их ширины. В 1924 г. он выдели четыре категории возникающих при этом гор — покровные, складчатые, сбросо-складчатые и глыбовые, существенно видоизменив представления Б. Котта 1852 г. Он же употреблял термины "вергентность" — направление одностороннего наклона складчатости, которая проявляется в опрокидывании складок по направлению надвигов и покровных смещений, и "мобильные пространства" — пространства, способные к складчатости [Штилле, 1964].

Продолжалось и моделирование покровно-складчатых структур. В 1926—1927 гг. С. Токуда и в 1928 г. Ли Сы-гуан воспроизвели дугообразные структуры на листе влажной кальки, положенной на стол, сдавливая ее в касательном к столу направлении. При этом в связи с образованием структурных дуг были выявлены и некоторые закономерности смещений по горизонтальным сдвигам. В 1947 г. У. Бухер подтвердил полевыми исследованиями проявление сдвигов участков коры в сторону выпуклости дуги. Например, перемещения в юго-западном крыле Вест-Индийской дуги направлены к востоку по системе правых сдвигов (Венесуэла), а эшелонированное расположение складок на островах Гаити и Пуэрто-Рико, на противоположном крыле, указывает на такое же перемещение ядра дуги, но по левым сдвигам [Ажгирей, 1966].

Другую направленность имели опыты Д. Григгса (1939 г.) в США. В емкости с двухслойной массой (верхней пластичной и нижней жидкой) вращением барабанов, расположенных в жидком субстрате, он получил в верхних частях модели надвиги. Моделирование производилось с соблюдением принципа подобия и доказало возможность еще одного механизма возникновения шарьяжей, о котором ранее говорил О. Ампферер.

В России, на территории бывшего СССР, структурные признаки горизонтальных перемещений устанавливались в разных районах с разной степенью достоверности и не всегда принимались как должное.

В Средней Азии Д.И. Мушкетов, стоявший на позициях гипотезы контракции, в 1912 г. выделил *S*-образные в плане структуры, которые он назвал сигмоидами. В качестве примера была указана Ферганская сигмо-

ида, примыкающая (как будет установлено позже) к крупному Таласо-Ферганскому сдвигу. Здесь же он в 1928 г. выявил многочисленные чешуйчатые надвиги палеозоя на мезозой, а в Заалайском хребте и на Памире, как он выразился, "настоящие шарьяжи". В 1915 г. Д.В. Наливкин обнаружил структурные дуги на Памире, связав их форму с движением масс к северу. Этот вывод подтвердил и Д.И. Мушкетов [1926. С. 25], по мнению которого "установление великого Памирского смятия, выпуклой к северу дугообразности его хребтов и отголосков его севернее хорошо подтверждают гипотезы о натиске Индии на Ангарский материк". Он говорил также о крупных надвигах по южному краю Тянь-Шаня вдоль Кашгарской котловины и о том, что "роль радиальных движений в этом регионе сильно переоценена".

В 1933 г. В.А. Николаев по сближенному расположению северо- и южнотяньшаньских фаций среднего палеозоя выявил надвиговые смещения с амплитудой в несколько десятков километров. По работам 1933 и 1935 гг. И.Е. Губин закартировал ряд пологих надвигов, по характеру приближающихся к шарьяжам на границе Памира и Алая (например, Вахшский амплитудой 8—12 км). В 1949 г. он наметил покровное строение северного склона хребта Петра Первого в Гармском районе с амплитудой перекрытия 12—15 км. В.В. Галицкий в 1936 и 1940 гг. привел доказательства существования в хребте Каратау в отложениях фамена "ныряющего" покрова амплитудой до 9 км, общая же амплитуда "покрова сдирания" в этих местах оценивалась им в 40 км. В Кураминском хребте Б.Н. Наследовым (1935 г.) и Ф.И. Вольфсоном (1947 г.) выявлен пояс параллельных сдвигов северо-восточного простирания длиной 100—200 км и с горизонтальной амплитудой до 10 км. В 30-х годах работами В.А. Николаева, В.Н. Огнева, А.В. Пейве и В.М. Синицына был установлен наиболее крупный Таласо-Ферганский разлом, который в 1939 г. В.Н. Огнев определил как правый сдвиг с амплитудой смещения фациальных зон среднего палеозоя в 130—150 км. Наконец, в Центральном Казахстане в 30-х годах были выявлены так называемые зоны смятия (Спасская, Успенская), истолкованные М.П. Русаковым и И.С. Яговкиным как наклоненные к югу надвиговые пояса [Суворов, 1968].

На Кавказе покровные структуры намечались в разных местах. На юго-восточной оконечности Главного Кавказского хребта К.И. Богданович в 1906 г. обнаружил экзотические глыбы и утесы (известные теперь под именем "дибрарских утесов"), которые посчитал аналогами Карпатских клиппенов. Он связал их происхождение с образованием обломочных мантий вокруг скалистых островов, но вместе с тем привел и ряд доказательств, подтверждающих наличие здесь остатков размытого тектонического покрова. Все движения внутри геосинклинальной зоны он объяснил сближением расположенных к северу и югу от Кавказа прочных массивов, подобных челюстям тисков. В 1911 г. А.Н. Рябинин предположил развитие шарьяжей в Кахетинском хребте.

Н.С. Шатский [1925] высказался о широком распространении надвигов, местами переходящих в покровы, в третичных толщах Черных Гор на Северном Кавказе, которые, с его точки зрения, "происходили не в результате складчатости, а в результате скалывания третичных пород по

пологим плоскостям" (с. 323). Большой интерес представляют выделенные им надвиговые брекчии, лежащие "вполне согласно с напластованием выше- и нижележащих пород" (с. 330). Видимые перемещения составляют 3,5—4 км, но перемещение всего третичного массива "должно измеряться многими километрами" (с. 337). В работе Н.С. Шатского сделана попытка определить возраст надвигания в толщах Черных Гор и связать его с дислокациями Передовых хребтов Северо-Восточного Кавказа. Высказано предположение о тесной парагенетической связи этих двух горных областей, "созданных одним и тем же движением с севера, со стороны Русской платформы" (с. 342).

В другой работе [Шатский, 1927] дано описание малоизвестных дислокационных форм и структур, возникающих при горизонтальных перемещениях, — пластовых сдвигов (согласных и несогласных), межпластовых взбросов и надвигов. По мнению Шатского, все эти формы являются гомологами "свдинутых покровов", к которым он относил структуры Апшеронского полуострова и Кабристана, а тектонотипом считал горы Юра.

Н.Б. Вассоевич и В.Е. Хаин [1940] произвели описание Баскальского покрова в Лагичских горах, где комплекс флишевых осадков верхнего мела, смятый в относительно спокойные складки, на расстоянии до 40 км тектонически перекрывает палеогеновые отложения Исмаилинской подзоны.

На Урале надвиги впервые были выявлены в 1923 г. А.Н. Заварицким. В 1926 г. Е.А. Кузнецов и Е.Е. Захаров доказали существование системы надвигов против Уфимского плато, а Е.А. Кузнецов наметил крупный северо-западный сдвиг с амплитудой горизонтального смещения 75 км. Вопрос о возможности существования покровных структур на Урале выдвинул в 1928 г. Г. Фредерикс. На западном склоне Уральского хребта он предположил грандиозные шарьяжи, перекрывшие с востока на запад пермские отложения. Спустя четыре года его поддержал А.А. Блохин (1932 г.), обосновавший покровные структуры в восточной части Южного Урала. Здесь, по его мнению, правильные складки отсутствуют, но характерно чешуйчатое строение с однообразным наклоном пластов в восточных румбах.

А.Д. Архангельский [1932] на основании геологической карты Урала, составленной в масштабе 1:1 000 000 в 1931 г., решительно встал на точку зрения покровного строения хребта. По его мнению, "весьма крупный надвиг или, точнее, целая серия надвинутых покровов имеется, по-видимому, на границе Северного и Среднего Урала". Совершенно несомненно, что по левым притокам Вишеры "докембрийские кристаллические сланцы образуют надвинутый с востока покров... приблизительно в 50 км" (с. 108). Покровные надвиги вообще играют доминирующую роль в тектонике всего Урала, обусловливая его выдержанную зональность. Они возникли в "древнекиммерийскую фазу складчатости... в достаточно уже жесткой и неспособной к настоящим пликативным дислокациям среде" (с. 111), являясь покровами скалывания.

В 1933 г. крупный надвиг установлен был Е.А. Кузнецовым на Среднем Урале, по границе между зеленокаменными породами и свитой метаморфических сланцев. Здесь, по его представлениям, зеленокаменная полоса сокращена по ширине в 20—30 раз, что свидетельствует "о боль-

ших размерах надвигового передвижения и о сильнейшем смятии всего зеленокаменного комплекса в целом" [Кузнецов, 1937. С. 640].

Надвигание дислокаций Уральского хребта на среднюю часть Европейской России еще раньше упомянутых работ было отмечено в 1919 г. А.П. Карпинским [1947], связавшим образование глубокой геосинклинали вдоль европейского склона Урала на границе девонского и каменноугольного периодов с действием "тангенциального орогенического движения".

В восточных районах территории бывшего СССР крупные покровные структуры намечал М.М. Тетяев. В 1916 г. перекрытие юрских отложений кристаллическими сланцами в ряде мест он объяснил шарьяжами, развившимися из огромной лежачей *S*-образной складки, которая была распространена на Южное Забайкалье и на Восточный Саян. Корни этой складки М.М. Тетяев искал в более южных областях, предполагая тангенциальное давление с юга или юго-запада. Чешуйчатое строение он обнаружил и севернее, вплоть до устья р. Голоустной, по берегу озера Байкал, на который также распространил шарьяж. Однако эти построения позже подтверждены не были.

Предположения о горизонтальных перемещениях в Алтае-Саянской области отчетливо просматриваются в работах А.П. Карпинского. Касаясь тектонических структур алтаид, он очень образно заметил, что они "от толчка в юго-западном направлении со стороны Иртыша или Тарбагатая образовали сперва выпуклые в этом направлении дуги исполинских горных волн. Затем, удлиняясь и расходясь на свободных пространствах, они снова теснились друг на друга, когда пространства эти сокращались. При встрече с препятствиями горные волны, смотря по условиям, то миновали их, то, изгибаясь, обходили их." [Карпинский, 1947. С. 178].

Общую же оценку состояния проблемы сделал В.А. Обручев [1926]. Он писал так: "Теория шарьяжей на первый взгляд казалась чудовищной, и многие геологи долго не признавали ее; медленно, под давлением неоспоримых фактов, она завоевала себе место в науке"; "покровы шарьяжей, распространяющиеся на сотни километров — все это свидетельствует о такой подвижности крупных участков земной коры, о которой раньше не решались думать" (с. 137). По его мнению, радиальные и тангенциальные дислокации являются результатом тангенциального напряжения, и среди них он различал два типа — поясовые крупноскладчатые горы, превращающиеся местами в крупные шарьяжи (геосинклинальный или альпийский тип) и глыбовые складки, существенно выражающиеся в виде горстов, грабенов и глыбовых надвигов, в сочетании с мелкоскладчатыми покровными горами и их мелкими шарьяжами (континентальный или азиатский тип).

Кроме покровных, надвиговых и сдвиговых структур в отдельных районах на востоке России были установлены структуры горизонтального растяжения. В частности, Маршалов в 1922 г. заметил, что в протерозойских толщах Кузнецкого Алатау многие трещины, вмещающие последевонские диабазы, разверзались без заметных смещений пород, под действием растягивающих усилий. В районе "развито такое значительное количество даек, что они занимают от 10 до 15%, а в местах их сгущения до 60% всей площади..., растяжение земной коры в данном месте соста-

вило несколько километров. Примечательно, что это значительное растяжение не вызвало существенных опусканий" [Ажгирей, 1966. С. 177].

В.А. Обручев в 1927 г. и позже характеризовал впадину оз. Байкал, а также соседние депрессии — Тункинскую, Баргузинскую и другие как крупные грабены или рифты, возникшие вследствие разрыва и растяжения земной коры на неотектоническом этапе. Аналогичный механизм А.Д. Архангельский [1947] допускал в отношении восточно-африканских расколов и прилежащих структур современного Индийского океана.

В Индии и смежных районах Высокогорной Азии структурные исследования носили более региональный характер, но многие из них также развивали мобилизм. На примере Гималаев индийский геолог Фермор проверил "правило Лека" (1903 г.) о зависимости угла поверхности надвига от угла складчатой системы; он оказался равным 14° для Гималайской дуги. Другой индийский геолог — Миддельмис — в 1919 г. показал след надвиговой поверхности между свитами мерри и сиваликской в окрестностях Котли и по составленным разрезам определил угол падения этой поверхности от 12 до 15°. В Центральных Гималаях еще в 1907 г. Лоци уверенно наметил огромные опрокинутые складки — надвиги, позднее подтвержденные Дж. Оденом (1935 г.), а затем А. Геймом и А. Гансером; они были определены как часть "метаморфической и плутонической зоны" орогенического пояса [Бухер, 1957]. Дж. Фромаже (1934 г.) указал на мощные надвиги и шарьяжи, направленные в сторону Индосинийского массива в Индокитае, а Г. де Терра (1936 г.) в гигантской, выпуклой к югу дуге Гималаев увидел отчетливые признаки движения масс с севера на юг, в сторону Индостанского массива.

В 1932—1938 гг. Д. Вадия в районе Кашмира выделил: 1) край гондванского форланда (платформа Индостана); 2) автохтонную зону пород карбона — эоцена, с весьма сложными перевернутыми складками, надвинутыми на форланд (Муррийский надвиг); 3) зону покровов, надвинутую на две предыдущие и состоящую из двух последовательных шарьяжей; 4) зону Центральных Гималаев, где находятся "корни" шарьяжей, интрудированные гранитами.

Следуя идеям Э. Зюсса, исследователи принимали, что масса Индостанского полуострова оставалась пассивной, тогда как на ее края с севера были надвинуты более молодые породы. Отколотые по краям щита обломки также были вовлечены в движение по надвигам, а перед их фронтом образовался "передовой прогиб", вызванный тем же давлением на полуостровную массу. П. Лэйк (1931 г.) усомнился в возможности одновременного движения единой массы Центральной Азии в различных направлениях (на юг и на восток) и предположил, что области океана в Индии были поддвинуты под Азию, что тоже оставалось непонятным. М.С. Кришнан в 1949 г. изложил еще одну, наиболее вероятную точку зрения по этому вопросу. Он писал: «...представляется, что Индийский щит имел относительное движение к северу с образованием поддвига, что позволило сравнительно более рыхлым осадкам, лежащим во впадинах, окаймляющих северный край щита, сместиться на этот край, подчиняясь при этом очертаниям древней массы... Индостанский полуостров должен был продвинуться на север (или северо-восток) на значительное расстояние... Края сравнительно жесткой массы Индостанского полуострова, по-

видимому, испытывали одновременно опускание или коробление с образованием "передовой впадины", окаймляющей горные дуги» [Кришнан, 1954. С. 55].

В Китае структурные исследования проводились исходя из признания в качестве главной формы движений горизонтального вращения структур. В 1928 г. Д.С. Ли высказал идею о вращательных сдвигах, подкрепив ее некоторыми примерами по Восточной Азии. Идея была подхвачена Ли Сы-гуаном и развита в ряде статей 30-х годов, обобщенных в труде 1939 г. "Геология Китая". В результате своих исследований Ли Сы-гуан [1958] назвал сдвиги вихревыми (поворотными) структурными элементами и выделил среди них три типа, обозначив их буквами греческого алфавита: 1) "Кси" — группа параллельных складок, расположенных под углом 45° к обусловившему их сдвигу и сопровождающихся нередко поперечными сбросами; 2) "Эта" — группа изогнутых складок в виде концентрической системы вокруг более жесткого ядра, возникающих в результате скручивающего горизонтального движения; сдвиговая складчатость этого типа проявляется в поверхностных слоях и затухает на глубине; 3) "Эпсилон" — наиболее распространенная группа складок в форме "лука и стрелы"; система состоит из фронтальной дуги и тыловой относительно ненарушенной площади, в середине которой возвышаются прямолинейные складки, направленные к вершине фронтальной дуги, но не достигающие ее. Перечисленные системы наблюдались в поле и были воспроизведены экспериментально. С более древними структурами они соотносятся в виде "захвата", "пересечения", "включения" и "наложения". Первопричину образования подобных структур Ли Сы-гуан видел не в грандиозном стяжении земной коры, а во вращении материальных масс в связи с общим вращением Земли. По его мнению, "такого рода горизонтальные движения не вызывают перемещения материков на значительные расстояния. Они также не исключают возможность (вторичных. — *А.С.*) вертикальных движений большого масштаба" [Ли Сы-гуан, 1958. С. 87].

Следует отметить, что гипотеза вихревых движений до китайских исследователей в 1923—1925 гг. развивалась русским геологом М.А. Боголеповым. Он предполагал, что вихревые движения связаны с активностью магмы — время от времени в ней возникают колоссальные вихри, которые направлены в северном полушарии против часовой стрелки, а в южном — по часовой стрелке. Эти вихри, по его мнению, приводят к перемещению континентов относительно друг друга со скоростью до 1 см/с (или около 1 км/сут).

В 30-х годах К. Леукс отметил мощные надвиги юрских отложений по окраинам Ордоса, направленные на этот древний массив с запада и севера. Хуан Бо-цинь также допускал возможность больших горизонтальных перемещений. В работе 1945 г. он выделил дациншаньский тип структур, возникающих под действием интенсивных сжимающих усилий, когда складки переходят в надвиги и, в исключительных случаях, в шарьяжи. Он же дал интерпретацию дугообразным складчатым структурам, связав их в с развитием надвигов и поддвигов, направленных либо внутрь дуги, либо наружу. Например, образование Ассамского синтаксиса (как и Памиро-Гималайского) было объяснено действием мощного поддвига в направлении от Шилонгского мыса Гондваны под Юньнань-Бир-

манский кристаллический комплекс с развитием в верхних слоях надвигов в сторону Индии. По представлениям Хуан Бо-циня [1952. С. 132], Катазия, располагаясь вдоль края Тихого океана, "подверглась действию движений земной коры, которые шли или со стороны Азии или со стороны океанического дна, а область Юго-Западного Китая "толчками двигалась" к обширной геосинклинали Тетиса".

В Северной Америке (излагается по А. Ирдли [1954]) покровно-надвиговые структуры были известны главным образом в Аппалачах, Скалистых горах и в мезозойских системах вдоль Тихого океана.

В общих чертах пояс складчатых и надвиговых структур центральных и южных Аппалач описан А. Кейсом (1923 г.). Этот пояс состоит из двух главных дугообразных выступов, обращенных выпуклостью в сторону материка, и трех, также дугообразных углублений, выпуклых в сторону океана. По надвигу Ром широкая чешуя была перемещена на 17 км и затем смята в складки. Изучавший этот надвиг К. Хейс выявил в 1902 г. три периода в развитии процесса сжатия. Г.Д. Мизер в 1929 г., а позже Т. Хендрикс установили дугообразную форму Уачиты выпуклостью на север и четыре или пять надвиговых чешуй (кембрий и ордовик), направленных в ту же сторону; в пределах форланда в Арканзасе предполагаются клиппены, и тогда амплитуда может достигать нескольких десятков километров; по П. Кингу же (1950 г.), Уачита вообще надвинута на систему Аппалач (эвгеосинклинальные отложения надвинуты на миогеосинклинальные). Кэй в 1942 г. отметил, что в конце ордовика произошла крупная таконская орогения, и глинистые породы Магогского прогиба были надвинуты на запад, перекрыв Квебекский барьер и восточную часть Шампленского прогиба (Аппалачи Новой Англии). Величина горизонтального перемещения, вероятно, превосходила 65 км. Размеры общего сокращения земной поверхности Аппалач, по А. Кейсу, составили 320 км.

В Скалистых горах Канады и Монтаны выявлен крупный пологий надвиг Льюис длиной около 500 км. Здесь метаморфизированные породы белтского возраста в основном надвинуты на глинистые сланцы и песчаники мезозоя, с большими "окнами". Амплитуда надвига 13—19 км, возраст эоценовый (C. Clapp, 1932 г.). В центральных Скалистых горах К. Лонгвелл в 1928 г. отметил два надвига — палеозойских карбонатных формаций на юрские песчаники с амплитудой 24 км и верхнего мела на более молодые формации с амплитудой 8 км. Здесь же предполагался широкий покров (надвиги Уиллард и Баннок), отделившийся от мезозойской геоантиклинали и надвинутый в восточном направлении более чем на 120 км. Некоторые намечаемые в Скалистых горах надвиговые пояса (на северо-востоке Мексики) имеют длину до 1300 км. Отмечены успешные попытки (W. Pierce, 1941 г.) выявить историю развития складчато-надвиговых перемещений. В Скалистых горах Вайоминга, например, с начала палеоцена это развитие проходило по схеме: отложение—складчатость—размыв; отложение — внедрение силлов—надвиг—сбрососообразование и складчатость—размыв; отложение—надвиг—поднятие и т.д.

Наконец, в некоторых районах США были выявлены и большие сдвиги. Один из них, Сан-Андреас в Калифорнии, с давних пор известный как сейсмогенный разрыв, характеризовался, по данным 40-х годов, ампли-

тудой в десятки и более километров (N. Taliaferro, 1943 г.). Сдвигом с амплитудой 8 км оказался и разлом Гарлок (T. Nolan, 1943 г.). Приводились также примеры структур, возникших в результате горизонтального растяжения земной коры в широких масштабах, — триасовые бассейны Аппалач, область Большого Бассейна штатов Невада и Юта, которые сравнивались с Африканской рифтовой системой и Рейнским грабеном (W. Bucher, 1933 г.).

В связи со структурными исследованиями первой половины XX в. были выявлены некоторые глобальные пространственные закономерности в расположении мобильных тектонических зон. Так, в 1933 г. П. Фурмарье наметил несколько симметричных окружностей на Земле — одну субмеридиональную и две под углами к экватору. По этим его представлениям, Северная Америка является симметричным отражением Азии, и они разделены тихоокеанской плоскостью симметрии. Континентальная часть Австралии соответствует Бразильской платформе. Атлантическая ось симметрии проходит между Европой и Северной Америкой. Также симметрично расположены Русская и Сибирская платформы. Повсеместно деформации в меридиональных плоскостях симметрии были неоднократными и соответствовали процессу скручивания, установленному между северным и южным полушариями.

Другую глобальную закономерность, исходя из физических предпосылок, наметил Р.А. Дэли [Внутреннее..., 1949. С. 37]. "Теперь нам ясно, — писал он, — что смятие и поднятие вдоль осей послекембрийских горных цепей является результатом вынужденного бокового движения сиаля по направлению к соответствующим осям складчатых сооружений и что это движение означает местное утолщение и концентрацию сиаля в орогенических поясах".

Сделанный краткий обзор данных о структурах земной коры различных стран неоспоримо свидетельствует, что уже в первые десятилетия XX в. имелись сведения о широком, глобальном распространении складчато-надвиговых, покровно-надвиговых, сдвиговых и раздвиговых систем и о морфологическом их разнообразии. Были высказаны также различные соображения о механизмах их образования, открывавшие широкие перспективы для дальнейших исследований проблемы.

Казалось бы должен был наступить период расцвета мобилистских представлений и творческого поиска путем дальнейшего их развития. Однако этого, по крайней мере в нашей стране, не произошло. В 40-х и 50-х годах возобладали фиксистские тенденции, многие геологи стали вообще отрицать какие-либо проявления крупных горизонтальных перемещений, а образование рифтогенных прогибов трактовать как результат простого вертикального погружения земной коры за счет уплотнения подкоровых слоев. Гипотеза же континентального дрейфа во многих странах вообще была предана забвению или жестоко критиковалась.

М.В. Муратов, В.И. Славин и А.А. Богданов, посетившие Карпаты, пришли к заключению, что там покровного строения нет. То же самое было высказано В.В. Белоусовым, М.В. Гзовским и А.В. Горячевым в отношении Восточных Альп. Н.С. Шатский в связи с изменениями в возрастной датировке пород в покровных структурах Урала (от среднего и нижнего палеозоя к рифею) в 1945 г. заявил, что установление рифей-

ского комплекса заставляет окончательно отказаться от гипотезы крупных шарьяжных перекрытий на западном склоне Урала. В специальной работе о "теории шарьяжей" Б.П. Высоцкий [1955] констатировал, что "к настоящему времени нам неизвестны в границах СССР районы, которые могли бы быть рассматриваемы как пример покровного строения" (с. 24).

Объективные предпосылки такого крутого поворота в судьбе мобилизма, конечно, были.

Во-первых, не во всех случаях наличие покровных структур (особенно на востоке бывшего СССР и в других регионах) было достаточно аргументированным.

Во-вторых, в связи с открытием радиоактивности горных пород и ее влиянием на тепловой баланс Земли, позиции гипотезы контракции, господствовавшей во второй половине XIX в., были сильно ослаблены; впрочем, эта гипотеза, по-существу, перестала "работать" на мобилизм уже в начале XX в., когда Э. Зюсс ввел понятие об устойчивых (плиты, платформы, протогены) и неустойчивых (орогены, складчатые зоны) участках земной коры для объяснения неравномерности тектонических процессов, что потом получило развитие в работах Л. Кобера, Г. Штилле и других ученых.

В-третьих, появились многочисленные данные о строении стратиграфических разрезов, особенно с усилением буровых работ, литофациальные и мощностные изменения которых по вертикали проще всего было объяснить игрой вертикальных движений; появился даже метод (В.В. Белоусов), с помощью которого устанавливались зависимости между изменениями мощностей и вертикальными колебаниями земной поверхности.

В-четвертых, возникло учение о глубинных разломах (А.В. Пейве), проникающих в мантию и якобы закрепляющих статические (фиксированные) соотношения коры и верхней мантии.

Наконец, в-пятых, была разработана концепция унаследованного развития крупных структурных форм (Н.С. Шатский), согласно которой все их развитие происходит только по вертикали; широкое хождение получило выражение "in situ", означавшее формирование структур "на месте", без каких-либо заметных горизонтальных перемещений.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наряду со структурными данными новые материалы, способствовавшие развитию мобилизма, были получены геофизиками, особенно в области сейсмологии. В 1902 г. Б.Б. Голицын разрешил задачу определения очага землетрясения по данным одной сейсмостанции. Он же первым разработал полную теорию и конструкцию электродинамических сейсмографов, которые затем будут использованы и в других странах.

В 1903—1905 гг. Милном и Бендорфом были сделаны первые определения скорости волн, распространяющихся при землетрясениях в недрах Земли, и установлен порядок их величины, а в 1907 г. Э. Вихерт и Цоприц опубликовали первые приблизительные значения скорости волн в оболочке Земли [Внутренее..., 1949]. Попытку выяснить строение Земли в целом по временам пробега волн от землетрясений осуществил в 1906 г. Р. Олдгем. По его расчетам, земная кора сложена неоднородными поро-

дами, а под корой до глубины приблизительно 3800 км (0,4 земного радиуса) залегает однородный материал; ядро же с радиусом 2600 км характеризуется совершенно отличными свойствами. Исходя из общих соображений, И.Д. Лукашевич в 1908 г. различал два типа земной коры — континентальную мощностью 40—50 км и океаническую мощностью 25 км.

Загребский геофизик А. Мохоровичич, исследуя землетрясения 8 и 10 октября 1909 г. в Кроатии, обнаружил на сейсмограммах станций в нескольких сотнях километров от эпицентра по два вступления волн *P* и *S*, которые постепенно затухали. С большей кажущейся скоростью их опережали волны P_n и S_n. Мохоровичич установил, что первые волны пришли к сейсмической станции из очага землетрясения по верхнему слою со скоростью 5,6 км/с; этот слой был назван континентальной корой. Вторые же, со скоростью 7,8 км/с, были отнесены к головным волнам, и их путь прошел в нижележащей среде, т.е. в мантии. Толщина коры была определена в 54 км, а граница между мантией и корой была названа по имени исследователя поверхностью Мохоровичича.

В 1916 г. была установлена "21° граница раздела" (граница Голицына) на эпицентральном расстоянии около 2000 км; зона же между этой границей и поверхностью Мохоровичича получила название верхней мантии. Наконец, В. Конрад на сейсмограммах землетрясений 28 ноября 1923 г. в Альпах выявил по различным скоростям продольных и поперечных волн в земной коре два слоя, которые в 1926 г. были названы "гранитным" и "базальтовым" (Г. Джеффрис), а граница между ними — "границей Конрада".

И еще одно важное открытие было сделано Б. Гутенбергом в 1926 г. Он выделил в верхней мантии Земли слой, отличающийся пониженной скоростью распространения сейсмических волн, и доказал его связь с астеносферой; этот слой в честь первооткрывателя был назван "слоем Гутенберга". Позже слои с пониженной скоростью сейсмических волн ("волноводы") будут открыты и в земной коре. Как увидим из дальнейшего, это послужит основанием для возникновения ряда мобилистских концепций.

Следует упомянуть еще об открытии Е. Тамса и Ангенхейстера, которые в 1921 г. независимо друг от друга выяснили, что скорость поверхностных волн больше по своему значению вдоль дна океанов, чем по поверхности континентов, и что соответственно сиаль верхней части коры (т.е. "гранитный слой") под океанами отсутствует [Внутреннее..., 1949].

Таким образом, уже в первой четверти XX в. с помощью сейсмологии были установлены разные в разных слоях скорости распространения волн *P* и *S* от землетрясений и на этой основе разработана слоистая модель строения Земли. Границы между этими слоями позже будут трактоваться в ряде случаев как поверхности срыва и скольжения слоев друг по другу в связи с крупными горизонтальными перемещениями масс земной коры.

В СССР работы по изучению строения и мощности земной коры сейсмологическими методами были начаты в 30-х годах. Н.В. Райко в 1932 г. на основании интерпретации волн от землетрясений вычислила глубину залегания поверхности Мохоровичича на Кавказе, а Е.А. Розова

спустя несколько лет — в Средней Азии. В это же время Г.А. Гамбурцев (1903—1955 гг.) разрабатывает новый метод изучения земной коры — глубинное сейсмическое зондирование. Первые опыты по разработке взрывной сейсмологии были проведены в 1934 г. в районах городов Серпухов и Ковров, а в 1948 г. — в Грузии, где и был получен первый в нашей стране годограф глубинных волн. С этого момента и начинаются систематические сейсмические исследования земной коры, давшие обильный материал для составления региональных глубинных профилей. По замечанию Б. Гутенберга [1957. С. 34], "начиная примерно с 1950 г., стало возможным надежное определение пробега волн от искусственных взрывов и определение значений скорости как функции глубины".

Получают развитие и другие направления сейсмических исследований. Так, в 1922 г. С. Накамура одним из первых указал, что в пределах близких землетрясений радиусом в несколько сот километров от очага на территории Японии отчетливо наблюдается распределение фаз сжатия и разрежения в первых вступлениях продольных волн. Спустя некоторое время эти явления установил П. Байерли (1928 г.), а еще позже новый метод исследования землетрясений получил развитие в работах 50-х годов (Дж. Ходжсон, Б. Гутенберг, В. Кейлис-Борок и др.) с целью нахождения направления плоскости разрыва, направления первого движения в очаге и в конечном счете "преобладающего движения вдоль данной зоны разрыва" [Гутенберг, 1963. С. 244]. Заметим, кстати, что многие из подобных разрывов потом окажутся сдвигами.

В 20-е годы Г. Тернером (1922 г.) были обнаружены глубокофокусные землетрясения. Для нахождения эпицентра он проводил дуги с центрами в точках соответствующих станций и с радиусами, равным эпицентральному расстоянию по наблюдаемому интервалу между фазами *P* и *S*. При этом выяснилось, что в некоторых случаях дуги не пересекаются, расходятся на несколько градусов и, таким образом, не указывают местонахождение эпицентра. Чтобы согласовать такие данные надо было предположить, что источник волн находится где-то на большой глубине. Подобного же рода данные, полученные с помощью другой методики, приводились также К. Вадати в 1928 г. [Wadati, 1935].

Проблему использования данных о глубокофокусных землетрясениях в тектонических построениях одним из первых поднял А.Н. Заварицкий [1946. С. 7—9], указавший, что "полоса точек, представляющих очаги глубокофокусных землетрясений, на разрезе... может рассматриваться как изображение некоторой (наклонной — *А.С.*) зоны в теле литосферы, где происходит какое-то движение, может быть сдвиги или течение, сопровождающееся срывами". "Схематически можно говорить, — продолжает он, — или о надвигании материка на океанское дно, или о поддвигании дна океана под материк... скорее, можно принять последнее". И далее, — заключает А.Н. Заварицкий, — "глубокие движения литосферы могут быть причинами (первичными), а складчатость, разрывы и альпийская тектоника в земной коре — следствиями (вторичными)". В то же время он отмечает, что трудно понять появление в зонах глубокофокусных землетрясений плоскостей срывов при пластическом течении вещества, и "еще труднее объяснить особенности этих движений, приводящих к своеобразному проявлению их на земной поверхности... в системе островных дуг".

Большой вклад в решение проблемы внутреннего строения Земли и горизонтальных перемещений внесли гравиметрические исследования. В 1914—1915 гг. Дж. Баррел проанализировал данные Хейфорда о распределении отклонений отвеса и нашел, что они разбросаны вполне закономерно, поскольку на расстояниях в сотни километров выдерживается один и тот же знак отклонения. Соответственно намечаются обширные области, где кора систематически тяжелее или легче среднего значения. По мнению Дж. Баррела, высокие горы приблизительно скомпенсированы, но компенсация эта неполная, так как остается большой груз, который поддерживается за счет прочности той геосферы, которую считали зоной полной податливости. Эту зону он назвал астеносферой, подразумевая, что это не зона отсутствия прочности, а только лишь меньшей прочности по сравнению с прочностью вышележащих пород [Джеффрис, 1960]. В настоящее время считают, что астеносфера — это слой магмы, подстилающий литосферу, способный под действием относительно малых напряжений к вязкому или пластическому течению, создающему условия гидростатического равновесия. Именно с этим свойством астеносферы позже свяжут подвижность литосферных плит (см. ниже).

Результаты гравиметрических исследований использовались немецким геологом Ф. Коссматом, который высказал мнение, что при погружении области предгорной впадины из-под нее происходит отток тяжелых подкоровых масс в окружающие горные сооружения, отчего в первой возникают отрицательные, а во вторых положительные значения аномалий Буге. Примеры подобных явлений указывались для территорий Италии, Северной Африки, Испании, Карпат (Коссмат, Борн и др., 1920-е годы).

Продвигаются вперед магнитные исследования. В начале века П. Дави и Б. Брюнес обнаружили, что северный и южный полюса менялись местами — породы разного возраста из разных стран были намагничены в разных направлениях. В 1925 г. Р. Шевалье на лавах Этны впервые определил положение магнитных полюсов планеты в момент образования данной породы, а П. Меркантон в 1926 г. сделал попытку использовать палеомагнетизм для проверки данных палеоклиматологии, согласно которым в прошлом экватор и полюса Земли располагались не там, где они находятся в настоящее время ([Пухляков, 1970], со ссылкой на А. Кокса и Р. Долла).

После изобретения астатического магнитометра (П. Блэкетт), становятся возможными более точные измерения намагниченности горных пород. В 1950 г. нидерландец Ян Хосперг в дополнение к ранее полученным данным сообщил, что отдельные лавы в Исландии систематически оказываются намагниченными либо нормально либо обратно и что магнитная полярность за последние 60 млн лет менялась по меньшей мере дважды. Это позволило установить в хронологической шкале эпохи нормальной и обратной полярности, а затем и использовать их для обоснования расширения океанического дна (см. ниже).

В 1938 г. С. Кэри [1991] ввел понятие "ороклины" — изгибы орогенических поясов, которые с помощью палеомагнитных данных можно было распрямить и восстановить таким образом их прежнее простирание. Реконструкция ороклинов позволила С. Кэри восстановить первичные очертания Пангеи, а также предположить образование обширных областей

новой океанической коры, например, Белуджистанский ороклин сформировался сопряженно с раскрытием Индийского океана, а Аляскинский — Северного Ледовитого и Атлантического океанов.

В начале XX в. было обращено внимание на факт выделения тепла радиоактивными элементами, содержащимися в горных породах. Одним из первых в 1905 г. это сделал английский геолог и геофизик Дж. Джоли (1857—1933 гг.). По его данным, все породы материков и субстрата радиоактивны, "они содержат весьма незначительные количества таких элементов, которые непрерывно и без всякой внешней причины превращаются в вещества все меньшего и меньшего атомного веса и при этом превращении выделяют теплоту" [Джоли, 1929. С. 55]. Все геологическое время (1200 млн лет) он посчитал "только незначительной частью того периода, который необходим для того, чтобы влияние радиоактивности заметно уменьшилось" (с. 57).

Он отметил также, что "специальные исследования показали, что в 1 г радия... количество непрерывно выделяющейся теплоты равняется $5{,}6 \times 10^{-2}$ калорий в 1 с,... тория и родственных ему элементов равняется $6{,}6 \times 10^{-9}$ кал/с" (с. 59). Отсюда было сделано заключение о "неисчерпаемости источника теплоты".

На выделение теплоты радиоактивными элементами в 1906—1910 гг. указывали также Э. Резерфорд, а затем Стратт. Оценки этого явления позже оказались разными (например, со стороны Г. Джеффриса или А. Холмса). Однако Дж. Джоли [1929] в своей "Истории поверхности Земли" твердо заявил, что "все события этой истории объясняются радиоактивностью горных пород и изостазией", и предложил свой вариант гипотезы мобилизма. Она будет изложена в следующем разделе, посвященном общему обзору гипотез рассматриваемого этапа.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ГИПОТЕЗ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКОГО ЭТАПА

Полученные многочисленные данные о строении Земли, о структурных формах и движениях, о новых явлениях разного рода потребовали новых попыток выяснения механизмов структурных преобразований в земной коре и их причин, привели к созданию самых различных тектонических гипотез.

Господствовавшая перед этим гипотеза контракции, успешно объяснившая процессы складко- и покровообразования, была в это время ослаблена открытием радиоактивных горных пород и положительного влияния радиоактивного распада на тепловой баланс Земли, что исключало медленное охлаждение и контракцию. К тому же на рубеже XIX и XX вв. появились новые космогонические идеи (планетезимальная гипотеза Ф. Мультона и Т. Чемберлана), согласно которым Земля вообще возникла не в горячем, а в холодном состоянии. Это также явилось причиной отказа от гипотезы контракции и стимулом для разработки новых тектонических гипотез. Одни из них оказались мобилистскими, другие — фиксистскими, но примечательно, что первые из них содержали элементы вторых, а вторые — элементы первых, расходясь лишь в масштабах горизонтальных и

вертикальных перемещений масс и в первопричинах тектонического процесса; последние все еще оставались на уровне догадок и предположений. Рассмотрим кратко содержание наиболее популярных гипотез.

Гипотеза контракции. Эта гипотеза довольно подробно была рассмотрена выше, и здесь мы остановимся на вызванных ею в первой половине XX в. дискуссиях и на критике ее действительных и мнимых недостатков. Прежде всего, как отмечает В.В. Белоусов [1939], не подтвердилось заключение Эли де Бомона о том, что расположение горных цепей на поверхности Земли соответствует ребрам пятнадцатигранника, вписанного в земной шар, — полученные фактические данные не вписались в схему. Также нельзя было принять, по В.В. Белоусову, ответ контракционистов (Э. Зюсса, Г. Штилле и др.) на вопрос, почему одни участки земной коры при всеобщем равномерном сжатии не деформируются, а другие нарушены сильно. Они считали, что это происходит потому, что одни участки отличаются жесткостью и не сминаются под действием тангенциального сжатия, другие же пластичны и не могут этими силам противостоять.

Однако, пишет В.В. Белоусов [1939. С. 39], "представление о жесткости и пластичности у нас возникло лишь потому, что в одном случае есть проявление складчатости, а в другом их нет, и никакими иными данными оно не обосновывается. А если это так, то указанная концепция неминуемо влечет нас в логически порочный круг и ничего не объясняет". И далее: "...прогрессивное наращивание жестких глыб (согласно гипотезе — *А.С.*) за счет пластичных зон должно рано или поздно закончиться полной консолидацией всей земной коры, после чего она уже не будет в состоянии реагировать. Таким образом, идея консолидации ведет гипотезу контракции к самоуничтожению". И еще: "Эта гипотеза не может удовлетворительно объяснить явление обратимости колебательных движений земной коры", "не объясняет механизма куполообразной складчатости — она создалась в результате вертикальных поднятий, приуроченных к каждому куполу в отдельности" (с. 40). "При сжатии пластичного участка земной коры между двумя жесткими глыбами смятие слоев, естественно, прежде всего должно возникать по периферии податливой зоны... На самом деле... дислокации слоев прежде всего происходят во внутренних частях пластической зоны и отсюда постепенно распространяются к ее периферии" (с. 41). И наконец, по В.В. Белоусову [1954], размер сжатия земной поверхности, вычисляемой по складчатости, требует огромного уменьшения объема Земли: с уменьшением этой поверхности в 2 раза объем Земли должен был бы уменьшиться в 4 раза. А. Гейм же в Альпах вычислил 8-кратное сжатие. Одновременно В.В. Белоусов заметил, что идея общей направленности развития Земли в сторону охлаждения сохраняет свое значение, поскольку количество радиоактивных элементов со временем должно уменьшаться.

С иных позиций критикует гипотезу контракции английский геолог А. Холмс [1949. С. 464—465]. По его словам, "охлаждение Земли должно было происходить относительно быстро на ранней стадии ее истории; с тех пор скорость его уменьшилась, интервалы между высшей точкой каждого орогенического цикла и началом следующего должны были неуклонно становиться длиннее..., в действительности интервалы време-

ни... свидетельствуют скорее об ускорении, чем о замедлении процессов охлаждения". И далее: "В высшей степени неправдоподобно, чтобы Земля в течение последних 200 млн лет охладилась настолько, чтобы вызвать хотя бы незначительную часть того сжатия, которое могло бы соответствовать сжатию земной коры, происходившему в течение альпийской революции".

Обзор критических замечаний в адрес гипотезы контракции закончим концепцией О.Ю. Шмидта, которая (вслед за Ф. Мультоном и Т. Чемберленом), как считают некоторые тектонисты, окончательно подорвала космогонические основы гипотезы контракции. В 1949 г. были изданы "Четыре лекции о теории происхождения Земли" О.Ю. Шмидта, в которых он изложил свое понимание данной проблемы. По его представлениям, Земля и другие планеты образовались из твердых частиц вращающегося газопылевого облака, окружавшего Солнце с суммарной массой современных планет. Скопления подобных облаков известны в центральной плоскости Галактики, которая пересекается Солнцем через каждые 100 млн лет и некогда была им захвачена. Затем начался длительный процесс концентрации вещества вокруг "зародышей" планет, возникших в облаке. Образовавшаяся Земля была не огненно-жидкой, а относительно холодной и постепенно разогревалась от накопления радиогенного тепла. Поэтому ни о какой контракции говорить не приходится.

Однако гипотеза контракции была отвергнута далеко не всеми и продолжала оставаться как в России, так и за ее пределами. Так, по Д.И. Мушкетову [1926], "все горообразовательные формы, вплоть до трещин растяжения, обязаны своим происхождением одному процессу — боковому давлению в земной коре, действующему... в различных комбинациях условий среды и динамики и поэтому приводящему к внешне столь непохожим между собой результатам..., причины всей тектоники... в контракции" (с. 13). Контракцию вызывают: 1) охлаждение Земли; 2) потеря ядром газов и вулканических продуктов; 3) замедление вращения, приближающее фигуру Земли к шару, обладающему из всех одинаковых объемов наименьшей поверхностью, которая должна, следовательно, морщиниться и садиться; 4) то же замедление, уменьшающее центробежную силу, а, следовательно, повышающее давление и сжатие ядра, становящегося слишком малым для коры. "Этих общих причин достаточно для объяснения тангенциального давления в коре" (с. 19).

В.А. Обручев [1926] со своей стороны отметил, что выделенная Э. Арганом глыбовая складчатость (см. ниже) устраняет "одно из основных возражений против контракционной гипотезы, именно вопрос, почему складчатость проявляется не по всей поверхности Земли в связи с сокращением ядра, а ограничивается известными поясами; проявление сжатия зависит от состава и строения разных ее участков" (с. 138).

В 1928 г. Б. Мейерман разработал метод подсчета величины сжатия Земли по периодам древних и современных затмений Солнца. Выяснилось, что изменение продолжительности суток меньше, чем следовало бы ожидать в результате трения при приливных движениях. Выполнив соответствующие подсчеты, Б. Мейерман установил, что радиус Земли уменьшается примерно на 5 см в столетие. О сокращении земного радиуса высказался также Б. Гутенберг, но он оценил его более скромно, не более

1 мм в столетие в течение последнего геологического периода [Внутреннее..., 1949].

А.П. Павлов в послесловии к "Геологии" Э. Ога [1938] попытался объяснить контракционной гипотезой происхождение участков растяжения земной коры (в частности, образованные сбросами, по Ф. Рихтгофену, континентальные ступени). По А. П. Павлову, "И образование складчатых гор, и разломов, и гор растяжения... представляет разные стороны, разные механически обособленные формы проявления одного и того же великого процесса опускания частей земной коры (от сжатия ядра. — *А.С.*), неодинаково реагирующих на возникающие в ней напряжения" (с. 497).

Г. Джеффрис в книге "Земля, ее происхождение, история и строение", выдержавшей четыре издания с 1924 г., обращает внимание на факт концентрации радиоактивных элементов только в верхних слоях Земли. Он писал [1960, С. 368]: "Легко показать, что если бы породы глубинных слоев Земли были столь же радиоактивны, как и поверхностные, то Земля никогда бы не затвердела, тогда как сейсмологические данные совершенно ясно указывают, что Земля твердая". И далее: "геофизические данные указывают на быстрое убывание концентрации радиоактивных элементов уже на глубине примерно 20 км...; одно из объяснений концентрации радиоактивных элементов в верхнем слое основано на предположении, что высокое давление может препятствовать явлению радиоактивности" (с. 371).

По Г. Джеффрису [1960. С. 393], "складки и надвиги, обнаруживаемые в горных цепях, свидетельствуют о сокращении поперечного сечения горных цепей, а, следовательно, и об уменьшении общей площади и радиуса Земли... Из многих предполагавшихся причин сокращения площади только две действительно способны создать заметную долю наблюдающегося сокращения: это тепловая контракция и изменение скорости вращения Земли".

Примерно в это же время У. Боуи в своей "Изостазии", в 1936 г. опубликованной на русском языке, обосновал мысль о том, что планетезимальная гипотеза Мультона—Чемберлена, требующая конденсации за счет перегруппировки материалов в ядре, неизбежно влечет за собой представление о значительном его сжатии.

12 лет спустя П.Н. Кропоткин [1948] писал: "...два основных источника энергии — тяготение и радиоактивность способны объяснить как тепловой режим, так и происходящие в оболочке Земли деформации. Освобождающаяся энергия в конечном счете переходит, во-первых, в теплоту, которая теряется Землей через лучеиспускание и, во-вторых, в скрытую теплоту физико-химических превращений, протекающих с уменьшением объема. В связи с расходованием первоначального запаса радиоактивных элементов происходит медленное охлаждение Земли. Это облегчает физико-химические процессы, протекающие под очень большим давлением и приводящие к уплотнению внутренних частей планеты. В результате давление в центре Земли еще более возрастает, а объем ее уменьшается" (с. 97). По Кропоткину, именно контракция создает необходимую для тектонических процессов энергию. "Величина тангенциальных напряжений, способных сформировать складки и вызвать коробление, разрывы,

надвиги и горизонтальные сдвиги в земной коре, по-видимому, не менее 1 000 кг/см^2 на малых глубинах и более 10 000 кг/см^2 на значительной глубине" (с. 89).

В предисловии к книге А. Холмса "Основы физической геологии" [1949] Г.П. Горшков дал такую оценку гипотезе контракции: "Едва ли можно назвать какую-либо иную гипотезу из серии геотектонических, которая в такой бы степени расширила круг геотектонических идей ... и теперь какая-то доля влияния за ней сохраняется". Конкретные достоинства гипотезы перечислил Б.А. Иванов [1950], подчеркнувший, что она лучше и проще других объясняет образование геосинклиналей в течение всего цикла их развития, более интенсивную по сравнению с платформами дислоцированность, гранитизацию пород, воздымание и сближение сводов, последующее растяжение земной коры от избыточного горизонтального движения, эффузивный вулканизм с оседанием участков на сводах.

Интересную метаморфозу в связи с гипотезой контракции претерпела гипотеза изостазии, представленная в 1892 г. К. Деттоном для объяснения главным образом вертикальных движений земной коры в зависимости от веса отдельных блоков (воздымание от размыва и проседание от накопления осадков). Выяснилось, что изостазия и контракция не могут противопоставляться друг другу. Как уже упоминалось выше, одним из первых Б. Виллис высказал мысль, что тектоническая структура формируется именно обоюдным их действием — контракция дает изостазии нужную силу, изостазия же направляет контракцию. Позже Б. Виллиса поддержал Э. Ог [1938], отметивший, что "из целого ряда объяснений орогенических движений лишь две теории заслуживают нашего внимания — теория сжатия и теория изостазии, так как лишь в них нет прямых противоречий с данными современной науки". "Теория сжатия Земли, также как теория изостазии, прекрасно согласуются и с образованиями складчатых зон вокруг континентов и с направлением складок в сторону континентов и с постепенным сжатием геосинклиналей" (с. 463).

Аналогичные попытки объединить изостазию и контракцию были предприняты И.Д. Лукашевичем и А.П. Павловым. И.Д. Лукашевич в статье "Механика земной коры" в 1907 г. обосновал взгляд относительно образования и подвижности материков в связи с изостазией, которую он считал первопричиной складчатых дислокаций на окраинах "плавающих" материковых глыб. А.П. Павлов же в послесловии к "Геологии" Ога [1938] говорил о новой контракционной гипотезе, в которой должны объединяться и радиоактивность и изостазия. По его мнению, это может объяснить циклические события в истории земной коры. Он писал: "Охлаждение и сжатие представляют сложный процесс эволюции космической материи, сопровождаемый многообразными химическими изменениями и обильным выделением ювенильных газов... Совокупность этих процессов имеет результатом сокращение объема, далеко превосходящее то, которое могло бы быть вызвано только понижением температуры".

А еще позже появилась контракционно-изостатическая гипотеза У. Тома (1940 г.), согласно которой горообразование является результатом перемещения всей коры, периодически приспособляющейся к сокращению внутреннего ядра. Взаимодействием контракции и изостазии он объяснил и образование континентальных щитов в докембрии, и сближение континен-

тальных площадей с длинными прогибами между ними, и наползание массы осадков этих прогибов на континенты, и скольжение коры по субстрату с последующим возникновением мигрирующей коровой волнистости.

Гипотеза дрейфа континентов. Рождение этой гипотезы обычно связывается с именем немецкого геофизика А. Вегенера (1880—1930 гг.), с наибольшей полнотой обосновавшего дрейф континентов. Однако первые мысли об этом, как отмечалось выше, высказывались в далеком прошлом, были они высказаны до А. Вегенера и в начале рассматриваемой первой половины XX в.

В 1902 г. Д. Крейхгауэр выдвинул представление о скольжении земной коры по внутреннему ядру под влиянием центробежных сил. Ввиду сплюснутости Земли части коры, движущиеся к экватору, растягиваются, к полюсу — сжимаются. На экваторе, где эти противоположные движения встречаются, образуется постепенно углубляющаяся мульда, а по ее краям у экватора появляются горы. Затем для восстановления нарушенного равновесия возникают компенсационные движения и, как следствие, цепь меридиональных гор. Согласно Д. Крейхгауэру, по расположению гор в разные геологические периоды можно устанавливать и местоположение полюса. Используя эту закономерность и данные об изменениях климата, он составил карту предполагаемого движения северного полюса вращения относительно континентов северного полушария для ряда геологических периодов, начиная с карбона. При этом он, как и Л. Кольберг в 1886 г., считал, что система материков перемещается как единое целое с сохранением расстояний между ними.

П. Рейбиш в работах 1901—1907 гг. придавал большое значение перемещениям земной коры по более глубоким частям, но полагал, что она должна еще испытывать и маятникообразные качания. Так же в 1907 г. думал и Г. Зимрот, но допускал, кроме маятниковых качаний коры, перемещение ее полюса; изменения климата отдельных районов он объяснял качанием коры то в одну, то в другую сторону. Итальянец Ф. Сакко в 1906 г. подчеркнул сходство в очертаниях берегов континентов, разделенных Атлантическим океаном, показав его на картах (сходных с картами А. Снидера). Расползание континентов Ф. Сакко связал со сморщиванием земной поверхности и образованием складок.

Приблизительно в эти же годы Д.Г. Дарвин в работе "Приливы и родственные им явления в солнечной системе" выдвинул идею о двойных звездах и применил ее к системе Земля—Луна, считая, что Луна отделилась от Земли в результате ускорения ее вращения и возникших приливных движений. В. Пикеринг в 1907 г. высказал мнение, что контуры Тихого океана как раз и представляют шрам, оставшийся на Земле после отделения Луны. Исходя из параллелизма южноатлантических берегов, он предположил, что Америка во время этой катастрофы оторвалась от Европы—Африки и отодвинулась на расстояние, равное ширине Атлантического океана, который он представил в виде широкой щели.

Ряд соображений о перемещении континентов высказали Р. Мантовани (1909 г.), отразивший на картах группировки материков вокруг Южной Африки, и П.Н. Чирвинский (1912 г.), который допускал перемещение полюса при скольжении наружной более легкой оболочки по более

плотной, внутренней; он придавал большое значение погружению северной Атлантиды, что, по его мнению, и привело земную поверхность к новому положению.

Наконец, американский геолог Ф. Тейлор в 1910 г. предположил значительные горизонтальные перемещения отдельных материков в третичное время, связав их с формированием огромной складчатой системы третичного периода. В его концепции Гренландия была отторгнута от Северной Америки, Атлантический же океан образовался лишь частично за счет отхода американской материковой глыбы, тогда как остальная ее часть погрузилась в воду и образовала Срединно-Атлантический хребет.

Перейдем теперь к сущности гипотезы дрейфа континентов по А. Вегенеру, которую он впервые изложил в докладах 6 и 10 января 1912 г. в геологическом обществе Франкфурта-на-Майне и позже ее совершенствовал. В 1923 г. он писал, что материковые глыбы толщиной около 100 км плавают в массе иного состава и выступают из нее на 5 км, причем эта масса на дне океанов остается непокрытой. При продвижении на запад обеих Америк их передний край был смят сопротивлением древнего, охлажденного и потому сильно противостоящего боковому давлению дна Тихого океана в горную цепь Анд. На переднем же крае Австралийской глыбы возникла молодая цепь Ново-Гвинейских гор.

В наиболее комплексном виде гипотеза была изложена в 1929 г., когда для доказательства континентального дрейфа были приведены геодезические, геофизические, геологические, палеонтологические, биологические и палеоклиматические аргументы [Вегенер, 1984]:

1. По оледенениям и радиоактивному распаду А. Вегенер определил абсолютную продолжительность эоцена, олигоцена, миоцена, плиоцена, квартера и современного этапа и с учетом предполагаемых амплитуд горизонатальных перемещений материков вычислил приблизительные скорости движения отдельных участков земной коры — от 0,2—0,3 до 18—36 м/год, Гренландии же, удалившейся от Европы за время с 1823 по 1907 гг. на расстояние 1610 м — от 9 до 32 м/год.

2. Основываясь на гипсометрической кривой земной поверхности, по Крюммелю, отнесенной к двум уровням разных по скорости прохождения сейсмических волн оболочек земной коры — континентальному и океаническому, — А. Вегенер заключил, что дно океана состоит из более плотного и тяжелого материала, а континентальные глыбы — более легкие и что континентальные глыбы плавают по поверхности более плотной оболочки. "Вся теория изостазии, — писал он, — основывается на гипотезе, что слой, подстилающий земную кору, обладает известной степенью текучести. Но если это так, то есть если континентальные глыбы действительно плавают на вязком подстилающем субстрате, то нет основания считать, что их подвижность должна проявляться только в вертикальных движениях и не должны происходить также и горизонтальные движения" [Вегенер, 1984. С. 54].

3. Многие складки и структурные зоны, по А. Вегенеру возникшие до раскола первичной континентальной глыбы, при их обратном совмещении соединяются и как бы продолжают друг друга. Он ссылается на данные Броувера (1921 г.) о сходстве в Африке и Бразилии древних гранитов, молодых гранитов, юрских вулканических пород и кимберлитов и А. Дю

Тойта (1927 г.), подчеркнувшего, что некоторые формации Южной Америки и Южной Африки в фациальном отношении на противоположных побережьях более сходны между собой, чем в пределах одного какого-либо континента.

4. Опираясь на палеонтологические и биологические данные, А. Вегенер заключил, что имеется масса доказательств прошлой связи между ныне разобщенными материками. Он сослался на Штромера (1920 г.), который предположил по распространению глоссоптериевой флоры и рептилий существование обширной суши, некогда соединявшей южные материки, а также на монографию Е. Ирмшера "Распространение растений и развитие континентов" (1922 г.), где указано, что перемещение полюсов и дрейф континентов являются причиной миграции растений и смешения флоры.

5. По распространению тиллитов альгонка, кембрия, девона, карбона, перми, миоцена, плиоцена и четвертичного периода, а также углей, соли и гипса А. Вегенер пришел к убеждению, что "резкая смена климатов — в Европе от тропического до климата умеренных широт, а на Шпицбергене от субтропического до полярного — сразу наводит на мысль о смещении полюсов и экватора и вместе с ними всей зональной системы климатов" (с. 128). Неопровержимое подтверждение этому он увидел в том, "что Южная Африка, расположенная на 80° южнее Европы и на 110° южнее Шпицбергена, ... покрытая в карбоне материковым льдом ... сегодня находится в субтропическом поясе" (с. 128). Таким образом, отметил А. Вегенер, "миграция полюсов и дрейф континентов, дополняя друг друга, образуют упорядочивающий принцип, с применением которого имевшаяся до сих пор путаница разрозненных фактов, ... противоречащих друг другу, преобразуется в картину, снова поражающую своей простотой и полной аналогией с современной климатической системой" (с. 144).

Под "дрейфом континентов" А. Вегенер [1984] в конечном итоге понимал процесс раскола, перемещения и вращения коры (некогда единого массива Пангеи) относительно ее субстрата и смещение одних ее частей относительно других, произвольно выбираемых, например относительно Африки. Общее движение континентальной коры направлено на запад, т.е. совершается вокруг оси, совпадающей с осью вращения; при этом движении малые глыбы отторгаются от больших глыб и занимают более восточное положение. Движение на запад Вегенер связывал с притяжением Солнца и Луны, воздействующих на Землю как на тело, обладающее некоторой пластичностью. Признавалось также частичное перемещение коры по направлению к экватору. Движение коры к экватору объяснялось "полюсобежными силами", первооткрывателем которых был назван Д. Крейхгауэр. В целом же, по Вегенеру, "дрейф континентов — это перемещение коры, смещение полюсов и внутрипланетные и астрономические смещения осей — весь этот комплекс явлений при решении вопроса о силах сливается во взаимосвязанную проблему" [Вегенер, 1984. С. 161].

Первые же публикации гипотезы Вегенера вызвали критику со стороны Ф. Лэйка (1923 г.), Г. Джеффриса (1926 г.) и др. В 1926 г. Американская ассоциация геолого-нефтяников провела в Нью-Йорке симпозиум, посвященный дрейфу континентов, и на нем был достигнут консенсунс, объяв-

ляющий этот дрейф физически невозможным [Кэри, 1991], а в 1928 г. в США вышел сборник статей с обсуждением гипотезы. Против выступили Б. Виллис. Дж. Грегори, Ч. Шухерт, Ч. Лонгвелл, геофизик У. Боуи, астроном Т. Чемберлен. Позже отрицательное отношение к гипотезе высказали палеонтолог Дж. Симпсон, Ф. Махачек, снова Б. Вилис, назвавший гипотезу "волшебной сказкой". В России с критикой гипотезы выступили М.А. Усов, М.М. Тетяев, Н.С. Шатский, Л.С. Берг, А.Д. Архангельский, В.В. Белоусов и др.

В 1925 г. Р. Фавр и Р. Бернер нашли, что полюсобежная сила, двигающая кору к экватору, составляет 1/800 000 веса материкового блока, что в 15 раз больше горизонтальных сил прилива, и ее недостаточно, чтобы сформировать большие складчатые горные цепи. Швейдар же пришел к заключению, что приливные деформации вообще имеют упругий характер и не могут быть использованы для объяснения крупных горизонтальных перемещений.

Г. Джеффрис в 1930 г. вычислил, что если бы сила, двигающая континенты на запад, была такова, что в течение $3 \cdot 10^7$ лет сместила бы Америку к западу на 50°, то она должна была бы прекратить вращение Земли в течение 1 года. Ф. Махачек в "Рельефе Земли" (1959 г.) указал, что если бы материки перемещались друг относительно друга вследствие тормозящего влияния приливных волн и что Земля при этом лишь сокращала скорость вращения, то надо было бы ожидать, что это движение должно бы начаться в бесконечно далеком прошлом; по Вегенеру же, отрыв Америки от Старого Света произошел в раннем карбоне, а других континентов — еще позже, и, стало быть, до этого никаких подобных перемещений не было, но почему это так — этого гипотеза не объясняет и объяснить не может. С другой стороны, Дж. Умбгров в 1946 г. отметил, что внутренние геосферы Земли в жидком состоянии существовали только в глубоком докембрии, поэтому если перемещения материков и были, то они и закончились в конце докембрия, когда породы затвердели. На этот же недостаток еще раньше обращал внимание Л. Кобер, сказавший в 1929 г., что "А. Вегенер начинает историю Земли с каменноугольного времени".

Отмечалось далее, что сходство очертаний западных и восточных берегов Атлантического океана есть результат опусканий, происшедших параллельно простиранию подводного Атлантического хребта (Р.В. ван Беммелен, 1935—1939 гг.), что центробежная сила от вращения Земли и приливное действие со стороны Луны и Солнца совсем недостаточны, чтобы приводить в движение громадные массы материков, что Антарктика и Австралия, оторвавшись от Азии, вопреки гипотезе, переместились к полюсу, а не к экватору [Усов, 1940а], что в гипотезе дрейфа в новом виде возрождено старое положение о постоянстве континентов, которые при перемещении не изменяют своей структуры, структурные же формы превращены "в простой хаос смятия по краям континентов" [Тетяев, 1941. С. 30].

Н.С. Шатский [1946] в специальной статье проанализировал гипотезу Вегенера и высказал мнение, что ее стержневую идею опровергают все новые данные геотектоники. Наличие глубинных разломов, унаследованность в развитии структур, явления глубокофокусных землетрясений (до

700 км) — все это доказало ... "теснейшую связь внутренних глубоких зон Земли, пожалуй всей мантии, с поверхностной сиалической оболочкой". Стало ясно, что "в геотектонических концепциях нельзя отделять сиаль от симы, перемещать первую оболочку по второй, так как этого не допускает изложенное обобщение о геосинклиналях и платформах" (с. 20), развивающихся длительно.

Возражения Л.С. Берга [1947, 1948] сводились к следующему: "Материки (гранитная оболочка) не могут плавать в базальтовой оболочке, потому что последняя, подобно гранитной, есть тело твердое" [1948 С. 4], "...остается необъяснимым отсутствие целого ряда (органических. — *А.С.*) форм, которые должны были бы существовать на раздвинувшихся материках" (с. 5), например в Южную Америку не перешел из Африки ни один представитель весьма распространенного в Старом Свете семейства карповых (Cyprinidae) и т.д. Далее Берг отметил, что Срединно-Атлантический хребет — не поднимающаяся, а погрузившаяся структура, на отрогах которой в обе стороны, по П. Термье, найдены пески материкового происхождения. "Когда эти отроги представляли собой сушу или цепь островов, они, понятно, значительно способствовали переселению растений и животных из Африки в Америку и обратно". Поэтому "нет надобности прибегать к предположению о раздвижении этих материков" [Берг, 1948. С. 8]. Не доказывают этого раздвижения и следы верхнепротерозойского оледенения, о котором говорил Вегенер, поскольку это оледенение было распространено по всему свету в связи с общим, по Бергу, понижением температуры воздуха на всей Земле.

Критику гипотезы А. Вегенера закончим возражениями В.В. Белоусова [1954], который заметил, что основной тип тектонических движений — колебательные движения — не нашли место в этой гипотезе, и она вообще не объясняет многие структурные закономерности, например прерывистую складчатость, периодичность складкообразования, миграцию фаз складчатости и т.д. К тому же некоторые структурные зоны могут быть прослежены с континента в океан, что также противоречит возможности перемещения континентов.

Реакция А. Вегенера на критику его гипотезы была сложной. С одной стороны, критика заставляла его совершенствовать гипотезу, с другой стороны, бессилие ответить на все возражения его раздражало и подталкивало к сомнительным репликам в адрес оппонентов, например таким: "Вызубрив теорию дрейфа в школе, они всю жизнь бы придерживались ее без каких-либо пересмотров" [Хэллем, 1985].

Между тем гипотеза континентального дрейфа нашла также много сторонников и последователей, продолжавших в разных вариантах развивать идею горизонтальных перемещений земной коры по симатическому субстрату. В их числе были Ф. Тейлор, Р. Дели, Е. Дакке, Э. Арган, Р. Штауб, Б. Гутенберг, Дж. Джоли, О. Ампферер, А.Дю Тойт, А. Холмс, М. Боголепов, А.А. Борисяк, Б.Л. Личков и др.

Ф. Тейлор, в отличие от А. Вегенера, исходил из существования не одной, а двух материковых масс — Лавразии и Гондваны. Первая в северном полушарии, в виде непрерывного слоя сиаля распространялась к экватору радиально по отношению к полярным районам, как это произошло с материковым ледяным покровом. В местах наименьшего

сопротивления кора расплывалась в виде лопастей, вызывая перед собой поднятие горных дуг. В южном полушарии первоначально единая Гондвана также растекалась в сторону экватора и также образовывала впереди себя горы. По Ф. Тейлору, Луна стала спутником Земли в каменноугольное время. Тогда она была ближе к Земле, и силы приливов и отливов были бо̀льшими, достаточными, чтобы изменить и скорость вращения Земли и оттянуть континенты от полюсов. Однако такие объяснения, по замечанию А. Холмса [1949], не прояснили вопроса о более ранних, докарбоновых орогенных циклах.

Е. Дакке большее внимание уделил выяснению причин перемещения полюсов Земли. С его точки зрения, это было связано с перемещением оси вращения Земли и главным образом со скольжением твердой коры по жидкой зоне или твердому ядру, что и приводило к относительному перемещению континентов. Причину движения континентов Е. Дакке видел во влиянии приливов, ведущих к уменьшению скорости вращения Земли, но это могло быть вызвано и изменениями в распределении тяжести в земной коре (например, в связи с отрывом тихоокеанской земной массы, образовавшей тело Луны), а также внутренними превращениями вещества: кристаллокинетическими изменениями объема, химическими изменениями магмы и ее течением, как восходящим, так и нисходящим.

Э. Арган (1879—1940 гг.) использовал гипотезу перемещения континентов для объяснения альпийской тектоники. Он считал, что Гондвана (Африка, Аравия и Индостан) была надвинута на Евразию, от которой она раньше отделялась широкой Средиземноморской геосинклиналью. В результате геосинклиналь была раздавлена, на ее месте возник пояс альпийской складчатости, Европа же, продолжая движение на север, оторвалась и, захватив с собой крупные глыбы Африки, обусловила возникновение в зоне разрыва современного Средиземного моря.

Глобальным структурным эффектом перемещения континентов Э. Арган счел образование складок. В докладе на Международном Геологическом конгрессе в 1922 г. в Брюсселе он подчеркнул, что складкообразование является общей функцией коры и охватывает не только геосинклинали, но и площади древних платформ. Большое внимание он уделил характеристике складок покрова и особенно глубинной складчатости, полагая, что "глубинная складчатость — это складчатость самой континентальной массы, происходящая как в ее пластичных глубинах, так и в ее верхних, в различной степени отвердевших частях" [Арган, 1935. С. 99]. По его мнению, складчатость вообще является основным движением коры. Рассматривая с этой точки зрения систему, образуемую всей планетой, — писал он, — мы сразу охватываем все горизонтальные и вертикальные проявления общей деформации. Становится совершенно излишним спрашивать о том, следуют ли радиальные движения за тангенциальными или наоборот. Этот вопрос сохраняет свою закономерность для отдельных случаев, но больше уже не имеет значения по отношению ко всему лику Земли" (с. 122). И еще: .. "опускание, присущее геосинклиналям, не является первично радиальным движением — оно только вертикальный результат горизонтального растяжения" (с. 130), ибо "никогда не бывает сжатия без растяжения" (с. 52).

Одновременно с Э. Арганом восторженную оценку гипотезе дрейфа

континентов дал в 1922 г. русский геолог А.А. Борисяк (1872—1944 гг.). Он высказался о несостоятельности гипотезы контракции и о перспективности новой "смелой и красивой мысли Вегенера". По его мнению, "гипотеза Вегенера — дальнейшее развитие учения об изостазии: если мы допускаем перемещение частей твердой оболочки земного шара по вертикальному направлению в вязкой, подстилающей ее основе, то мы можем допустить движение их и по горизонтальному направлению, но тогда мы должны представить себе, что твердая наружная оболочка Земли не сплошь покрывает более тяжелую, ... а в виде отдельных изолированных лоскутов или пластин, плавающих на барисфере подобно ледяным полям современного моря" [Борисяк, 1978. С. 82]. Новая гипотеза легко объясняет кряжеобразовательные процессы, не строит материков — мостов, якобы заполняющих океаны, чтобы обосновать сообщение материков между собой (например по фауне) и потом бесследно провалиться, а просто раздвигает эти материки. Все изменения в расположении климатических поясов легко объяснимы перемещениями как материков, так и земной оси.

А.А. Борисяк считал, что "климатические условия земного шара не подвергались в целом никаким изменениям — перемещалось лишь место образования разнотипных осадков, во всякую эпоху существовавших на поверхности Земли в различных ее областях" (с. 88). Поэтому общая площадь оледенения северного полушария (при сдвинутых Европе и Северной Америки) далеко не так огромна, как при современном положении материков. Чередование же ледниковых и межледниковых эпох объясняется тем, что движение полюса шло не по прямой линии, отходя то к "северу", то к "югу". Возможно, что и трангрессии моря прошлого находятся в связи с перемещениями полюсов: от перемещения полюсов данный континент получает различное географическое положение, и океан, быстрее приспосабливаясь к нему, наступает на сушу с уменьшением широты и отступает с увеличением широты. Касаясь причин перемещения материков, А.А. Борисяк отсылает читателя в область геофизических построений, пока еще не увязывающихся с исторической геологией.

В 1924 г. трактовку тектоники Альп с позиций континентального дрейфа поддержал Р. Штауб. "Альпийский орогенез, — писал он, — является результатом перемещения африканского массива на север. Если снова расправить альпийские складки и покровы по поперечному сечению между Шварцвальдом и Африкой, то по сравнению с современным расстоянием, равным примерно 1800 км, дистанция разделения составит от 3000 до 3500 км... На это расстояние должна была переместиться Африка по отношению к Европе" [Вегенер, 1984. С. 257].

В работе "Механизм движения земной коры" Р. Штауб [1938] в развитии идеи континентального дрейфа исходит не из сходства очертаний континентов или палеобиологических и палеогеографических данных, как Вегенер, и не из особенностей складкообразующих процессов, как Арган. В своем анализе причин и следствий дрейфа он отдает приоритет изучению новейшего горообразования, полагая, что "геология молодых гор ... становится краеугольным камнем углубленного познания развития нашей планеты" (с. 23).

По Р. Штаубу, вся совокупность молодых альпийских цепей Земли сводится к единому гигантскому, вполне замкнутому сооружению, которое опоясывает весь земной шар. Сюда входят средиземноморские цепи между Антиллами и морем Банда, горы Америки, цепи Восточной Азии и Австралии. Первые зажаты между Лавразией и Гондваной, к западу и востоку же цепи раскрываются, охватывая Тихий океан, на месте которого предполагается затвердевшая первозданная масса, заставившая молодые цепи альпийского орогена огибать ее. Весь механизм дрейфа сводится к напору друг на друга Гондваны и Лавразии и их зажиму с боков у Тихоокеанского препятствия. К этому добавляется в качестве модифицирующей детали западный, в сущности весьма скромный, дрейф всей системы, который медленно гонит Гондвану, Лавразию и залегающий между ними ороген во всей их совокупности к западу.

За причину нагромождающего горы движения материков Р. Штауб принял "активный отход последних от полюсов... в силу его центробежной слагающей". При этом "материковые глыбы подвергаются значительным вращениям, которые в свою очередь должны приводить к дальнейшим усложнениям явлений на флангах" (с. 251). За горообразованием в этом процессе следует мощное подкоровое нарушение равновесия и рождается новая сила — "общий полярный дрейф — в направлении к полюсам". Происходит отток масс из-под горного вала к полюсам, "образуется некоторый дефицит материала под горами, древние междугорья опускаются вниз, становятся более пластичными и тогда поддаются растяжению движущимися к полюсу континентами, пока не образуется новая геосинклиналь" (с. 252). Бегство от полюсов и полярный дрейф в постоянном чередовании событий сменяют друг друга — они сводятся "к плаванию ... отвердевших жестких каменных глыб — материков — на пластичной, способной к свободным течениям магматической подстилке" (с. 253).

Особая заслуга в обосновании гипотезы дрейфа континентов принадлежит южноафриканскому геологу А.Дю Тойту (1878—1948 гг.). Как отметил Вегенер, Дю Тойт еще в 1921 г. предположил, что эрратические пермо-карбоновые породы Южной Америки имеют отчасти африканское происхождение, а в 1927 г. он установил вообще большое сходство ныне разобщенных разрезов Южной Америки и Южной Африки. На обоих континентах имеются 1) фундамент кристаллических пород докембрия с участками недислоцированных сходных между собой додевонских осадочных или морских отложений силура и девона; 2) параллельные берегам пояса протерозойских и нижнепалеозойских кварцитов, сланцев и известняков, слабо складчатых на севере и сильно нарушенных на юге, где они прорваны гранитами; 3) горизонтально перекрывающие девон тиллиты; 4) слои континентальных пермских и триасовых отложений с глоссоптериевой флорой и обширные плато базальтов, прорванные долеритами лейаса; 5) горизонтально залегающие меловые и третичные отложения. Дю Тойт отметил также находки ископаемых рептилий Mesosaurus в сланцах Капской провинции (ЮАР) и сланцах Ирати (Бразилия, Уругвай, Парагвай), а также остатки флоры с гангамонтерис и глоссоптерис на юге обеих областей.

В книге "Наши блуждающие континенты" А.Дю Тойт [1963] в 1937 г. показал поразительное соответствие на обеих сторонах Атлантического

океана отложений, ископаемых остатков, проявлений магматизма, а также особенностей тектонических движений и климатических изменений. Он снова остановился на находках костей маленького пресноводного пресмыкающегося Mesosaurus, обнаруженного в Южной Африке и Южной Америке и больше нигде на земном шаре не найденного. Ссылаясь на находки тиллитов в Индии в 1857 г., в Южной Австралии в 1851 г., в Южной Африке в 1870 г. и в Бразилии в 1888 г., а также на вновь открытые и прослеженные на большие расстояния в первые десятилетия XX в., Дю Тойт пришел к заключению, что "Гондвана подверглась оледенению в гигантском масштабе, в то время как в Лавразии господствовал мягкий или тропический климат" [Холмс, 1949. С. 561].

Устанавливая не одну Пангею, а два циркумполярных континента — Лавразию и Гондвану, Дю Тойт полагал, что древний Тихий океан, их разделяющий, первоначально был экваториальным. Альпийско-Гималайский пояс сформировался с момента соединения Лавразии и Гондваны, когда Тихий океан и получил современную конфигурацию.

Сходство между Южной Америкой, Африкой, Индией, Австралией и Антарктидой, вплоть до начала девона составлявших единый континент Гондвану, — писал А. Дю Тойт в другой работе [1957], изданной посмертно, "более понятно и легче логически объяснимо с точки зрения гипотезы (последующего — *А.С.*) передвижения континентов, чем с точки зрения гипотезы, согласно которой разделяющие эти материки океаны обязаны своим появлением опусканию огромных частей очень большого древнего континента" [с. 17]. Он снова и снова приводит новые детали этого сходства, например, "исключительно близкое соответствие, даже в мелочах, между интрузивными комплексами Буш-Велда, Стиллуотера в Монтане, Блоу-ми-даун в Ньюфаундленде, Дилута в США и Садбери в Канаде" [с. 152], или тесную связь беккевельдской фауны (брахиоподы, моллюски) капской серии силуро-девона с фаунами Фольклендских островов и юга Бразилии, а также с фаунами Боливии и Аргентины и т.д.

Со всем этим хорошо согласуются исследования А.Н. Криштофовича [1937], установившего ботанико-географическую зональность и этапы развития флоры верхнего палеозоя. Он доказывает существование в позднем палеозое таких же ботанико-географических зон, которые известны и в настоящее время, но которые в то время занимали иное географическое положение, что объясняется подвижностью земной коры... "в виде ли подвижности материков, или движения полюсов, или обоих вместе" (с. 386). Без признания этого, пишет он, "мы никак не может объяснить явлений Гондванского оледенения с центром близ тропиков и движения льдов через современный экватор в северное полушарие". И далее: "В жарком и влажном среднем поясе тропиков... после эпохи нижнего карбона развилась вестфальская флора с преобладанием крупных каламмитов... и многих птеродоспермов, которая типично и широко распространилась в Европе... и в Америке". "Нас поражает ... также близкое подступание с юга гондванской глоссоптериевой флоры, например, в Кашмире, к окраине Ангарского континента" (с. 395). Отмечены, кроме того, случаи местного перекрытия области вестфальской флоры формациями катазиатской провинции тунгусской флоры, или распространения флоры карбона европейского типа (пекоптерисовой) вплоть до Суматры,

когда там "обнаруживается и gugantopteris, отмечающий близкий контакт двух флор, к которому мы должны добавить и близкую границу области глоссоптериевой флоры, что в отношении последней Б. Сахни объясняет движениями континентов" (с. 399).

В 30-х годах обстоятельный обзор представлений, связанных с гипотезой континентального дрейфа, выполнил Б.Л. Личков [1930, 1936]. Сопоставив данные Вегенера, Крейхгауэра, Швейдара, Дж. Дарвина, Эпштейна, Ламберта, Фавра, Бернера и других сторонников дрейфа, Личков пришел к заключению, что два основных типа горизонтальных движений коры — движение только материков и движение систем материковых масс вместе с разделяющими их океанами — находятся в сочетании между собой. Намеченный еще Гохштеттером в 1886 г. пояс разлома между северными и южными материками (Зондские острова, Средиземное море, Антильские острова) Личков увязал с дрейфом континентов, считая, что "возникновение этого разлома ... связано с более сильным отставанием к западу земной коры в северном полушарии по сравнению с южным" [1930. С. 61]; таким образом, он представил этот пояс, по существу, в качестве грандиозного левого сдвига, в отличие от Гавемана (1929 г.), который истолковал отставание к западу северных материковых масс тенденцией Азии к опусканию на юг, а Северной Америки к поднятию на север. Тем не менее общая оценка Личковым горизонтальных перемещений довольно осторожна. Он справедливо писал, что "наши знания о движении материков, в сущности, очень примитивны, и мы еще не знаем всех слагаемых сложных действительных движений материков на протяжении геологических периодов" [1936. С. 48]. И здесь же новый неожиданный вывод: "материки непрерывно ползут по земной поверхности, унося с собой все, что на них находится, но сохраняя в основных чертах свои общие очертания" — с чем вряд ли кто согласится.

В истории Земли Б.Л. Личков не исключает и вертикальные движения (поднятия, опускания) на больших территориях, которые он объясняет нагрузками и разгрузками (ледники, размывы, седиментация), тогда как причину дрейфа он видит во вращении Земли и приливных явлениях, т.е. фактически горизонтальные и вертикальные движения им рассматриваются вне прямой связи друг с другом, как два обособленных процесса.

Поскольку земные оболочки, выраженные в рельефе континентами и океанами, подчинены изостатическому равновесию, любая из областей океанических впадин, по Б.Л. Личкову, не может подняться до уровня материка, как и материк, если на нем не появится дополнительная нагрузка, не может опуститься до глубины океанической впадины. Отсюда следует вывод о невозможности существования в прошлом "мостов" для связи между континентами, затем, якобы, опустившихся под воду. Материки относительно друг друга могли перемещаться только по горизонтали, подтверждение чему Личков ищет, как и другие сторонники дрейфа, в климатах прошлого: "Если материки перемещаются по земной поверхности, то они, переходя из одних широт в другие, ... из области одного климата попадают в область с другим климатом" [1936. С. 96].

Ротационные гипотезы. Гипотезы этого направления принимают в качестве основных при деформации земной коры внешние силы, связанные с космическими факторами (притяжение Луны и Солнца, приливы в

твердых оболочках Земли, перестройки фигуры Земли, изменения скорости вращения и т.д.). Зарождение их уходит корнями в далекое прошлое и, как мы видели выше, многие гипотезы континентального дрейфа объясняют перемещения континентов именно действием ротационных сил. Космическим факторам в первой половине XX в. особое значение придавали Д. Крейхгауэр, Г. Зимрот, А. Бём, В. Пикеринг, Дж. Дарвин, Л.С. Лейбензон, А. Веронне, Л. Поккельс, Г. Квиринг, Б.Л. Личков и многие другие. В общем их представления довольно сходны и отличаются только некоторыми акцентами.

По Д. Крейхгауэру (1902 г.), земная кора скользит по внутреннему ядру под действием центробежной силы. Дж. Дарвин (1908 г.) отдал предпочтение приливным движениям, которые предопределяют отрыв внутренних слоев Земли от наружных. В результате ритмических поднятий и опусканий приливного происхождения внутренних масс движение наружных частей земной коры должно замедляться, после чего произойдет медленное скольжение поверхностных слоев относительно внутренних. Возникшее трение приводит к замедлению вращательных движений, огромному натяжению и горообразованию; математическое обоснование этого процесса дал в 1910 г. Л.С. Лейбензон.

А. Бём в книге "Сплюснутость и горообразование", изданной в Лейпциге в 1910 г., в теорию движения вводит уменьшение скорости вращения Земли, отчего фигура ее изменяется, и эллипсоид стремится стать шаром. В приэкваториальной зоне, до широты 34°54' 35,7", длина меридиана при этом должна сокращаться, а в приполярной — увеличиваться. Зона между 35 и 45° окажется зоной наисильнейшего тангенциального сжатия. За счет этого в приэкваториальной зоне, по А. Бёму, и сформировались горные сооружения, складчатость широтного направления и тектонические перекрытия; меридиональные складки возникают при укорочени экваториальной окружности Земли.

В 1911 г. вышла статья Л. Поккельса "Изменение вращения Земли как геологической фактор", в которой также было отмечено, что одним из источников энергии тектонических процессов является изменение скорости вращения Земли и что наиболее высокие горные системы в северном и южном полушариях тяготеют к широтам 35—40°. А в 1912 г. в докторской диссертации французского математика А. Веронне было показано, что возникающие в результате прецессии напряжения должны достигать максимума на 35-й параллели. К близким выводам в 1921 г. пришел немецкий геолог Г. Квиринг, в 1933 г. — швейцарец А. Гейм и др.

Под другим углом зрения рассмотрел в 1923 г. фактор замедления вращения Земли И.В. Эванс. Анализируя работы Дж. Грегори по Восточной Африке и в Индо-Китае, он пришел к выводу, что расползание Африки на запад, север и восток — тоже следствие замедления вращения Земли, которое на 0,09" в столетие больше в литосфере, чем у ядра. В результате этого первая перемещается по второму. Выявленные И.В. Эвансом на восточных берегах Атлантического океана следы растяжения (в виде систем трещин) были объяснены силами, увлекающими материк к западу. Растяжение он истолковал "как реакцию сокращения после прекращения действия последнего — истощения его" [Мушкетов, 1926. С. 21].

Количественные оценки сил, связанных с вращением Земли, пробовал делать Б. Гутенберг [Внутреннее..., 1949], расчленивший их на несколько групп. По его расчетам, силы, вызываемые движением полюсов, очень малы. Силы, возникающие при изменениях скорости вращения Земли, могут влиять на фигуру Земли. Полюсобежные силы, равнодействующая которых направлена к экватору и стремится в эту сторону сдвинуть континенты, также не велика, хотя и "играет большую роль во многих геотектонических теориях" (с. 165). Наконец, "приливы, захлестывающие поверхность Земли с востока на запад, производят трение ... Однако наблюдения показывают, что влияние этого трения очень мало и что теоретическая сила, отклоняющая континенты к западу, ничтожна" (с. 166). Позже к такой же негативной оценке сил, вызываемых космическими факторами, присоединится С. Бубнов [1960]. По его мнению, эти импульсы являются чересчур слабыми для объяснения происхождения орогенов и вообще не затрагивают феномена колебательных движений.

Гипотеза подкоровых течений. Еще один механизм, объясняющий проявления тангенциального сжатия и больших горизонтальных перемещений, предложен в гипотезе подкоровых течений, которая рассматривает все эти явления не как следствие сокращения радиуса Земли или замедления ее вращения, а как результат внутренних тепловых конвекционных токов субстрата, вызывающих вязкие движения в вышележащей коре. Первые мысли на этот счет были высказаны еще в XIX в. (Сц. Брейслак, О. Фишер, В. Гопкинс, А. Ротплетц), а затем разные варианты гипотезы развивались геологами разных стран — австрийскими (О. Ампферер, 1906 г.; Р. Швиннер, 1920 г.), английскими (Дж. Джоли, 1924 г; А. Холмс, 1930 г.), немецкими (Ф. Вениинг Мейнес, 1930 г., Ф. Коссмат, Э. Краус, 1933—1936 гг.), американскими (Д. Григгс и др.), французскими (М. Жинью, Ж. Гогель), русскими (А.Н. Заварицкий, 1946 г.; М. Боголепов, 1928 г., 1932 г.). О горизонтальной миграции глубинного материала в это же время говорили Р. Штауб (1928 г.), К. Пикерис (1935 г.), Э. Арган (1935 г.), Б. Гутенберг (1949 г.) и др.

Согласно гипотезе, подкоровые течения возникают вследствие неравенства температур на одинаковых глубинных уровнях. На участках с максимальным разогревом образуются восходящие течения, с охлаждением связываются нисходящие течения. Таким образом, движение под корой (в разрезе) происходит по системам замкнутых кругов или овалов или, как сейчас говорят, конвекционных ячей, размеры и расположение которых, а также генезис, понимаются по-разному.

По представлениям О. Ампферера (1906 г.), подкоровое вещество испытывает сжатие и растяжение. При увеличении объема возникает восходящий поток, который приподнимает кору, а затем растекается в стороны, превращаясь в горизонтальный или нисходящий потоки. Кора движется на "спине" глубинного магматического потока и, встречая разного рода упоры, деформируется в надвигающиеся друг на друга складки. В 1916—1920 гг. Ампферер совместно с Хаммером выдвинул другое объяснение шарьяжей — они возникают не благодаря соскальзыванию с поднятий, а в результате выдвигания пластин снизу по мере втягивания глубинного материала внутрь мантий. К этой точке зрения затем присоединились Р. Швиннер (1919 г.) и Э. Краус (1933, 1936 гг.), предложившие

механизм засасывания кристаллического основания земной коры вниз по так называемым рубцам, протягивающимся вдоль осей складчатых сооружений. При таком засасывании породы осадочного чехла собираются, по их мнению, в сложные складки и смещаются в виде шарьяжей по пологим поверхностям. Общую причину всех этих структурных преобразований Ампферер усматривал в физико-химических преобразованиях вещества, ведущих к увеличению или уменьшению его объема. Он пришел к необходимости допустить обширные тангенциальные перемещения земной коры в связи с глубинными течениями, а в 1925 г. сформулировал вывод, что именно эти течения под корой являются главной предпосылкой горообразования. Однако, как заметил Б. Гутенберг: "Он не объяснил причин появления этих течений" [Внутреннее ..., 1949. С. 181].

К. Андрэ (1914 г.) и Ф. Коссмат (1921 г.) связали подкоровые течения с изменением объема при кристаллизации глубинного вещества, привлекая для их объяснения радиоактивное тепло и даже приливные явления. К. Морджол (1922 г.) объяснил течение разной степенью дифференциации, Э. Краус (1928 г.) высказался за химические и физические превращения вещества мантии; периодическое увеличение континентов обусловлено, по его мнению, появлением новых горных хребтов, возникающих при дифференциации материала океанического дна. Ф. Коссмат сравнил перемещения коры, вызывающие образование горных поясов, с течением вязкой массы, при котором более пластичные зоны сжимаются и растягиваются между более обширными и менее пластичными полями. Именно в этом он видел результат общих тангенциальных движений, которые обусловливаются неравномерным распределением масс на Земле и различным положением центров тяжести.

Примерно в это же время русский геолог М. Боголепов выдвинул идею о том, что лик Земли формируется под действием магнетической энергии, проявляющейся в виде периодических вихрей в магме. Эти вихри, в свою очередь, перемещают плавающие на магме верхние слои коры, например, плита Аравии отделилась от Африки и клином внедрилась между Африкой и Азией; при этом она испытала вращение с центром около Мараша (по идее Ф. Коссмата).

По представлениям К. Пикериса (1935 г.), конвекционные течения возникают вследствие глубинных разностей температуры, обусловленных неравномерностями в распределении радиоактивных элементов, имеющих континентальные размеры. Он полагал, что эти явления сходны с теми, какие наблюдаются в атмосфере или в океанических просторах. Восходящие потоки образуются в более нагретых областях, нисходящие в более холодных, а для поддержания непрерывности процесса возникают еще и горизонтальные потоки. В верхней части оболочки Земли конвекционные потоки направлены от областей, находящихся под континентами, к областям, расположенным под океанами. В центральной части океанов они опускаются в направлении ядра, возвращаются к континентам в нижнюю часть покрова и в центральной части континентов поднимаются. Предполагаемая скорость течения колеблется от долей сантиметра до долей метра в год. Предполагается, что для приведения в движение горизонтального потока от континента к океану достаточно температурного градиента в 1—3° на 1 км.

Р. Швиннер (1920 г.), С. Фудживара (1925 г.), Ф. Ринн (1928 г.), А.Дю Тойт (1937 г.) предположили проявление внутри Земли движений циклонического типа. По Р. Швиннеру, например, конвекционные течения происходят в верхних 120 км. В виде антициклонов они поднимаются в области активного вулканизма и опускаются в виде циклонов в местах поглощения масс. По обе стороны воронки циклонов возникают горизонтальные силы — здесь проявляются складкообразующие процессы. Области антициклонов характеризуются растяжением и формированием зон разломов.

Ф. Венинг Мейнес (1934 г.) рассмотрел проблему подкоровых течений на примере районов современной тектонической активности. Он установил, что здесь имеется пояс значительных отрицательных аномалий, сопровождающихся двумя (с каждой стороны по одной) зонами положительных аномалий. Излишек силы тяжести, по его мнению, может быть объяснен либо боковым сжатием коры, либо нисходящими течениями в субстрате, либо, наконец, их совместным действием. Нисходящие течения, вероятно, возникают за счет сходящихся горизонтальных течений под корой, которые благодаря вязкости увлекают за собой кору и сжимают ее. Истолковывая изостатический профиль поперек о-ва Ява и смежной к юго-западу территории, Венинг Мейнес заключил, что кора при мощности в 26 км укоротилась примерно на 50 км, что отвечает поперечному сечению опущенного в субстрат выступа коры порядка 1200 км.

Б. Гутенберг [Внутреннее..., 1949] рассмотрел проблему в широком геодинамическом аспекте. В 1927 г. он присоединился к мнению, что континенты переносятся подкоровыми течениями, и развивал его позже, уделив особое внимание пластической деформации — ползучести в пределах контитентов и течению в субстрате. "Источник больших изменений в земной коре, — писал он, — находится на значительной глубине, и подкоровые движения предшествуют и дают начало движениям наружных частей коры. Небольшие подкоровые движения могут возникать благодаря разнице в температуре и теплопроводности" (с. 167). Силы, определяющие развитие земной коры, он подразделил на две группы: одни из них действуют постепенно без существенных изменений в течение длительного времени — благодаря охлаждению или нагреванию внутренних частей Земли, или связанные с ее вращением и нарушениями гидростатического равновесия, другие сравнительно быстро изменяются во времени, например силы, возникающие при химических процессах, или кристаллизации, или плавления в недрах, от нагрузки ледников и т.д. По Б. Гутенбергу, две причины задерживают охлаждение Земли — радиоактивность пород и гравитационное сжатие, причем "термическое сжатие Земли частично объясняет образование гор, но ... наряду с ним должны действовать еще другие силы такого же порядка" (с. 187). В 1956 г., возвращаясь к этому же вопросу, он заметил: "Возможно, что для многих механических процессов в Земле главным первоначальным источником энергии является тепло, выделяемое при распаде радиоактивных веществ. Оно соответствует высвобождению энергии порядка 10^{28} эрг/год, в то время как среднее годовое выделение энергии при землетрясениях составляет величину приблизительно порядка 10^{25} эрг/год" [Гутенберг, 1963. С. 245].

А. Холмс [1949] считает, что "гипотеза конвекционных течений правдо-

подобна, но до настоящего времени — это не более, чем остроумная догадка" (с. 31). "Существующий в субстрате механизм течений должен быть гораздо более сложным, чем в идеальном цикле. В особенности следует ожидать наличие круговоротов и вихрей, и стоит только взглянуть на карту островов вокруг моря Банда, чтобы понять, что их распределение вполне может являться отражением на поверхности подкоровых вихревых движений" (с. 469). Он также соглашается с представлениями о проявлениях в земной коре горизонтального сжатия и о перемещениях континентов. Говоря о складках и опрокинутом залегании слоев, он отмечает, что "такие изумительные структуры показывают, что некоторые части земной коры подвергались горизонтальному сжатию невообразимой силы" (с. 41).

А. Холмс подчеркивает проблематичность механизма движений континентов: 1) разоравать первоначальную Гондвану на огромные глыбы и переместить их в разные стороны (Африку и Индию к Тетису, Австралию, Антарктиду и Южную Америку в Тихий океан); 2) произвести разрыв Лавразии радиально по направлению к Тетису и Тихому океану (опять же в разные стороны). Однако он полагает, что механизмом таких нарушений могли быть именно подкоровые конвекционные течения трех систем с центрами опускания, расположенными соответственно под Гондваной, Лавразией и Тихим океаном. И если расстояние между восходящим и нисходящим потоками измеряется континентами, то тяга, вызываемая горизонтальным потоком, может вызвать смещение материка с растяжением его задней части и с горообразованием в передней. Вместе с тем, по А. Холмсу, слияние обычно хаотических и незначительных конвекционных систем в три гигантские системы — редкое совпадение, которое произошло в мезозое. Отсюда старый вопрос, "как могло случиться, что Пангея не начала разламываться и разворачиваться ранее мезозойского времени", теряет свое значение [Холмс, 1949. С. 567].

Как видим, многообразие точек зрения на механизмы, формы проявления и причины подкоровых конвекционных течений делало гипотезу приемлемой в первой половине XX в. лишь как более или менее правдоподобное предположение, которое что-то объясняет (движение материков, складчатость, тектонические покровы, горообразование), а что-то не объясняет, например периодичность и правильную последовательность колебательных движений по В.В. Белоусову [1954].

Радиоактивная гипотеза (радиоактивных циклов). Разработка гипотезы связана с именем ирландского геолога и геофизика Дж. Джоли (1857—1933 гг.), выдвинувшего ее в 1925 г. По его соображениям, подвижность земной коры обусловлена процессами разогревания пород от радиоактивного распада [Джоли, 1929]. Континенты представляют собой пластины сиаля мощностью 30—35 км с удельным весом 2,7, лежащие на базальтовом субстрате с удельным весом 3,0 и на 8/9 своей толщины погруженные в этот последний. При радиоактивном распаде тепло концентрировалось главным образом в базальтовом субстрате под континентами примерно на глубине 48 км, и за время 33—50 млн лет температура поднялась здесь до точки плавления базальта. Объем этого слоя увеличился, плотность уменьшилась, твердая кора погрузилась, растрескалась, началась эффузивная деятельность, произошли трансгрессии. По мере

возрастания мощности расплавленного базальтового слоя в нем от воздействия лунного и солнечного притяжения возникают приливы и отливы, и твердая кора приходит в движение, направленное относительно ядра к западу. Смещенные при этом движении континенты обнажают расплавленный субстрат, он становится океаническим дном, охлаждается, отвердевает и сокращается в объеме. Происходит смена растяжения коры ее сжатием с образованием складчатости и горных поясов, начинается регрессия и цикл заканчивается, чтобы снова возродиться с нового разогревания базальтового субстрата.

Таким образом, все события в истории поверхности Земли Дж. Джоли объясняет радиоактивным распадом в массе горных пород, сменой эволюционных фаз накопления тепла в базальтовом слое и революционных фаз плавления базальта со всеми последующими явлениями. К механизму этого процесса он подключает также изостазию. "Причина периодичности заключается в том, — пишет он, — что расходование теплоты может иметь место лишь вследствие конвекционных движений и при содействии приливных сил..., развивающаяся при этом скорость потери теплоты в столь колоссальной степени превосходит скорость крайне медленного притока, что становится неизбежным возврат к твердому состоянию" [Джоли, 1929. С. 94].

По подсчетам Джоли, в подготовке революционных фаз с их орогеническими результатами участвует толща, простирающаяся вниз до глубины 160 км. И если изменение объема субстрата в общем равно 7%, то увеличение окружности составит приблизительно 65 км; "увеличение это будет пропорционально глубине участвующей в революции части коры" (с. 119). И совсем "нет надобности прибегать к допущению колоссальных горизонтальных сил, способных поднять Гималаи или массив Монблана; мы должны скорее принять такие силы, которые способны вызвать сравнительно небольшие давления, необходимые для бокового сжатия нагретых материалов геосинклинали, когда эти материалы почти автоматически опускаются в нижележащую жидкую массу" (с. 177) с тем, чтобы потом, по охлаждении, подняться.

Гипотеза Джоли, несмотря на ее очевидную заслугу (впервые обращено внимание на роль радиоактивного тепла в тектонических процессах), была подвергнута серьезной критике. Так, М.А. Усов [1940б] указал, что обширные излияния базальтов на континентах (например, на Сибирской платформе), не укладываются в схему Джоли, согласно которой они должны происходить по краям материковых глыб. Гипотеза не поясняет также, чем заканчивается каждый цикл — тангенциальным тектогенезом или интрузивными процессами. Не объясняются и условия резкой дифференциации интрузивных масс в районах тангенциального диастрофизма.

Еще более существенны замечания Г. Джеффриса [1960], подчеркнувшего, что концентрация радиоактивных элементов наблюдается в верхних слоях коры и быстро убывает уже на глубине примерно 20 км. Вместе с тем он не исключил возможности, "что температура фундамента под океанами составляет менее половины величины, наблюдаемой под континентами. Такое асимметричное охлаждение должно привести к появлению соответствующей системы напряжений и искажению формы Земли" (с. 429).

Отметим, наконец, возражения В.В. Белоусова [1954], указавшего на неизбежность во всех этих процессах наступания равновесия термического состояния. Он обратил внимание и на то, что температура плавления базальта в гипотезе Джоли ниже, чем температура плавления гранита, тогда как в действительности в случае базальта она выше.

Рассмотренные в данном разделе гипотезы довольно разнообразны. Они основываются на разных предпосылках, касаются разных форм проявления тектонических напряжений и по-разному объясняют их причины — от всеобщего ли охлаждения ядра Земли, или от разогрева коры, или от внешних ротационных сил, или, наконец, от совместного действия сил в разных сочетаниях. Но их объединяет одна главная идея — во всех гипотезах ведущими считаются тангенциальное сжатие и крупные горизонтальные перемещения. Еще одна особенность этих чисто мобилистских гипотез, ярче всего выраженная в построениях Дж. Джоли и Б. Гутенберга, — это первые попытки комплексного, многопричинного истолкования закономерностей структурных преобразований земной коры и ее поверхности. Как увидим из дальнейшего изложения, подобные попытки будут повторяться все чаще и чаще.

Параллельно с развитием существенно мобилистских идей в первой половине XX в. выдвигались и альтернативные им идеи, объясняющие тектонические деформации преобладающими вертикальными усилиями и движениями, однако и здесь в большинстве выдвигаемых гипотез мы обнаруживаем в той или иной степени присутствие элементов мобилизма. Таковы гипотезы: расширения Земли, ундационная (волновая), радиомиграционная, осцилляционная, астенолитная, пульсационная. Кратко рассмотрим и эти гипотезы для сопоставления с мобилистскими гипотезами.

Гипотеза расширения Земли. Эта гипотеза в более или менее цельном виде была предложена О. Хильгенбергом в работе "Растущая Земля", изданной в Берлине в 1933 г. Кроме него, этой идеи придерживались Х. Хиксон, Б. Линдеман, И. Кейндль, М.М. Тетяев и некоторые другие авторы.

По О. Хильгенбергу, в геологической истории Земли преобладали не усилия сжатия и контракции, а усилия расширения Земли и растяжения ее внешней оболочки. Еще в середине мела Земля была одета сплошной континентальной корой, которая затем растрескалась и раздробилась на отдельные глыбы. Радиус Земли, начиная с пермского периода, увеличился в 1,5 раза, а поверхность — более чем в 2 раза, этого, по его мнению, было достаточно, чтобы объяснить удаление Африки от Южной Америки на расстояние до 5000 км, а также образование океанов в течение мезозоя и кайнозоя. Разобщение материков О. Хильгенберг связал не с их дрейфом, а с расширением океанов.

Х. Хиксон в "Популярной астрономии" (1920 г.), предваряя О. Хильгенберга, пришел к выводу, что гипотеза контракции не способна прояснить происхождение Африканской и других рифтовых систем, а эпейрогенез и орогенез — это диапировые процессы, обусловленные дегазацией расширяющейся Земли и приводимые в действие силой тяжести. Б. Линдеман в 1927 г. с расширением Земли связывал первичные складки, вторичные же объяснял сжатием, считая их результатом горизонтального скольжения глыб и тектонических покровов.

Менее значительное расширение земной поверхности обосновал в 30-х годах физик П. Дирак, а позже астроном П. Иордан. По их мнению, многие ранее установленные "константы" природы в действительности величины не постоянные, а переменные, и они являются функцией возраста Вселенной. В качестве примера приводилась Ньютонова гравитационная "постоянная", которая в ранние периоды истории Земли была значительно выше, чем в более позднее время. Отсюда, как следствие этих изменений, должно было произойти расширение Земли, начиная с момента ее зарождения и по настоящее время.

В последующие годы, уже на современном этапе (см. ниже), гипотеза расширения получила дальнейшее развитие, но в то время ее сочли малоправдоподобной (главным образом из-за неясностей физической природы гигантского глобального расширения, происшедшего к тому же за крайне короткий промежуток времени).

Ундационная (волновая) гипотеза. Разработана в 1933 г. голландским ученым Р.В. ван Беммеленом. Он не согласился с представлениями о конвекционных потоках в мантии, стимулируемых термическими неоднородностями, поскольку в них не учитываются разного рода геохимические преобразования вещества, и главную роль видел в гравитационной дифференциации. По его убеждению, в земной коре происходят два альтернативных процесса — один из них определяется дифференциацией вещества силикатной оболочки по мере ее охлаждения, другой выражен в перемещении масс на глубине, компенсирующем дифференциацию. Предполагается, что между сиалем и симой залегает слой смешанного состава (сальсима), где и происходит дифференциация магмы. А геодинамическим следствием этого процесса являются вертикальные движения — легкий материал поднимается, тяжелый опускается, возникают поднятия и прогибы, которые Беммелен назвал геоундациями. Их появление нарушает гравитационное равновесие в земной коре, и оно восстанавливается движением материала коры от поднятий к прогибам. Этим вторичным движениям и создается складчатость и сопровождающие ее разрывы. Ее причину Беммелен видит в оползневых явлениях, но несколько позже вводит понятие о глубинном гравитационном тектогенезе, связывая его со скольжением коры по мантии.

Надо сказать, что эволюция представлений Р.В. ван Беммелена довольно любопытна и не лишена интереса. На рубеже 20-х и 30-х годов он придерживался мобилистской концепции (сжатия) — его докторская диссертация о шарьяжах Бетской системы Южной Испании "основывалась на однопричинной и мобилистической концепциях" [Беммелен, 1956. С. 18]. При анализе геологического развития Индонезии в качестве основы была принята другая, рассмотренная выше ундационная гипотеза. По этому поводу было сказано: "Мы в известной мере возвращаемся к старой концепции плутонистов XIX столетия, согласно которой горные хребты поднимаются под действием нижележащей магмы" (с. 22). Вместе с тем "вторичные" гравитационные перемещения и по скорости и по амплитуде оказались в этом районе, по его же утверждению, весьма внушительными. Повторная триангуляция, например, показала, что два небольших вулкана на Центральной Яве смещаются со скоростью 24—40 см/год, а тектонические перекрытия на Цераме, Тиморе и Джамба достигают 100 км и

более. Он наметил четыре варианта происхождения надвигов: 1) в результате горизонтального сжатия в кристаллической коре; 2) в результате горизонтального сжатия в осадочном чехле; 3) в результате горизонтального смещения на большой глубине; 4) в результате гравитационного тектогенеза. Спустя некоторое время, уже на современном этапе, Бемелен, исходя из анализа движений искусственных спутникв Земли, выделил гигантские мегаундации с корнями в нижней мантии. Эти образования внедряются в верхнюю мантию, вызывая ее смещение в стороны. Таким механизмом он пытался объяснить генезис зон растяжения в земной коре и перемещение материков в горизонтальных направлениях.

Радиомиграционная гипотеза была выдвинута в 1942—1943 гг. русским ученым В.В. Белоусовым. В основу механизма тектонических процессов (главным образом вертикальных колебательных движений) положена глубинная дифференциация вещества планеты и перераспределение в нем радиоактивных элементов. В отличие от других радиоактивных гипотез В.В. Белоусов в качестве стержня своей гипотезы предложил идею неравномерной и меняющейся во времени концентрации радиоэлементов в связи с гранитизацией пород и всплыванием образующихся гранитных масс кверху.

Первоначально, по В.В. Белоусову, радиоэлементы были распределены более равномерно и их распад сопровождался разогревом и расширением Земли. Кора растрескивалась, происходили вулканические излияния, потеря энергии и охлаждение подкоровых областей. Эти области сжимались в отдельных местах, проседали, образуя геосинклинали. Потом от дельнейшего распада радиоэлементов снова начинались разогрев, расширение и образование поднятий. И так в истории Земли этот процесс неоднократно повторялся.

При каждом геосинклинальном цикле в земную кору вследствие дифференциации поступал более легкий гранитный материал с небольшими концентрациями радиоэлементов, что приводило к обогащению ими поверхностной оболочки Земли за счет обеднения глубинных зон. Процесс "нагревание—расширение—охлаждение—сжатие" неуклонно смещался вверх по разрезу, а так как он развивался в пространстве и во времени неравномерно, это обеспечивало колебательный характер вертикальных движений. С другой стороны, "от цикла к циклу происходила необратимая миграция радиоэлементов вверх... это должно было вести к постепенному охлаждению внутренних частей Земли, что уничтожало причину расширения Земли" [Белоусов, 1954. С. 579—580].

Попеременный разогрев—охлаждение и, соответственно, расширение—сжатие, стимулировали образование мигрирующих прогибов и поднятий, причем в силу этой же дифференциации происходил неуклонный отток кислого материала с радиоэлементами под поднятия — "в процессе глубинной диффернциации должно происходить именно такое перераспределение масс" (с. 587).

Объективно анализируя интересную гипотезу В.В. Белоусова, следует отметить, что в ней, кроме того что она объясняет колебательные движения, имеются еще и элементы мобилизма, от которых он тем не менее всячески открещивается. Это, во-первых, предположение об оттоке кислого материала в поднятия на фоне мигрирующих систем депрессия—

поднятие; в зависимости от размеров этих структур такая боковая миграция может быть очень значительной, не уступающей той, о которой говорится в концепции подкоровых течений. Во-вторых, утверждение В.В. Белоусова о постепенном охлаждении внутренних частей Земли со временем является скрытым признанием гипотезы контракции, о крушении которой он неоднократно высказывался в ряде работ. В-третьих, предполагаемая в радиомиграционной гипотезе смена расширения сжатием, когда они приходятся на разные оболочки, например, охлаждение и сжатие на подкоровую оболочку, а разогрев и расширение от поступления радиоэлементов на вышележащие слои, непременно должны вести к горизонтальному проскальзыванию этих оболочек относительно друг друга, причем масштабы этого явления будут опять же зависеть от того, какие площади вовлекаются в этот процесс. Обширные поля гранитов или покровных базальтов на поверхности Земли указывают, что масштабы такого проскальзывания могли быть очень значительными.

Осцилляционная гипотеза. Предложена в 1930 г. немецким исследователем Э. Харманом для объяснения вертикальных колебательных движений, которым отведена ведущая роль в тектонических процессах. Эти движения, по Э. Харману, составляют первичный тектогенез, тогда как складчатость, покровы, трещины — вторичный тектогенез.

Первичные движения создают в одних местах вздутия (геотуморы), в других — впадины (геодепрессии), благодаря которым земная кора осциллирует, т.е. то поднимается, то опускается. Причины этого процесса космические, связанные или с возможными изменениями гравитационной силы Солнца, которые вызывают в Земле нарушение равновесия и смещение полюсов, или с отрывом от Земли в области центрально-азиатских хребтов (не в Тихоокеанском регионе, как думали раньше) части коры, из которой сформировалась Луна. Так или иначе, после этого в Земле начались перемещения жидкой магмы, которые по законам изостазии компенсировали нарушенное равновесие и создали в коре геотуморы и геодепрессии.

Вторичные движения происходят при соскальзывании толщи пород с геотуморов в геодепрессии, т.е. уподоблены оползневым явлениям, как это предлагалось еще Э. Рейером в конце XIX в.. Э. Харман наметил четыре механизма вторичных движений: 1) свободное скольжение в широких геодепрессиях, не заполненных осадками, — оно вызывает складки, надвиги, покровы; 2) скольжение в депрессиях, заполненных осадками — оно происходит с двух склонов геодепрессии, к центру, отчего образуются крутые складки, разбитые взбросами и надвигами; 3) скольжение прерывистое, с образованием зон растяжения и сжатия, когда складки сочетаются с многочисленными сбросами и сдвигами; 4) экспрессионное скольжение пластичных масс (магма, соль, гипс), нагнетаемых в зоны минимального сопротивления.

Уже при первом знакомстве с гипотезой обращают на себя внимание надуманность и неправдоподобность первичных космических причин, вызывающих формирование геотуморов и геодепрессий. Не кажутся исчерпывающими и механизмы так называемых вторичных тектонических форм. Примерно в это же время американский геолог А.В. Грэбо (Грабау) в курсах общей и исторической геологии и в статье "Миграция геосин-

клиналей" развивал представления, что в геосинклиналях под тяжестью накапливающихся осадков большой мощности пластичные массы на глубине выдавливаются (не сползают!) в сторону поднимающихся и разрушающихся от эрозии гор. Тем самым стимулируется дальнейшее восходящее движение гор и нисходящее движение геосинклиналей. Со стороны горной суши возникает мощное тангенциальное давление, отчего геосинклиналь становится асимметричной, а в толще геосинклинальных осадков появляются шарьяжи, надвиги и складки, опрокинутые в сторону предгорий и окраинной равнины.

Вместе с тем кажется очевидным присутствие в гипотезе Хармана существенных элементов мобилизма. Это, с одной стороны, признаваемое перемещение подкоровых масс при нарушении равновесия согласно изостазии и, с другой стороны, значительные горизонтальные перемещения (в широких геодепрессиях, не заполненных осадками) коровых масс с образованием складок, надвигов и покровов.

Астенолитная гипотеза. Изложена в 1941 г. Б. и С. Виллисами в статье "Извержения и горообразование". За основу механизма горообразования авторы приняли радиоактивный распад и разогревание вещества в недрах Земли. По их мнению, радиоэлементы распределены неравномерно, и там, где они концентрируются, это вещество в процессе их распада начинает плавиться. Расплавленные массы расширяются (до 5% от первоначального объема) и в виде так называемых астенолитов поднимаются вверх. Достигая земной коры, они приподнимают ее и оказывают на нее температурное воздействие. Породы в основании коры также плавятся или размягчаются и, приобретая пластичность, под действием гидростатических сил начинают выдавливаться в стороны, сначала горизонтально, а затем по поверхностям скалывания наклонно вверх. Тангенциальный напор усиливается за счет освобождения энергии кристаллов при их дифференциации с образованием сланцеватости и с их десятикратным горизонтальным удлинением. При этом на поверхности обрузуется горный пояс, в виде дуги обрамляющий центральную пониженную область над астенолитом. В нем от внедрения магмы со стороны астенолита проявляется вулканическая деятельность. Вместе с магмой к поверхности выносятся и радиоактивные элементы, магма охлаждается, застывает, цикл завершается с тем, чтобы начаться вновь по мере накопления радиогенного тепла.

Астенолитная гипотеза была использована для истолкования тектонического строения Японских островов. На рисунке, приведенном Б. и С. Виллисами и поясняющем тектогенез в этом районе, движение подкоровых масс, имеющих гранитный состав, направлено из-под Японского моря в сторону Юго-Западной Японии. Горизонтальная амплитуда этого движения, судя по рисунку, составляет не менее 200 км. Таким образом, эта гипотеза, выводя тектонические деформации из первоначального вертикального движения, не исключает вместе с тем дальнейшей существенной его трансформации в горизонтально-наклонное большой амплитуды, чтобы можно было объяснить с этих, уже мобилистских позиций тектонику любого конкретного региона.

Критика гипотезы высказывалась Ю.А. Косыгиным [1948], считавшим, что гипотеза игнорирует историко-геологический метод. Кроме того,

возможность раздавливания нижней части земной коры при подъеме астенолита сомнительна — прочность вещества над астенолитом в условиях всестороннего сжатия должна быть повышенной. И вообще "механизм выжимания материала над астенолитом невозможен", — писал Ю.А. Косыгин.

Пульсационная гипотеза. В отличие от гипотез непрерывного сжатия (контракции) и непрерывного расширения (экспансии) эта гипотеза развивает идею чередования в истории Земли фаз сжатия и расширения. Первым ее выдвинул в 1902—1903 гг. немецкий ученый А. Ротплетц. Он обратил внимание на то, что фазы скадчатости и вулканизма не совпадают и объяснил это чередованием сжатия и расширения. Позже такое же объяснение было дано американским геологом А. Грэбо сменам трансгрессий регрессиями, имеющим закономерный характер. Русский геолог М. Боголепов также принимал идею существования сжатия и растяжения как равноправных противоположных явлений, но в отличие от А. Ротплетца и А. Грэбо считал их происходящими одновременно в разных местах. Причину образования складчатости и горных поясов он связывал с пульсацией магмы, движение которой, как уже упоминалось выше, представлял в виде вихрей, расчленивших праматерик и вызвавших перемещение составляющих его материковых глыб.

В более развернутом виде гипотеза была изложена в ряде работ 1921—1939 гг. американским геологом В. Бухером, который и дал ей название пульсационной. В его трактовке цикл диастрофизма состоит из сменяющих друг друга фаз всеобщего сжатия и растяжения земной коры, обусловленных пульсацией подкорового объема планеты; первую он назвал систолической, вторую — диастолической, обосновав ее экспериментально растяжением стеклянной и парафиновой оболочек расширяющихся шаров. Во время растяжения пластичные участки земной коры растягиваются, делаются тоньше и прогибаются, формируются геосинклинали. Во время сжатия пластичные участки сминаются в складки, причем при каждом пароксизме сначала преобладают горизонтальные смещения (складко-надвиги) и только позже, с образованием гор, они сменяются вертикальными. Когда в систолическую фазу часть коры погружается и поверхность Земли сокращается, положение прилежащих частей коры изменяется относительно координат Земли. Это же происходит и в диастолическую фазу, когда земная поверхность увеличивается растяжением. И каждый раз вследствие этого происходит действительное перемещение континентальных масс на поверхности, подобное дрейфу, но, по В. Бухеру, в меньших размерах.

Российские ученые М.А. Усов и В.А. Обручев восприняли основную идею о пульсации Земли и о чередовании в ее истории сжатия и растяжения, представив их (соответственно диалектическому материализму) как борьбу двух противоположностей.

По М.А. Усову [1940б], "эволюция Земли как небесного тела, выражающаяся в ее уплотнении, еще... не закончилась и ведущим является сжатие" (с. 4). Складчатость является проявлением сжатия, тогда как интрузии отвечают расширению с образованием проводных каналов в толще горных пород. "Множественность частных интрузий и эманаций указывает на неоднократное чередование сжатия и следующего за ним

расширения... как особенность диалектического проявления саморазвития материи Земли в условиях земной коры" (с. 5).

В.А. Обручев [1940] более подробно остановился на геологических результатах борьбы растяжения и сжатия. По его мнению, расширение земной коры выражается радиальными движениями, проистекающими поразному. В мобильных поясах имеет место растяжение коры и образование геосинклиналей с прерывистыми характером погружения. В стабильных участках земная кора вспучивается и разбивается трещинами, по которым отдельные глыбы перемещаются в виде горстов и грабенов вдоль сбросовых и сдвиговых поверхностей. В геосинклиналях, подвергшихся складкообразованию в предшествующую фазу сжатия, происходит воздымание. Также по-разному выражается сжатие и связанные с ним тангенциальные движения. В мобильных геосинклиналях осадочные толщи сминаются в складки. На стабильных площадях создаются широкие складчато-глыбовые формы фундамента и складчатость покрова, происходит выпирание горстов и их надвигание на окраины грабенов. Отмечается скачкообразный характер тангенциальных движений.

Как показывает изложенное, пульсационная гипотеза ближе всего стоит к гипотезе контракции (особенно в трактовке М.А. Усова), признавая ведущую роль в борьбе сжатие—растяжение продолжающегося уплотнения вещества внутри Земли и сжатия вышележащей земной коры.

В заключение обзора главнейших геотектонических гипотез первой половины XX в. кратко остановимся еще на одной крайне важной концепции, защищающей равноправие или одновременность проявления в земной коре взаимосвязанных горизонтальных и вертикальных движений.

В конце XIX в. об этом высказывался еще Э. Зюсс. В 1910 г. финский геолог Я.И. Сёдерхольм также заметил, что нельзя принципиально разграничивать тангенциальные и радиальные дислокации, так как одни переходят в другие в вертикальном направлении — из хрупкой склеросферы, где происходит главным образом дробление пород, в более глубокую пластосферу, где преобладает складчатость. По В.А. Обручеву [1926], радиальные и тангенциальные деформации взаимосвязаны и являются результатом тангенциальных напряжений.

Касаясь этого вопроса, Э. Арган [1935] писал: "Нет никакой тектонической игры, даже точно вертикальной, которая не могла бы рассматриваться как выражение или прямое или косвенное следствия деформацией объема, в которых преобладают или преобладали горизонтальные движения" (с. 100). "Горизонтальная миграция глубинного материала замечается по вертикальным движениям... — пониженим, если материал уходит из-под данного района и подъема, когда он притекает" (с. 111). И еще: "Геосинклиналь обычно является результатом горизонтального напряжения, растягивающего плот сиаля... Утоняясь, сиаль опускается и углубляется, следовательно, опускание, присущее геосинклиналям, не является первично радиальным движением — оно только вертикальный результат горизонтального растяжения" (с. 130).

Близких взглядов придерживался Д.И. Мушкетов [1935], который отметил: "Мы рассматриваем обе категории движений (тангенциальных и радиальных — *А.С.*) генетически связанными между собой и представляющими лишь частные формы основного процесса движения Земли. В

различных частях земной поверхности мы видим однако преобладание на данном этапе развития Земли одних форм геотектогенеза над другими, радиальных над тангенциальными и обратно" (с. 21). В подтверждение генетической связи между орогенезом и тафрогенезом Д.И. Мушкетов приводит сочетание Евразийской складчатой полосы (широтной) и Восточно-Африканской зоны больших грабенов, которые он рассматривает в качестве такой пары "единства противоположностей".

ВЫВОДЫ

Все изложенные фактические и теоретические материалы морфогенетического этапа показывают, что именно в это время и произошло окончательное оформление и признание многими нового генетического направления в геотектонике, объясняющего происхождение структур земной коры тангенциальными напряжениями и крупноамплитудными горизонтальными перемещениями масс и получившего название "мобилизм".

На первом подэтапе, во второй половине XIX в., когда почти во всех тектонических публикациях господствовала гипотеза контракции (стресмобилизм), главная роль все еще принадлежала описательным (морфографическим) исследованиям. В это время было сделано много открытий, которые существенно повлияли на развитие мобилизма.

Так, было введено понятие о наиболее мобильных зонах земной коры, названных геосинклиналями; их возникновение в земной коре, равно как и дальнейшие структурные преобразования, связывались с действием механизма контракции.

На основе полевых наблюдений и лабораторных экспериментов было доказано, что наиболее распространенная в геосинклинальных областях структура—складка — появляется в результате бокового сжатия и является мерой сокращения поверхности Земли и, соответственно, уменьшения ее радиуса. Параллельно были высказаны мысли и о гравитационном происхождении некоторых складок в результате сползания масс пород со склонов поднятий. Выявленные ранее угловые несогласия были использованы для восстановления истории развития складчатости и на этой основе выделены разновозрастные складчатые зоны (гуронская, каледонская, герцинская, альпийская).

Как следствие открытия довольно многочисленных крупноамплитудных надвигов и покровных структур в различных районах, широкое признание и распространение получили теория шарьяжей и связанная с ней новая терминология. Были также выявлены горизонтальные сдвиги и установлены новые факты существования в земной коре структур горизонтального растяжения. А в зонах наиболее сильного сжатия открыты и описаны явления динамометаморфизма.

Основанная на большом фактическом материале была высказана идея о несимметричном строении горных цепей и дугообразной их форме в плане, что опять же было связано с горизонтальными сжатием и смещением земной коры. Широко использовался контракционистами для выявления тектонического строения материков и отдельных в их внутренних частях кряжей метод "географических гомологий", устанавливавший сходство в строении и развитии участков земной коры по сходству в их

очертаниях и ориентировке, а также восполнявший в какой-то мере недостаток геологических материалов.

Особую роль сыграли так называемые гипсографические (гипсометрические) кривые, с помощью которых были выявлены два главных уровня земной поверхности — континентальный и океанический, — отвечающие поверхностям двух основных слоев земной коры — сиаля и симы; это привело потом к утверждениям о "плавании" сиаля по симе.

В ряде геосинклиналей были обнаружены океанические осадочные фации и парагенетически связанные с ними эффузивы основного состава, которые потом будут названы офиолитами и будут считаться спутниками глубинных тектонических движений на материках.

Не менее важным явилось открытие (повторное) изостазии, согласно которой отдельные части земной коры, в зависимости от своей массы, погружены в подкоровый слой на различную глубину и находятся в равновесии друг с другом. Именно изостазия в дальнейшем будет положена в основу гипотезы дрейфа материков. Огромное влияние на развитие мобилизма оказало также рождение науки о землетрясениях — сейсмологии. На первых порах была выявлена генетическая связь землетрясений со складчатыми зонами сжатия, большими разломами и горизонтальными сдвигами. А позже эта наука скажет свое слово о слоистом строении Земли в целом и отдельных ее частей.

Наконец, в конце XIX в. впервые были получены данные о радиоактивности, на основе чего позже будет установлено, что распад радиоэлементов в горных породах окажется источником внутренней тепловой энергии Земли. Это существенно подорвет физические основы гипотезы контракции и вызовет всплеск новых (как мобилистских, так и фиксистских) гипотез, по-разному толкующих формирование структур в земной коре. К этому добавились еще открытия явлений намагниченности современных лав в направлении локального геомагнитного поля, которые потом тоже получат свое "мобилистское" развитие.

Второй подэтап морфогенетического этапа, охватывающий первую половину XX в., является преимущественно генетическим, с множеством попыток выявить механизмы и геодинамические причины образования различных тектонических структур. В это время были также получены новые фактические данные, укрепляющие позиции мобилизма.

Благодаря интенсивным геофизическим работам по выяснению внутреннего строения Земли были определены новые глубинные границы — Голицына, Мохоровичича и Конрада, которые разделили земную толщу на ряд оболочек, отличающихся разной скоростью прохождения сейсмических волн и, соответственно, разным составом и физическими свойствами. Под литосферой была обнаружена астеносфера и выявлен слой Гутенберга с пониженной скоростью сейсмических волн.

Предложенный Г.А. Гамбурцевым новый метод сейсмологии — глубинное сейсмическое зондирование (изучение волн от искусственных взрывов) — позволил более детально установить расслоенность земной коры как в складчатых, так и платформенных областях, тектоническая природа которой в ряде случаев будет доказана позже.

Важной вехой явились открытие глубокофокусных землетрясений и последовавшие за этим новые представления о глубинных надвиговых

(поддвиговых) движениях масс. Были получены также новые доказательства выделения теплоты в горных породах при распаде радиоактивных элементов, подкреплявшие идею о возможности глубинного пластического течения вещества по латерали. На основании изучения остаточной намагниченности горных пород появились первые палеомагнитные данные об изменениях положения экватора и полюсов в истории Земли. Несколько десятилетий спустя данные такого рода будут положены в основу мобилистской "тектоники литосферных плит".

Наметилось продвижение и в структурных исследованиях, составляющих фактическую основу мобилизма. Во многих странах Европы, Азии и Африки были откартированы тектонические покровы, надвиги и сдвиги с доказанной амплитудой горизонтального перемещения в десятки и первые сотни километров. Выделены разные типы шарьяжей (поверхностные и глубинные, расслоенные пластины, полуразрушенные скученные складки и т.д.) и их составные части (корни, тело, фронтальная зона, меланжи). Выявлено и экспериментально подкреплено разнообразие механизмов, действующих при покровообразовании. Установлены генетические связи между шарьяжами, чешуйчатыми надвигами и складками, между структурными дугами, сдвигами и надвигами, между тангенциальными и радиальными деформациями, обязанными своим возникновением тангенциальному сжатию. Намечены, наконец, разные типы структур горизонтального вращения (вихревых движений) в земной коре.

В связи с открытиями новых фактов, сделанными на протяжении всего морфогенетического этапа (до середины XX в.), было сформулировано свыше десятка гипотез с попытками объяснить глобальные и региональные механизмы тектонических движений, их причины и разнообразие морфологического структурного выражения (см. табл. 1).

Прилагаемая табл. 1 показывает, что рассмотренные выше гипотезы противоречивы, дают односторонние ответы на многие вопросы и вызывают "великие геологические споры". Неясными, спорными остаются проблемы — какие факторы в тектонических процессах считать ведущими, а какие второстепенными, внешние это силы или внутренние, глобальное сжатие или глобальное растяжение, их чередование в истории Земли или одновременное проявление в разных регионах, изменение объема Земли связано с охлаждением или с гравитационным уплотнением или разогревом, преобладающими в литосфере являются горизонтальные движения или вертикальные. Также разнообразны и предложенные механизмы структурных преобразований — это изостатическое течение масс или конвекционное, от повышения температуры или от физико-химических превращений вещества в недрах Земли, в динамике литосферы доминируют поднятия или опускания, глубинное латеральное течение или поверхностное скольжение, западный дрейф материков или полюсобежно-полярный.

Противоречивы в гипотезах и предложенные решения многих структурных вопросов — преобладает ли в тектонических процессах складкообразование или разрывообразование, надвиги зарождаются из складок или, наоборот, складчатость возникает в связи с надвигами, от давления снизу вверх или сверху вниз, по своей природе это надвиги или поддвиги? Спорными являются даже такие вопросы — асимметрия отдельных

горных поясов односторонняя или двухсторонняя, структурные дуги действительно дугообразны или состоят из коротких прямолинейных отрезков? Остается нередко открытым и такой вопрос — является ли субстрат земной коры твердым или он расплавлен.

При таком разнообразии взглядов и мнений нельзя отдать предпочтение ни одной из рассмотренных гипотез, и здесь следует согласиться с высказываниями Э. Ога, который не без оснований заметил, что "почти все теории содержат в себе зерно истины, и, несомненно, ни одна из них не дает полного истолкования всех известных нам проявлений диастрофизма" [1938. С. 457].

Вместе с тем из той же таблицы следует, что во всех гипотезах морфогенетического этапа присутствуют элементы как фиксистских, так и мобилистских построений, хотя в литературе эти гипотезы жестко разделены и противопоставлены одна другой именно как противоборствующие и взаимоисключающие направления — "фиксизм" и "мобилизм". Так, существенно мобилистские концепции (гипотеза дрейфа континентов, ротационная, радиоактивных циклов), исходящие из приоритета горизонтальных движений, не могут обойтись без признания важной роли вертикальных движений — либо в начале процесса (приливные волны вверх—вниз), либо в конце его (мощное горообразование). Равным образом существенно фиксистские гипотезы (ундационная, осцилляционная, радиомиграционная, астенолитная) перестают "работать" без допущения горизонтальных перемещений где-то в середине процесса (подток кислого материала из-под прогибов в поднятия), либо в конце (шарьяжи, складчатость и т.д.), что игнорировать никак нельзя, хотя и такие случаи имели место.

Трансформации вертикальных движений в горизонтальные и, наоборот, горизонтальных в вертикальные, таким образом, прослеживаются буквально во всех предложенных геодинамических механизмах. И кажутся странными или, по меньшей мере, рискованными утверждения о том, что ведущим (первичным) движениям согласно фиксистской или мобилистской модели, не могли предшествовать движения, им альтернативные, зарождающиеся где-то на еще больших глубинах. Наилучшим подтверждением этого являются многими принятые соображения о циклонических подкоровых течениях глубинного материала — в предлагаемых здесь моделях механизмов с замкнутыми циклами мы видим неоднократные переходы одних видов движений в другие, радиальных в тангенциальные и, наоборот, и нельзя сказать, какие из них главные, а какие второстепенные.

По-видимому, "великий геологический спор" между фиксизмом и мобилизмом применительно ко всему объему Земли в таком контексте теряет смысл. И если уж о чем спорить, то,скорее, не о направлениях тектонических движений (хотя в каждом конкретном случае это тоже важно), а о действующих силах, вызывающих эти движения, какие из них внешние, внутренние, тангенциальные, радиальные, какие глобальные, региональные, местные, каковы их природа, источники, масштабы и конкретные структурные результаты. Это огромная неизведанная область, обрисованная и навеянная исследованиями и обобщениями морфогенетического этапа, на котором все основывалось преимущественно на догадках и предположениях. Многие из них на протяжении всего этапа не были под-

Таблица 1

Сопоставление геотектонических гипотез морфогенетического этапа

Гипотеза	Главные действующие силы	Механизмы	Основные структурные результаты	Радиальный (–) и тангенциальный (+) эффекты
1	2	3	4	5
Контракции	Охлаждение, уплотнение и сжатие внутренних частей Земли; уменьшение ее радиуса	Оседание и сжатие коры, сокращение ее поверхности	Геосинклинали, складчатость, шарьяжи, сдвиги, рифты, континентальные ступени	– + +
Изостазии	Неравномерное давление коровых глыб, то меньшее — от эрозии, то большее — от седиментации	Движение коры вверх-вниз, подток глубинного материала к местам разгрузки, вторичное боковое скольжение	Поднятия и депрессии, параллельные асимметричные складки по окраинам "плавающих" глыб	– – +
Скольжения	Сила тяжести	Соскальзывание толщ с приподнятых и наклоненных под разными углами глыб	Фронтальные складчатые поднятия, надвиги и тыловые впадины	– + +
Дрейфа континентов	Приливы от действия на Землю Солца и Луны; центробежные и полюсобежные силы; толчки в связи с изменениями скорости вращения Земли	Плавание и вращение глыб сиаля по симе, смещение на запад и к экватору	Отторгнутые друг от друга глыбы, складчатость и горные пояса по краям дрейфующих материковых глыб	+ + +
Ротационная	То же	Срывы и скольжение внешних оболочек по внутренним	То же	+ + +
Подкоровых течений	Тепловая конвекция, магматические вихри	Течение глубинного материала по системам замкнутых кругов (в разрезе), засасывание фундамента и сжатие коры, подъем фундамента и расширение коры, перемещение коры, перемещение коры "на спине" глубинного потока	Складчатость, шарьяжи, зоны растяжения и разломы, горные сооружения, смещенные по латерали глыбы	– + +

Радиоактивных циклов	Радиоактивный распад, разогрев базальтового слоя. Приливы от действия на Землю Солнца и Луны	Горизонтальное перемещение коры, охлаждение обнажившегося базальтового слоя и его сжатие	Горные пояса, складчатость	– + +
Расширения Земли	Расширение Земли и растяжение ее внешней облочки; увеличение радиуса Земли	Расширение коры под океанами, удаление материков друг от друга	Крупные первичные складки, вторичные складки сжатия и шарьяжи	+ + –
Ундационная	Гравитационная дифференциация вещества на границе сиаля и симы	Вертикальные движения сиаля (вверх) и симы (вниз), образование ундаций, движение материала от поднятий к прогибам	Поверхностные и глубинные гравитационные складки, тектонические перекрытия вторичного сжатия	– – +
Радиомиграционная	Глубинная дифференциация вещества, отток радиоэлементов в верхние оболочки. Попеременные разогрев—расширение, охлаждение—сжатие	Неравномерное растрескивание коры, колебательные вертикальные движения. Отток кислого материала из-под прогибов в поднятия	Мигрирующие прогибы и поднятия, складчатость как результат вертикальных движений	– + –
Осцилляционная	Изменяющиеся гравитационные силы Солнца, нарушения равновесия масс в недрах Земли, перемещения жидкой магмы	Вертикальные движения, формирующие геотуморы и геодепрессии. Осцилляция земной коры. Соскальзывание масс в сторону геодепрессий	Геотуморы и геодепрессии, вторичные складки, надвиги, шарьяжи	– – +
Астенолитная	Радиоактивный распад, разогрев материала глубинных зон, образование астенолитов	Движение астенолитов вверх, растекание под их давлением пластичных масс в основании коры в стороны горизонтально и по наклонной плоскости вверх	Дугообразные горные пояса с их структурными особенностями, обрамляющие впадины над астенолитами	– – +
Пульсационная	Всеобщее чередование сжатия и растяжения подкоровых зон Земли, обусловленное пульсациями подкорового объема планеты	Растяжение и радиальные движения; сжатие и тангенциальные движения	Геосинклинали, складконадвиги, горные пояса, разломы	– + – +

креплены достаточными фактическими данными и так и остались на том же непознанном уровне, как было и до этого.

По этому поводу Б. Гутенберг [Внутреннее..., 1949. С. 209] писал: "Суммируя все теории, касающиеся больших движений континентов, мы видим,что они пытаются объяснить изменения больших участков земной коры так, чтобы эти изменения соответствовали палеогеографическим картам и выводам геофизиков в отношении структурных элементов земной коры. Главный их недостаток... – они не дали нам полного представления о силах, которые могли бы вызвать такие изменения".

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

СОВРЕМЕННЫЙ ЭТАП (ВТОРАЯ ПОЛОВИНА XX в.)

К началу современного этапа мобилистские представления, несмотря на достигнутые успехи по разным направлениям планетарной геологии, массового признания все же не получили и вновь были подвергнуты жесткой критике. Как уже отмечалось выше, в Америке после выхода в 1928 г. сборника статей с обсуждением гипотезы А. Вегенера последняя на несколько десятилетий была предана почти полному забвению. В СССР возможность проявления в земной коре крупных горизонтальных перемещений вообще стала оспариваться, а складчатость объясняться вертикальными колебательными движениями. В Известиях АН СССР (серия геофизическая (1951 г.)) приводились результаты обсуждения видными геологами, геофизиками, геохимиками и астрономами проблемы тектонических движений. По согласованному мнению многих участников дискуссии, было принято, что "основными и наиболее универсальными тектоническими движениями земной коры являются вертикальные (колебательные) ее движения" и что "большие горизонтальные перемещения материков в свете идей А. Вегенера заведомо не существовали" [Косыгин, 1983. С. 9].

Вместе с тем некоторые авторы (их было очень немного) высказывались в защиту идей мобилизма. Так, Г.Д. Ажгирей [1952] в критической статье по поводу движений и складчатости писал: "...пока не разрешен один из кардинальных вопросов геотектоники — происхождение складчатости, утверждение, что практически все деформации земной коры связаны с вертикально ориентированными тектоническими силами и являются проявлениями колебательных движений..., остается голой декларацией". И далее: "Нам кажется правильным на современном этапе знаний исходить из возможности существования разных генетических типов тектонических сил. Поэтому нет достаточных оснований сводить главные тектонические движения к колебательным" (с. 144).

Аргументируя сказанное, Г.Д. Ажгирей акцентировал внимание на проявлении в земной коре и сильного бокового тангенциального сжатия (образование кливажа) и растягивающих напряжений (образование трещин). В это же время Э. Краус (1951 г.) привел обстоятельную аргументацию в пользу тектонического единства Западной Европы и Северной Америки, которые, как считал и А. Вегенер, в середине палеозоя составляли единый материк Лавразию. Были опубликованы и некоторые другие работы мобилистского толка, на которые мало кто обращал внимание.

Однако положение резко изменилось уже в первые десятилетия рассматриваемого этапа. Решающим толчком к новому взлету мобилистских разработок в геотектонике послужили новые исследования, с применением нетрадиционных методик, в областях структурной геологии, геофизики, неотектоники и геодезии; огромную роль сыграли также исследования океанов и космического пространства.

СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА КОНТИНЕНТАХ

НОВЕЙШИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ И ИХ ОЦЕНКА

Наиболее убедительные факты горизонтальных подвижек в земной коре и их количественном превосходстве (по амплитудам) над вертикальными подвижками в местах их одновременного проявления получены для современной эпохи и новейшего тектонического этапа.

Уже в начале XX в. методом повторных измерений в Калифорнии, в зоне разлома Сан-Андреас, выявлено смещение триангуляционных пунктов за период 1851—1907 гг. на 3 м по горизонтали и от 0 до 0,3 м по вертикали (B. Meade, 1963 г.; F. Marcse, 1965 г.). В районе Кванто (Япония) повторное измерение триангуляционной и нивелирной сети после нескольких землетрясений 1923—1930 гг. обнаружило горизонтальную подвижку до 4 м при вертикальной от 1,9 м (поднятие) до 0,7 м (опускание) (K. Kasahara, 1964 г.). По данным повторных триангуляций 1883—1958 гг. на Японских островах, приведенных Э. Иноуэ, в 1960 г. установлены явления сжатия земной коры (Центральный Хонсю) и ее растяжения (внутреннее море Сетоути). Скорость сжатия достигала 5 см/год при ширине всей деформационной зоны в 260 км. Из сопоставления повторных триангуляций отчетливо обрисовался поперечный сдвиг через о-в Хонсю с относительным смещением точек наблюдения за 50—60 лет в 4—4,5 м со скоростью около 8 см/год [Кропоткин, Шахварстова, 1965].

В 1949 г. Н.И. Николаев привел данные о горизонтальных перемещениях триангуляционных пунктов в Баварии, скорость которых составила 18 мм/год; перемещения произошли в связи с перекосом крупных глыб на юге Баварии. В районе Будапешта выявлены горизонтальные смещения, превосходящие вертикальные в 10 раз (L. Bendefy, 1964 г.). В Югославии современные горизонтальные движения за период с 1959 по 1963 г. составили с среднем 4—6 см, максимальные до 10—15 см при скорости 30—40 мм/год [Проблемы..., 1977].

Кайнозойские тектонические движения по системе разломов Сан-Андреас в Калифорнии с анализом данных более ста авторов рассмотрел А.А. Никонов [1975]. Им приведены данные четырех палеогеографических карт, одной олигоценовой и трех миоценовых (W. Addicott, 1968 г.), из которых следует вывод о нарастающем в ретроспективе правостороннем сдвигании по разлому на величину 130 км — с позднего миоцена, 200 км — со среднего миоцена, 270 км — с раннего миоцена и около 320 км — с олигоцена. Отмечено, что вертикальные движения меньше сдвиговых примерно на порядок. По другим авторам (W. Dickinson, D. Cowan, K. Scweickert, 1972 г.), средняя скорость сдвигания за 21,5 млн лет равна 1,3—1,4 см/год, за период от 20 до 15 млн лет назад она составляла

менее 0,5 см/год, за последние 15—12,5 млн лет — 1,25—2,0 см/год, за последние 7,5 млн лет — около 3 см/год, и с 5 млн лет назад — не менее 4 см/год.

Обстоятельная сводка данных о горизонтальных движениях по разломам при современных катастрофических землетрясениях в Монголии, Калифорнии и Неваде (Гоби-Алтайское, 4/XII 1957 г.; Сан-Францисское, 18/IV 1906 г.); Арвин-Техачанское, 21/VII 1952 г.; землетрясение 26/III 1872 г. в долине Оуэнс; 2/X 1915 г. в долине Плезит; 20/XII 1932 г. в районе гор Сидар; 16/XII 1954 г. в районе долины Дикси и др.) выполнена А.В. Лукьяновым [1963]. Были отмечены следующие закономерности: 1) относительное перемещение крыльев разлома на большом протяжении имеет одно и то же направление; 2) в перемещениях по разломам видную роль играют горизонтальные составляющие, наиболее постоянные по величине и по направлению; в случае сдвигов они по величине превышают вертикальные составляющие во много раз, в случае надвигов — в несколько раз, в случае сбросов и раздвигов горизонтальные и вертикальные перемещения примерно равны; 3) при землетрясениях на протяжении одного и того же разлома одновременно возникают сдвиги, надвиги, раздвиги, причем в строго определенных местах с той или иной ориентировкой относительно вектора горизонтального перемещения крыльев. По А.В. Лукьянову, многие из образующихся при землетрясениях форм (замкнутые впадины, складки с вертикальными шарнирами, трещины с эшелонированным расположением и др.) должны сохраняться в геологической летописи — они могут быть индикаторами горизонтальных перемещений и в отдаленные геологические эпохи.

Сводка по молодым сдвигам обрамления Тихого океана выполнена А.И. Кожуриным и В.Г. Трифоновым [1982]. Максимальные амплитуды новейших горизонтальных перемещений по геологическим данным ими отмечены для Альпийского разлома Новой Зеландии (730 м, скорость 1,4—2,5 см/год), для Срединной тектонической линии Японии (1500—2000 м), разлома Сан-Андреас в Калифорнии (600—700 м, скорость 2—3 см/год). Сделан вывод о том, что разломы сдвигового типа не распространяются глубже гранитно-метаморфического слоя; в более глубоких, меланократовых слоях они сменяются структурами иного типа — это или структуры сжатия с наклонными сейсмофокальными зонами или, реже, системы рифтово-трансформного типа.

Целый ряд молодых сдвигов и надвигов отмечен и для других азиатских регионов [Molnar, Tapponnier, 1975]. Скорости сдвигания по многим разломам определены: за поздний голоцен от 5—7 до 20 мм/год, за позднечетвертичное время от 1—2 до 10—15 мм/год [Трифонов, 1987]. По поверхности Вахшского надвига (Таджикистан), как показали триангуляции 1949—1970 гг., хребет Петра Первого смещается со скоростью 0,9—1,7 см/год, до 2 см/год (Ю.Д. Буланже, А.К. Певнев, 1978 г.). По сейсмическим данным, приведенным К.С. Вальдия [Тектоника Азии, 1984], Индийская плита поддвигается под кору Гималаев вдоль пологой плоскости, падающей на север под углом 10—20°, со скоростью 0,41 см/год.

Скоростям сдвигания и надвигания оказались близки скорости раздвигания рифтовых зон. В Исландии, например, за голоцен она составила 1—

2 см/год (по С. Торарнсону [Система..., 1970]). В Африканской рифтовой зоне за последние 10—12 млн лет скорость раздвигания была определена по изохронным магнитным аномалиям в 2 см/год [Казьмин, 1974], а за 3—5 млн лет — в 1,6 см/год (Л.П. Зоненшайн, А.С. Монин, О.Г. Сорохтин, 1981 г.). Скорость расширения депрессии Калифорнийского залива в связи со сдвиговыми перемещениями по разлому Сан-Андреас за 4,5 млн лет оказалась равной 5,6 см/год (Т. Атуотер, П. Молнар, 1973 г.), а долина Дикси-Валли в провинции Бассейнов и Хребтов за последние 10—15 млн лет в результате землетрясений расширилась почти на 3 км (по Дж. А. Томпсону [Система..., 1970]).

В комментариях к книге А. Вегенера [1984] П.Н. Кропоткин отмечает, что за последние 10 млн лет скорость раздвигания литосферных плит от оси спрединга в северной части Атлантического океана составила 1,4 см/год, в южной части 1,5—2,2 см/год, в Индийском океане 1,5—3 см/год, в Тихом океане 2—6 см/год, а "средняя скорость дрейфа и взаимных смещений блоков как в настоящее время, так и за последние 10 млн лет лежат в пределах 0,5—10 см/год". В другой работе [Кропоткин, 1980] он пишет, что геодезия принесла несомненные доказательства современных горизонтальных перемещений блоков континентальной коры со скоростью 0,5—8 см/год и что эта скорость согласуется со средней скоростью раздвижения материков. По его мнению, вертикальные движения отличаются от горизонтальных меньшей скоростью и обратимостью.

Наконец, В.Е. Хаин [1981], комментируя точные геодезические измерения с помощью лазерных приборов в зонах рифтов на севере Исландии и в Афаре (A. Bjornsson et al., 1970 г.; A. Tarantola et al., 1979 г.), подчеркнул, что они, по существу, впервые подтвердили реальность расширения рифтовых зон.

Приведенный краткий обзор данных о фактах новейших горизонтальных перемещений земной коры в ее разных частях с несомненностью показал: 1) достовреность этих перемещений, подтвержденных точными измерениями их скоростей и амплитуд; 2) их длительность и неравномерный характер проявления, с усилениями и ослаблениями в те или иные промежутки времени; 3) согласованность сдвиговых, надвиговых и раздвиговых движений, получившая выражение в близких скоростях при разных геодинамических обстановках (сжатия, скола, растяжения).

ПОКРОВНО-НАДВИГОВЫЕ СТРУКТУРЫ

Покровно-надвиговые структуры с признаками больших горизонтальных перемещений обнаруживаются на всех континентах и в самых различных местах.

В Европе главное внимание уделяется структурам Альпийско-Средиземноморского складчатого пояса. Их изучают П. Фалло (1955 г.), Р. Трюмпи (1965 г.), А. Тольман (1963, 1965 гг.). А.В. Пейве (1965, 1967 гг.), М. Руттен (1972 г.), Д. Андрусов (1966 г.), М. Гвиннер (1971 г.), И.И. Белостоцкий (1978 г.) и другие, показавшие масштабность покровообразования и его механизмы.

По данным П. Фалло, Северные Известняковые Альпы переместились

в северном направлении более чем на 250 км. Амплитуда верхних австрийских шарьяжей была определена А. Тольманом в 180 км. Хочский покров в Западных Карпатах, по Д. Андрусову, имеет амплитуду около 100 км при скорости горизонтального движения 6—12 мм/год. Установлена также глубина шарьяжей, в Альпах и Карпатах она составляет 10—11 км, в Северных Динаридах 10—12 км, для Нижнепеннинских — 12—15 км [Белостоцкий, 1978].

После 7-летних работ в Албании, Болгарии, Венгрии, Румынии, Чехословакии и Югославии, А.В. Пейве [1967] выделил два типа альпийских шарьяжей: 1) шарьяжи в осадочной оболочке, дисгармонично смятой относительно фундамента; 2) шарьяжи в гранитно-метоморфической оболочке, также дисгармонично смятой и сорванной со своего основания. Первый тип характерен для внешней зоны Альпийского пояса (северный край Альп и Карпатская дуга), сложенной меловым и палеогеновым флишем: здесь установлена серия из нескольких надвинутых друг на друга пластин, с внешней стороны ограниченных поверхностью главного краевого шарьяжа с амплитудой 40—50 км. Второй тип шарьяжей характерен для средней части Тетиса; широко распространенные здесь древние метаморфические породы так называемых срединных массивов также находятся в аллохтонном залегании; амплитуда главного шарьяжа, отделяющего в Балкано-Карпатской области внешнюю зону от зоны "срединных массивов", определена А.В. Пейве минимум в 150 км. Указанные структуры он считает хорошей иллюстрацией "разрывно-глыбового течения горных масс", широко распространенного, по его мнению, в верхней части земной коры.

Ю. Шубер и А. Фор-Мюре (1973 г.) показали, что хребет Эр-Риф (западная часть Марокко) вместе с Бетской кордильерой Испании образуют сильно сжатую дугу, замыкающую Западное Средиземноморье. Внутренние зоны этой дуги представляются мощными шарьяжными пластинами, переместившимися к выпуклой стороне дуги,с востока на запад. Покровы отмечены и во внешних тектонических зонах. В Предрифском покрове, например, латеральное сокращение цоколя достигает 30 км.

По ряду районов Альп для доказательства крупных тектонических покровов производились разного рода палинспастические построения, восстанавливающие допокровное расположение скученных фациальных зон, седиментационных бассейнов и разделяющих их поднятий. Для этой цели либо строились серии профилей, либо составлялись площадные схемы [Ситтер, 1960], (Р. Трюмпи, 1965 г.; А. Тольман, 1966 г.).

Постановка и изучение генетических вопросов, главным образом механики движения шарьяжей, связывается с именами М.К. Хабберта и В.В. Раби (1959 г.). Эти исследователи полагают, что высокое всестороннее давление флюидов в земной коре (в основном поровых вод) может поддерживать горизонтальную тектоническую пластину в полувзвешенном состоянии, что делает возможным ее латеральное перемещение при небольшом боковом давлении, не превышающем пределы прочности слагающих ее пород, а в случае гравитационного скольжения — при небольших (1—3°) углах наклона; реальность таких давлений флюидов в недрах земной коры доказана прямыми их измерениями в буровых скважинах.

Другой исследователь — Р. Келе (1970 г.) связал движение покровов с пониженной вязкостью подстилающих пород. Его расчеты показали, что если вязкость подстилающих пород на один-два порядка ниже вязкости пород покрова, в последних происходит прямолинейное течение материала, которое со временем и приводит к перемещениям шарьяжной пластины, такую роль могут выполнять пачки аргиллитов, мергелей, эвапоритов между более прочными пластинами.

Близкие выводы были получены Г. Лаубшером, который в 1976 г. отметил, что в основе механизма образования шарьяжей лежит "эффект слоистости" и что более прочные пластины скользят по некомпетентным породам. Под влиянием тыловых сколовых напряжений внутри пластины образуется "клин срыва" с восходящей от тыла к фронту плоскостью, а затем и тектонический покров, несколько изогнутый на концах косой плоскости. Он является главным элементом шарьяжного сооружения, а связанные с ним лежачие складки выполняют как бы роль вращающихся валиков.

Общий кинематический механизм покровообразования на примере Альп приводится И.И. Белостоцким [1978]. Процесс развивается в такой последовательности: 1) срыв толщи по горизонту некомпетентных пород; 2) сочетание такого срыва с надвиговым перемещением по наклонным сколовым поверхностям, выводящим подошву шарьяжа на более высокий стратиграфический уровень; 3) движение материала в лежачих складках по принципу "накатывания гусеницы трактора"; 4) сочетание механизма накатывания с нагнетанием материала в ядра складок; 5) преобразование пакета наклонных взбросо-надвиговых пластин в горизонтальные или "ныряющие" структуры перекрытия. Общая причина покровообразования, по И.И. Болостоцкому, — горизонтальные сколовые напряжения в тектоносфере в связи с общей геодинамической обстановкой развития подвижных поясов.

Несколько ранее М. Гвиннер в сводке по Альпам 1971 г. показал независимость тектонических процессов образования шарьяжей и главных орогенических поднятий региона. По его мнению, шарьяжи и геосинклинальная складчатость в Альпах сформировались задолго до того, как Альпы превратились в высокогорную страну.

Высказывались и другие соображения о причинах образования шарьяжей. Л.У. де Ситтер [1960], Ж. Гогель (1969 г.) и некоторые другие авторы придерживались гравитационного их происхождения. Р. Трюмпи (1965 г.), Ю. Шубер и А. Фор-Мюре (1973 г.) связали генезис шарьяжей в осадочной оболочке с поддвиганием под нее основания осадочной области в целом. Р. Трюмпи, в частности, указал, что связь надвиговой чешуи Альп с автохтоном будет понятнее, если считать, что главным движением альпийской орогении является поддвиг с севера [Ажгирей, 1977].

На территории России и сопредельных территориях покровные структуры были выявлены, обоснованы и детально охарактеризованы во многих районах как в складчатых областях, так и на платформах.

В альпийском складчатом поясе (Карпаты, Кавказ) покровы изучали М.Э. Беэр, М.А. Бызова (1965 г.), В.Н. Утробин (1973 г.), С.С. Круглов (1977 г.), А.Л. Книппер (1966 г.), И.И. Греков и С.М. Кропачев (1974 г.),

А.А. Белов и В.Д. Омельченко (1976 г.), П.Д. и И.П. Гамкрелидзе (1977 г.), Е.В. Хаин (1979 г.), Ч.Б. Борукаев (1970 г.) и др.

По Карпатам и Предкарпатскому прогибу обстоятельная сводка данных была выполнена С.С. Кругловым [Разломы..., 1977б], который отметил, что основными структурными элементами здесь (и возможно в фундаменте Закарпатского прогиба) являются надвиги и шарьяжи. Им охарактеризовано десять достоверных шарьяжей с амплитудой смещения от 10—20 до 70 км, что в сумме составляет около 200 км. Определены основные временные интервалы перекрытий (от даллебского до сарматского).

После открытия в 1970 г. в "нижнекаменноугольной" толще Передового хребта Северного Кавказа граптолитов силура стало ясно, что этот хребет имеет сложное покровно-складчатое строение. Е.В. Хаин [1970] по итогам предшествующих работ выделил здесь четыре покрова (снизу): кремнистых пород силура, офиолитов, плагиогранитов и кристаллических сланцев. С помощью палинспастических профилей автор обрисовал палеозойскую историю района, отнеся начальные моменты тектонического скучивания к девону и максимальные — к среднему—позднему карбону. До этого первые палинспастические построения подобного рода на Кавказе (и в России) были выполнены в 1970 г. Ч.Б. Борукаевым на примере юго-восточной части Новороссийского синклинория.

Покровные структуры на южном склоне Кавказа отмечал в 1973 г. В.Е. Хаин. Величину горизонтального перемещения на участке Туапсе—Шемаха П.Д. и И.П. Гамкрелидзе [1977] определили в 50—60 км. На юго-восточном Кавказе бурением установлена пластина верхнемеловых отложений, залегающая на отложениях кайнозоя; протяженность пластины более 100 км, толщина 3—4 км, амплитуда горизонтального перемещения 30—35 км [Григорьянц и др., 1982]. Значительные надвиги и покровы были выявлены А.Л. Книппером [1966] и на Малом Кавказе — на северо-восточном побережье озера Севан.

Обобщенное описание покровных структур Карпат, Кавказа и Балканид недавно было сделано И.П. Гамкрелидзе [Тектонические..., 1989]. Среди изученных в этом поясе покровов им отмечены: 1) сорванные покровы основания (Внутренние Западные Карпаты, Центральные Восточные Карпаты, участки Северных Апусеид, Родопская зона, Главный хребет Большого Кавказа, фундамент Паннонского и Чешского массивов); 2) сорванные покровы чехла (внешние зоны Западных и Восточных Карпат, Балканиды, южный склон Большого Кавказа), связанные с герцинскими, среднемеловыми и позднеальпийскими тектоническими фазами; 3) офиолитовые покровы (меловые — Трансильванские, Малого Кавказа; палеозойские — Передового хребта Северного Кавказа и Дзирульского массива). По механизму образования все сорванные покровы признаны компрессионными, выжатыми при глубинном тангенциальном сжатии, обусловленном поддвиганием автохтона под аллохтон.

На Урале покровные структуры в 60-х и начале 70-х годов изучались М.А. Камалетдиновым с соавторами, К.П. Плюсниным, С.В. Руженцевым, А.А. Савельевым, а позже и другими тектонистами. М.А. Камалетдинов в 1962 г. писал о клиппенах на Среднем Урале, в 1965 г. он обосновал покровное налегание зилаирской свиты (верхний девон—нижний

карбон) на известняках карбона, а в 1970 г. — складчатые покровы западного склона Южного Урала [Камалетдинов и др., 1970; Камалетдинов, 1974]. Были охарактеризованы Сакмарский тектонический покров длиной 150 км при ширине 20—27 км, Кракинский покров и останцы более мелких — Зилаирского, Малосуреньского, Бетринского и Тирлянского покровов. Амплитуда перекрытий определена от 20—30 до 50 км, а с учетом сближения фациальных зон и интенсивного смятия шарьяжных пластин — более 100 км. Близкие амплитуды были указаны и С.В. Руженцевым [1971], который в южной части Сакмарской зоны выделил три серии пластин и более точно определил их возраст — две нижние из них образовались в середине эйфеля, верхняя — на рубеже эйфеля и живета, в середине же карбона вся масса эвгеосинклинальных отложений Сакмарской зоны была надвинута на запад, в пределы Уральской миогеосинклинали.

К.П. Плюснин [1969] охарактеризовал шарьяжи западных склонов Северного и Среднего Урала и определил их возраст и структурное положение. В более поздней работе [Разломы..., 1977б. С. 12] К.П. Плюснин писал: "Многочисленные шарьяжные поверхности, сходясь и разъединяясь, прослеживаются непрерывно на север вплоть до Северного Ледовитого океана и на юг до Прикаспийской впадины, то есть образуют единую систему дислокаций длиной около 2500 км. На всем протяжении они сопровождаются зоной сплошной шарьяжной складчатости, образующей устойчивую западную вергентность". "Образование покровных структур западного склона Урала более логично объясняется поддвигом под него кристаллического фундамента Восточно-Европейской платформы". И далее: "Шарьяжи, имеющие выход на поверхность на западном склоне складчатого Урала, на глубине уходят под его восточный склон и в этом смысле являются общеуральскими. Амплитуды смещений с запада на восток нижних, более близких к мантии слоев земной коры... измеряются, вероятно, сотнями километров" (с. 13).

На возможность действия механизма поддвигания континентальных блоков Восточно-Европейской платформы под уральскую эвгеосинклиналь указывал С.В. Руженцев [1976], считая, что "так называемые краевые офиолитовые аллохтоны" (массивы Войкарский, Кракинский, Хабарнинский и Кемпирсайский), образовавшиеся в среднем девоне — среднем карбоне, пассивно наволакивались на платформу. Это подтвердили также А.А. Савельев и С.Г. Самыгин [1979].

В Казахстане к 60-м годам достоверные горизонтальные смещения большой амплитуды по надвигам не были известны. В 1956—1958 гг. структурным изучением девоно-карбоновой Успенской зоны Центрального Казахстана [Суворов, 1961] был выявлен в ее пределах Жаксытагалинский надвиговый пояс, перекрывший собственно Успенский прогиб на 20 км. Было установлено также, что восточная часть Успенской зоны пересекается почти под прямым углом разломами Актасской зоны, которые определились как правые горизонтальные сдвиги с амплитудой, близкой к амплитуде надвигового перекрытия, и того же позднепалеозойского возраста. Наметилось, такими образом, динамическое единство двух этих зон, в котором горизонтально-сдвиговое перемещение трансформи-

руется в покровно-надвиговое. Эта трансформа была названа Успенско-Актасской динамопарой разломов.

В 1962 г. по южной окраине Карагандинского бассейна автор этой книги совместно с С.Г. Самыгиным наблюдал надвиги восток-северо-восточного направления, переходящие вдоль р. Матак в тектонический покров амплитудой до 20 км; возраст этого покрова был определен как верхнедевонский [Суворов, Самыгин, 1963]. Позже тектоническое перекрытие в южной части Карагандинского бассейна подтвердилось бурением, а детальное изучение состава и структуры ряда девонских фациальных зон Спасской зоны обнаружило их сближенное расположение в районе отмеченного покрова и в других местах на 30—40 км, тем большее, чем древнее оказывались фации; это позволило сделать вывод о длительном формировании покровных структур [Суворов, 1968].

В 70-е и 80-е годы появилось много новых данных о наиболее ранних, доскладчатых тектонических покровах на территории Восточного Казахстана (В.Ф. Беспалов, 1976, 1980 гг.; Е.А. Гредюшко, И.А. Ротараш, С.Г. Самыгин, 1978 г.; Н.В. Полянский, Н.Л. Добрецов и др., 1979 г.). Одним из них является Карбогинский покров в хребте Тарбагатай [Самыгин, 1982], сложенный яшмо-спилит-диабазовыми породами ордовика и перекрывший на многие десятки километров миогеосинклинальный Сарсазанский прогиб.

Данные о покровных структурах Средней Азии, открытых в 60-х и 70-х годах, содержатся в работах В.В. Галицкого [1967] (хр. Каратау), Г.С. Поршнякова (1962 г., Южный Тянь-Шань), В.С. Буртмана [1968] (Южный Тянь-Шань, Кызылкумы), Г.И. Макарычева (1973 г., Южный Тянь-Шань), М.Г. Леонова [1979] (Зеравшано-Гиссарская область), И.Е. Губина (1940—1960 гг., Памиро-Алай), С.В. Руженцева [1965] (Памир) и многих других. Полученные данные о направлениях горизонтальных движений, о возрасте шарьяжей и их амплитудах оказались довольно разнообразными и в некоторых случаях противоречивыми, но большинство авторов считают, что горизонтальные перемещения в перечисленных районах, безусловно, крупные и по амплитудам колеблются от десятков до сотни километров.

В Северном Тянь-Шане В.В. Галицкий [1967] определил амплитуду шарьяжей Каратау в пределах 21—31 км. В Южном Тянь-Шане В.С. Буртман [1968] выявил более широкое развитие палеозойских покровных структур, распространив их на Кызылкумы, и показал, что они складчато деформированы на анти- и синформы. Позже, в ряде работ 1972—1976 гг., он выделил в развитии шарьяжей три этапа, впоследствии подтвержденные С.А. Захаровым и Г.С. Поршняковым [Тектоника..., 1984]: первый — формирование тектонических покровов и лежачих складок, второй — формирование анти- и синформ, третий — формирование горизонтальных складок и флексур. Им же [Буртман, 1973] была подробно разработана геология и механика шарьяжей. В этих разработках он подчеркнул решающее значение в формировании покровов характера и реологических свойств "тектонической постели", по которой происходит перемещение пластин. Ряд авторов — Ш.Ш. Сабдюшев и Р.Р. Успанов, В.С. Буртман и В.Л. Клишевич, а также Г.И. Макарычев и С.А. Куренков [1974] отметили роль гипербазитов и серпентинитового

меланжа в становлении покровов Южного Тянь-Шаня, а М.Г. Леонов [1979] показал значение зеленосланцевого метаморфизма при формировании подошвенных частей аллохтонных пластин.

В области "Памиро-Алайского сближения" И.Е. Губин еще в 40-х годах установил "поздненеогеновую" Вахшскую надвиговую зону с амплитудой горизонтального смещения от 8—9 до 20 км, подтвержденную затем рядом исследователей (С.К. Овчинников, В.Н. Иванов и др.). В 1952—1954 гг. здесь, на южных склонах Гиссарского хребта и смежных частях Таджикской депрессии, мною была намечена четкая фациальная зональность широтного направления в отложениях нижнего мела, верхнего мела и палеогена. Выяснилось, что фациальные зоны на востоке перекрыты поверхностями двух надвигов — Вахшского и Дарваз-Каракульского — с более значительной амплитудой, чем предполагалось раньше. По перекрытию нижнемеловых фаций Вахшским надвигом она была определена в 100 км, по верхнемеловым — 70 км, по палеогеновым 50—55 км. Увеличение амплитуды от молодых пород к древним позволило автору сделать вывод, что надвиги в области Памиро-Алайского сближения не кайнозойские, как предполагалось, а мезозойско-кайнозойские, длительного развития (по А.И. Суворову [Разломы..., 1963]). В другой работе [Суворов, 1968] было произведено сопоставление Памиро-Алая и Западных Карпат с целью выявления диагностических признаков крупноаплитудных надвиговых перемещений. В качестве таковых были указаны: 1) наличие системы дугообразных в плане тектонических и орогенических зон; 2) дисгармоничное пространственное расположение первичных фациальных зон, с элементами значительных перестановок вкрест простирания и скачкообразного сближения по надвигам; 3) закономерная возрастная миграция (перекатывание) конседиментационных структур в одном направлении на многие десятки километров; 4) региональное площадное развитие складчато-чешуйчатых структур, наклоненных или опрокинутых в одну сторону; 5) сопряженность дугообразных надвигов под прямыми или тупыми углами с крупными сдвигами, амплитуда которых значительна, а вектор сдигового смещения отмечает вектор надвигания.

На Памире покровно-складчатые структуры были раскрыты С.В. Руженцевым [1965], установившим минимальную ширину шарьяжных перекрытий в разных зонах от 20 до 60 км. Основываясь на собственных полевых наблюдениях на Памире и Урале, он в 1971—1974 гг. показал, что в основе процесса шарьирования лежит горизонтальное сжатие автохтона и выделил три морфогенетических типа покровов: 1) выжатые на поверхность просто построенные тектонические пластины или чешуи, переходящие на глубине в крупные лежачие складки продольного изгиба; 2) гравитационные пластины, представленные каскадом лежачих или "ныряющих" складок; 3) смешанный тип.

При геологическом картировании крупных надвиговых зон Казахстана и Средней Азии было выяснено, что многие из них содержат изверженные породы разного глубинного происхождения и имеют в плане дугообразную форму, будучи нередко генетически связанными с дугообразными же изгибами фациальных зон палеозоя, мезозоя и кайнозоя, а также с дугообразными поднятиями, выраженными в тектоническом рельефе прошлого и в современном рельефе. Это заставило вообще по-новому взглянуть на

природу складчатых дуг, в разное время выделявшихся здесь Д.В. Наливкиными, А.В. Пейве, Р.А. Борукаевым, Е.Д. Шлыгиным, В.Ф. Беспаловым и др., и связать их с тангенциальным сжатием и крупными горизонтальными перемещениями разного глубинного уровня. Так были выделены надвиги гипо-, мезо- и эпиглубинные и, соответственно этому, структурные дуги 1-го, 2-го и 3-го рода, причем наиболее крупные (каледонские) дуги 1-го рода по ряду параметров оказались сходными с современными островными дугами, возникшими на океанической коре, 2-го рода (герцинские), меньших размеров и глубины — на континентальной коре, 3-го рода (мезозой-кайнозойские, еще более мелкие) — в осадочной оболочке [Суворов, 1968]. В этой же работе на ряде примеров было показано, что, помимо вертикального унаследованного развития тектонических структур (которое, как известно, считалось наиболее важным признаком для вертикалистских представлений), на территории Казахстана "мы сплошь и рядом сталкиваемся с признаками передачи особенностей структур и движений также в горизонтальной плоскости" (с. 291).

Новые данные о покровно-надвиговых структурах были получены в Алтае-Саянской области и в южном обрамлении Сибирской платформы. В 60-х годах здесь были обнаружены широтные надвиги с амплитудой от 7—10 км (Шебеликский) до 15 км (Каларский), а наибольшее их количество установлено в пределах Байкальского и Акитканского хребтов и в системе разломов Джагды-Тукурингра [Разломы..., 1977б]. На сочленении Кузнецкого прогиба с Колывань-Томской складчатой зоной подтверждено существование Томского поздепермско-триасового шарьяжа с амплитудой от 8—10 до 30 км [Юзвицкий, 1976]. Было показано также, что известные Иртышская и Чарская зоны генетически связаны между собой и заложились при доскладчатом шарьировании масс горных пород с севера на юг [Милеев и др., 1980], а позже Иртышская зона была отнесена к субдукционному комплексу, отвечающему "позднедевонской зоне Беньофа" (И.А. Ротараш и др., 1982 г.). Иртышская и Рудно-Алтайская зоны смятия затем были сопоставлены с взбросо-надвигами Западной Монголии и были включены вместе с ними в грандиозный рамповый пояс длиной 1100 км и шириной от 120 до 300 км, суммарная амплитуда горизонтальных перекрытий в котором была определена в 390—395 км (А.И. Суворов, 1983 г.).

На востоке России достаточно крупные надвиги установлены в мезозоидах Верхояно-Чукотской области — Тирехтяхский и Нельчанский, с амплитудой, соответственно 20 и 10—12 км, и в мезозоидах Сихотэ-Алиня — Прибрежный и Арсеньевский, с амплитудой 5—6 и 25 км (Г.С. Гусев, Ф.Ф. Третьяков, И.И. Берсенев и др. [Разломы..., 1977б]).

В 1965 г. П.Н. Кропоткин и К.А. Шахварстова предположили возможность обнаружения тектонических покровов в Корякском нагорье. Спустя десять лет их предположение подтвердилось — здесь были выделены три тектонические зоны (Эконайская, Майницкая и Алькаатвамская) и в них — аллохтоны палеозойских отложений с серпентинитовым меланжем в основании; возраст шарьирования был определен концом раннего мела [Александров и др., 1975]. В работе 1979 г. С.В. Руженцев, С.Г. Бялобжеский и А.Д. Казимиров произвели палинспастические рекон-

струкции для района Корякского хребта по методике, разработанной С.В. Руженцевым и А.А. Беловым [1973]; они также подтвердили покровное строение района.

Покровно-надвиговые структуры в пределах России были обнаружены и на платформах, главным образом в их фундаменте и местами в осадочном чехле. На Восточно-Европейской платформе их наметили в 50-х—80-х годах Х. Вяюрюнен, Л.Д. Харитонов, А.С. Новикова, А.И. Петров, Р.Н. Валеев, В.А. Лобов, И.Х. Кавеев, К.Ф. Тяпкин, А.В. Чекунов, на Сибирской платформе А.А. Межвилк, К.Б. Мокшанцев, И.В. Данкевич, Л.М. Парфенов и др. О надвигах и шарьяжах в фундаменте платформ писали М.А. Камалетдинов с соавторами [1987].

На примерах раннедокембрийских комплексов восточной части Балтийского щита, района КМА и Украинской железорудной провинции А.С. Новикова [1980. С. 20] показала, что "внутренняя структура поясов, сложенных фрагментами разреза базит-гипербазитовой ассоциации, характеризуется чешуйчатым строением, определяемым многочисленными глубинными надвигами... эти чешуйчатые структуры представляют собой фронтальные части аллохтонных пластин; они осхранились в виде реликтовых форм, образующих вместе с телами гранитоидов структуру ее континентальной оболочки". Этот вывод она потом распространила на все платформы.

На Балтийском щите особо выделяются две зоны шарьяжей — Кольская и Оулу-Ладожская, протягивающиеся на 600—700 км каждая и имеющие амплитуду горизонтального перемещения в разных участках от 40—50 до 60—70 км. По А.И. Петрову [Разломы..., 1977а], глубинное заложение этих шарьяжей определяется двумя уровнями — глубиной 10—15 и 40—50 км. Амплитуду надвигов Имандра-Варзугской моноклинали А.И. Петров определил в 25—30 км, надвигов Северо-Восточной Карелии [Войтович, 1975] — в 12—20 км и более.

В более южных районах платформы, по Р.Н. Валееву [Разломы..., 1977а], амплитуды горизонтальных перемещений по надвигам, расчлененным поперечными сдвигами на отдельные чешуи, достигают 30—50 км. "По направлениям смещений покровов и главным направлениям тангенциальных напряжений орогенного этапа предполагается общее правостороннее вращение возникшей в позднем протерозое Русской плиты с осью, расположенной в районе Волжско-Днепровского узла" (с. 55). Амплитуда надвигов в зоне Криворожского разлома на доплатформенной стадии определены Р.Н. Валеевым в 100—150 км. Ряд небольших покровных структур отмечен им и в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы — Карлово-Сытовский и Карлинский (палеоген), Воротиловско-Тонковский (пермо-триас), Каневский (квартер), а также многочисленные надвиги амплитудой до 4 км Украинского щита на Донецкий кряж и последнего на Воронежский массив.

На Сибирской платформе в разных местах установлены глубинные надвиги — в зоне Ленского структурного шва (Хараулахский, Орулганский и Сетте-Дабанский), между платформой и Енисей-Хатангским прогибом [Межвилк, 1984], в зоне Нелкано-Кыллахского структурного шва на востоке платформы (К.Б. Мокшанцев, 1968 г.). По восточному борту Ангаро-Ленского прогиба выявлены надвиги с амплитудой 5—6 км.

По Южно-Чульманскому надвигу установлено перекрытие до 15 км мезозойских отложений Чульманской впадины архейскими толщами Алданского щита (И.В. Данкевич и др., 1969 г.). Д.И. Мусатов с соавторами (1984) предположили, что смещение по надвигам Алданского щита составляет величину от десятков до сотен километров. Высказывалось также мнение, основанное на анализе систем глубинных разломов западной части Сибирской платформы — Енисейской с признаками горизонтального сжатия, и Ангаро-Тунгусской с признаками горизонтального растяжения, что горизонтальное растяжение и обусловленный им трапповый магматизм были вызваны направленным к западу перемещением Енисейской системы (А.И. Суворов, 1973 г.).

В других азиатских регионах, особенно высокогорных, подтверждены намечавшиеся ранее крупные покровные структуры. Так, установлено, что Высокие Гималаи представляют собой пластину толщиной 15—20 км, которая перекрывает Низкие Гималаи на расстояние 80—100 км [Гансер, 1967]. Общее сокращение земной коры в зоне Низких Гималаев в связи с многочисленными надвигами было определено А. Гансером в 150—200 км. В Тибетских Гималаях, южнее гор Каплас, им же отмечен тектонический покров, сложенный офиолитами зоны Инда и ответвляющийся от нее на 90 км.

К.С. Вальдия [Тектоника..., 1984] южной границей Гималайского орогена считает Главный пограничный надвиг (серия из четырех крутых надвигов), отсекающий зону кайнозойских (сиваликских и древнечетвертичных) осадков от более древней тектонической субпровинции Низких Гималаев и выполаживающийся с глубиной до 20—25°. По всей его длине (2500 км), как отмечает К.С. Вальдия, устанавливается горизонтальное смещение речных русел и молодых отложений. По этому же надвигу, падающему под углом 30—40° на север, докембрий поднят на 20 км к поверхности и смещен на десятки километров к югу, перекрывая рифейско-палеозойские отложения Низких Гималаев в виде картируемых сейчас кристаллических покровов и клиппенов. Г.Д. Ажгирей [Там же] подчеркнул существующую взаимосвязь очень больших шарьяжей с субвертикальными зонами разломов глубокого заложения. По его мнению, длительно развивающиеся глубинные разломы являются главными корневыми зонами наиболее значительных шарьяжей Южных Гималаев.

В Китае (уезд Пэньсянь) надвиговые структуры с амплитудой свыше 20 км отметил Хуан Цзи-цин [1960], который посчитал их результатом тангенциальных напряжений и орогенических движений, проявляющихся полициклически. Касаясь формирования надвиговых структур, Ли Сы-гуан [1958] связал их генезис не с горизонтальным стяжением земной коры, а "с вращением материковых масс от общего вращения Земли". Эта точка зрения позже была частично поддержана Хуан Цзи-цинем [Тектоника..., 1984] при рассмотрении характера движений плит и их столкновения в каледонскую и варисскую эпохи.

В Японии, где основным выражением морфотектоники, как известно, являются структурные дуги, относительно шарьяжей не все ясно. Здесь известны, например в восточной части полуострова Кип (на протяжении тектонической линии Микабу), пологие надвиги и тектонические окна в их тылах (Т. Кимура, 1954 г.). Т. Кобаяси, в ряде работ 1954—1956 гг. защи-

щавший тезис отодвигания островной дуги от материка, также утверждал, что в северных частях о-ва Кюсю и п-ова Тюгоку имеет место широкое развитие покровных структур. Однако последующее изучение этого вопроса и анализ приведенных данных, произведенные П.Н. Кропоткиным и К.А. Шахварстовой [1965], привели этих авторов к выводу, что имеющиеся данные не дают... "основания для построения крупного покрова, корни которого должны были бы находиться где-то в Японском море" (с. 98). Вместе с тем Кропоткин и Шахварстова совсем не отрицают "дрейф и надвигание островных дуг и периферических складчатых систем на внутреннюю впадину Тихого океана" (с. 317). Об этом же писал Г. Штилле [1957]. Более подробно вопрос о движении Японских островов рассмотрел Т. Кимура [Тектоника..., 1984], обосновавший дугообразную форму островной дуги на стадии Сакава (в поздней юре—мелу) вращением Юго-Западной Японии по часовой стрелке, а Северо-Восточной — против часовой стрелки.

В Америке покровные структуры на рассматриваемом этапе отмечены в ряде районов. Например, на восточных склонах Скалистых гор в Канаде амплитуда смещения протерозоя на отложения нижнего карбона по надвигу Льюис была определена от 40 км (Г. Хьюм, 1957 г.) до 64 км (Р. Прайс, 1960 г.). В горах Мадди-Маунтин в Неваде Ч. Лонгвеллом выявлен надвиг амплитудой в 24 км. Надвигание палеозойских пород на меловые и палеогеновые в дугообразном складчато-чешуйчатом поясе длиной 400 км от р. Снэйк в восточном Айдахо до гор Уосатч в штате Юта было оценено в 130 км (Руби, 1959 г.). Ряд мелких надвигов описаны в Андах [Герт, 1959]. Наконец, многие американские и кубинские геологи (П. Пальмер, Д. Флинт, Дж. Альбеар, Ч. Хаттен, Д. Ригасси-Студер и др.) в 40—60-х годах высказались о покровно-тектоническом строении Кубы. Новые данные по этой проблеме здесь были получены также российскими учеными (А.Л. Книппер, 1974 г., Ч.Б. Борукаев, 1976 г. и др.). Было установлено многократное чередование тектонических пластин, сложенных серпентинитами, вулканитами нижнего мела, молассами кампан-маастрихта, надвинутых на миогеосинклинальные карбонатные толщи мелового возраста. Показано также, что формирование покровной структуры Кубы происходило в раннем — среднем эоцене, сначала возникли шарьяжи в миогеосинклинали, затем они были перекрыты краевыми офиолитовыми аллохтонами [Моссаковский, Альбеар, 1978].

Многочисленные материалы по покровным структурам СССР, Европы и Америки были обобщены С.В. Руженцевым [Тектоническая..., 1980]. Он констатировал, что в большинстве складчатых областей наряду с покровами чехла присутствуют алллохтонные массы, сложенные породами гранитогнейсового и ультрабазит-габбрового комплексов (покровы основания).

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СДВИГИ

Горизонтальные перемещения масс пород по крутостоящим дизъюнктивным поверхностям, установленные в некоторых регионах в первой половине XX в. и подвергнутые затем большим сомнениям, в конце 50-х и особенно в 60- и 70-е годы вновь привлекли к себе внимание со стороны геологов многих стран. Почти одновременно сдвиги большой амплитуды

были обнаружены почти по всей поверхности Земли (включая океаны, см. ниже).

В Европе исследованиями В. Кеннеди (1946, 1963 гг.) и Дирилея (1962 г.) выявлена система глубинных сдвигов Шотландии в полосе шириной 150 км, с амплитудой главного сдвига (Грейт—Глен) в 107 км. Большой диагональный сдвиг в Альпах — Юдикарийский — отмечен смещением кристаллического ядра Альп на 75 км к северу [Ситтер, 1960]. Вновь подтверждена система сдвигов гор Юры, намеченная А. Геймом еще в 1919 г. По данным Н. Павони (1961 г.), сдвиги Юры, правые и левые, образованы перемещениями по древним разломам в основании мезозойских толщ. Известно крупное перемещение Центрального и Армориканского массивов по Бискайско-Пиренейскому глубинному сдвигу к юго-востоку (F. Arthand, Ph. Matte, 1974 г.). Широкое распространение получили небольшие сдвиги в Чешском массиве, например в зоне Пршибрам (P. Rajlich, P. Vlasimcky, 1974 г.), а также более крупные — Западно-Лужицкий, Франконская линия и др. (Г. Мебус, 1966 г.) В Карпатах сдвиги были обнаружены М.А. Беэром в 1969 г. (Латорацкая зона с правосторонними смещениями по латерали в 15—25 км, Верхнетиссенская зона с левосторонним смещением в 10—15 км). Соседний Горный Крым Л.М. Расцветаевым был рассмотрен как структура диагонального сжатия в зоне сочленения двух крупных сдвиговых систем — Центрально-Черноморской и Крымско-Копетдагской [Разломы..., 1977б].

Начало массовому выявлению сдвиговых структур на территории бывшего СССР положил А.В. Пейве. В докладе на XXI сессии МГК в 1960 г. среди глубинных разломов он, помимо сбросов, выделил глубинные сдвиги и глубинные надвиги, а на душанбинской сессии II Всесоюзного тектонического совещания в декабре 1962 г. показал большую роль сдвигов в структуре палеозоид Казахстана и Средней Азии, вызвав к ним, таким образом, большой интерес.

Вопросами сдвиговой тектоники в Казахстане и Средней Азии в 60-х и 70-х годах, кроме А.В. Пейве, занимались В.С. Буртман, В.С. Войтович, Л.Б. Вонгаз, В.В. Галицкий, В.С. Заика-Новацкий, В.Г. Королев, В.Я. Кошкин, А.В. Лукьянов, С.В. Руженцев, С.Г. Самыгин, А.И. Суворов, М.М. Уколов и др.

Первые сдвиги в Центральном Казахстане были выявлены и детально охарактеризованы в начале 60-х годов, это Актасский сдвиг с амплитудой около 20 км [Суворов, 1961], Байдаулет-Карасорский, 50—70 км [Суворов, 1963], Чингизский, 20—60 км (А.И. Суворов, С.Г. Самыгин, 1966 г.) и др.

В Тянь-Шане продолжалось изучение Таласо-Ферганского сдвига, намеченного еще в 1939 г. работами В.Н. Огнева. Наиболее убедительные данные о сдвиговой природе этого разлома были опубликованы В.С. Буртманом [1961], который выявил здесь целый ряд литофациальных зон девона и нижнего карбона, совершенно одинаковых в крыльях разлома, но разорванных и смещенных вдоль него по часовой стрелке почти на 200 км. Ряд мелких сдвигов нескольких порядков намечен в Киргизском и Таласском хребтах Северного Тянь-Шаня (В.В. Киселев, В.Г. Королев, 1964 г.) и в Кураминско-Чаткальских горах Срединного Тянь-Шаня, например Кумбельский с амплитудой 15—20 км [Суворов, 1968].

Несколько сдвигов было установлено на Юго-Восточном Памире [Руженцев, 1963]. Этот автор выделил здесь Аксу-Мургабскую зону правых сдвигов, сместивших пермо-триасовые отложения по ходу часовой стрелки от 10—12 до 55 км.

Экстраполируя новые данные по Тянь-Шаню и Памиру на более южные районы, В.С. Буртман, А.В. Пейве и С.В. Руженцев наметили в 1963 г. два крупнейших сдвига северо-западного простирания — Тянь-Шань-Куньлуньский и Памиро-Каракорумский, определившие, по их мнению, основные закономерности пространственного расположения тектонических структур этой части Азии, а именно — сочетание их дугообразных форм с секущими глубинными разломами сдвигового типа.

Полученные сведения о сдвигах Казахстана и Средней Азии были обобщены в книге "Разломы и горизонтальные движения" [1963], изданной под редакцией А.В. Пейве. В ней были подробно рассмотрены методика установления сдвигов, структурные особенности сдвиговых зон и выявлена на многих примерах их генетическая связь с покровно-надвиговыми структурами. Среди сдвигов были указаны глубинные и средних глубин, а также зоны сдвиговых напряжений. Подчеркивалась длительность процесса их формирования. Структурные признаки горизонтальных движений подробно были рассмотрены А.В. Лукьяновым [1969].

Основываясь на материале тектонической карты Евразии масштаба 1:5 000 000, составленной коллективом авторов, А.Л. Яншин в 1965 г. констатировал, что вдоль многих глубинных разломов достоверно установлены сдвиговые смещения с амплитудой в десятки километров и что во фронтальных частях сдвигающихся блоков нередко развиваются пологие надвиги и шарьяжи, несомненно существующие "во многих каледонских, герцинских и альпийских складчатых сооружениях Евразии". "Вероятно, они возникают... как механическая реакция на вращение Земли, изменение скорости этого вращения и положения оси вращения", — писал Яншин [1965. С. 33].

Как бы в подтверждение этих выводов некоторое время спустя появляются новые многочисленные данные о сдвигах [Разломы..., 1977б].

На Урале в 1971 г. П.К. Плюснин устанавливает региональные секущие сдвиги — Ныробско-Красновишерский на севере (амплитуда до 50 км) и Ашинский на юге. Подтверждается крупный Дегтярский сдвиг, выявленный еще в 1926 г. Е.А. Кузнецовым. Самым крупным П.К. Плюснин считает Мурзинский сдвиг на восточном склоне Урала, амплитуда которого определена в 150—200 км.

В южном обрамлении Сибирской платформы сдвиги обнаруживаются в Алтае-Саянской и Саяно-Байкальской складчатых областях. Наиболее значительный из них проходит между кристаллическим фундаментом платформы и Саяно-Байкальской областью. Согласно П.М. Хренову и С.И. Шерману, это правый сдвиг с амплитудой в 70—80 км. Другой сдвиг — Восточно-Саянский — ограничивает с юго-запада антиклинорий того же названия, его амплитуда 40 км. Отмечается еще Туманшетский сдвиг (20—25 км) и предполагается сдвиговая природа Прибайкальского глубинного разлома с амплитудой в первые десятки километров. В Алтае-Саянской области сдвиги до этого намечались Н.А. Берзиным и К.А. Клитиным (1961 г.), Л.М. Парфеновым (1961 г.), Э.Г. Дистановым (1962 г.), а

в Восточном Забайкалье — И.Н. Томсоном, В.В. Архангельской и Н.Г. Семеновой (1962 г.).

На Дальнем Востоке в качестве сдвига указан Меридиональный разлом, наискось пересекающий Главный антиклинорий Сихотэ-Алиня и смещающий рассеченные ими фациальные зоны на 35—40 км (В.Н. Силантьев, 1963 г.). Сдвигами с амплитудой до 200 км считаются также Центральный Сихотэ-Алиньский разлом (Б.А. Иванов, 1961—1963 гг.), Даубихинский разлом (А.И. Бурдэ и др., 1963 г.), а также разломы Восточный, с амплитудой 20—55 км и Кабаргинский — 25—30 км (И.И. Берсенев и др., 1977 г.). На о-ве Сахалин В.С. Рождественским [1975] установлен Северо-Сахалинский глубинный сдвиг с амплитудой горизонтального смещения до 25 км.

По данным Г.С. Гусева и Ф.Ф. Третьякова (1977 г.), крупными правыми сдвигами являются продольные разломы мезозоид в верховьях рек Колыма и Индигирка, а также в бассейнах рек Омолон и Анюй. Наиболее крупный — Омолонский сдвиг с амплитудой 30—40 км, в зоне которого К.Б. Сеславинский в 1972 г. выполнил палинспастические реконструкции. Отмечены также Уш-Урэкченский сдвиг с амплитудой до 15—20 км, отделяющий Олойский прогиб от Омолонского массива, и погребенный Омсукчанский сдвиг в основании одноименного прогиба, — 15—20 км.

Основываясь на данных П.С. Воронова, Б.А. Иванова, В.А. Леглера, М.И. Стрельцова, Т. Кимуры, С.К. Аллена (1961—1972 гг.) и материалах личных исследований, В.П. Уткин [1978] выдвинул представление о существовании Восточно-Азиатской глобальной сдвиговой зоны, представленной северо-восточными и меридиональными левыми сдвигами.

Многочисленные крупные сдвиги на территории бывшего СССР были обнуружены не только в складчатых областях, но и на платформах [Разломы..., 1977 а].

В пределах Восточно-Европейской платформы они имеют место главным образом в фундаменте и считаются протерозойскими, а некоторые и более молодыми. По данным А.И. Петрова, в восточной части Балтийского щита преобладают левые сдвиги северо-восточного простирания с амплитудой горизонтального смещения 50—60 км, разобщившие Пулонгский и Ондомский массивы основных пород, составляющих некогда единое целое. В Аллареченском районе проявляется система сдвигов амплитудой от 5 до 18 км, в сумме до 40—45 км. Такой же порядок смещений предполагается по сдвигам Кандалакшско-Панаярвинской зоны. Правосторонние сдвиги близких амплитуд свойственны зонам развития свеко-карелид, где преобладают разломы северо-западной ориентировки.

На Украинском щите, согласно материалам И.И. Чебаненко, К.Ф. Тяпкина, Г.И. Каляева и др., обнаружены сдвиговые смещения геофизических полей вдоль Главного Криворожского разлома (в зоне которого отмечены также надвиги) с амплитудой до 25 км. В зоне Ябловско-Трактемировского разлома кристаллические породы смещены по сдвигам на 10 км, а в зоне контакта Донецкого синклинория с Приазовским кристаллическим массивом, по работам А.П. Ротая, А.Д. Кудели и Г.Т. Сабакаря (1955 г.), — на 26 км. На тектонической и геофизической картах, составленных в 1966 г. М.В. Муратовым и Б.Л. Гуревичем, отчетливо видно, как отмечает И.И. Чебаненко, что палеозойский фундамент

Скифской эпигерцинской плиты между глыбами Украинского щита и Крымского поднятия расчленен субмеридиональными разломами на блоки, испытавшие в мезозойское время горизонтальные подвижки до 25 км (например, вдоль зоны Одесского разлома). В зоне Владимир-Волынского разлома между блоками западной части Украинского щита и Ковельского поперечного поднятия рифейские и нижнепалеозойские породы смещены против хода часовой стрелки на десятки километров (по рифейским 40, кембрийским 30, ордовикским 12—15, силурийским 10 км).

В закрытых районах Восточно-Европейской платформы, по Р.Н. Валееву, в системе протогеосинклинальных разломов обнаружены многочисленные смещения осей магнитных аномалий, указывающие на горизонтальные сдвиги на орогенном этапе до 20 км. Он же в разные годы, начиная с 1961 г., установил системы секущих сдвигов, до 25 км смещающих борта авлакогенов Вятского, Московского, Камско-Бельского и др. М.И. Островский (1970 г.) и Р.А. Гафаров (1977 г.) отметили сдвиговые смещения блоков фундамента вдоль Рязано-Саратовской зоны карелид; здесь, между северо-западным окончанием Пачелмского авлакогена и восточным окончанием Московского, амплитуда сдвигания, по геофизическим данным, составляет 12—25 км.

На Сибирской платформе первые указания на проявление сдвигов, вызвавших горизонтальное перемещние Биректа-Усумунского блока с севера на юг, исходили в 1962 г. от П.С. Воронова и Э.Н. Эрлиха. По А.А. Межвилку (1977 г.), один из крупных широтных сдвигов прослеживается вдоль подножия Верхоянского хребта и уходит затем через центральную часть Вилюйской синеклизы к истокам р. Нижняя Тунгуска. Другой крупный сдвиг, Алданский, длиной более 2000 км, прослежен им от северного окончания Сетте-Дабана в юго-западном направлении до р. Ангары. В Енисейской рудной провинции И.Н. Горяинов в 1965 г. установил Горбиачинский и Колюмбинский сдвиги, в зонах которых выходы докембрия перемещены на 35 и 20—55 км. Амплитуду до 70—90 км. И.Н. Горяинов выявил вдоль Курейского разлома, а субмеридиональный разлом вдоль р. Енисея определил как левый сдвиг с предполагаемой амплитудой до 100 км. О многокилометровых перемещениях в зоне Чымара-Джелиндинского разлома (Анабаро-Оленекское междуречье) писали П.С. Воронов и Э.Н. Эрлих.

Значительные горизонтальные сдвиги выявлены не только на древних платформах, но и на молодых эпигерцинских плитах. По данным Р.Г. Гарецкого, Б.М. Геймана и Л.Г. Кирюхина (1977 г.), на Туранской плите они обнаружены в Центрально-Устюртской, Северо-Мангышлакской и Карашор-Донгузсыртской зонах; здесь величина перемещений колеблется от 10—20 до 50 км. Максимальное перемещение, до 150 км, предполагается по Урало-Тяньшаньскому сдвигу. В пределах Западно-Сибирской плиты В.С. Сурков, О.Г. Жеро и Л.В. Смирнов протрассировали окончание Кузнецко-Алатауского сдвига и продолжение Чингизского, определив их амплитуды в 200 и 250 км соответственно.

В других континентальных регионах земного шара горизонтальные сдвиги стали также хорошо известны, а некоторые из них, самые крупные, были подвергнуты неоднократной перепроверке. Так, вопрос о суммарной величине сдвига по разлому Сан-Андреас в Калифорнии был

поднят в 1953 г. М. Хиллом и Т. Дибли, которые пришли к выводу о длительности проявления горизонтальных подвижек, начиная с домелового времени. По смещению плейстоценовых фаций они определили его амплитуду в 16 км, верхнеэоценовых фаций — 370 км, а конечная амплитуда, по их мнению, может составлять 580 км. Вопросами сдвиговой тектоники Калифорнии и других районов занимались также Дж. Моуди, М. Хилл (1956 г.), Л. Пакисер (1960 г.), Дж. Шепард (1962 г.), Г. Смит (1962 г.), А.А. Никонов (1975 г.).

Крупные новые сдвиги были достаточно обоснованы в Северо-Американских Кордильерах (Д.И. Вайс, 1963 г.), на Аляске (L. Jvanhoe, 1962 г.), в области Карибского моря (Х. Альбердинг, 1960 г., Р. Митчел-Том, 1962 г.), в Боливии (Е. Род, 1960 г.). Вдоль береговой линии Северного Чили в зоне разлома Атакама между 20—30° ю.ш. на расстоянии 1000 км были установлены левые и правые сдвиги, смещающие четвертичные отложения (П. Аманд, 1960 г.). Обосновывается проявление левых сдвигов по оси Филиппин, с которыми связывается растаскивание платформенных участков и образование впадин Южно-Китайского моря (К. Аллен, 1962 г.). В Новой Зеландии выявлен сдвиг амплитудой в 480 км (Г. Веллман, 1956 г.).

В итоге изучения сдвиговых структур на новой фактической основе появились, кроме описательных, обобщающие работы с освещением проблемы в целом.

Основываясь на многочисленных примерах, Дж. Моуди и М. Хилл высказали мнение, что "обширные территории, по-видимому, подвержены довольно постоянным напряжениям в течение продолжительных периодов времени... Сдвиги крупного масштаба могут быть господствующим типом разрывов в земной коре" [Вопросы..., 1960. С. 267].

Л.У. де Ситтер [1960] пришел к заключению, что сдвиги в основном прямолинейны в плане и вертикальны в разрезе, что их длина, как и амплитуда горизонтального смещения, от незначительной может изменяться до многих сотен километров, что они образуются в последнюю фазу складчатости и что правые и левые сдвиги имеют более или менее одинаковое распространение. Он также заметил, что по краям сдвиги переходят либо в надвиги, составляющие острый угол с их простиранием, либо надвиги сменяются по простиранию сдвигами.

В сводке автора [Суворов, 1968] приводятся наиболее характерные структурные планы крупных сдвиговых зон, образованных приразломными складками, трещинами, мелкими дизъюнктивами, дайками и жилами (перисто-веерообразные, перисто-дугообразные, кулисообразные и т.д.). Рассматриваются фациальные особенности длительно развивающихся конседиментационных сдвиговых зон. Показано, что почти во всех случаях сдвиги северо-западной ориентировки — правые, а северо-восточной — левые. По глубине проникновения в земную кору они подразделены на гипо-, мезо- и эпиглубинные. Наконец, суммированы и подкреплены конкретными примерами из разных регионов пять главных способов перемещений в сдвиговых зонах: 1) перемещение по дугообразной в плане поверхности с максимальным сжатием в вершине дуги и развитием соответственно левых и правых сдвигов на ее концах (Г.Д. Ажгирей, 1961 г.); 2) перемещение по динамопаре разломов —

сдвигу и надвигу, сопряженных под прямым или тупым углом друг к другу (А.И. Суворов, 1961 г.); 3) ступенчатое в плане перемещение по системе субпараллельных сдвигов, одних правых или одних левых (А.И. Суворов, 1963 г.); 4) полосовое перемещение по системе субпараллельных разломов с чередованием правых и левых сдвигов (Х. Альбердинг, 1960 г.); 5) перемещение по группе соподчиненных сдвигов нескольких порядков и разного направления, последовательно возникающих под углом 30° к направлению максимального в данном месте стресса (Дж. Моуди, 1962 г.).

П.С. Воронов в ряде работ (1964 г.), [1968, 1979] и др.) усмотрел в особенностях сдвиговой тектоники континентальной коры западного и восточного полушарий Земли влияние полюсобежных сил. По его представлениям, блоки континентальной коры Евразии и Северной Америки мигрируют к югу в сторону экватора (это явление он назвал геофлюкцией) по двум системам глобальных сдвиговых зон — по системе внутриконтинентальных сдвигов северо-западного и северо-восточного простирания (правых и левых) и по системе периконтинентальных сдвиговых зон вдоль тихоокеанских побережий Азии и Северной Америки, а также вдоль южной и юго-западной окраин Восточно-Европейской платформы.

Объединенные в системы сдвиговые зоны недавно рассматривались и с тектонофизических позиций. По С.И. Шерману, К.Ж. Семинскому, С.А. Борнякову и др., "сдвиговые системы представляют собой линейно вытянутые деструктивные области, включающие закономерно расположенные, пространственно сближенные генеральные и региональные сдвиги, а также парагенетически связанные с ними другие разломы разной степени активизации и стадий развития" [Разломообразование..., 1991. С. 27]. Приведены примеры оценок ширины зоны влияния крупных сдвигов, например для Главного Саянского разлома она определена в 130 км и т.д.

РАЗДВИГОВЫЕ И ГРАБЕН-РИФТОВЫЕ СТРУКТУРЫ

Крупные рифтовые структуры были известны в прошлом веке и отмечались рядом исследователей в первой половине XX в. Описывались, в частности, Африканская рифтовая зона длиной до 6000 км, грабен Верхнего Рейна, прослеженный до Гессенского грабена и, предположительно, под Северо-Германской низменностью до грабена Осло, в Америке были отмечены многочисленные крупные и мелкие сбросы растяжения в провинции Бассейнов и Хребтов, в России, наконец, — впадина озера Байкал. И хотя растяжение в подобных структурах было доказано измерениями напряжений в очагах землетрясений под ними и прямыми геодезическими измерениями, механизм их образования оставался неясным. Одни исследователи связывали генезис рифтов с вертикальными движениями, либо опусканием земной коры, другие основную причину их образования видели в напряжениях растяжения, либо в напряжениях сжатия. Производились также эксперименты (Г. Клоос, 1929—1936 гг.), воспроизводившие, к примеру Рейнский грабен путем воздымания нижележащего ложа и последующего раздвигания испытываемого вышележащего материала.

Поводом к более целенаправленному изучению и более мобилистскому толкованию механизма рифтовых и раздвиговых структур послужило открытие в 50-х и 60-х годах срединных океанических хребтов с осевыми продольными рвами (Б. Хизен, М. Юинг, Г. Менард и др.). Именно в это время сложилось представление о гигантской трещине, опоясывающей земной шар [Starnes, 1960], а также о мировой рифтовой системе длиной свыше 70 000 км и площадью 15—20% от всей поверхности Земли. Появились многочисленные печатные работы, касающиеся проблемы рифтогенеза.

Проблемы континентального рифтогенеза наиболее детально были рассмотрены на симпозиуме в Иркутске в 1975 г. Здесь же А.Л. Яншин предложил определение рифтов. По его определению, "рифты — это отрицательные структуры земной коры, связанные не просто с оседанием под влиянием силы тяжести, как писал Дж. Грегори, а с крупными горизонтальными растяжениями сиалического слоя, которые сопровождаются образованием разломов, уходящих в мантию Земли, и проявлениями основного магматизма" [Проблемы..., 1975. С. 5—6].

В системе глубинных разломов Казахстана были обнаружены палеозойские глубинные раздвиги [Суворов, 1963, 1968]. Было выяснено, что на дневной поверхности они выражены в виде удлиненных впадин, расположенных либо позади крупных надвиговых зон, либо между протяженными субпараллельными сдвигами, либо вдоль крупных гранитных поясов. Длина впадин определялась в первые сотни километров, ширина в 2—4 раза меньше; последняя оказалась равной амплитуде сопряженных фронтальных надвигов. Было также показано, что все эти впадины заполнены вулканогенными грубообломочными толщами большой мощности с пологим залеганием слоев, нарушенных обильными сбросами и "безамплитудными" зонами дробления, и что в основании некоторых впадин (по сейсмическим данным) гранитный слой сильно пережат и в разрезе имеет форму двояковогнутой линзы.

Пространственные сочетания раздвигов со сдвигами были установлены и в других регионах. По данным Т. Этуотер и П. Молнара (1979 г.), например, депрессия Калифорнийского залива возникла в системе раздвигов северо-восточного простирания и правых сдвигов северо-западного простирания, в результате косого к ее ориентировке (северо-запад—юго-восточного) раздвигания амплитудой в 260 км.

По изображению рифтовых зон на космических снимках В.А. Буш, В.Г. Трифонов и С.С. Шульц обнаружили, что эти зоны имеют характерный полосчатый облик, причем, как они подчеркнули, "такой облик типичен как для зон активных трещинных вулканических излияний, так и для областей, где вулканизм отсутствует или имеет ограниченное распространение" [Тектоника Азии, 1984. С. 47]. Они подтвердили сказанное примерами Байкальской рифтовой системы и системы грабенов Шаньси в Китае.

К.В. Боголепов [Проблемы..., 1975] перечислил основные общие признаки рифтовых зон. Таковыми он считал: 1) регионально выраженное утонение земной коры; 2) общее вздутие коры, создающее арку или выпукло-вогнутую линзу; 3) существование устойчивой зоны разуплотнения верхней мантии; 4) разрывы и раздвиги, создающие системы

грабенов и горстов; 5) высокая магматическая проницаемость зон разломов; 6) повышенный тепловой поток.

Из числа других признаков Дж. Томпсон [Система..., 1970] отметил аномально низкую скорость распространения сейсмических волн и отсутствие крупных магнитных аномалий. Он же указал на сближение сбросов в рифтовой системе Запада США под углом около 60° на глубине примерно 10 км и привел соображения, что долина Дикси-Валли за последние 10—15 млн лет в результате землетрясений расширилась почти на 3 км.

В 50-х и 60-х годах укрепилось мнение, что рифтовые зоны формировались преимущественно или исключительно в кайнозое (Н.И. Николаев и др.) и что рифтогенез является одним из самостоятельных процессов, характерных для этого этапа (В.В. Белоусов, Ю.М. Шейнманн). Новейшей, как уже отмечалось, считали Байкальскую рифтовую систему. В отношении рифтовой системы Запада США Дж. Томпсон в 1970 г. писал, что она "может быть определена как часть кайнозойской системы разломов, характеризующаяся горизонтальным расширением" [Система..., 1970. С. 173].

Однако в это же время и позже намечаются и более древние раздвиговые структуры, как, например, в Казахстане (см. выше), а также и в других местах. На Западно-Сибирской плите И.В. Дербиков в 1958 г. устанавливает протяженный Омский разлом, а в 1965 г. Н.В. Шаблинская приводит данные о его сходстве с Красноморской рифтовой зоной. В дальнейшем этот разлом получил название Колмогорско-Уренгойского грабен-рифта и основные характеристики — в поперечном разрезе он имеет воронкообразную форму со ступенчатыми сбросами, заполнен мощной толщей базальтов триасового возраста и сопровождается рядом мелких грабен-рифтов, его апофиз, местами же срезается поперечными разломами и сдвигается на половину своей ширины — до 25 км (по В.С. Суркову и др. [Разломы..., 1977а]).

В.Г. Казьмин [1974] на примере развития Красноморского, Аденского и Эфиопского рифтов также показал их более раннее развитие. Им установлены четыре главных этапа расширения рифтовых систем — маастрихт-палеоценовый, олигоцен-миоценовый, верхнемиоцен-плиоценовый, позднеплиоцен-четвертичный, причем скорость расширения в маастрихтском веке составляла 4—5 см/год (100—120 км за 2—3 млн лет), в последние же 10—12 млн лет эта скорость снизилась до 2 см/год. Некоторые авторы (П. Бурек, 1969 г.) считали юрско-раннемеловое прогибание в зоне Аденского залива начальной стадией рифтообразования.

В 70-х годах Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин и В.М. Моралев отметили большое разнообразие современных рифтов и сделали вывод о таком же их морфологическом разнообразии в геологическом прошлом континентов, от авлакогена до синеклизы с разной степенью раскрытия [Проблемы..., 1975]. Е.Е. Милановский [1976], много занимавшийся проблемами континентального рифтогенеза, подчеркнул, что "известны древние грабенообразные зоны, рифтовая природа которых не вызывает сомнений (грабены Осло, Днепровско-Донецкий)" (с. 205) и что многие из них развивались длительно и "наследовали существовавшие ранее рифтовые зоны либо зоны, благоприятные для развития рифтогенеза" (с. 251).

Специальная работа по характеристике древних авлакогенов Восточно-Европейской платформы выполнена Р.Н. Валеевым (1977 г.) [1978], который, помимо альпийских, выделил здесь авлакогены байкальские, каледонские, байкальско-герцинские и герцинские, считая главной причиной их возникновения горизонтальные движения земной коры, вызывающие соответственно появление продольных сбросов растяжения и поперечных секущих сдвигов. Он выделил и рассмотрел с мобилистских позиций авлакогены Камско-Бельский, Вятский, Двинский, Московский, Пачелмский, Донецкий, Днепровский, Припятский и др.

Рифтогенез Сибирской платформы охарактеризовали Н.С. Малич, А.С. Гринсон, Е.В. Туганова и Н.М. Чернышев [Тектонические процессы, 1989]. Они выделили рифты: раннего протерозоя (Байкало-Таймырский, Уджино-Вилюйский, Енисейский и другие — меридиональные и Дюпхунский, Иркинеевский, Подкаменно-Тунгусский и другие — широтные); рифейские (авлакогены Игарский, Таймырский, Котуйский, Уджинский, Присаянский); девонские (линейные грабены Норильский, Нордвикский, Кютюнгтинский, Уджинский, Патомо-Вилюйский и Сетте-Дабанский); позднепермско-раннетриасовые (Северо-Запад Сибирской платформы).

Интересное исследование было проведено А.Ф. Грачевым и В.С. Федоровским [1980] по выяснению природы зеленокаменных поясов России, Южной Африки, Западной Австралии и Канады, их строения и развития. Они выделили четыре возрастные генерации этих образований — 3,6—3,0; 3,0—2,6; 2,6—1,9 и 1,9 млрд лет и моложе — и, сопоставив их с рядом структур разного генезиса, пришли к выводу, об их рифтогенной природе. По их мнению, масштабы рифтогенеза были весьма значительными и они не сопровождаются образованием зон субдукции. К аналогичным выводам пришли также Д.И. Мусатов и его соавторы [1984], подтвердившие, что архейские зеленокаменные пояса развивались по модели палеорифтов (спрединг без субдукции). Они же определили амплитуду горизонтального расширения для Канской глыбы и Анабарского щита в 300—500 км, для Алданского щита до 60—700 км.

В 1981 г. Ло Чжили и в 1984 г. Хуан Цзицинь обратили внимание на рифтогенез (тафрогенез) в Китае. Было выяснено, что Китайская протоплатформа была разделена широкомасштабным рифтингом на несколько палеозойских эвгеосинклиналей (Тянь-Шаньскую, Циляньшаньскую и Циньлиньскую). В пермское время возникли меридиональные рифтовые долины (Западный Сычуан, Западный Гуйчжоу, Восточный Юньнань). В третичное время рифтовые системы проявились на территории Восточного Китая [Тектоника..., 1984].

На западе соседней Монголии Г.И. Макарычев [1990] выявил систему рифтов позднего рифея и венд-кембрия. По его данным, они представляют собой узкие линейные зоны длиной до 300 км и шириной до 40 км, ограниченные продольными разломами и выполненные базальтами и терригенно-карбонатными породами. Одни из них возникли в процессе становления гранитно-метаморфического слоя (позднерифейский Хутульский рифт), другие (венд-кембрийского возраста) — в процессе деструкции уже сформировавшейся континентальной коры.

Попытку выявить основные этапы развития процессов рифтогенеза и определить их место в геологической истории Земли предпринял также

Е.Е. Милановский [1981]. Он обоснованно выделил пять основных этапов рифтогенеза: катархейско-архейский, раннепротерозойский, позднепротерозойский, палеозойский и мезозойско-кайнозойский. Для первого этапа отмечены совмещенные черты рифтовых и геосинклинальных зон, для второго — обособление проторифтов и протогеосинклиналей (без четких различий между ними), для третьего и четвертого — их полное обособление, но с генетическими связями между ними, для пятого этапа — образование рифтовых зон (в связи с деструкцией континентов), комплементарных по отношению к мезозойско-кайнозойским геосинклинально-орогенным зонам. По Е.Е. Милановскому, периоды наиболее широкого развития рифтоподобных и рифтовых структур (архей, рифей, мезозой—кайнозой), вероятно, отвечают важнейшим фазам расширения Земли.

Касаясь рифтообразования в пределах Гондваны, Р. Фэйрбридж (США) в докладе на 26-й сессии МГК в 1980 г. выделил четыре более узкие эпохи — аделаидскую (протерозой), вестралийскую (ранний ордовик), мальгашскую (средний карбон) и красноморскую (середина третичного периода) [Кропоткин, 1981].

Еще более дробная схема эволюции рифтогенных структур предложена А.Л. Яншиным, В.Е. Хаиным и Ю.Г. Гатинским. По их представлениям, "рифтовые системы... неоднократно зарождались и отмирали на площади современного Азиатского материка в рифее и среднем палеозое — в Восточной Сибири и Северном Китае, в позднем палеозое — в Индостане, в триасе — в Западной Сибири и Индокитае, в средней—поздней юре — в Тянь-Шане, в поздней юре—раннем мелу — в Забайкалье. В новейшую эпоху это были Байкальская и Момская рифтовые системы" [Тектоника..., 1984. С. 10].

Длительное развитие рифтогенных структур установлено наконец в домезозойской эволюции земной коры Антарктиды. Предположение о существовании их было высказано еще в 1960 г. П.С. Вороновым. Данные по этому вопросу были недавно суммированы Г.Э. Грикуровым, который пришел к следующим выводам: 1) тенденция к деструкции антарктической континентальной коры прослеживается с начала ее зарождения; 2) в раннем докембрии деструктивные процессы стимулировали раскалывание первичных сиалических протолитов и вели к активизации рифтогенного режима; 3) в позднем докембрии деструкция свелась к появлению авлакогенов; 4) на рубеже докембрия и палеозоя на площади росской метаплатформенной области возникли многочисленные, местами очень глубокие рифтовые троги. По автору, тектонические режимы растяжения в истории Антарктиды были, видимо, обусловлены "неравномерно-прогрессирующим расширением Земли" [Тектонические..., 1989, С. 180].

Высказанные на современном этапе представления о генезисе и механизмах формирования рифтовых структур оказались довольно разнообразными. Наибольшее распространение получила модель первичного горизонтального растяжения земной коры. Но не была оставлена идея и об их происхождении при первичных вертикальных движениях или при совокупном действии горизонтальных и вертикальных движений.

Согласно Ф.А. Венинг-Мейнесу (1950 г.), развитие рифта обусловливается опусканием клиновидного блока в условиях растяжения коры. Этот

блок, ограниченный двумя падающими навстречу друг другу сбросами под углом до 60°, погружается до достижения изостатического равновесия. Сбросы намечают борта возникающего грабена, ширина которого обычно около 40 км, глубина 2 км, краевые же поднятия формируются в результате изгиба коры вне зоны разломов. Дж.А. Томпсон, характеризуя рифтовую систему Запада США, в 1959 г. предположил, что нижние зоны коры под грабеном могли быть раздвинуты магматической интрузией, сформировавшейся на глубине около 10 км [Система..., 1970].

По схемам Р. Фрёнда (1970 г.), М.Е. Артемьева и Е.В. Артюшкова (1968 г.), на месте будущего рифта происходит сначала уменьшение мощности коры, затем в процессе ее пластического растяжениия образуется пережим и над ним появляется рифт.

Б. Вернике (1985 г.) предположил, что асимметрично развивающиеся разломы в верхней части коры переходят в пологую поверхность срыва; при этом пластичная нижняя часть коры и верхняя мантия растягиваются, приспосабливаясь к поверхностной структуре рифта, разломы же сопровождаются не симметрично погружающимися блоками, а полуграбенами; последние Б. Вернике связывает с так называемыми листрическими разломами и (или) с разломами срыва. Эта модель, по мнению М. Ботта, "по-видимому, более адекватна природному процессу, чем модель погружающегося клина" [Геодинамика, 1990. С. 322].

Иной механизм образования грабен-рифтовых структур растяжения предложил А.В. Пейве [1961], связавший появление пережима в коре и зоны проседания над ним с растяжением в тылу движущегося по латерали блока. Более подробно эта модель была разработана автором (А.И. Суворов, 1963 г., 1969 г.). Генезис всех подобных структур был рассмотрен на примерах Казахстана и Средней Азии в связи с процессом пластического оттока вещества консолидированной земной коры из-под депрессий в сторону растущих поднятий. Сопряженные в этом процессе зоны тылового растяжения (рифтинга) и фронтального сжатия получили название "региональных тектонопар". Выраженные в каждом случае синхронно развивающимися ареальной депрессией и дугообразным в плане поднятием, они характеризуются противоположными свойствами: 1) в поднятиях — утолщенная гранито-базальтовая кора и тонкий осадочный слой, в депрессиях — сокращенная по мощности гранито-базальтовая кора и мощный осадочный слой; 2) широкое проявление в пределах поднятий пережатых линейных складок, взбросов и сдвиго-надвигов и столь же широкое в депрессиях распространение мозаики простых глыбовых складок, сбросов и сбросо-раздвигов; 3) преобладающая роль в поднятиях явлений динамометаморфизма и интрузивного магматизма при усиленной эффузивной деятельности в депрессиях. При всех этих различиях суммарная амплитуда надвигов в пределах фронтальных поднятий оказалась близка или равна ширине прилежащих тыловых депрессий.

Много сторонников нашла идея Г. Клооса о сводовом происхождении рифтов, разработанная опять же с разных позиций. Так, Ф. Дикси [1959], изучавший африканские разломы, пришел к выводу, что "причину образования рифтов правильнее искать в причинах образования сводов..., по отношению к которым рифты представляют собой сопутствующие и, может быть, второстепенные образования (с. 102). Они "возникали на

месте некоторых древних ... первично ослабленных участков земной коры, которые в докембрийское время представляли собой на большой глубине огромные надвиговые и раздавленные зоны, а в юрское, третичное и послетретичное время испытали поднятие... с образованием отдельных сводов... и одновременным образованием рифтов вдоль параллельных нормальных сбросов" (с. 71). В.В. Белоусов (1974 г.) также посчитал процесс рифтогенеза локальным, связанным с возникновением в верхней части мантии астенолитного вздутия с последующим его растеканием и образованием на своде грабена; растяжение, приложенное извне, в этом процессе им исключается. Близких представлений о ведущей роли восходящих потоков придерживались Ю.А. Зорин, С.И. Шерман и др. [Проблемы..., 1975].

Х. Иллиес (1972 г.), напротив, допустил внешнее региональное растяжение коры, сочетая его с эффектом растекания астенолитной подушки в основании рифта (на примере Рейнского грабена). И. Гасс (1970 г.) объяснил генезис сводового поднятия, раскрытие рифта и его заполнение толеит-базальтовой магмой горизонтальным рифтом литосферных плит, проиллюстрировав этот свой вывод примерами Эфиопского, Красноморского и Аденского рифтов. Аналогичные, с теми или иными оттенками, взгляды высказывали А.Л. Яншин, С.А. Ушаков и Ю.И. Галушкин (1975 г.) и др.

В.Г. Казьмин [1974], оперирующий африканскими примерами, увязал образование рифтов и движение плит со снижением давления в нижней части коры и верхней мантии, с частичным расплавлением вещества верхней мантии и зарождением восходящего потока, который затем при трансформации в горизонтальное течение мог быть выражен двумя или одной ветвями и вызывать соответственно симметричное расхождение плит или отодвигание одной подвижной плиты от другой, неподвижной. В более поздней статье он пришел к заключению, что континентальные рифты образуются двумя путями — на основе формирования высоких поднятий (Байкал, Рио-Гранде, Восточная Африка) и без них (Западная Сибирь, триасовые рифты Европы) [Геодинамика..., 1990]. Триасовые рифты связаны с расколом Пангеи и расплыванием континентальных глыб, кайнозойские рифты возникли в условиях коллизии Евразии с Индией и Африкой. Касаясь механизма рифтообразования, В.Г. Казьмин отвечает, что утонение коры в основании рифтов может превышать 50% ее толщины, после чего происходит разрыв и переход к спредингу. Если утонение происходит быстро — доминирует погружение, если импульсами — образуется неглубокая проторифтовая депрессия, а в основании литосферы — небольшой астеносферный выступ.

Согласно М. Ботту, "рифтовые системы связаны с крупными аномальными структурами под литосферой, которые могут проникать на глубину 200—300 км" [Геодинамика..., 1990. С. 317]. Им предложено два основных механизма рифтообразования — активный и пассивный. При пассивном механизме растяжение приводит к разрыву континентальной литосферы и последующему развитию аномальной подстилающей мантии, при активном — аномальная мантия поднимается и приводит к образованию сводов и рифтов.

По Е.Е. Милановскому [1976. С. 204], "взятая ... в своем "чистом виде" гипотеза о связи рифтов с развитием сводов является столь же односторонней, как и гипотезы, связывающие рифтогенез только с горизонтальным растяжением, ибо существуют континентальные рифтовые зоны, развитие которых начиналось не с воздыманием свода, но с заложением линейно вытянутой впадины, превращающейся затем в грабен (рифт), а поднятия по краям ее начинали расти параллельно с углублением и расширением рифта, причем наиболее интенсивно на поздней стадии этого процесса". Он полагает, что гипотезы растяжения удовлетворительно объясняют происхождение рифтовых зон щелевого типа, но не предусматривают сочетания рифтовых зон со сводовыми поднятиями, на которых они возникают. Вместе с тем Е.Е. Милановский считает, что "природа растяжения в рифтовых зонах, дополнительного к возникающему при развитии сводовых поднятий, не является пока ясной" (Там же). Моделирование этого процесса показало несоответствие между ничтожными величинами растяжения и проседания грабена в связи с изгибом коры и значительными амплитудами растяжения и проседания, свойственными многим континентальным рифтам.

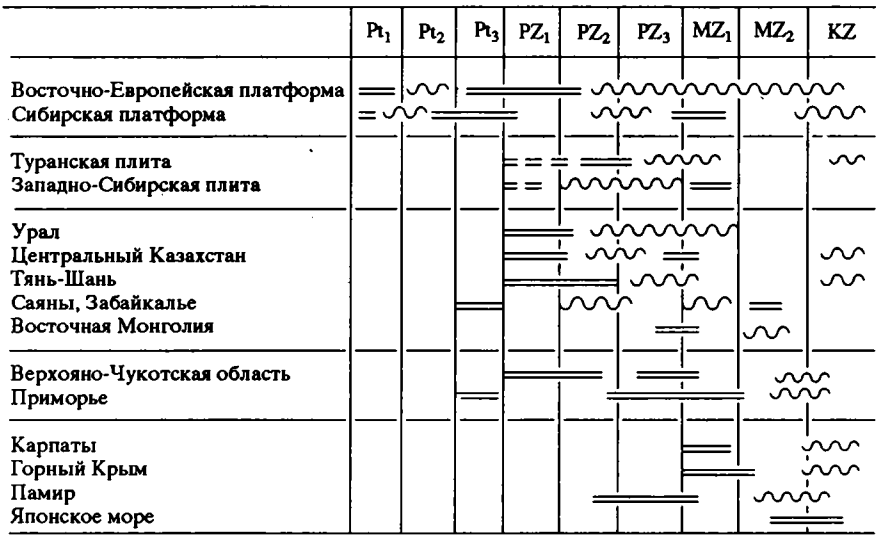
П.Н. Кропоткин и Л.В. Ларионов совместили современный рифтогенез с обстановкой глобального сжатия Земли в результате предполагаемого уменьшения ее радиуса в позднем кайнозое (данные Н. Хаста, 1969 г.) [Проблемы..., 1975]. Было высказано соображение, что "в эпохи сжатия... механизм разрыва и растяжения коры... связан с выдавливанием наиболее нагретых и наименее вязких масс из верхней мантии" (с. 9). Вместе с тем возможность глобального растяжения Земли в другие эпохи они подтвердили палеомагнитными данными. В эти... "эпохи растяжения Земли образование и расширение рифтов..., характеризуемых в целом пониженной вязкостью вещества литосферы, должно было происходить гораздо более интенсивно". И далее: "Суммирование эффектов сжатия в одних зонах и растяжения в других приводит к дрейфу промежуточных, расположенных между ними, монолитных глыб земной коры от зон растяжения к зонам сжатия" (Там же).

Отметим, наконец, предположение П.С. Воронова о генетической связи рифтовых структур с горизонтальным тектоническим течением к экватору вещества литосферы северного полушария Земли под влиянием полюсобежных сил и образованием в полосе 100—105° в.д. и 90—100° з.д. правых и левых сдвигов. С его точки зрения, "мезозойско-кайнозойские впадины байкальского типа являются геоструктурным порождением сдвиговой тектоники и имеют мало общего с генезисом африканских и срединно-океанических хребтов" [Проблемы..., 1975. С. 76].

При обобщении данных о горизонтальных перемещениях по разломам на территории бывшего СССР автором сделана попытка выявить признаки горизонтальных растяжений и сжатия и сопоставить их по разным структурным элементам и по разным интервалам времени [Разломы..., 1977б]. Сравнение обнаружило следующее (см. табл. 2). В пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ в раннем протерозое преобладали усилия горизонтального растяжения, в связи с чем происходило образование ряда крупных раздвигов, эвгеосинклинальных прогибов и кольцевых структур. В среднем протерозое, наоборот, стали

Таблица 2

Эпохи растяжения и сжатия в геологической истории территории России и смежных регионов



Примечание. Двойная черта — преобладающее растяжение (раздвиг, сброс, сбросо-сдвиг), волнистая черта— преобладающее сжатие (надвиг, сдвиг, взброс, шарьяж).

преобладать усилия сжатия, вызвавшие формирование зон шарьяжей, надвигов, сдвигов, рассланцевания и метаморфизма.

В позднем протерозое и особенно раннем палеозое раздвиговые движения охватили почти полностью древние платформы и некоторые из складчатых зон: Урал, Казахстан, Тянь-Шань, Саяны, Верхояно-Чукотскую область и Приморье. На платформах вследствие этого возникла система авлакогенов, а в складчатых областях — геосинклинальных прогибов, заполненных мощными толщами эв- и миогеосинклинальных формаций.

Начиная со среднего палеозоя и главным образом в позднем палеозое отдельные площади докембрийских платформ, эпипалеозойских плит и почти вся область палеозойской складчатости были подвержены латеральному сжатию, что привело к массовому появлению надвигов и других связанных с ними приразломных структур. Вместе с тем на востоке бывшего СССР в мезозоидах и местами в палеозоидах и в альпийской складчатой области в это время преобладало растяжение земной коры и формирование геосинклинальных прогибов; то же самое было характерно и для первой половины мезозоя.

Наиболее широко проявились сжимающие напряжения в кайнозое, главным образом в неоген-четвертичное время. Ими в разной степени была охвачена вся континентальная кора. В одних районах это привело к короблению напластований и складчатости, в других — к небольшим надвигам и сдвигам, в третьих, особенно в области альпийской складчатости, к возникновению шарьяжей, надвигов, сдвигов и т.п.

Формирование земной коры на территории бывшего СССР в течение фанерозоя и ранее происходило, таким образом, на фоне чередующихся горизонтального растяжения и горизонтального сжатия. Но это отнюдь не означает, что, скажем, сжатие с комплексом соответствующих структурных форм или растяжение в те или иные периоды были всеобщими, хотя они и распространялись иногда на очень большие площади. Чаще оказывалось, что структуры сжатия и растяжения в разных местах проявлялись одновременно. Например, сжатию Восточно-Европейской платформы в позднем палеозое отвечало растяжение большей части Сибирской платформы, сжатию Туранской плиты в конце палеозоя—начале мезозоя — растяжение Западно-Сибирской плиты, сжатию палеозоид в среднем—позднем палеозое — растяжение мезозоид и т.д. Более всего синхронными растяжение и сжатие оказались в сопредельных структурах, которые ранее были названы "региональными тектонопарами". К их числу, после проведенных сопоставлений, стало возможным отнести Саяно-Енисейское поднятие и Тунгусскую синеклизу в позднем палеозое—раннем мезозое, Кокчетав-Северотяньшаньское поднятие и Джунгаро-Балхашскую геосинклиналь в среднем палеозое, Атасу-Тектурмасское поднятие и Токраускую впадину в позднем палеозое, Верхояно-Верхнеколымское поднятие и Колымо-Омолонский район в мезозое, Японскую островную дугу и впадину Японского моря в конце мезозоя—кайнозое и т.д.

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ И СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Геологическое изучение разломов с достоверными проявлениями горизонтальных движений, предпринятое в ряде регионов уже в первые десятилетия рассматриваемого этапа и позже, позволили выявить довольно сложную и многообразную картину структурно-вещественных преобразований земной коры, особенно наглядных в зонах крупных надвигов, сдвигов и сбросо-раздвигов. Здесь были установлены многочисленные новые структурные формы, генетически связанные только с приразломными горизонтальными перемещениями, и они, в свою очередь, стали надежными индикаторами этих последних.

Прежде всего следует отметить меланжи, т.е. смеси своеобразных пестрых брекчий, образующих большие скопления. Они были установлены еще в прошлом веке (Д. Грюнер, 1857 г.), описывались в начале XX в. (Е. Гринли, 1919 г.) и в 50-х годах [Bailey, McCallien [1952—1954] получили тектоническое толкование. Последние из упомянутых авторов выделили под названием "анкарская смесь" мощную толщу обломков пестрых по составу и окраске пород — гипербазитов, габброидов, диабазов, спилитов, розовых и зеленых кремнисто-глинистых сланцев со следами дробления и развальцевания, которые, по их мнению, тектонически подстилают кристаллические породы Киршехурского массива. Затем подобные образования были обнаружены в Средиземноморском поясе (А. Гансер, 1959 г.; Ж. Обуэн, 1965 г.) и в других местах.

На территории бывшего СССР серпентинитовый меланж был уста-

новлен на Малом Кавказе [Книппер, 1965, 1966, 1969, 1971]. На основании полученных новых данных А.Л. Книппер пришел к выводу, что внедрение гипербазитов в верхние части коры происходит в холодном состоянии, в виде протрузий, а не магматических интрузий, как было принято думать раньше. При этом они образуют сложную систему надвигов и тектонических покровов с меланжем в основании, выполняющим роль "смазки" и облегчающим горизонтальные перемещения масс. К похожим выводам в это же время пришли на примерах Урала А.В. Пейве, С.В. Руженцев и А.С. Перфильев, выделившие "мономиктовые" и "полимиктовые" меланжи, а также Н.А. Богданов [1975] — на примерах Сахалина, Корякского нагорья и других районов в обрамлении Тихого океана. Историю формирования палеозойского серпентинитового меланжа рассмотрели И.А. Ротараш и Е.Н. Гредюшко [1974], показавшие, что Чарский антиклинорий (Зайсанская складчатая область) представляет собой зону серпентинитового меланжа позднекаменноугольного возраста. Меланж другого типа отмечен в Зеравшано-Гиссарской области (Южный Тянь-Шань) М.Г. Леоновым [1979], изучавшим зеленосланцевый метаморфизм в покровных структурах. По его данным, в подошвенных частях тектонических чешуй и пластин повсеместно развит меланж, основная масса которого представлена зелеными кварц-серицит-хлоритовыми сланцами, совершенно не характерными для разреза средних частей аллохтонов.

Хаотический меланж Северной Калифорнии титон-валанжинского возраста, представленный блоками граувакк, зеленокаменных и кремнистых пород, серпентинитов, глаукофановых сланцев и эклогитов в рассланцованном глинистом цементе, залегающих в основании надвиговых пластин, описали М.К. Блейк (мл.) и Д.Л. Джонс [1974]. Образование меланжа они объяснили поддвиганием по пологой поверхности океанской плиты под континент, с запада на восток.

И.И. Белостоцкий в 1970 г. подразделил меланж на тектонический, осадочный и сложного генезиса, связав первый с покровной тектоникой, а второй с сейсмогравитационными обрушениями. Меланж осадочного происхождения получил название "олистостром", "олистолит". Эти термины предложил еще в 1955 г. итальянский геолог Г. Флорес, и они позже нашли широкое применение. Сам Флорес объяснял происхождение олистостромов действием подводных оползней на склонах бассейна, но многие другие авторы (Е. Краус, 1951 г.; Г.С. Поршняков, 1973 г.; М.Г. Леонов, 1975 г.; А.В. Лукьянов, 1975 г., и др.) объяснили генезис подобных образований разрушением фронтальных частей тектонических покровов при их продвижении в бассейн осадконакопления. Морфология олистостромов в обобщенном виде характеризовалась в работе А.В. Лукьянова, М.Г. Леонова и И.Г. Щербы в 1975 г.

Вопросами происхождения олистостромов и выяснения тектонического режима эпох олистостромообразования в течение ряда лет занимался М.Г. Леонов [1975, 1976, 1978]. На примерах Альпийско-Гималайского пояса он показал, что комплекс олистостромовых отложений сложен массой хаотически построенного несортированного грубообломочного материала — брекчий, конгломератов, блоков и пластин (олистолитов), образованных за счет разрушения тектонических покровов — обрушения

фронтального уступа, тектонического дробления и расчешуивания подошвенных частей покровов и всего тела аллохтона с последущим выдавливанием брекчий и пластин на дневную поверхность или на поверхность морского дна. Выделено четыре этапа массового конседиментационного развития олистостромов в пределах пояса: среднемеловой, позднемеловой—раннепалеоценовый, позднеэоценовый—раннеолигоценовый, миоцен-четвертичный. Средняя продолжительность каждого этапа 5—20 млн лет.

Тектонические движения, обусловившие покровы и накопление олистостромов, в различных зонах проявились в разное время, причем этапы олистостромообразования приходятся на этапы формирования флишевых толщ, которые, следовательно, накапливались в тех же условиях сжатия и могут в какой-то мере также быть показателями горизонтальных перемещений. По М.Г. Леонову [1978. С. 32], "олистостромы — это выражение единства и взаимосвязанности тектонических и седиментационных процессов". По его мнению, олистостромы другого, осадочного, происхождения (оползневые и обвальные брекчии), не многочисленны.

Особая роль в диагностике горизонтальных движений была отведена системам складчатых форм, однако здесь, как и в других сферах, в объяснении генетических вопросов наблюдалось столкновение мобилистских и факсистских воззрений. В 50-е и 60-е годы одни авторы [Хаин, 1957] наибольшую роль в происхождении складок отводили сжатию (общей контракции земной коры), другие [Бронгулеев, 1967] — как вертикальном (штамповые складки), так и горизонтальным (складки коробления) усилиям, третьи [Белоусов, 1954] связывали их генезис только с вертикальными движениями.

Интересные с мобилистской точки зрения образования — складки срыва (как результат послойных перемещений), выявленные еще в 30-е годы в Таджикской депрессии Н.П. Херасковым, — были обнаружены и в других районах Средней Азии. Выяснилось, что они заполняют крупные зоны длиной в первые сотни и шириной в десятки километров (например, предгорья Ферганского хребта) и что в их строении принимает участие один мезозойско-кайнозойский покров, сорванный с палеозойского основания по пологим надвиговым поверхностям [Суворов, 1954].

А.В. Пейве [1960] связал происхождение складок с конкретными движениями по разломам и выделил, кроме складчатости сбросов, складчатость надвигов (в линейных геосинклинальных поясах) и складчатость сдвигов (в геосинклиналях с первично-перекрестным строением). Несколько позже в дополнение к этой схеме была установлена еще одна разновидность — складки раздвига, возникающие в тыловых частях надвигов в результате их горизонтального растяжения и имеющие в разрезе форму двояковыпуклой или двояковогнутой линзы (А.И. Суворов, 1967 г.). Комплексное описание приразломных складчатых и других структур, обусловленных горизонтальными перемещениями, — их морфологии, тектонического положения и закономерностей развития (на примере Казахстана и Средней Азии) выполнено в монографии автора [Суворов, 1968].

Смятие пластичных слоистых масс и образование покровных складок при поперечном сокращении площади основания воспроизводилось экспериментами В.Н. Ларина и С.В. Руженцева [1975]. Готовая модель —

пластилиновый брикет на бумажных полосках — подогревались до состояния, близкого к плавлению и протаскивалась сквозь щель, сечение которой обеспечивало свободное продвижение бумаги, но не допускало растекания пластилина — этим имитировалось сокращение площади основания. В опытах были воспроизведены условия, при которых образуются складчатые структуры типа Большого Кавказа и типа Альп. Первые возникают при сокращении модели в 1,6—1,8 раза, вторые — в 2,5—3 раза. В моделях типа Альп были получены более или менее симметричные покровные складки либо складки со срезанным и подвернутым крылом; коробчатые складки образуются в местах затухания надвигов и поддвигов. Генезис структур кавказского типа со сдавленным осевым ядром и сравнительно простыми частями авторы объясняли не дифференцированными вертикальными движениями (как делали некоторые исследователи Кавказа), а тангенциальным сжатием, вызванным пододвиганием глубинных горизонтов к центру складчатой зоны.

В связи с развитием идеи о примате горизонтальных движений в земной коре предпринимается изучение с новых позиций офиолитовых комплексов — их состава, строения, связей с другими формациями и условий выхода на дневную поверхность в обстановке сжатия или растяжения. Во многих районах — в Югославии (Л. Кобер, 1952 г.), на Малом Кавказе (А.Л. Книппер, 1966 г.), на Урале (А.В. Пейве и др., 1971 г.), на востоке России (Н.А. Богданов, 1975 г.) и т.д. площадные выходы меланократовых пород, особенно серпентинитов, были объяснены развитием тектонических покровов. Начиная с 70-х годов офиолитовой проблеме специально посвящаются ежегодные международные конференции — в Иране, в Канаде, на Кипре и в других местах. К Апеннинской конференции, например, были представлены описания офиолитовых комплексов Средиземноморья, расчлененные на три группы: 1) офиолиты Альп и Корсики, надвинутые на край Восточно-Европейской платформы; 2) офиолиты Северных Апеннин, шарьированные на обрамление Африканской плиты; 3) офиолиты Луканских Апеннин и Калабрии, шарьированные на Африканскую платформу. Первые оказались тесно связанными с "блестящими сланцами" и сильно метаморфизованными, вторые — с верхнемеловым и палеогеновым флишем, без метаморфизма, третьи заняли промежуточное положение [Богатиков и др., 1981]. Специальную монографию проблеме офиолитов посвятил Р.Г. Колман [1979].

Во многих работах залежи офиолитовых комплексов стали называться тектоническими пластинами. Система таких пластин, в частности, была подробно охарактеризована на примере Сакмарской зоны Урала [Руженцев, 1971]. Как выяснилось, пластины здесь смяты в многочисленные крутые, нередко лежачие складки, а слагающие их породы ордовика, силура и девона насыщены серпентинитами, которые либо клиньями внедрены по крутым сравнительно молодым разломам, либо образуют ядра куполовидных антиклиналей, вписываясь в их структуру. Серпентиниты сильно раздавлены, рассланцованы и развальцованы и образуют все переходы в ряду серпентиниты—меланж—палеозойские отложения. В структуре Тянь-Шаня выявлены тектонические пластины гипербазитов, залегающие в основании крупных покровных структур, сочетающиеся с протрузиями серпентинитов и серпентинитовым меланжем [Макарычев,

Штрейс, 1973; Макарычев, Куренков, 1974; Макарычев 1978, 1979]. В Восточном Саяне офиолиты протерозоя образуют пять аллохтонных пакетов пластин, шарьированных на миогеосинклинальные образования в обрамлении Сибирской платформы; по наличию олистостромов разного возраста установлена длительность формирования структуры этих пластин [Ляшенко, 1979].

Порождением горизонтальных перемещений коры некоторые авторы стали считать вертикально залегающие офиолитовые пояса. Так, согласно А. Гансеру [1967], (1977 г.), узкая, порядка 15 км, вертикальная зона интенсивного сжатия и скалывания, заполненная тектонизированным офиолитовым меланжем и отделяющая Гималайскую провинцию третичного диастрофизма от Тибетского массива, представляет собой сутурную зону, которая была названа зоной Инд-Цангпо. Глубинные породы в подобных зонах, по К.С. Вальдия, были выведены на дневную поверхность по разломам путем обдукции, а последующие тектонические движения изменили (увеличили) наклон этих разломов [Тектоника..., 1984]. Г.Д. Ажгирей, как уже было отмечено выше, считал их корневыми зонами шарьяжей Гималаев.

В китайской литературе офиолитовые пояса представлены как сутуры, возникшие при столкновении плит. Хуан Цзицинем в Тетис-Гималайском регионе рассмотрены четыре такие сутуры (с севера на юг) — Шугоу-Мацзинь, Лонгмуко-Ийщу, Пангогн-Дэнчэн и уже отмечавшаяся Инд-Цангпо. Он считает их структурным результатом горизонтальных движений плит, то расходящихся, то сближающихся, сами же движения предлагает называть "аккордеонными" [Там же. 1984. С. 23].

Более мелкие структуры подобного рода, обусловленные сближением блоков континентальной коры, получили название "зон сшивания" [Лукьянов, 1987]; они были изучены в Южном Тянь-Шане и воспроизведены экспериментально.

Помимо перечисленных сутурных образований, была выделена глобальная система спиралевидных геосутур [Neev, Hall, 1982], объединяющая крупные глубинные сдвиги, линейные складчатые пояса, зоны интрузий и т.д. По авторам, эти геосутуры образуют спиралевидную, закручивающуюся против часовой стрелки систему с центром вдоль Альпийско-Гималайского пояса.

Другая составная часть разреза офиолитовой ассоциации — диабазовые комплексы, — в наиболее типичном виде представленная параллельными субвертикальными дайками (Scheeted dykes) шириной от 30 см до 5 м, известными еще под названием "дайка в дайке", послужила основой для выделения зон раздвигания или растекания в земной коре. Они изучались на Кипре (J. Gass, 1968 г.), в Турции (M. Vaugnat, G. Gogulu, 1968 г.), в Омане (Reinhardt, 1969 г.), в Ньюфаундленде (Charch, 1972 г.), в Калифорнии (C. Hopson, C. Frano, 1977 г.), в Монголии (Л.П. Зоненшайн, М.И. Кузьмин, 1978 г.), на Урале (Г.Н. Савельева, А.С. Перфильев, 1979 г.), на Камчатке (М.С. Марков, 1975 г.) и в других регионах.

На Кипре И. Гасс обнаружил, что пластовые диабазы на расстоянии около 100 км прорваны вертикальными параллельными дайками, количество которых составляет 48 000; он высказал предположение, что

растяжение коры при образовании этих даек было эквивалентно им по площади.

Р.Г. Колман и др. [1979] выявил комплекс субпараллельных диабазовых и риолитовых даек на краю Аравийской плиты (Тихама-Азир), сопоставимый с дайками Кипра и Омана. Ширина даек 0,5—18 м. Определения абсолютного возраста K—Ar методом магматических пород комплекса Тихама—Азир в сопоставлении с конечными размерами раздвижения земной коры позволили установить следующие его скорости: в промежутке между 18 и 25 млн лет — 1,85 см/год, в промежутке от 24 до 29 млн лет — 2,3 см/год, т.е. что это раздвижение происходило неравномерно.

По А.С. Перфильеву и Н.Н. Хераскову, раздвижение (растекание), вероятно, происходило в отдельных зонах, разделяющих ненарушенные блоки. Они также отметили неравномерность этого процесса, его фазовый характер, например в Баян-Хонгорском комплексе Монголии, нередко с изменением простирания параллельных даек от блока к блоку (Хабарнинский массив на Урале) [Тектоническая..., 1980].

Причины раздвигания коры и растекания вещества в ее подошве, как и структурное положение параллельных даек, объясняются по-разному. Т.П. Тайер [1977], например, считает, что это не повсеместное, а "исключительное явление", и структурные соотношения даек с основными изверженными породами "не могут быть объяснены с позиций концепции спрединга..." (с. 44). А.С. Перфильев и Н.Н. Херасков (1980 г.) объясняют растекание давлением в головной части двигающейся по трещине магмы. А.В. Лукьянов с соавторами [1982] связывают раздвигание с нарушением температурного режима в результате внедрения в континентальную кору базальтовых даек. При их внедрении гранитогнейсовая кора разделяется на два слоя, в нижнем из которых, более нагретом, возникают пластические деформации и расползание "мобилизованных" толщ. Свои представления авторы подкрепили расчетами на гидроинтеграторе разных моделей, используя данные по дайкам Конгампут в Западной Гренландии.

Соображения о рифтовой природе не только параллельных даек, но и некоторых офиолитовых комплексов в целом высказали на примерах Чукотки М.С. Марков и Г.Е. Некрасов [1979]. Таковыми они считают не обычные для типичных офиолитовых комплексов дуниты и гарцбургиты, а шпинелевые лерцолиты, шпинель-гранатовые пироксениты и эклогиты. По их мнению, такой тип офиолитовых ассоциаций свойствен рифтовым зонам, образующимся в результате раздвигания архейских блоков континентальной коры с обнажением подгранулитового мантийного субстрата.

Важное значение для диагностики горизонтальных движений в земной коре приобрела на современном этапе проблема латерального пластического течения вещества земной коры, широко проявляющегося наравне с перемещениями жестких пластин и блоков.

Структуры, обусловленные пластическим течением в массе горных пород, были известны еще в прошлом столетии. В докембрийских толщах, например, выделялись складки течения, волочения, скольжения, кливаж течения (кристаллизационная сланцеватость), структуры будинажа и т.д. Но все это рассматривалось главным образом в связи с картированием

метаморфических комплексов и разработкой вопросов стратиграфии докембрия. На этой же основе выделялись движения колебательные, складкообразующие, разрывные, сводимые к одной, преимущественно вертикальной плоскости [Методика..., 1957]. И такие подходы господствовали вплоть до 60-х годов текущего столетия.

Вопросы пластического течения как фактора крупномасштабных перемещений и (или) формирования крупных и разнообразных тектонических структур разрабатывали многие исследователи, среди которых наибольшую известность получили Г. Рамберг (1957—1970 гг.), Э. Клоос (1958 г.), А.В. Пейве [1967, 1991], А.В. Лукьянов [1959, 1991], Е.И. Паталаха (1962—1985 гг.), Ф. Тернер и Л. Вейс (1963 г.), В.В. Эз (1967, 1978 гг.), Дж. Ремси (1967 г.), П. Шукрун и М. Сэгюре (1976 г.) и др. Было установлено, что пластическое течение достигает очень больших размеров и является решающим в образовании не только мелких форм, но и крупных тектонических сооружений, таких, как многокилометровые шарьяжи и сдвиговые зоны.

А.В. Лукьянов [1959] в Акбастауской зоне разломов Центрального Казахстана выявил, что в толще девонских конгломератов деформированные гальки известняка уменьшались в направлении давления в 4—5 раз и удлинялись в двух перпендикулярных ему направлениях в 2—2,5 раза, а линзы известняка были при этом разобщены до 15—20 км и зажаты среди чуждых им по генезису пород. Продолжая работы в этом направлении на Памире, А.В. Лукьянов по деформированным галькам установил растяжение вдоль длинной оси эллипсоида в сотни и даже тысячи процентов. По его данным, "пластическое течение в меловых и палеогеновых толщах Памира... по интенсивности течения не уступает докембрию Кольского полуострова или глетчерному льду ледника Фредерисхоб—Исблинк в Гренландии" [Тектоническая..., 1980. С. 135]. Механизм процесса был связан с работой вертикально ориентированных гравитационных сил, однако было подчеркнуто, что "перемещение масс в основном осуществляется в горизонтальных направлениях" (с. 146).

Е.И. Паталаха [1970] определил суммарное сокращение ширины Успенской надвиговой зоны в Центральном Казахстане в 20 км, выделив здесь целый комплекс динамометаморфических структур — кливаж, линейность, ориентированные микроструктуры, пластинчатые и жесткие включения, вязкие разрывы, будинаж, птигматитовые складки, складки ламинарного течения и др. — и связав этот комплекс со складкообразованием "на определенном этапе эволюции складок продольного сжатия, когда дальнейший изгиб слоев становится невозможен" (с. 205).

Несколько позже Е.И. Паталаха [1981], (1989 г.) углубил свои представления и разработал направление о тектонофациях, призванных, по его мнению, "зафиксировать корреляционные связи степени деформированности, ... литологии (вязкости) среды... и конечного структурного результата (парагенезиса)" [Паталаха, 1981. С. 167].

П. Шукрун и М. Сэгюре (1976 г.) при пересечении покровно-складчатой системы Пиренеев установили значительное ее сокращение вкрест простирания, использовав для этой цели структуры будинажа, растянутые гальки, трещины растяжения в тылах надвигов и "тени давления".

Все тектонические движения в твердой земной коре А.В. Пейве [1967]

свел к двум основным типам, выделив: "1) пластическое тектоническое течение, свойственное глубинным зонам земной коры и мантии, но распространенное местами и в верхних частях коры; 2) разрывно-глыбовое тектоническое течение, при котором лишь отдельным зонам сильного раздробления, тектонического скольжения и магматической регенерации свойственно значительное пластическое течение. Эти зоны могут иметь самый разный наклон или быть горизонтальными" (с. 9). По мнению А.В. Пейве, основная форма перемещения вещества верхней части земной коры — разрывно-глыбовое тектоническое течение. "Вертикальными, наклонными и горизонтальными глубинными разломами земная кора расчленена на различные, иногда очень крупные... пластины, линзы и клинья, испытывающие особенно большие латеральные тектонические перемещения" (Там же).

В метаморфических комплексах В.В. Эз [1978] в качестве главных показателей пластического течения указал: резкую дисгармонию складок, сочетание складок нескольких порядков, их пережатость и изоклинальность, совмещение деформаций разного плана с тектоно-метаморфической переработкой пород, тектоническое разлинзование и будинаж как в мелких, так и в крупных масштабах, широкое распространение положительных структур с гранитизированными породами в их ядрах, наконец, сочетание складок с многочисленными и разнообразными разрывными нарушениями. По предположению В.В. Эза, движения носят конвективный характер с переходом горизонтальных в вертикальные и, наоборот, вертикальных в горизонтальные по замкнутой в определенных ячеях схеме. "В верхней части нисходящего потока происходит укорочение по горизонтали, формируются прямые складки и связанная с ними вертикальная плоскостная структура. В нижней части нисходящего потока, где материал растекается по горизонтали, испытывая укорочение в вертикальном направлении, вертикальные текстуры сминаются в лежачие складки, образуются субгоризонтальные текстуры" (с. 149). "В верхней части восходящего потока, где поднявшийся материал расплывается по горизонтали, формируются лежачие складки и покровы" (с. 151).

На взаимную связь всех перечисленных малых деформаций с крупными перемещениями еще раз обратил внимание А.В. Лукьянов [1984]. По его убеждению, тектоническое течение всюду весьма значительное и проявляется в разных формах, представляя собой "сумму стрейна (изменения формы), ротации (вращения) и трансляции (параллельного переноса)" (с. 150). Неоднородность распределения деформаций в пространстве вызывает ряд геометрических эффектов, ведущих к значительным перемещениям пластин и морфологическим изменениям (образование наложенных складок, чередование параллельных структур сжатия и растяжения, автономные деформации пластин и разнообразные структурные рисунки). Все эти образования А.В. Лукьянов [1991] объединил в несколько парагенезов, каждый со своей динамикой и местом расположения. По мнению А.В. Лукьянова, пластическая деформация и перемещение вещества происходят за счет внутризерновых и межзерновых смещений, растворения под давлением, минерализации полостей отрыва и структурной трансформации минерального вещества пород. "При таком подходе тектоносферу

следует понимать как сложную неравновесную саморазвивающуюся систему, состоящую из множества взаимовлияющих автоколебательных систем и других подсистем, содержащих или накапливающих энергию, необходимую для тектонического течения [Лукьянов, 1991. С. 131].

Изучение структур течения и "хрупких" латеральных перемещений в земной коре позволило выявить на современном этапе развития мобилизма еще одну ее структурную особенность — тектоническое расслоение горизонтальными и слабо наклонными поверхностями. Предположения на этот счет А.В. Пейве высказал еще в 1960—1961 гг., выделив тангенциальные глубинные разломы, т.е. горизонтальные поверхности, ограничивающие подвижные блоки земной коры снизу. Для Альпийского пояса А.В. Пейве [1967] назвал несколько крупных тангенциальных поверхностей срыва — внутри "базальтового" слоя Динарид и Малой Азии, где в основании глубинных шарьяжей выступают мощные ультрабазиты и основные вулканиты, в основании "гранитно-метаморфического" слоя земной коры в средних частях Альпийского пояса и в ряде пластических горизонтов осадочного слоя внешних зон Альпийского пояса. Он пришел к заключению, что "в процессе разрывно-глыбового течения горных масс происходит их тектоническое расслаивание с дифференциальным горизонтальным течением, охватывающим всю земную кору и, вероятно, верхнюю мантию вплоть до астеносферы" (с. 15).

Близкие взгляды были высказаны и другими исследователями. Было отмечено, например, что тектонические пластины, возникающие при горизонтальных перемещениях, связаны отнюдь не только с внедрением и деформацией гипербазитов. Это вообще часто встречающийся в земной коре структурный элемент, появляющийся при метаморфизме вдоль литологических разделов конформно напластованию. Пластины обнаруживаются по интенсивному послойному кливажу, линейности, по структурам будинажа, дробления, сжатия (мелкие складки), наконец, по резкому изменению характера деформаций [Hutton, 1979].

Идея А.В. Пейве о тектонической расслоенности литосферы, как следствия горизонтальных пластических и хрупких перемещений масс, была поддержана коллективом тектонистов геологического института АН СССР и в 1980 г. получила комплексное обоснование и развитие как довольно строгая концепция. Ее формулировка была дана в книге "Тектоническая расслоенность литосферы" [1980], авторами которой, кроме А.В. Пейве, стали С.В. Руженцев, С.Д. Соколов, М.С. Марков, А.Л. Книппер, Г.Е. Некрасов, А.С. Перфильев, Н.Н. Херасков, С.Г. Самыгин, А.В. Лукьянов, А.А. и Г.Н. Савельевы. В качестве геологических признаков расслоенности были названы сорванные покровы, системы фронтальный надвиг—тыловой раздвиг, диабазовые комплексы (параллельные дайки), разнообразные пластические деформации, тектонические брекчии и некоторые другие. Сюда же затем были отнесены: трансформа сдвиг—надвиг, региональные тектонопары типа "фронтальное поднятие—тыловая депрессия" (см. выше), изменчивый характер тектонической делимости и кинематики разломов, а также структурных рисунков на разных глубинных уровнях в земной коре (А.И. Суворов, 1979 г.), [Тектоническая..., 1992], рамповые пояса (А.И. Суворов, 1983 г.) и т.д. Тектоническую расслоенность платформ недавно рассмотрел Ю.Г. Леонов [1991].

Дальнейшее развитие концепция получила в сборнике "Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования" [1990]. Здесь Ю.М. Пущаровский дал такое определение расслоенности: "Тектоническая расслоенность — это результат дифференцированного по скорости субгоризонтального смещения глубинных и (или) близповерхностных масс литосферы, сопровождаемого срывом литопластин с образованием тектонических ансамблей скучивания в одних местах и деструктивными процессами в других" (с. 4). В дополнение к этому А.Л. Книппер ввел понятие "конседиментационная расслоенность", подразумевая под этим формирование "реологически неоднородных толщ, поразному реагирующих на процесс сжатия", границы между которыми "и служат поверхностями разномасштабного расслоения" (с. 8). Одновременно он отметил и структуры расслоения, возникающие в обстановке растяжения (например на пассивных окраинах континентов).

В итоге анализа совокупности фактических данных в качестве основных поверхностей срыва названы: граница чехла и фундамента, поверхность Конрада (гранитогнейсовые аллохтоны), поверхность Мохо (офиолитовые аллохтоны) и астеносферные слои (дунит-гарцбургитовые аллохтоны).

НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ ДАННЫЕ

Среди других данных, полученных при изучении структуры континентов во второй половине текущего столетия, необходимо в первую очередь отметить данные многоплановых исследований Земли из космоса. Этим исследованиям и их результатам посвящена огромная литература, с разных сторон освещающая многие закономерности строения поверхности Земли и ее глубинных зон. Не касаясь всего комплекса затрагиваемых вопросов, отметим лишь то новое, что способствовало на базе изучения космофотоснимков развитию мобилистских идей.

Прежде всего были подтверждены многие разломы с крупными подвижками земной коры, о существовании которых высказывались большие сомнения. На фотокосмоснимках некоторых регионов наиболее отчетливыми оказались разломы растяжения [Розанов, 1980]. В других местах, например в Средней Азии, при дешифрировании снимков выявились протяженные сдвиги, особенно обновленные новейшими движениями. Так, амплитуда известного Таласо-Ферганского сдвига за плиоцен-четвертичное время составила от 9 до 14 км, в современную эпоху — 30—50 м. Амплитуда сдвигания по разломам Кумбель-Кокандскому, Главному Копетдагскому и Герирудскому — до 10 км [Борисов, Глух, 1982].

С.С. Шульц (мл.) [1975] при обобщении космических данных отметил, что многочисленные молодые сдвиги устанавливаются по смещениям речных долин, берегов озер, контуров побережий, линейных складок и т.д. Их амплитуда составляет от сотен метров до десятков километров, причем сдвиги на снимках особенно отчетливы в рифтовых зонах, молодых орогенических поясах, островных дугах, в зонах новейших поднятий и в районах повышенной сейсмической активности. С.С. Шульц различает линейные сдвиговые зоны и площади с мозаичным расположением сдвигов;

во втором случае внутренние блоки оказываются повернутыми по часовой или против часовой стрелки. В северном полушарии крупные системы сдвигов обрамляют по флангам движущиеся в северном направлении литосферные плиты и блоки — Тихоокеанскую плиту и блоки Аравийский, Индийский, Адриатические и Малоазийский. На Памире по флангам просматриваются сдвиги, по фронту — зоны скучивания. Розы ориентировки сдвигов всегда обладают четкой выраженностью преобладающих направлений (в Северной Монголии, например, на 75, 340 и 25°). По С.С. Шульцу, "повсеместная распространенность сдвигов свидетельствует о значительно большей мобильности континентальной коры, чем это предполагалось ранее" (с. 21).

В.Н. Брюханов и В.М. Моралев в 1980 г. наметили по космическим снимкам крупные дугообразные разломы, отражающие, по их мнению, следы пологих сечений земной коры; позже эти разломы стали рассматриваться как пологие надвиговые поверхности.

Возможность выявления с помощью космических снимков погребенных структур и линеаментов была отмечена в начале 70-х годов П.Ф. Флоренским, а затем попытка решения этой проблемы была предпринята на примерах молодых орогенических областей — Восточного Кавказа и Тянь-Шаня [Макаров и др., 1974]. При этом были выявлены несоответствия в структурных планах различных глубинных горизонтов. Так, на востоке Большого Кавказа, как выяснилось, в верхнем осадочном чехле преобладают складки и разрывы общекавказского простирания, в среднем слое, куда входят верхние горизонты кристаллической коры, главная роль принадлежит линейным деформациям, простирающимся диагонально к структуре верхнего слоя; в нижнем слое (глубокие горизонты коры) вновь проявляются продольные зоны деформаций, осложненные поперечными нарушениями. Несоответствие генерального рисунка, видимого на мелкомасштабных космоснимках, и поверхностной структуры выявлено также на юго-западе Гиссара, в Таджикской депрессии, на юго-востоке Восточно-Европейской платформы и в других местах.

На основании всех этих фактов авторы высказали предположение, что с увеличением обзорности и уменьшением разрешающей способности космоснимков на них проявляется структура все более глубоких горизонтов и что "дешифрирование космических изображений с разной разрешающей способностью выявляет значительные различия в структурном плане приповерхностных и глубинных горизонтов коры, что позволяет ставить вопрос о ее дисгармоничном строении" [Макаров и др., 1974. С. 130].

В более поздней работе эти же авторы установили и некоторые количественные зависимости опознавания глубинных структур от масштаба космических снимков. По их данных [Геологическое..., 1978], наиболее крупномасштабные космоснимки с разрешением 0,05—0,1 км дают представление о геологической структуре верхнего осадочного слоя. Снимки с разрешающей способностью 0,3—0,2 км позволяют выявить структуру на глубинах 10—25 км. Наконец, мелкомасштабные космоснимки с разрешением 0,8—1,5 км фиксируют структурные элементы на глубинах 20—60 км. Эта закономерность и вытекающее из нее несоответствие структурных планов на разных глубинных уровнях были исполь-

зованы в качестве одного из аргументов в системе доказательств тектонической расслоенности литосферы и послойных горизонтальных перемещений (см. выше).

Несоответствие генерального рисунка, видимого на мелкомасштабных космоснимках, и поверхностной геологической структуры было отмечено в ряде мест Европы (R.A. Whittle, J.C. Gutmanis, D.T. Schilston, 1983 г.).

По материалам карты линеаментов и кольцевых структур территории бывшего СССР (В.Н. Брюханов, В.А. Буш, Е.Л. Елович и др. [1982]) разломы были подразделены на несколько групп, каждая из которых отражает различные обстановки разломообразования разных глубинных уровней. Например, секущие разломы достигают наибольших глубин; они образуют особую глобальную систему с регулярным расположением относительно современной оси вращения планеты. Граничные разломы (вторая группа) связаны с общей структурой базальтового и гранитно-метаморфического слоев и не имеют упорядоченного расположения к фигуре Земли. Внутрирегиональные разломы (третья группа) характеризуют строение верхней части гранитно-метаморфического и осадочного слоев и чаще всего совпадают с сетью разломов, установленных геологическим картированием. Что же касается выявленных во множестве кольцевых структур и других дислокаций центрального типа — они также образуют свои вертикальные эволюционные ряды, подобные послойным рядам разломов, причем... "ультраметаморфические структуры могут сменяться во времени магматогенными, а над обоими типами структур в платформенном чехле могут формироваться пликативные структуры" [Брюханов и др., 1982. С. 13].

Глобальный подход к линеаментам с мобилистских позиций, основанный на материалах "сверхмелкомасштабных" космических съемок ("Метеор", "Нимбус", ЕССА), осуществлен в статье В.А. Буша, В.Г. Трифонова и С.С. Шульца [Тектоника Азии, 1984]. Эти авторы установили крупнейшие линеаменты трансконтинентального ранга, имеющие протяженность до 10—25 тыс. км в ширину от первых десятков до 200—300 км. По их мнению, вдоль таких линеаментов происходят крупные перемещения микроплит, например, между Атласско-Азовским и Красноморско-Боденским — на 300—500 км к востоку с поворотом против часовой стрелки, или между Красноморско-Боденским и Эльбско-Загросским — на 300—750 км к северо-западу. Некоторые линеаменты планетарной сети "просвечивают" из-под перемещающихся над ними плит (например, линеамент Шпицберген—Вардар из-под Паннонской плиты, занявшей новое положение, и др.)

В этой же статье намечено широкое распространение сдвигов на территории Евразии, образующих линейные и мозаичные системы. Выделены динамические структуры типа вихрей или структур вращения (например Лутское плато в Центральном Иране); эти образования "закручены" против часовой стрелки. Обращено внимание и на зоны скучивания литосферных масс, одни из которых поддвиговые, а другие складчато-надвиговые. Лучше всего они выражены в Альпийско-Азиатском орогеническом поясе, где на космических снимках различаются относительные сужения — синтаксисы: Гибралтарский, Сирийский, Памиро-Пенджабский

и Ассамский, возникшие против выступов к северу и северо-востоку плит Гондванской группы — Африканской, Аравийской и Индийской; во фронтальных частях этих последних развиты мощные покровные комплексы, сочетающиеся с крупными правыми и левыми сдвигами. Наконец, определен характер позднечетвертичных движений по активным разломам (импульсный, криповый и переменный).

Горизонтальные перемещения земной коры подтверждены новыми палеоботаническими, палеонтологическими и палеоклиматическими исследованиями Л. Кинга [1967], С.В. Мейена [1969], В.А. Вахрамеева [1971] и др.

* * *

Приведенные фактические данные современных структурных исследований на континентах — о покровно-надвиговых структурах и тектонической расслоенности литосферы, о горизонтальных сдвигах, раздвигах и грабен-рифтовых структурах, о локальных структурно-вещественных преобразованиях земной коры, связанных с латеральными подвижками, наконец, материалы дешифрирования космических снимков — все это однозначно доказывает, что крупномасштабные горизонтальные перемещения масс литосферы и проявляющиеся в ней горизонтальные напряжения есть реальность, обязательная и характерная черта в динамике развития Земли и что структурные последствия этих перемещений и напряжений многообразны. Одни из возникающих структурных форм связаны с горизонтальным сжатием, другие — с горизонтальным растяжением, одни — при пластическом течении, другие — при хрупком упругом скольжении по поверхностям срыва на разных глубинных уровнях. Они образуются буквально во всех горизонтах земной коры и верхней мантии, создавая погоризонтные системы или вертикальные ряды парагенезов от микро- до макроуровней, разнообразные в зависимости от вещественных и геодинамических обстановок, с тем или иным морфологическим и кинематическим выражением, а также структурным рисунком на дневной поверхности. И все они, при соответствующем анализе, могут быть диагностическими признаками горизонтальных перемещений в литосфере.

Вместе с тем эти же данные породили новые проблемы, касающиеся главным образом механизмов и в особенности причин больших горизонтальных перемещений, которые все еще остаются загадкой. Не всегда ясными остаются и соотношения, особенно количественные, горизонтальных и вертикальных перемещений при формировании тех или иных тектонических структур. Все это по-прежнему вызывает острые дискуссии и стимулирует разработку все новых и новых гипотез. Они будут рассмотрены в последних разделах настоящей монографии.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Важнейшую роль в развитии мобилизма в геотектонике на современном этапе сыграли геофизические исследования (главным образом сейсмические, изучение землетрясений, палеомагнитные и некоторые другие), раскрывшие физическую сущность многих морфоструктурных и кинематических явлений и процессов в тектоносфере Земли.

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как уже отмечалось, сейсмические исследования получили широкое распространение на всех континентах. Было вновь подтверждено, что земная кора имеет слоистое строение. По закономерным изменениям физических свойств (плотность, скорость распространения упругих волн и т.д.) она была подразделена на три основных слоя — осадочный (скорость 3—4,5 км/с), гранитный (скорость 5,5—6 км/с вверху и 5,9—6,3 км/с внизу), базальтовый (скорость 6,6—7,2 км/с вверху и 7,5—7,8 км/с внизу). Определена также плотность верхней мантии (3,1—3,2 г/см^3) и скорость сейсмических волн (8 или 8—8,2±0,4 км/с) [Борисов, 1967; Вольвовский, 1973; Беляевский, 1974].

В связи с расплывчатостью границы К (Конрада) в дальнейшем была предложена трехслойная модель консолидированной земной коры (ниже осадочного слоя), где, по И.П. Косминской и Н.А. Павленковой, выделены слои со скоростями (в км/с): верхний слой — 5,5—6,4, промежуточный — 6,4—6,7, нижний — 6,8—7,7. В 1987 г. на северо-востоке Балтийского щита группой авторов была разработана еще одна — четырехслойная модель со слоями (сверху вниз): 1) гранитно-метаморфическим, 6 км; 2) переходным от среднего к основному составу пород, 12 км; 3) основного состава, 18 км; 4) переходным между основным и ультраосновным составами пород, 0—12 км. Наконец, для северной части Швейцарии и южной части ФРГ С. Мюллер в 1987 г. установил пятислойную модель консолидированной коры со скоростями слоев (в км/с): *1* — 5,9; *2* — 5,5; *3* — 6,3; *4* — 6,2; *5* — 6,6—6,8.

Границы между выделенными сейсмическими слоями, определяемые нарастанием скоростей продольных сейсмических волн, в одних случаях резкие, в других — расплывчатые. Резкие границы обычно разделяют разные по составу и свойствам слои. К ним нередко приурочены нижние кромки намагниченных тел, что наблюдалось в разных тектонических регионах на глубинах 10—15 км (Г.И. Каратаев, 1960 г.; А.Г. Гайнанов, 1969 г.; В.Э. Волк, 1964 г.; Г.Г. Кассин, 1967 г.); местами же они прослеживаются до границы Мохоровичича [Строение..., 1974]. В случае расплывчатых границ между сейсмическими слоями устанавливаются переходные зоны. В Северной Америке и Западной Европе, например, по К. Проделю [Исследования..., 1980], подошва земной коры — это довольно мощная зона постепенного перехода от скоростей, типичных для земной коры, к мантийным скоростям. Для северо-восточной части Канадского щита мощность переходной зоны составляет 10—15 км, для Украинского щита — 8—10 км (данные Н.И. Павленковой), в других местах — 1—5 км [Соловьева, 1981]. Кроме того, выделяемые сейсмические границы далеко не повсеместны, и в масштабе планеты удается протрассировать только две из них — поверхность фундамента Ф и поверхность Мохоровичича М, которые и разделяют литосферу Земли на три слоя [Кунин, 1989].

Природа сейсмических границ в земной коре в разное время истолковывалась по-разному. А.В. Пейве [1961] предположил, что они намечают поверхности тектонического срыва и скольжения, к уровню которых приурочено изменение физических свойств горных пород. Таковыми в

первую очередь он считал поверхности Конрада и Мохоровичича. И.А. Резанов в 1960—1965 гг. неоднократно отмечал, что эти поверхности приурочены к границам разновозрастных структурных этажей древних метаморфических комплексов. О стратиграфической природе сейсмических границ, принимаемых за "границы несогласий отдельных комплексов", высказывался также Ю.Н. Годин (1962 г.). А.П. Виноградов (1962 г.), Ю.В. Ризниченко и И.П. Косминская (1963 г.) предположили, что это — поверхности фронтов метаморфизма.

Точно так же А.А. Борисов [1967] считал, что горизонтальная расслоенность земной коры... "определяется поверхностями, которые соответствуют фронтам мигматизации, гранитизации, базальтификации, как правило, связанными со специфическими явлениями глубинного метаморфизма" (с. 43). В.В. Белоусов (1966 г.), Д.Х. Грин и В.Э. Рингвуд (1967 г.) связали эти поверхности с фазовыми переходами от одного сейсмического слоя к другому. В.И. Богданов (1967 г.) объяснил слоистость коры образованием новых структурных и текстурных форм вещества в специфических условиях земных недр. Наконец, по Г.Д. Афанасьеву (1967 г.), субпараллельность геофизических границ свидетельствует о том, что геофизическая стратификация вызвана изменением физических свойств гетерогенной среды под влиянием возрастающей с глубиной нагрузки вышележащих толщ.

Трактовка этого вопроса под давлением новых фактов в конце 60-х годов изменилась и стала более однозначной. На Балтийском щите И.В. Литвиненко с соавторами [1968] по профилю ГСЗ Имандра—Варзуга проследили ряд отражающих границ, соответствующих по своему расположению надвиговым плоскостям, установленным в этом районе геологической съемкой. Наибольшее количество наклонных отражающих площадок пришлось на глубины 10—12 км, откуда они вышли на поверхность в зоне разлома, ограничивающего с севера Центрально-Кольский антиклинорий и падающего под углом около 45°. Многие из отражающих границ подходят к дневной поверхности под углом 45—80°, а на глубине 2—5 км выполаживаются до субгоризонтального положения. Крупные же "геологические" разломы надвигового типа с углами падения 30—40° геофизически прослеживаются до глубины 30—40 км и более. Аналогичные разломы до глубины 10 км В.С. Соллогуб и А.В. Чекунов в 1971 г. показали на сейсмическом разрезе в районе Коростеньского плутона (Украина).

В более поздней работе по Балтийскому щиту И.В. Литвиненко, С.А. Анкудинов и Л.Н. Платоненкова выделили в земной коре два типа сейсмических границ — наклонные, часто крутые и пологие, почти горизонтальные [Строение..., 1977]. Одна часть этих границ тяготеет к известным контактам пород разного состава, другая — к тектоническим нарушениям среди сравнительно однородных по составу пород. Наряду с этим они отметили, что "пологие границы земной коры могут быть связаны с переходными слоями, характеризующимися большими градиентами скорости или пачками тонких слоев с переменными параметрами" и "могут отождествляться с фронтами различных фаций регионального метаморфизма" (с. 55).

Примерно в это же время Р.А. Гафаров [1970] поднял вопрос о

глубинном покровно-чешуйчатом строении Урала (в связи с идеей о горизонтальных перемещениях тектонических пластин с востока на запад) и отразил это на геофизических профилях. Его построения были подкреплены новой информацией по восточному склону Среднего Урала, где были выделены наклоненные сейсмоструктурные зоны [Кейльман и др., 1977]. С одной из систем наклонных отражающих площадок установлена связь гнейсово-мигматитовых комплексов, с другой — наклонные гипербазитовые и габбро-гипербазитовые пояса.

По северному краю Альп, согласно данным Х. Миллера, крупный надвиг известняков на молассу прослежен на глубину по серии коротких сейсмических профилей и магнитно-теллурическими измерениями [Исследования..., 1980]; структура надвига выявлена на сейсморазведочном профиле, установлены также его крупные размеры и параллельность главной оси Альп.

Возможность использования сейсмического метода для установления зон надвигов в земной коре обосновал П. Гизе [Исследования..., 1980]. По его мнению, "если плоскость скольжения расположена в низах коры или в верхней мантии и в движение вовлечены высокоскоростные образования, в результате может образоваться чередование низкоскоростных (сиалических) и высокоскоростных (базитовых и ультрабазитовых) этажей" (с. 62). И далее: "Резкое изменение мощности коры может служить признаком для выявления зоны надвига или зоны сдавливания коры: (с. 68). В качестве доказательств этого П. Гизе привел несколько примеров: зону Ивреа в Западных Альпах, район Апеннин и, предположительно, Крым и Кавказ. На Украинском щите, по В.И. Шарову и Г.А. Гречишникову (1982 г.), изучение разломов кристаллического фундамента методом отраженных волн показало систематическое изменение их наклонов от крутых у земной поверхности до средних (30—35°) на глубинах 2—15 км и почти до горизонтальных вблизи кровли корового волновода.

А.В. Пейве [1981] суммировал геофизические и геологические данные о поверхности Мохоровичича, в том числе данные прямых ее наблюдений в обнажениях (Аппалачи). Он показал, что эта поверхность проходит в основании полосчатого комплекса третьего геофизического слоя (выше комплекса гарцбургитов, лерцолитов и дунитов). Здесь происходят процессы гидротермальной переработки пород верхней части мантии и мафической части нижней коры (например серпентинизация), что приводит к потере вязкости горных пород и вообще к резким изменениям их физических свойств — уменьшению плотности (с 3,3 до 2,55 г/см^3) и скорости продольных сейсмических волн (с 8 до 5 км/с), а также к понижению прочности и увеличению пластичности. В результате развиваются зоны пластического течения, при котором происходят тектонические срывы, дисгармоничное смятие, скучивание масс или спрединг.

Таким образом в 80-е годы было доказано, что многие глубинные (наклонные и горизонтальные) сейсмические поверхности по границам сейсмических слоев, определяемые по скачкообразному возрастанию сверху вниз скорости прохождения продольных сейсмических волн и имеющие разную природу, находят в конечном итоге выражение в структуре земной

коры как поверхности тектонического срыва и крупномасштабного скольжения масс.

Одна из последних попыток определить природу главных геофизических границ в земной коре континентов принадлежит С.Н. Иванову [Тектоника..., 1993]. На основании новых данных (изучение водного режима регионального метаморфизма, гидродинамики подземных флюидов при бурении сверхглубоких скважин, опытных деформаций горных пород при высоких температурах и давлениях, сейсмические исследования) он также пришел к заключению, что две главные границы (K_1 и K_2) континентальной земной коры (первая в интервале глубин 7—15 км, а вторая — 22—27 км) разделяют зоны с разными реологическими свойствами и обусловлены внутрикоровыми субгоризонтальными срывами.

Крупные горизонтальные перемещения по надвигам, сдвигам и раздвигам в земной коре были подтверждены и другими геофизическими методами.

Так, по Б.А. Андрееву (1960 г.), в случае надвиговых перемещений гравитационная картина приобретает специфический вид. Если, например, антиклинорий из геосинклинальной области надвинут на район краевого прогиба, то интенсивная отрицательная аномалия, связанная с антиклинорием, как бы сливается с менее интенсивной аномалией, соответствующей краевому прогибу. Устанавливается общая для обеих структур полоса региональной отрицательной аномалии, ось которой обычно проходит в краевой части надвинутого антиклинория.

И.С. Огаринов и Ф.И. Хатьянов (1962 г.), Т.Н. Симоненко и М.М. Толстихина (1963 г.) по данным аэромагнитных съемок и гравиметрии заключили, что западная часть складчатой системы Урала шириной 40—70 км (западнее Уральского антиклинория) характеризуется физическими полями, свойственными фундаменту Русской плиты. Здесь позже были обоснованы крупные надвиги (см. выше). Фундамент Сибирской платформы, по Т.Н. Симоненко и М.М. Толстихиной, также прослеживается на восток на расстояние около 80 км под складчатым палеозоем и мезозоем Верхоянского хребта [Гафаров, 1970].

По свидетельству Р.М. Деменицкой [1975], Б.В. Гусев в 1973 г. воспроизвел реконструкцию магнитных полей Русской и Сибирской платформ, сопоставил их и доказал их единство. Он сделал вывод, что эти структуры ранее принадлежали единому мегаблоку с продолжающимися из одного в другой структурными элементами, которые были затем разобщены и раздвинуты в связи с образованием рифтов Западно-Сибирской низменности, доказанных целым рядом исследователей.

Все эти и другие, здесь не отмеченные, данные явились хорошим дополнением доказательств тектонической расслоенности земной коры.

Сейсмическая расслоенность довольно четко была установлена и в верхней мантии континентов до глубин 80—120 км. Мощность слоев здесь составляет от 5 до 20 км, а размерность такая же, как и в земной коре [Вольвовский, 1973]. На территории Франции на небольшой глубине от поверхности Мохоровичича А. Хирн отметил отчетливую инверсию скоростей, с глубины 60 км затем возрастающих до величин порядка 8,4 км/с. Горизонтальная скоростная неоднородность была выявлена Р. Канестром в мантии под Скандинавией [Исследования..., 1980].

Помимо перечисленных выше сейсмических границ в земной коре, обусловленных скачкообразным увеличением скоростей продольных сейсмических волн сверху вниз, были выделены горизонтальные зоны с их скачкообразным уменьшением, которые получили название волноводов.

Первые указания на существование волноводов были сделаны Г. Беньофом, Б. Гутенбергом и К. Рихтером в 1954 г. [Гутенберг, 1957]. Затем данные о волноводах были опубликованы в работах П. Гизе, А. Хейлза, М. Ландисмана, С. Мюллера, А.А. Лукка, И.Л. Нерсесова, Н.Н. Матвеевой, Н.И. Павленковой, А.С. Алексеева и др. Теория волноводов разрабатывалась Л.М. Бреховских (1957 г.), обобщения делались И.С. Вольвовским [1973], Г.В. Краснопевцевой [1978], И.А. Соловьевой [1981].

Во всех работах указываются следующие признаки волноводов: относительно малые пластовые скорости, определяемые по отраженным волнам от подошвы и кровли слоя; резкое понижение амплитуд на записях прямых рефрагированных волн на определенных удалениях от источника сейсмического сигнала; повышение скорости в верхней части разреза сравнительно со средней скоростью до более глубокого уровня; отсутствие на больших расстояниях общей предельной точки прямой рефрагированной и отраженной волн, связанных с поверхностью Мохоровичича.

По площади волноводы распространены локально, но отмечаются, за некоторыми исключениями, повсеместно — в районе щитов (Н.И. Павленкова, 1970 г.), древних и молодых платформ, складчатых областей разного возраста, рифтовых зон континентов (П. Гизе, 1976 г.), областей современного вулканизма (В.А. Ермаков и др., 1975 г.).

Согласно данным Ю.К. Щукина и Г.В. Краснопевцевой, волноводы четко устанавливаются под фанерозойскими складчатыми сооружениями в интервале глубин 10—15 км (Донбасс, вал Карпинского, Урал, Тянь-Шань, Памир) [Тектоническая..., 1982]; в молодых впадинах Туранской и Западно-Сибирской плит — на глубине 25—35 км; на древних платформах (Московская и Вилюйская синеклизы, Прикаспийская впадина) — на глубине 17—35 км, в Байкальском рифте — на глубине 12—17 км.

Наиболее распространены волноводы в "гранитном" слое, но устанавливаются и в "базальтовом". Глубина кровли волновода изменяется от 5—8 до 25 км. Мощность волноводов, как отмечает И.А. Соловьева [1981], колеблется от 2 до 30 км, причем наиболее мощные состоят из двух-трех слоев. Находясь внутри основных слоев, они в то же время тяготеют к главным сейсмическим границам, располагаясь вблизи границы Конрада (Закарпатский прогиб, Украинской щит, Чешский массив, провинция Бассейнов и Хребтов), вблизи кровли высокоскоростного базальта (плато Альберта, провинция Бассейнов и Хребтов), или у раздела Мохоровичича (Закарпатский прогиб, Украинский щит, зона Ивреа, Восточная Камчатка).

Наличие слоев с пониженной скоростью является характерной чертой скоростной модели не только земной коры, но и (в некоторых районах) верхней мантии. На это обратил внимание еще Б. Гутенберг [1957], отметивший наличие слоев с пониженной скоростью ниже поверхности Мохоровичича на глубинах 70—200 и около 1000 км. В Центральной Азии обнаружено два волновода на глубинах 100—150 и 240—300 км

(А.А. Лукк, И.Л. Нерсесов, 1965 г.). По Р.З. Тараканову и др. (1969 г.), под Курило-Японским регионом насчитано четыре волновода на глубинах 60—90, 120—160, 220—300 и 370—430 км. Под Альпами, по данным дисперсии поверхностных волн (Л. Кнопов, 1966 г.), волновод выявлен на глубинах от 80 до 220 км. Обычные же глубины верхнемантийных волноводов под континентами 100—350 км при наибольшей мощности под щитами, от 110—120 до 310—320 км (Е. Херрин, 1976 г.). В последнем случае, однако, они выражены очень слабо.

Геологическая природа волноводов трактуется по-разному. Их образование, по Ю.К. Щукину и Г.В. Краснопевцевой (1982 г.), наиболее вероятно: 1) при массовых излияниях базальтоидов; 2) при надвигах "высокоскоростных" пород на "низкоскоростные"; 3) при формировании зон дробления и заполнении трещин гидротермальными продуктами. По мнению И.А. Соловьевой [1981. С. 96], "одно из возможных объяснений коровых волноводов — частичный расплав и размягчение вещества при относительном перемещении его по поверхности субгоризонтальных сколов". Такое же объяснение было дано и мантийным волноводам, зарождающимся на глубинах 100—200 км [Тектоническая..., 1982]. Так или иначе, можно думать, что волноводы могут быть как причиной, так и следствием проявления горизонтальных перемещений в земной коре и в верхней мантии.

Параллельно с изучением сейсмических поверхностей и горизонтальных аномальных зон стали изучаться и сами слои между ними. Появились более точные данные как об их толщине, так и толщине земной коры по регионам и, соответственно, объяснения их закономерных изменений.

В 1958 г. по методу "осредненных графиков" Р.М. Деменицкой была составлена карта толщины земной коры территории бывшего СССР, а в 1961 г. на ее основе — серия карт с контурами "гранита", "базальта" и "гипербазита" на срезах 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 и 80 км. Это позволило ей сделать вывод о существенных различиях в строении литосферы на разных глубинных уровнях — размеры и ориентировка этих контуров оказались разными при постепенном исчезновении сначала "гранитного", потом "базальтового" слоев. Было наглядно показано, что структурные планы на разных уровнях существенно видоизменяются; несколько позже это используют геологи в качестве одного из доказательств тектонической расслоенности литосферы (см. выше).

В 1964 г. для территории СССР составляется карта рельефа поверхности Мохоровичича (А.А. Борисов, Р.М. Деменицкая, И.П. Косминская и др.), неоднократно затем улучшавшаяся [Беляевский, 1974, и др.]. Карты толщины земной коры публикуются и по другим регионам – Дж. Хили и Д. Уореном в США, Дж. Стейнхартом и Р. Мейром в Европе и т.д.

На российском материале было показано, что мощность земной коры на щитах древних платформ составляет 45 км, на плитах древних и молодых платформ 40 км, в области каледонской и герцинской складчатости 46 км, мезозойской складчастости 35 км, альпийской складчатости 50 км [Вольвовский, 1973].

В некоторых молодых складчатых областях были получены данные о резких увеличениях мощности земной коры, например в Южной Амери-

ке — до 70 км [Деменицкая, 1975], в высокогорных областях Азии (Тибет, Памир) — до 70 км и выше [Борисов, 1967]. Анализируя факты резкого возрастания толщины земной коры под Альпами, Карпатами, Кавказом, Памиром и Гиндукушем (до 60—80 км), П.Н. Кропоткин [1980. С. 185] подчеркнул, что это "может быть связано со сдавливанием земной коры в горизонтальном направлении".

На примере Казахстана было показано, что мощность земной коры увеличивается с увеличением высоты дневного рельефа, однако, согласно специальным расчетам, все утолщения коры в целом происходят не в связи с вертикальными орогенными движениями, поскольку они в данном случае проявляются вопреки изостазии, а за счет горизонтального перемещения масс [Хрычев, 1979].

Близкие выводы были сделаны П. Гизе, согласно которому "наличие существенной изменчивости толщины земной коры некоторых определенных тектонических зон... можно объяснить удваиванием коры", или, другими словами, "значительные утолщения коры и надвиговые структуры могут быть объяснены взаимными горизонтальными перемещениями слоев мощностью в несколько десятков километров, включающих в себя всю кору или ее часть и верхи мантии" [Исследования..., 1980. С. 77].

В последнее время к такому же заключению на материалах Средней Азии пришел В.И. Уломов [Геодинамика..., 1990]. По его представлениям, земная кора Средней Азии, имевшая до олигоцена мощность 35—40 км, подвергалась затем перестройке, в результате чего мощность возросла до 50—70 км; "столь значительное утолщение земной коры скорее всего представляет собой остаточные деформации литосферы, созданные интенсивными горизонтальными геодинамическими напряжениями, действующими со стороны Индо-Австралийской литосферной плиты" (с. 219).

Изменения по латерали мощностей внутренних слоев консолидированной коры (между поверхностью Мохоровичича и кровлей кристаллического фундамента) были зафиксированы буквально на всех профилях ГСЗ, гранитного слоя, например, в пределах территории СССР от 6—8 до 39—40 км, базальтового — от 6,4 до 38 км, причем с переходом от депрессий к поднятиям эти изменения носят характер закономерных раздувов и пережимов.

Причины всех этих явлений (как и для земной коры в целом) истолковывались противоречиво. Многие геологи, как уже было отмечено выше, предположили горизонтальное перетекание вещества гранитного и базальтового слоев из-под одной структуры в другую. Большинство же геофизиков видели в этом качественную изменчивость слоев только по вертикали, например в связи с базификацией земной коры, или с превращением континентального базальтового слоя в верхнемантийные слои, а гранитного — в базальтовый под влиянием глубинных эманаций, или в результате так называемой мантийной эрозии, или, наконец, в связи с поверхностной эрозией в условиях слабо гранитизированных складчатых комплексов. Некоторые же рассматривали это вне эволюции, считая мощности консолидированных слоев особенностью современного состояния вещества при определенной термодинамической обстановке.

В конце 70- и в 80-е годы глубинные геофизические модели были

значительно усовершенствованы, уточнены параметры коровых оболочек, а также их границы и секущие нарушения. В трехслойной модели консолидированной коры был обоснован реологически ослабленный промежуточный этаж и внутри этого последнего — субгоризонтальное перемещение вещества [Павленкова, 1985]. Таким образом, возникли предпосылки для признания горизонтального течения вещества во всем объеме слоев (не только вдоль некоторых сейсмических границ, о чем говорилось выше).

Колебания мощности земной коры по горизонтали с привязкой к конкретным структурам и секущим нарушениям позволили сделать вывод о ее не только вертикальной, но и горизонтальной неоднородности, о ее слоисто-блоковом строении [Федынский, Ващилов, 1977; и др.]. По этому признаку были выделены четыре типа коры — континентальный, субконтинентальный, субокеанический и океанический, с той или иной скоростной характеристикой разреза. Позже подобные представления были конкретизированы на примерах отдельных глыб и им был придан историко-геодинамический смысл, проиллюстрированный выделенными на территории СССР тремя типами литосферы: 1) консолидированной в архее—протерозое, 35—60 км; 2) консолидированной в позднем палеозое (салическо-фемического типа), 20—35 км; 3) молодой, формирующейся с мезозоя литосферы (фемического типа), 10—25 км [Геология..., 1984 г.] (данные А.А. Смыслова и др.).

В 1969 г. М.Ф. Скорикова по экспериментальным данным предположила, что в недрах Земли отношение скоростей продольных и поперечных сейсмических волн должно изменяться — увеличиваться, если напряжения горизонтальны, и уменьшаться, если они вертикальны. Рассмотренные под таким углом зрения скоростные модели А.А. Лукка и И.Л. Нерсесова позволили предположить, что в некоторых районах Центральной Азии на глубинах 100—150 км преобладает относительное горизонтальное сжатие, а по скоростным моделям И.В. Померанцевой и других в зоне действия горизонтальных сжимающих напряжений находится также Азово-Кубанская впадина [Соловьева, 1981].

По данным А.В. Чекунова [1972], А.В. Чекунова и В.Г. Кучмы [1978, 1979], напряженная обстановка в пределах одного блока может изменяться с глубиной. Так, под Днепровским грабеном в мезозое—кайнозое верхние части консолидированной коры испытывали растяжение, нижние — сжатие. Такое сочетание растяжения в верхах и сжатия в низах коры авторы объяснили "ее общим утонением с образованием шейки растяжения, вверху которой происходило опускание фундамента, а снизу (под действием напора глубинных масс) — подъем мантийного материала" (с. 799). Статистический подсчет количества разломов сжатия и растяжения и суммарных амплитуд тангенциальных смещений по ним в целом для фундамента и раздела Мохоровичича показал, что "растяжение земной коры Украины в общем было существенно большим, чем сжатие" (с. 801). Отсюда последовал вывод о раздвиговой природе Днепровско-Донецкой впадины.

Автор [Суворов, 1990] сопоставил геологические и геофизические сведения о мощностях и структурах на примере Урало-Монгольского сладчато-глыбового пояса. По материалам многочисленных исследо-

вателей здесь был составлен сводный геолого-геофизический профильный субширотный разрез.

Было установлено, что деформации "гранитного" слоя, его раздувы и пережимы с многочисленными и наклонными отражающими площадками и зонами падения скоростей сейсмических волн сопровождаются в вышележащем осадочном слое линейными пластинчато-глыбовыми образованиями, имеющими на дневной поверхности остроугольно-перекрестный рисунок регматической сети. Над раздувами гранитного слоя они формировались в условиях горизонтального сжатия и воздымания, вызвавших надвиги, взбросы и шарьяжи, а над пережимами — в условиях горизонтального растяжения и проседаний, сопровождавшихся сбросами и раздвигами. Глубина всех этих нарушений ограничивается в пределах пояса поверхностью Конрада.

Деформации "базальтового" слоя и (или) консолидированной коры в целом сопряжены с более массивными глыбовыми структурами, структурный рисунок которых на поверхности изменяется от остроугольно-перекрестного до мозаичного, разноугольно-перекрестного. Над выступами кровли верхней мантии установлено преобладание радиальных дизъюнктивных нарушений, нередко переходящих в мантию, а над понижениями — радиальных и тангенциальных, нередко сливающихся с поверхностями Конрада и Мохоровичича. Формирование первых происходило в условиях горизонтального растяжения, вторых — горизонтального сжатия. Обстановки сжатия с соответствующими нарушениями в структуре коры участками намечены и при раздувах мощности базальтового слоя. Региональным геодинамическим фоном и причиной формирования указанных соотношений явилось волнообразное перемещение глыбовых структур Урало-Монгольского пояса с востока на запад с образованием тектонопар типа "фронтальное поднятие—тыловая депрессия".

Обобщая мировые данные о неоднородности земной коры по вертикали и горизонтали, П.Н. Кропоткин [1980, с. 186] писал: ..."наблюдаемое разнообразие типов коры, их прерывистое распространение на земном шаре и смена различных структур во времени могут быть согласованы с теорией изостазии только в том случае, если основываться на ведущей роли горизонтальных движений в земной коре". Вероятно, эти его выводы могут быть распространены и на верхнюю мантию, где вертикальные и горизонтальные неоднородности также были выявлены и нашли отражение в изменчивости *P*- и *S*-скоростей в пространстве, в их зависимости от направленности распространения волн [Исследования..., 1980].

ИЗУЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Исследования современных землетрясений в связи с тектоническими структурами касались главным образом сейсмогенных разломов, известных на всех континентах. В разные годы ими занимались И.Е. Губин, В.П. Солоненко, А.А. Тресков, Н.А. Флоренсов, А.В. Лукьянов, В.Г. Трифонов, П. Молнар, П. Тапонье, Х. Беркхемер, Г. Пуркару и многие другие. В результате были получены данные о разнообразных структурных парагенезах, возникающих при катастрофических землетря-

сениях в зонах крупных сдвигов, надвигов и раздвигов. Эти парагенезы также стали своего рода диагностическими признаками крупных горизонтальных перемещений, о чем уже говорилось выше.

Особую достоверность они приобрели в связи с изучением очагов землетрясений, где был установлен характер действующих напряжений.

Дж. Ходжсон (в 1951—1954 гг.) и его сотрудники предприняли изучение плоскостей разрыва, появляющихся при больших землетрясениях, на основании направления первых вступлений волн. Р.П. Байерли [1957] использовал эти данные и после дополнительной их обработки пришел к заключению о преобладании в очагах землетрясений сдвиговых подвижек, хотя многие до этого считали, что землетрясения в механическом смысле не связаны со сдвигом. Байерли привел многочисленные примеры сдвигов в очагах землетрясений (острова Королевы Шарлотты, Британская Колубмия, Северная Калифорния, Эквадор, Перу, Чили, Монтана) с указанием простирания, падения и направления движения.

Х. Хонда (1959 г.), А.В. Введенская (1961 г.), Л.М. Балакина (1962 г.) высказали мнение, что земная кора и мантийная оболочка до глубин 500—700 км, где происходят землетрясения, подвержены сжатию в почти горизонтальном направлении. По их данным, смещения в очагах землетрясений Тихоокеанского складчатого пояса имеют характер надвигов или взбросов, нередко со сдвиговой компонентой. Значение сдвигов было отмечено также Г. Беньофом (1959 г.), Г. Веллманом и П. Амандом [Кропоткин, Шахварстова. 1965].

Более дифференцированно к вопросу о механизмах землетрясений в Японии подошел М. Исикава [Земная..., 1972], согласно которому направления сжатий в очагах верхней мантии примерно перпендикулярны простиранию зоны глубоких и промежуточных землетрясений, а направления сжатий в очагах коры и несколько ниже ее подошвы примерно параллельны общему простиранию островной дуги в Центральной и Юго-Западной Японии и перпендикулярны островной дуге Северной Японии. Общий же последовавший вывод был "о существовании в коре и верхней мантии устойчивого поля напряжений, которое может быть создано силами сжатия" (с. 142).

Характеризуя движения в очагах землетрясений областей земной коры и верхней мантии, А. Ритсема [Земная..., 1972], указал, что в земной коре нодальные плоскости вертикальны, главные напряжения сжатия примерно перпендикулярны тектонически активной зоне, и преобладают сдвиговые подвижки. В верхней мантии одна из нодальных плоскостей примерно горизонтальна, другая примерно вертикальна и параллельна сейсмической зоне, преобладают же не сдвиги, а сбросы. Знак движения по мере перехода от промежуточных очагов к глубинным, по-видимому, изменяется на обратный. Этот факт А. Ритсема объяснил перетеканием вещества мантии на глубине 200—300 км в горизонтальном направлении от океана к континенту. По его мнению, основная причина землетрясений в Японии — перенос вещества мантии от восточного, океанического блока к западному, континентальному.

Е.И. Широкова в 1962 г. выяснила, что в очагах большинства землетрясений Кавказа сжимающие напряжения действуют в направлении, перпендикулярном простиранию структур; оси сжимающих напряжений

образуют малые углы с горизонтальной плоскостью. Простирание возможных плоскостей разрыва в очагах совпадают с линиями основных разломов, а главным типом движений являются надвиги и взбросы, местами сочетающиеся со сдвигами (районы хребтов Эльбруса и Загрос). В Средней Азии, по данным этого же автора, оси сжимающих напряжений в очагах многих землетрясений имеют направление, близкое к меридиональному, т.е. как и на Кавказе, действуют почти перпендикулярно к основным горным цепям и разломам; оси растягивающих напряжений направлены почти вертикально. Этой системе напряжений отвечают напряжения как мелких, так и глубоких гиндукушских землетрясений. Для широтных разрывов характерны надвиговые подвижки, для меридиональных — сдвиговые.

Г.Д. Панасенко и З.С. Мешкова (1964 г.), изучавшие с аналогичных позиций гиндукушские землетрясения, пришли к заключению, что меридиональная ориентировка и близкое к горизонтальному положение векторов напряжений, а также характер первого смещения (в фазе *P*) свидетельствуют о возникновении всех землетрясений Средней Азии вследствие активных перемещений гиндукушских масс горных пород в северном направлении, при пассивном противодействии этим движениями со стороны более устойчивых масс Тянь-Шаня. Аналогичные процессы были установлены Х. Миллером в Европе под Альпами [Исследования..., 1980].

Иные региональные закономерности осей напряжений выявлены Л.А. Мишариной в очагах землетрясений Прибайкалья. В ее работах было показано, что земная кора в пределах Байкальской рифтовой зоны находится в состоянии неравномерного горизонтального растяжения, действующего перпендикулярно простиранию приповерхностных структур. Здесь в очагах отдельных землетрясений или их групп оси напряжений растяжения близгоризонтальны, оси напряжений сжатия близвертикальны. В окраинных частях рифта ориентация осей напряжений более разнообразна, что Л.А. Мишариной и В.П. Солоненко связывается с неоднородностью поля напряжений в этих частях [Проблемы..., 1975]. Близкие механизмы очагов землетрясений были выявлены и в других континентальных рифтогенных структурах.

П.Н. Кропоткин [1971, 1980] вместе с тем высказался о том, что "в целом в земной коре в настоящее время сжатие резко преобладает над растяжением" [1980. С. 221]. На это, по его мнению, указывают как сейсмологические данные, так и непосредственные измерения напряжений в массивах горных пород. На небольшой глубине (Балтийский щит) они составляют 150—200 кг/см^2, на глубине 900—1000 м (Швеция, Кольский полуостров) сумма напряжений сжатия, измеренных по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям, составляет 1000—1200 кг/см^2 и превышает удвоенное геостатическое давление на 530—600 кг/см^2. По П.Н. Кропоткину, сжатие зафиксировано, кроме Балтийского щита, в других районах Русской плиты (окрестности Курска), на севере Сибирской платформы, в Канаде, США, в южной части Африки, в областях палеозойской складчатости (Джезказган в Центральном Казахстане, Западные Саяны, каледониды Норвегии и Ирландии, герциниды Донбасса, Урала, о-ва Тасмания и др.), а также в Альпийском складчатом

поясе. Сжатие порядка 57—177 кг/см^2 на глубине 13—14 м было зафиксировано Н. Хастом в 1973 г. даже в Исландии. Столь широко распространенные явления сжатия П.Н. Кропоткин связал с сокращением радиуса Земли и ее контракцией в новейшее время. Этот же вывод недавно был им подтвержден в совместном с В.Н. Ефремовым докладе [Тектоника..., 1993].

Соотношения зон сжатия и зон растяжения были рассмотрены на примере структур, переходных от океана к континенту [Балакина, 1991].

В 50-е годы важное значение приобрели данные о географическом размещении и глубинах очагов землетрясений. Б. Гутенбург и Ч. Рихтер в 1948—1954 гг. составили подробный каталог землетрясений и на этой основе нашли, что сейсмическая тектоническая активность концентрируется в нескольких узких поясах. Несколько позже были выделены два великих сейсмических пояса — Циркум-Тихоокеанский (90% сейсмической энергии) и Средиземноморско-Трансазиатский (5% энергии), а также пояса мелкофокусных землетрясений, приуроченных к рифтовым зонам на материках и срединно-океанических хребтах (по Л. Сайксу, зоны мелкофокусных очагов без активного вулканизма, связанные с разломами на материках, зоны землетрясений горных цепей и осевых зон срединно-океанических хребтов). В дальнейшем все эти пояса были приняты как границы между подвижными в латеральных направлениях плитами и блоками и вместе с другими геофизическими и геологическими данными легли в основу глобальной тектоники литосферных плит (см. ниже).

В 1955 г. Г. Беньоф [1957] интерпретировал выявленные до него К. Вадати по окраинам континентов наклонные фокальные зоны как огромные надвиги между жесткими телами и подчеркнул, что они свойственны всем орогеническим структурам, связанным с крупными линейными и дугообразными хребтами и океаническими впадинами. Среди краевых сейсмогенных разломов, протягивающихся вдоль границ континентов, он выделил двух- и трехкомпонентные. У двухкомпонентных имеется поверхностная составляющая (до глубины 60 км) и более глубокая (до 300 км) при среднем наклоне 33°, у трехкомпонентных, кроме того, есть еще составляющая, уходящая на глубину до 650 км при падении 60°.

Наклонные фокальные зоны, связанные с надвигами, были установлены и в континентальных структурах. Например, по И.Е. Губину (1960 г.), во Внешней зоне Памира — между Вахшским и Дарваз-Каракульским надвигами очаги землетрясений вдоль северного фронта зоны находятся на глубинах до 3—6 км, а к югу они углубляются до 6—10 км, причем эпицентры располагаются либо непосредственно на Вахшском покрове, либо вдоль линий тыловых надвигов В Памиро-Гиндукушской сейсмической зоне, совпадающей по линии Хорог—Мургаб с дугообразными разломами между Центральным и Южным Памиром, очаги промежуточных (до 250 км) землетрясений вкрест простирания зоны с северо-запада на юго-восток постепенно углубляются и намечают в подошве поверхность, сравнительно полого (40—45°) падающую к юго-востоку, что отчетливо видно на отдельных отрезках среднеазиатского профиля, приведенного в работе 1961 г. Н.А. Введенской.

Появились данные и о послойном распределении очагов землетрясений

образуют малые углы с горизонтальной плоскостью. Простирание возможных плоскостей разрыва в очагах совпадают с линиями основных разломов, а главным типом движений являются надвиги и взбросы, местами сочетающиеся со сдвигами (районы хребтов Эльбруса и Загрос). В Средней Азии, по данным этого же автора, оси сжимающих напряжений в очагах многих землетрясений имеют направление, близкое к меридиональному, т.е. как и на Кавказе, действуют почти перпендикулярно к основным горным цепям и разломам; оси растягивающих напряжений направлены почти вертикально. Этой системе напряжений отвечают напряжения как мелких, так и глубоких гиндукушских землетрясений. Для широтных разрывов характерны надвиговые подвижки, для меридиональных — сдвиговые.

Г.Д. Панасенко и З.С. Мешкова (1964 г.), изучавшие с аналогичных позиций гиндукушские землетрясения, пришли к заключению, что меридиональная ориентировка и близкое к горизонтальному положение векторов напряжений, а также характер первого смещения (в фазе *P*) свидетельствуют о возникновении всех землетрясений Средней Азии вследствие активных перемещений гиндукушских масс горных пород в северном направлении, при пассивном противодействии этим движениями со стороны более устойчивых масс Тянь-Шаня. Аналогичные процессы были установлены Х. Миллером в Европе под Альпами [Исследования..., 1980].

Иные региональные закономерности осей напряжений выявлены Л.А. Мишариной в очагах землетрясений Прибайкалья. В ее работах было показано, что земная кора в пределах Байкальской рифтовой зоны находится в состоянии неравномерного горизонтального растяжения, действующего перпендикулярно простиранию приповерхностных структур. Здесь в очагах отдельных землетрясений или их групп оси напряжений растяжения близгоризонтальны, оси напряжений сжатия близвертикальны. В окраинных частях рифта ориентация осей напряжений более разнообразна, что Л.А. Мишариной и В.П. Солоненко связывается с неоднородностью поля напряжений в этих частях [Проблемы..., 1975]. Близкие механизмы очагов землетрясений были выявлены и в других континентальных рифтогенных структурах.

П.Н. Кропоткин [1971, 1980] вместе с тем высказался о том, что "в целом в земной коре в настоящее время сжатие резко преобладает над растяжением" [1980. С. 221]. На это, по его мнению, указывают как сейсмологические данные, так и непосредственные измерения напряжений в массивах горных пород. На небольшой глубине (Балтийский щит) они составляют 150—200 кг/см^2, на глубине 900—1000 м (Швеция, Кольский полуостров) сумма напряжений сжатия, измеренных по двум взаимно перпендикулярным горизонтальным направлениям, составляет 1000—1200 кг/см^2 и превышает удвоенное геостатическое давление на 530—600 кг/см^2. По П.Н. Кропоткину, сжатие зафиксировано, кроме Балтийского щита, в других районах Русской плиты (окрестности Курска), на севере Сибирской платформы, в Канаде, США, в южной части Африки, в областях палеозойской складчатости (Джезказган в Центральном Казахстане, Западные Саяны, каледониды Норвегии и Ирландии, герциниды Донбасса, Урала, о-ва Тасмания и др.), а также в Альпийском складчатом

поясе. Сжатие порядка 57—177 кг/см^2 на глубине 13—14 м было зафиксировано Н. Хастом в 1973 г. даже в Исландии. Столь широко распространенные явления сжатия П.Н. Кропоткин связал с сокращением радиуса Земли и ее контракцией в новейшее время. Этот же вывод недавно был им подтвержден в совместном с В.Н. Ефремовым докладе [Тектоника..., 1993].

Соотношения зон сжатия и зон растяжения были рассмотрены на примере структур, переходных от океана к континенту [Балакина, 1991].

В 50-е годы важное значение приобрели данные о географическом размещении и глубинах очагов землетрясений. Б. Гутенбург и Ч. Рихтер в 1948—1954 гг. составили подробный каталог землетрясений и на этой основе нашли, что сейсмическая тектоническая активность концентрируется в нескольких узких поясах. Несколько позже были выделены два великих сейсмических пояса — Циркум-Тихоокеанский (90% сейсмической энергии) и Средиземноморско-Трансазиатский (5% энергии), а также пояса мелкофокусных землетрясений, приуроченных к рифтовым зонам на материках и срединно-океанических хребтах (по Л. Сайксу, зоны мелкофокусных очагов без активного вулканизма, связанные с разломами на материках, зоны землетрясений горных цепей и осевых зон срединно-океанических хребтов). В дальнейшем все эти пояса были приняты как границы между подвижными в латеральных направлениях плитами и блоками и вместе с другими геофизическими и геологическими данными легли в основу глобальной тектоники литосферных плит (см. ниже).

В 1955 г. Г. Беньоф [1957] интерпретировал выявленные до него К. Вадати по окраинам континентов наклонные фокальные зоны как огромные надвиги между жесткими телами и подчеркнул, что они свойственны всем орогеническим структурам, связанным с крупными линейными и дугообразными хребтами и океаническими впадинами. Среди краевых сейсмогенных разломов, протягивающихся вдоль границ континентов, он выделил двух- и трехкомпонентные. У двухкомпонентных имеется поверхностная составляющая (до глубины 60 км) и более глубокая (до 300 км) при среднем наклоне 33°, у трехкомпонентных, кроме того, есть еще составляющая, уходящая на глубину до 650 км при падении 60°.

Наклонные фокальные зоны, связанные с надвигами, были установлены и в континентальных структурах. Например, по И.Е. Губину (1960 г.), во Внешней зоне Памира — между Вахшским и Дарваз-Каракульским надвигами очаги землетрясений вдоль северного фронта зоны находятся на глубинах до 3—6 км, а к югу они углубляются до 6—10 км, причем эпицентры располагаются либо непосредственно на Вахшском покрове, либо вдоль линий тыловых надвигов В Памиро-Гиндукушской сейсмической зоне, совпадающей по линии Хорог—Мургаб с дугообразными разломами между Центральным и Южным Памиром, очаги промежуточных (до 250 км) землетрясений вкрест простирания зоны с северо-запада на юго-восток постепенно углубляются и намечают в подошве поверхность, сравнительно полого (40—45°) падающую к юго-востоку, что отчетливо видно на отдельных отрезках среднеазиатского профиля, приведенного в работе 1961 г. Н.А. Введенской.

Появились данные и о послойном распределении очагов землетрясений

в земной коре Средней Азии и других регионов. Так, Е.А. Розова [1947], разделив все землетрясения по глубине залегания их очагов на поверхностные, нормальные и промежуточные и произведя соответствующие расчеты, получила, что 44% землетрясений, происшедших в Средней Азии, имеют свои очаги на глубине 0—10 км, 40% — на глубине 20—50 км и 16% — на глубине 60—300 км. Она пришла к выводу о существовании в этом районе двух фокальных поверхностей — на глубине около 10 км и 35±5 км. В.И. Уломов (1962 г.) вычислил, что повышенная плотность очагов среднеазиатских землетрясений наблюдается в областях с большой мощностью гранитного слоя, причем очаги в большинстве тягогеют к зоне перехода от гранитного слоя к базальтовому. Он отметил также, что главнейшие нарушения сплошности горных пород приурочены к областям относительно резкой перемены величины средней вертикальной плотности очагов.

Наибольшее число очагов Курило-Камчатских землетрясений, как было отмечено В.Н. Аверьяновой [Геологические..., 1968], приурочено к пограничной зоне между земной корой и мантией на глубинах до 60 км. К близким выводам пришел и Дж.П. Вуллард, выделивший по характеру распределения очагов на разных глубинах две системы: одна из них связана с глубинами, соответствующими разделу Мохоровичича, другая — с зоной скалывания, погружающейся от Тихого океана (приурочена к Алеутской дуге и Центрально-Американскому желобу) [Земная..., 1972].

Ю.К. Щукин [1977] на примерах Восточных Карпат, Крыма, Тянь-Шаня и Памиро-Гималайского региона показал, что в разрезе земной коры и верхней мантии чередуются слои с существенно различными количествами гипоцентров землетрясений. В Тянь-Шане очаги землетрясений сконцентрированы на глубинах 10—20 и 30—40 км, а на Памире — в верхах коры (0—10 км) и на глубинах 60—80, 100—120, 140—160 и 200—220 км. В более поздней работе [Тектоническая..., 1982] он напрямую связал глубины очагов с послойным изменением структурных планов и тектонической расслоенностью литосферы. На примере Альпо-Карпато-Балканской области он показал, что наиболее древние структуры и разломы, обновленные сейсмогенными движениями в орогенных зонах, имеют северо-восточное и субмеридиональное направление, альпийские же и новейшие структуры — северо-западное и субширотное. Первые отвечают более глубокому уровню (до низов коры и верхней мантии), вторые находятся в интервале глубин от первых километров до первых десятков километров. Проявление подобной структурно-динамической дисгармонии до глубин 150—200 км прослежено по землетрясениям района Вранча.

В той же работе Ю.К. Щукин связал образование волноводов в коре с землетрясениями, "с понижением скорости упругих волн... в результате интенсивного разупрочнения среды... очаговых зон" [Тектоническая..., 1982. С. 85]. По его мнению, "связь очагов слабых землетрясений с горизонтальными границами внутри коры и верхней мантии свидетельствует об их структурно-динамических взаимоотношениях, имеющих, по-видимому (по крайней мере в пределах орогенов) всеобщий характер" (с. 91), а "локальное возрастание числа землетрясений в зоне волновода

позволяет рассматривать его как субгоризонтальную зону высоких скоростей деформации и латеральных перемещений слоев земной коры друг относительно друга" (с. 92).

В заключение обзора сейсмологических данных необходимо отметить еще одно свойство землетрясений, как-то согласующееся с горизонтальными перемещениями в коре, но не получившие пока объяснения — это миграцию сейсмических толчков по латерали, выявленную, например, в Европейском регионе В. Карником [Земная..., 1972].

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ

Палеомагнитные исследования особенно широко развернулись в 50-е и 60-е годы, отмеченные публикациями статей и монографий многих авторов. Среди них наибольшую известность получили К. Крир (1957—1969 гг.), Т. Эйнерсон (1957 г.), Д. Гриффитс и Р. Кинг (1955—1958 гг.), Дж. Хосперс (1954, 1955 гг.), Е. Ирвинг (1957—1964 гг.), Т. Нагата (1949—1959 гг.), А. Нэрн (1957—1961 гг.), С. Ранкорн (1956—1964 гг.), А. Кокс и Р. Дойл (1960—1964 гг.), а в нашей стране А.Я. Власов (1961—1964 гг.), А.Г. Калашников (1961 г.), А.Г. Комаров (1956—1959 гг.), П.Н. Кропоткин (1958, 1961 гг.), А.Н. Храмов (1957—1965 гг.). Сводки мировых палеомагнитных данных выполнили К. Крир, Е. Ирвинг, А. Кокс и Р. Дойл, А.Н. Храмов. Первая сводка по территории бывшего СССР принадлежит А.Г. Калашникову.

Выявленные почти полувеком раньше прямая и обратная полярности магнитного поля Земли позволили в 60-е годы разработать геомагнитную хронологическую шкалу. Уже в 1949—1954 гг. была обнаружена зависимость вектора первичной намагниченности горной породы от ее возраста — чем она древнее, тем больше вектор первичной намагниченности отклоняется от вектора современного магнитного поля в данной точке. На этой основе палеомагнитным отрядом ВНИГРИ в 1959 г. была произведена палеомагнитная корреляция разрезов верхнего кембрия и ордовика на юге Сибирской платформы, что позволило их существенно уточнить [Храмов, Шолпо, 1967].

Несколько позже, как отметили А. Кокс и Р. Харт [1989], для разработки геохронологической шкалы были использованы "атомные часы", т.е. радиоактивное превращение калия в инертный газ аргон-40. В различных частях Земли были собраны несколько сотен образцов из лавовых потоков, изученные в двух лабораториях в США и в Австралии. Оказалось, что палеомагнитные полярности разделяются на четкие группы по K—Ar возрастам пород и что за последние 4 млн лет эти интервалы полярности изменялись по длительности от 0,7 млн лет до 20 тыс. лет. В 1963 г. (А. Кокс, Р. Дойл, Г. Далримпл) предпринимается попытка построить временную шкалу геомагнитных инверсий по результатам определения шести интервалов полярности и K—Ar возрастов, а в 1969 г. приводится (А. Кокс) хронологическая шкала геомагнитных инверсий, основанная на 150 определениях полярности и K—Ar возрастов.

Полученные коллективными усилиями палеомагнитные данные для разных точек Земли по палеогену и неогену при их согласовании позволили

предположить, что средним состоянием земного магнитного поля за все это время является поле диполя той или иной полярности, ориентированного по оси вращения Земли. Оказалось также, что данные по палеозою хорошо согласуются внутри каждого континента, если предположить миграцию полюсов в связи с изменением положения оси вращения Земли относительно ее поверхности. А чтобы согласовать пути миграции полюса, вычисленные по данным для разных континентов и существенно отличающиеся между собой, надо было допустить континентальный дрейф [Храмов, Шолпо, 1967]. Так ученые пришли к возможности использования палеомагнитных данных для доказательства горизонтальных перемещений отдельных участков литосферы.

Первые результаты изучения остаточной намагниченности палеозойских и мезозойских пород разных материков позволили сделать вывод об удалении Северной Америки от Европы на тысячи километров и крупномасштабном перемещении на север Индостана и Австралии (С. Ранкорн, Э. Ирвинг, А. Нэрн, К. Крир и др., 1955—1958 гг.).

По территории СССР [Храмов, Шолпо, 1967] были сделаны выводы о том, что фундамент Сибирской платформы в полосе от нижнего течения р. Ангары через среднее течение р. Лены был раздроблен на блоки, которые повернулись по часовой стрелке на угол в 30—40°, а вся Сибирская платформа повернулась по часовой стрелке на 30—40° относительно Восточно-Европейской платформы. При этом она переместилась по сравнению со своим положением в раннем палеозое на юго-запад на расстояние порядка 3000 км (или на 1500 км при вращении на 20°). Палеомагнитные исследования в Средиземноморье также обнаружили систематическое вращение глыбовых структур против часовой стрелки на угол от 25 до 60°. Пиренейский полуостров, например, по палеомагнетизму пермских и триасовых отложений, повернулся против часовой стрелки на 35° [Кропоткин, 1980].

Многими авторами строились кривые миграции полюса для Европы, Северной Америки, Индии, Австралии и Японии с целью выяснения взаимных перемещений континентов [Кропоткин, 1961б], (П. Блэкет и др., 1960 г.; П. Дюбуа, 1958 г.; Е. Ирвинг, 1958 г.). Однако, как подчеркнули А.Н. Храмов и Л.Е. Шолпо [1967. С. 138], "наличие индивидуальных кривых для разных участков земной коры заставляет считать, что действительные следы перемещения оси вращения Земли по ее поверхности, т.е. кривые миграции северного и южного полюсов Земли, остаются неизвестными". П.Н. Кропоткин [1980] также заметил, что в трактовке всех этих вопросов отмечаются расхождения, например, существует четыре варианта реконструкции Гондваны в зависимости от того, какая позиция приписывается Мадагаскару или какая роль отводится исходным (палеомагнитным и геологическим) данным. Неясным остается положение пермского полюса, так как к нему оказываются близкими угленосные отложения с флорой субтропиков в Северо-Восточном Китае.

Более уверенно, по палеомагнитным данным, трактуется процесс и время образования дугообразных структур. По ориентировке векторов намагниченности в горных породах Японских островов установлено, например, что Японская дуга в мезозое еще не имела современной изог-

нутой формы (Г. Ито, 1962 г.), она ее получила в процессе отодвигания масс платформы к востоку в связи с формированием и расширением депрессии Японского моря (Т. Кобаяси, 1954—1956 гг.). Во внутренних континентальных блоках, в частности в Средней Азии, аналогичные исследования проводились В.С. Буртманом и Г.З. Гурарием (1970 г.) и М.Л. Баженовым и В.С. Буртманом [1982]. Данные этих авторов по Памиру и крыльям Дарваз-Копетдагской дуги позволили реконструировать форму и ориентировку Северного Памира для раннего мела и палеогена, восстановить ход деформации, траекторию движения и оценить величину горизонтального перемещения Северного Памира при формировании Памиро-Пенджабского синтаксиса. Выяснилось, что палеозойские и раннемезозойские фациальные зоны Северного Памира, Северного Афганистана, Северного Харасана и Юго-Западной Туркмении в раннем мелу имели форму дуги, обращенной вершиной к югу. Крылья этой Дарваз-Копетдагской дуги были ориентированы под углом 90° друг к другу. Памирская дуга, выпуклая в настоящее время к северу, в раннем мелу и палеогене не существовала — эта территория входила в состав восточного крыла Дарваз-Копетдагской дуги, а современную форму она получила в послепалеогеновое время.

Для доказательства горизонтальных перемещений докембрийских метаморфических пород палеомагнитные исследования, по-видимому, оказались непригодными, поскольку, при нагревании пород до 580° С (точка Кюри) они размагничиваются. В докладах на 26-й сессии МГК в 1980 г. (Ж. Рой, Канада; К. Нейвонен, Финляндия; Дж. Морган, Англия; В. Гратероль, Венесуэла) излагались палеомагнитные данные по докембрию Северной Америки, Балтийского щита, Африканского щита и Гвианского щита, и был сделан общий вывод, что древние массивы не испытывали значительных горизонтальных перемещений относительно друг друга. М. Мак-Элхини же заключил, что вообще в докембрии не было значительного сближения литосферных плит, и многие орогенические пояса возникли на сиалическом основании [Кропоткин, 1981]. Гипотетичность этих выводов очевидна.

Еще одним направлением применения палеомагнитных данных в мобилистических концепциях явились расчеты размеров Земли и их изменчивости. В 1965 г. Д. Ван Хилтен по скученности палеомагнитных полюсов на Северо-Американской платформе вычислил величину радиуса земного шара для карбона в 5000 км, а для триаса в 5200 км. По данным для Европейской части СССР и севера Европы А.Н. Храмов и Р.А. Комиссарова в 1963 г. получили другие данные — радиус каменноугольного времени составил 5300 ± 300 км, для пермо-триасового — 5700 км. Однако по общей тенденции увеличения радиуса Земли в конце палеозоя был сделан обобщенный вывод о ее значительном расширении в это время [Храмов, Шолпо, 1967].

Что же касается происхождения геомагнитного поля — оно было связано с происхождением в земном ядре электрических токов. По словам М. Ботта [1974. С. 206], "единственная современная теория, которая в состоянии дать удовлетворительное объяснение основным особенностям главного магнитного поля (прошлого и настоящего) — это теория динамо... Теория динамо приписывает создание наблюдаемого геомагнитного

поля системе электрических токов в ядре и нижней мантии". По А. Коксу и Р. Харту [1989. С. 317], "геомагнитное поле генерируется в земном ядре неким механизмом жидкого динамо, сходным со многими гидродинамическими механизмами". Природа же инверсий геомагнитного поля, по их мнению, вполне объяснима теоретическими моделями, в которых электромагнитность самопроизвольно изменяет свой знак.

ДАННЫЕ О ТЕПЛОВЫХ ПОТОКАХ

Многочисленными измерениями тепловых потоков в различных странах (а они, как известно, за 30 лет с небольшим, начиная с 60-х годов, возросли от первых десятков до 14 тыс. определений по всему земному шару) была доказана тепловая неустойчивость земной коры и верхней мантии, и это их свойство также было использовано в мобилистских построениях.

В сводке Х. Хораи и С. Уэда были приведены средние значения тепловых потоков в различных структурных зонах, и они оказались изменчивыми [Земная..., 1972]. На докембрийских щитах, например, они составляют 0,92 мккал/с·см^2, в последокембрийских орогенах 1,48, в палеозойских орогенах 1,23, в мезозойско-кайнозойских орогенах 1,92, а в кайнозойских вулканических областях 2,16. На территории бывшего СССР тепловые потоки, по Е.И. Любимовой [Геологические..., 1968], наиболее значительны в тектонически активных зонах (Байкал, Карпаты, Кавказ) и низки на более древних участках. В США по Г. Симмонсу и Р. Рою [Земная..., 1972], они изменяются от 1,2 мккал/с·см^2 на востоке до 2,0 мккал/с·см^2 на западе; было высказано мнение, что если эти изменения происходят на коротких горизонтальных расстояниях, их источники должны находиться внутри коры, если — на больших расстояниях и связаны с геофизическими аномалиями в мантии, их источники должны быть в мантии.

Тепловая неустойчивость земной коры, выразившаяся в пространственных изменениях величины теплового потока, была признана одной из причин конвекционных течений в мантии, приводящих к горизонтальным перемещениям литосферных плит. По расчетам С.К. Ранкорна [Земная ..., 1972. С. 603], "отклонения плотности на одну стотысячную достаточно для возникновения течения со скоростью 1 см/год. Такое отклонение может быть вызвано разностью температур в 1°С".

В связи с тепловыми потоками были рассмотрены и процессы рифтогенеза. По данным С.В. Лысак (1988 г.), в рифтовых зонах вынос глубинного тепла значительно превышает средний тепловой поток на континентах. Здесь он возрастает в 1,5 раза, когда горизонтальное растяжение континентальной коры приводит к образованию протяженных грабенов, подобных Байкальским. В другой работе С.В. Лысак пришла к заключению, что "повышенный разогрев подошвы литосферы при подходе к ней астеносферных диапиров является начальным условием континентального рифтогенеза. Дальнейший его процесс обусловлен механическим внедрением и растеканием аномально разогретого вещества под влиянием гравитационной неустойчивости. Следовательно, рифтогенез на континентах тесно связан с термальной эволюцией литосферы и астеносферы" [Геодинамика..., 1990. С. 272].

ВЫВОДЫ

Из приведенного краткого обзора геофизических данных, полученных на современном этапе изучения континентов и более всего повлиявших на укрепление и развитие идей мобилизма, вытекают следующие выводы.

Сейсмическими исследованиями было доказано, что земная кора и верхняя мантия имеют слоистое строение и что слоистость обусловлена изменением физических свойств пород по вертикали. Границы между слоями в ряде случаев оказались тектоническими со срывом и скольжением одних слоев по другим, внутри же слоев были выявлены зоны волноводов, где породы находятся в размягченном, текучем состоянии. Текучесть вещества горных пород по горизонтали нашла такое выражение в колебаниях мощности как консолидированной коры в целом, так и ее отдельных горизонтов. Перемещения пород по горизонтали придали коре неоднородность также в горизонтальных направлениях и в целом ряде случаев подтвердили крупноамплитудные подвижки по сдвигам, надвигам и сбросораздвигам, установленным геологическим картированием (по смещениям геофизических границ на поверхности и в разрезе). Наконец, по соотношениям продольных и поперечных сейсмических волн, с учетом разных моделей, были выявлены зоны глубинного сжатия и растяжения с их чередованием по разрезу.

Изучение современных землетрясений, особенно их очагов, а также закономерностей пространственного расположения на глубину и по горизонтали, позволило выявить наклонные фокальные, в том числе глубокофокусные зоны (интерпретированные как надвиги и поддвиги), зоны горизонтального сжатия и растяжения и послойную концентрацию глубинных очагов согласно тектонической расслоенности литосферы.

Палеомагнитные данные позволили, в свою очередь, разработать геохронологическую шкалу (использованную затем для установления рифтогенных зон), выявить пути миграции полюсов и при согласовании их по материалам для разных континентов прийти к неизбежному выводу о реальности континентального дрейфа. По ориентировкам векторов остаточной намагниченности в горных породах удалось выяснить процесс и время образования дугообразных коровых структур, возникающих при крупномасштабных горизонтальных перемещениях, а по скученности палеомагнитных полюсов вычислить изменения величины земного радиуса и, соответственно, расширения Земли (например, в позднем палеозое).

Наконец, изучение тепловых потоков показало тепловую неустойчивость земной коры и верхней мантии, что послужило основой для разработки механизмов тепловой конвекции, регулирующих континентальный дрейф.

ИССЛЕДОВАНИЯ ДНА ОКЕАНОВ И ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ

Исследования дна Мирового океана на современном этапе проходили в нескольких главных направлениях — изучение рельефа, разреза океанической коры, тектонических структур, сейсмичности, магнетизма пород, теплового потока и, наконец, тектонических движений.

Данные о рельефе океанического дна приобрели в геологических построениях очень важное значение, поскольку выяснилось, что элементы рельефа и тектонические структуры, как правило, совпадают. Опубликованные батиметрические карты (в том числе и в России) отразили большую сложность топографии океанического и морского дна.

Во внутренних частях океана были выявлены срединно-океанические хребты. Отдельные элементы этих сооружений были известны еще в конце прошлого века, однако соображения о их непрерывности в виде единой системы впервые были высказаны в 1956 г. М. Юингом и Б. Хизеном (1956, 1963 гг.), которые также установили, что гребни этих хребтов сейсмически активны. По современным данным система срединно-океанических хребтов простирается через все океаны на 60 000 км, ширина ее составляет 200—1200 км, а относительная высота 1—3 км. Наибольшая расчлененность свойственна гребневой части, где обычно располагаются рифтовые ущелья, вытянутые вдоль хребтов, по Г.Б. Удинцеву и В.И. Чернышеву (1965 г.) — георифтогенали. Кроме того, известны поперечные желоба и уступы, по Р. Фейрбреджу (1968 г.) — линейные эскарпы, уподобленные тектоническим разломам. Основательно изучен Срединно-Атлантический хребет; его происхождение было связано с глобальным горизонтальным растяжением и обширным раздвигом (спредингом) океанической коры (Г. Хесс, 1974 г.). Океаническое ложе между срединными хребтами и континентальными окраинами ряд авторов (Д.П. Мак-Кензи и Р.Л. Паркер, 1967 г.; К. Ле Пишон, 1968 г.; В. Морган, 1968 г.) характеризовали как совокупность более или менее жестких пластин, разделенных сейсмогенными зонами сжатия и растяжения.

Особо были выделены надводно-подводные вулканические хребты гавайского типа, где была установлена направленная миграция во времени вулканических извержений, связанных с наличием в мантии фиксированных вулканических очагов ("горячих точек"), от которых вверх идут "мантийные струи". Горизонтальную миграцию извержений от точки к точке исследователи (Дж. Уилсон, 1963 г.; В. Морган, 1972 г.) истолковали как результат перемещения над этими точками литосферных плит, последовательно "прожигаемых" идущими вверх мантийными струями.

Давно известные островные дуги и расположенные вдоль них с выпуклой стороны глубоководные желоба стали рассматриваться в каждом случае как системы дуга—желоб, образовавшиеся благодаря действию одного механизма. Именно к этим участкам оказались приурочены наклонные сейсмофокальные зоны Вадати—Заварицкого—Беньофа. Соответственно островные дуги были приняты как поверхностное отражение явлений субдукции (Т. Матсуда, С. Уеда, 1971 г.), а глубоководные желоба — как результат надвиганий со стороны островных дуг (К. Ле Пишон и др., 1973 г.).

Одновременно в качестве единых геодинамически взаимосвязанных систем стали подробно изучаться и описываться островные дуги и расположенные с их тыльной стороны окраинные моря (главным образом по западной и северо-западной окраинам Тихого океана). Механизм их образования был связан с отодвиганием дуги (например, Японской) от

материка и формированием в ее тылах депрессии окраинного моря (например, Японского). Как уже отмечалось, такое мнение в 50-х годах высказывал Т. Кобаяси и позже П.Н. Кропоткин. Ю.М. Пущаровский [1972. С. 112] по этому поводу писал: "Структурная пара гряда—желоб и находящаяся в тылу гряды котловина образуют единую современную геосинклинальную систему... . При этом большое прогибание основания (котловины — *А.С.*) происходило на фоне оттока, возможно, выдавливания глубинных масс и их миграции по латерали". В качестве примера таких систем была названа триада: Южно-Охотская котловина, Курильская островная дуга и ее желоб.

Вместе с тем выяснилось, что в подобных системах по окраинам Мирового океана глубоководный желоб образуется не везде. По данным батиметрических карт, он появляется, когда превышение островной дуги над тыловой депрессией составляет не менее 4—8,5 км, глубина депрессии 3—6 км ниже уровня океана, а длина дуги в 1,5—2 раза больше радиуса ее кривизны, т.е. в наиболее мобильных участках литосферы.

Системы дугообразное поднятие—тыловая депрессия были намечены и во внутренних частях Тихого, Атлантического и Индийского океанов. Эти системы, по батиметрическим данным, на 1—2 км и более погружены ниже уровня Мирового океана и более обширны, имеют длину до 5—6 тыс км, ширину до 3—4 тыс. км и площадь до 15—25 млн км^2. Механизм их образования также был, по-видимому, обусловлен горизонтальной миграцией глубинных масс на большие расстояния от депрессий к поднятиям [Суворов, 1978].

В 60-х годах уточняются границы континентов, отодвинутые на рубежи материкового склона. Э. Буллард с соавторами в 1965 г. в развитие идеи о совпадении береговых очертаний Южной Америки и Африки математически обосновали ряд вариантов возможного совмещения берегов для контуров, соответствующих глубинам 100, 500, 1000 и 2000 морских саженей. Для совмещения берегов Южной Америки и Африки по идее А. Вегенера лучшие результаты получены для изобаты в 500 морских саженей. По выражению Ж. Кулона [1973. С. 81], так был найден "самый сильный довод в пользу дрейфа материков..."

Помимо отмеченных, в рельефе океанического дна различается целый ряд других элементов, например, абиссальные равнины, подводные плато, хребты не срединного и не гавайского типов и т.д., природа которых и роль в тектогенезе не выявлена, но может быть весьма значительной, в том числе и для мобилистских построений.

РАЗРЕЗ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ

Первоначально разрез был установлен сейсмическими методами. Начатое М. Юингом еще в 1935 г. сейсмическое изучение океанов было с еще большим размахом продолжено на современном этапе. Методом преломленных волн М. Юинг в 1959 г. доказал существование аномальной мантии под Срединно-Атлантическим хребтом, а Г. Менард в 1960 г. — отсутствие утолщения коры под Восточно-Тихоокеанским поднятием [Кулон, 1973].

Совместные усилия ряда геофизиков позволили установить и предста-

Таблица 3

Разрез океанической коры

№ слоя	Слой	Мощность, км	Скорость волн *P*, км/с	Плотность, г/см^3	Предполагаемый состав
	Вода	4,50	1,5	1,03	
1	Осадки	0,45	2,0	1,93	Неконсолидированные осадки
2	Фундамент	1,75	5,0	2,55	Твердые осадки, вулканиты
3	Океанический	4,70	6,7	2,95	Базальт, серпентинит, амфиболит, габбро
4	Верхняя мантия	—	8,1	3,40	

вить разрез океанической коры в следующем виде (сверху вниз): первый слой — неконсолидированные осадки со скоростью сейсмических волн до 2 км/с; второй слой (фундамент) — интрузивные и вулканогенные породы, переслаивающиеся с консолидированными осадочными образованиями, где сейсмические волны имеют скорость от 4 до 6 км/с; третий слой — образования ниже 6—8 км от уровня моря, характеризующиеся скоростью 6,7±0,3 км/с; четвертый слой — верхняя мантия, начинающаяся на глубине 10—12 км, со скоростью 8,1±0,3 км/с (М. Хилл, 1957 г.; Р. Райт, 1963 г.; Ж. Кулон [1973] и др.).

В работе Р.М. Деменицкой [1975] разрез океанической коры был приведен в более полном, обобщенном варианте (табл. 3).

Одновременно было начато изучение разреза с помощью драгирования и бурения с корабля "Гломар Челенджер". За период с августа 1968 г. по октябрь 1980 г. было пробурено 878 скважин в 532 районах морей и океанов с глубиной проникновения в породы дна до 1741 м.

Как отмечают Ю.М. Пущаровский [1980] и А.В. Пейве [1991], скважины прошли отложения первого геофизического слоя, в котором местами обнаружились сложные отложения глубоководных и (среди них же) мелководных и даже наземных отложений с многочисленными перерывами между ними; мощность этого слоя составила 1—1,5 км, возраст базальных горизонтов определен в пределах юры, мела и кайнозоя. Второй слой представлен базальтами (кровля акустического фундамента), расслоенными осадочными отложениями, общей мощностью до 2 км. В составе третьего слоя, мощность которого около 4,5 км, преобладают (по обломкам мафитов и ультрамафитов, поднятым при драгировании) породы, отвечающие по геофизическим характеристикам породам в основании коры и в кровле верхней мантии.

Были определены также возрасты слоев. Как заметил А.В. Пейве [1991. С. 192], "базальтовые и осадочные слои океанической коры во всех океанах не древнее 200—230 млн лет, что свидетельствует о кардинальных различиях геологической истории океанов и континентов, о намного более древнем возрасте формирования (слоев. — *А.С.*) на континентах". Выяснилось также, что в базальтовом слое, помимо характерных

для океана толеитовых базальтов, широко развиты и щелочные оливиновые базальты.

Полученные данные о возрасте и разрезах океанической коры уже в 60-х годах и позже были использованы для мобилистских построений, в частности для обоснования идеи спрединга (расширения океанического дна), высказанной рядом исследователей по палеомагнитным и сейсмическим материалам (см. ниже). Утверждалось, что разрезы по обе стороны от срединно-океанических хребтов построены и располагаются симметрично, а возраст пород по мере удаления от гребня увеличивается. Дж. Уилсон в 1965 г. установил, что наиболее молодые вулканы находятся вблизи раздвигающихся хребтов и постепенно удревняются в направлении их флангов, причем в этом же направлении возрастают и следы их эрозии вплоть до образования плосковерхих гайотов.

Позже на материалах бурения в Атлантическом океане рядом авторов было показано, что гемипелагические карбонатно-терригенные фации краевых зон океана по направлению к Срединно-Атлантическому хребту с обеих сторон (симметрично) сменяются сначала глубоководными пелагическими глинами, затем карбонатными менее глубоководными пелагическими осадками, при этом нижняя возрастная граница осадков вверх по склону хребта поднимается, сами же осадки сменяются базальтами с прослоями карбонатных пород. Преобладание на гребне молодых базальтов и симметричная смена их по мере удаления от него в обе стороны все более и более древними осадками также послужило поводом для заключения о раздвигании Срединно-Атлантического хребта, об образовании на его гребне рифтовых долин и "новой" океанической коры.

Полная сводка данных глубоководного бурения и геофизического изучения разрезов по состоянию на 1990 г. была выполнена специалистами ВНИИзарубежгеологии и ВНИИокеанологии и предварительно изложена Л.Э. Левиным [Тектоника..., 1992]. В строении чехла установлены глобальные региональные и локальные неоднородности, выраженные в разрезе и по латерали количеством, составом и возрастом присутствующих этажей. Было подчеркнуто, что распространение этажей в глубоководных котловинах контролируется направленностью спрединга. Так, на западе Тихого океана, на востоке и западе Индийского и по окраинам Центральной Атлантики развиты три верхних этажа (включая среднюю юру), далее в направлении срединных хребтов два, а затем лишь один олигоцен-плейстоценовый этаж.

Не менее разительными оказались изменения мощности коры в целом с переходом от дугообразных поднятий к смежным с ними тыловым депрессиям. При средней мощности консолидированной коры в океанах в 5—6 км в пределах дугообразных срединных хребтов она увеличивается до 20 км и более (Р.М. Деменицкая, А.М. Карасик, 1969 г.). В западных районах Тихого океана среднее превышение мощности второго и третьего слоев на подводных поднятиях в сравнении с соседними котловинами составляет 2 км и более (И.А. Соловьева, 1976 г.). В переходных от океана к континенту зонах изменение мощности консолидированной коры от тыловых депрессий к фронтальным дугообразным поднятиям происходит в таких размерах [Беляевский, 1974]: в Охотском море она не более 25 км, в Курильской островной дуге до 35 км; в Японском море около 9 км, в

Японской островной дуге (о-в Хоккайдо) 37—40 км. Алеутский хребет отмечается как шов океанической коры, утолщенный здесь более чем в 2 раза, с 5 до 13 км (Дж. Шор, 1970 г.). В Венесуэльской котловине мощность консолидированной коры составляет 8 км, на Малых Антильских островах более 12 км, а в пределах Карибских островных дуг возрастает до 22 км (П. Мэттсон, 1970 г.; Дж. Херси, 1970 г.). Как уже отмечалось выше, все эти изменения в толщине океанической коры и коры переходных к континенту зон могут быть генетически связаны с глубинным латеральным течением масс, направленным, как и внутри континентов, от тыловых депрессий к фронтальным дугообразным поднятиям.

ЛАТЕРАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Конкретные латеральные перемещения большой амплитуды в связи с выявлением геолого-геофизическими методами различных структурных элементов океанического дна были доказаны уже в 50-х годах. Так, по данным магнитной съемки в пределах северо-восточной части Тихого океана (Р. Мэзон, 1959 г.; В. Васкье [1959]; Р. Рафф, 1962 г.) были намечены смещения магнитных аномалий, которые были объяснены латеральными движениями вдоль гигантских разломов сдвигового типа. Вдоль субширотного разлома Меррей северная часть аномального поля оказалась смещенной к востоку на растояние 680 км (правый сдвиг), по разлому Мендосино на 1140 км (левый сдвиг) и по разлому Пайонир-Ридж — на 260 км (левый сдвиг).

Впервые эти тихоокеанские разломы в виде системы субпараллельных швов были открыты в 1952 г. Г. Менардом и Р. Дитцем и подробно описаны в 1964 г. Г. Менардом [1966] как длинные, узкие и прямолинейные полосы, несколько углубленные по сравнению с окружающим дном; длина их составила несколько тысяч километров, ширина 100—200 км, перепад глубин 3 км. По данным аэромагнитной съемки, выполненной в 1964 г. под руководством М. Фуллера, разлом Мендосино прослеживается под континентом в Неваде до 115° в.д. По Ф. Кингу, это — единственный разлом, который уверенно прослеживается по суше, сдвигая край шельфа на 80 км [Кулон, 1973].

В Атлантическом океане в зоне экватора Б. Хизен, Э. Бонс, Дж. Херси и М. Тарп в 1964 г. установили большое количество параллельных субширотных разломов тоже сдвиговой природы, например разлом Чейн, смещающий Срединно-Атлантический хребет на 320 км влево, разлом Романш — на 860 км. В Индийском океане, по их же данным, разломы вытягиваются субмеридионально. Согласно А. Лаутону (1967 г.), разлом Оуэн пересекает хребет Карлсберг у входа в Аденский залив и представляет собой правый сдвиг. В Северном Ледовитом океане Р.М. Деменицкая и А.М. Карасик в 1966 г. наметили разломы, пересекающие хребет Гаккеля. Все названные крупные океанические разломы оказались практически асейсмичными.

Д.К. Краузе [Система..., 1970] наметил еще более гигантскую экваториальную зону сдвига, фрагменты которой предполагались и раньше. Доказательствами сдвиговой природы этой зоны он считал то, что: 1) Сре-

динно-Атлантический хребет рассечен у экватора левыми сдвигами длиной до 2800 км; 2) Гвинейская зона разломов также с левосторонним движением пересекает побережье Западной Африки и отмечена 230-километровым изгибом шельфа и склона; 3) между Южной и Центральной Америкой и в северной части Южной Америки известна зона широтных сбросов, в ряде случаев (Пуэрто-Рико, Кайман) со значительным левосторонним смещением; 4) на западе Тихого океана левые сдвиги прослеживаются от Новой Гвинеи до Сулавеси, на востоке же в экваториальную зону попадают разломы Клиппертон и Кларион. По Д.К. Краузе, экваториальная зона сдвига ограничена двумя большими окружностями, расположенными под углом 12°, одна из них следует по экватору, другая пересекает его примерно в точках 150° з.д. и 30° в.д. "Такая связь, — писал он, — свидетельствует о том, что наклонная большая окружность в прошлом могла быть экватором и что зона сдвига возникла в результате перемещения на расстояние, равное 12°, полюса вращения Земли в его современное положение" [Система..., 1970. С. 275].

В конце 50-х годов мощное геологическое подтверждение получили соображения о широком развитии рифтовых структур на гребнях срединно-океанических хребтов. Выяснилось, в частности, что в пределах Северо-Атлантической плато-базальтовой провинции Исландия занимает срединное положение и является продолжением Срединно-Атлантического хребта. Б. Хизен в 1960 г. сообщил о зоне разломов, секущей Исландию на продолжении Срединно-Атлантической рифтовой зоны, которая расширяется со скоростью 3,5 м/1000 лет. А. Г.Уолкер (1959 г.) указал, что Исландия также сложена третичными плато-базальтами общей мощностью около 10 км, падающими с запада и востока в центральную часть острова под углом 8°, в сторону срединного грабена, ограниченного сбросовыми уступами. В Восточной Исландии на протяжении 37 км Г. Уолкер обнаружил 450 даек общей мощностью 2,3 км, в другом разрезе — 1000 даек с мощностью каждой 3 м. Выполнив соответствующие расчеты, он заключил, что скорость образования даек за последние несколько тысяч лет составила в среднем 6 мм/год. Как заметил С. Тораринссон [Система..., 1970. С. 123], "такая величина вполне достаточна, чтобы обусловить перемещение земной коры на несколько сот километров, начиная с третичного времени". Скорость голоценового растяжения Исландии, по его мнению, составляет 1—2 см/год.

Продольные раздвиги, сбросы, сбросо-раздвиги и сбросо-сдвиги, объединенные в Исландии в несколько пучков общей шириной 70 км, позже были подтверждены К. Саймундссоном (1974 г.). Современная ширина неовулканической зоны, по В.Г. Трифонову [1983], достигает 30—40 км, причем, несмотря на некоторые отклонения, ... "в целом подтверждается удревнение лав от оси долины к ее периферии" (с. 51). За последние 3—5 тыс. лет, по Г. Бодварссону и Г. Уолкеру, растяжение фундамента Исландии составило 30 м [Кулон, 1973].

Еще один новый класс разломов в днище океанов был установлен в 1965 г. Дж. Уилсоном [1974], доказавшим, что существуют особые горизонтальные сдвиги, резко обрывающиеся с обоих концов, по которым тем не менее могут фиксироваться значительные смещения. По его данным, такие разломы заканчиваются на концах подвижных поясов, соеди-

няясь с ними, как правило, под прямым углом. Боковое перемещение по одной стороне разлома возникает либо при формировании новой коры вдоль отрезка осевой линии подводного хребта, либо при сокращении коры вдоль ограниченного участка хребта или глубоководного желоба. Подобные разломы Дж. Уилсон назвал трансформными и указал четыре теоретически возможных случая правосторонней трансформации: срединно-океанического хребта в правосторонний полусдвиг (сдвиго-раздвиг — А.С.), правостороннего полусдвига и вогнутую островную дугу (сдвиго-поддвиг — *А.С.*)., правостороннего полусдвига в выпуклую островную дугу (сдвиго-надвиг. — *А.С.*) и срединно-океанического хребта в правостороннюю островную дугу (развиго-надвиг. — *А.С.*). Комбинация пар трех правосторонних полусдвигов может дать шесть типов правосторонних разломов, а трех левосторонних — соответственно шесть типов разломов с левосторонним смещением. По Дж. Уилсону, трансформные разломы соединяют подвижные пояса таким образом, что создают взаимосвязанную сеть, разделяющую Землю на серию "жестких плит", подверженных сравнительно небольшим внутренним деформациям; они "могут существовать лишь при условии перемещения коры...; доказательство их существования свидетельствовало бы о реальности дрейфа континентов" (с. 66).

Помимо отмеченных разломов, в структуре океанического дна были выявлены крупные надвиги и поверхности горизонтального срыва и скольжения. Р. Колман в 1971 г. предложил термин "обдукция", под которым понимался весь процесс надвигания крупных блоков океанической коры на края континентов и островные дуги.

А.В. Пейве в двух статьях 1975—1976 гг. отметил наличие подобных структур и во внутренних частях океанов, например, в ядре Срединно-Атлантического хребта. Рассматривая данные бурения, он обратил внимание на то, что здесь встречены все типы пород офиолитовой ассоциации (дуниты, гарцбургиты, лерцолиты, пироксениты, габбро, анортозиты и т.д.) и среди них же — базальты, метаморфизованные в зеленосланцевой или амфиболитовой фации. Всем этим породам в той или иной мере свойственны дробление, катаклаз, сланцеватость, милонитизация, плойчатость. В них имеются зеркала скольжения, пластические деформации серпентинизированных ультрабазитов и полосчатые стресс-амфиболиты. На этом основании был сделан вывод, что "деформации, как и метаморфизм, развиты на всей площади хребта и носят ярко выраженный характер деформации сжатия, а не растяжения" и что "в геологической истории хребта был этап сжатия, скучивания горных пород, во время которого возникло... настоящее складчатое сооружение в океанической коре" [Пейве, 1991. С. 109]. Вместе с тем он подчеркнул, что рифтогенез и блоковую тектонику с излияниями базальтов в Атлантике следует считать проявлением послескладчатого орогенеза в океанической коре растущего срединного хребта.

По Н.А. Богданову [1979], в пределах современных океанов устанавливается несколько поверхностей горизонтальных срывов с наиболее четкими тектоническими деформациями внутри гарцбургитового слоя и с образованием на разных уровнях разреза офиолитов серпентинитового меланжа разного состава. Он подчеркнул, что главные горизонтальные

срывы в офиолитовых разрезах появились в океанических условиях — у зон спрединга и в зонах обдукции.

Рассматривая все эти фактические данные, Ю.М. Пущаровский [1980. С. 155] писал: "Если принять, что значительные области океанского дна могут испытывать тектоническое сжатие, сопровождающееся горизонтальными срывами, то изменения в строении коры (колебания мощности геофизических слоев и др. — *А.С.*) можно объяснить явлениями механического скучивания тектонических пластин, происходящими на разных уровнях".

Несколько позже он с соавторами [Пущаровский и др., 1985] на примере Южно-Атлантического хребта установил внутри 3-го слоя целую систему протяженных надвигов, а еще позже привел ряд новых фактов, подтверждающих широкое проявление чешуйчато-надвиговых структур в зонах поперечных разломов в Атлантике (Зеленого Мыса, Долдрамс, Архангельского) [Пущаровский и др., 1991].

В 80-х годах подобные структуры, подтвержденные геофизическими исследованиями и глубоководным бурением, были открыты и в других местах — в районе о-ва Барбадос, у побережья Гватемалы (Ж. Обуэн), в зонах разломов Кларион—Клиппертон на северо-востоке Тихого океана (О.Д. Корсаков, А.И. Пилипенко, 1989 г.), в Бразильской котловине (Ю.Н. Разницын, Р.Г. Чинакаев, 1989). Общие соображения о тектонической расслоенности океанической коры были сформулированы Ю.Н. Разницыным [1989], [Тектоника..., 1992].

Особое внимание Ю.М. Пущаровский [1991] обратил на морфологию и положение разломов разного кинематического типа в Атлантике, выделив следующие их разновидности: 1) трансокеанские разломы, пересекающие дно океана; 2) разломы срединного хребта; 3) разломы, пересекающие сводовую часть срединного хребта; 4) разломы, развитые лишь по одну сторону хребта; 5) фланговые разломы (по флангам срединных хребтов); 6) периферийные разломы по океанским окраинам. Он справедливо отметил, что на этом пути изучения разломов "нас ждут новые крупные идеи в отношении механизмов и истории тектонических процессов" (с. 695).

ИЗУЧЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ОКЕАНАХ

Как и на суше, исследования землетрясений в океанах были многоплановыми, и они также сыграли свою, может быть, наиболее существенную роль в развитии мобилизма. Выяснилось, что очаги землетрясений имеют разную глубину и сконцентрированы в определенных поясах, занимающих в литосфере наклонное либо вертикальное положение.

Как уже отмечалось выше, по систематическому распределению глубокофокусных очагов в районах глубоководных желобов и островных дуг был установлен тихоокеанский сейсмогенный пояс с глубинами до 700 км (зона Вадати—Заварицкого—Беньофа) и ряд более мелких, в пределах срединно-океанических хребтов с глубиной очагов до 10 км. Эти пояса и были использованы в качестве границ намеченных рядом авторов подвижных литосферных блоков и плит.

Л.Р. Сайкс в 60-х годах исследовал землетрясения в системах срединно-океанических хребтов, с которыми, по его подсчетам, связано 5% мелко-

фокусных землетрясений земного шара [Земная..., 1972; Новая..., 1974]. Он изучил фокальные механизмы 17 землетрясений, происходивших в различных частях мировой системы рифтов. По его данным, все землетрясения, приуроченные к зонам разломов сдвигового типа, соответствуют вместе с тем модели не просто сдвигов, а трансформных разломов — направление движения в их очагах прямо противоположно направлению, которого следовало бы ожидать в случае простого сдвигового перемещения. Движения при землетрясениях в зонах трансформных разломов происходят в основном по их простиранию — простирание одной из нодальных плоскостей для волн *P* почти совпадает с простиранием зоны разлома. А землетрясения, приуроченные к гребням хребтов, но не расположенные на зонах разломов, характеризуются в своих очагах преобладанием сбросовых подвижек. В итоге Л.Р. Сайкс пришел к заключению, что, по сейсмическим данным, "срединно-океанические хребты и их континентальные продолжения характеризуются трансформными разломами, раздвиганием океанического дна и другими чертами тектоники растяжения" [Земная..., 1972. С. 127—128]. Близкие выводы сделал также А.Р. Ритсема, подчеркнув, однако, сдвиговую природу разломов, пересекающих рифт [Земная..., 1972].

Одновременно с этим Б. Айзекс и Дж. Оливер привели первые доказательства поддвигания океанической коры (субдукции) под островные дуги [Новая..., 1974]. Эти первые доказательства были получены в районе Фиджи—Тонга. Как оказалось, сейсмические волны, генерируемые глубокофокусными землетрясениями, распространяются двумя различными путями, и их сопоставление указало на существование в верхней мантии аномальной зоны мощностью до 100 км, верхняя граница которой совпадает с сейсмической зоной. Аномальная зона погружается под дугу Тонга под углом около 45° и достигает глубины почти 700 км. Аномальность же ее определяется тем, что затухание сейсмических волн в ней низкое, а их скорости относительно высокие по сравнению со скоростями, обычно наблюдаемыми в мантии на таких же глубинах. Подобная же структура была выявлена в 1967 г. К. Вадати с соавторами в районе Японской дуги. Дж. Оливер и Б. Айзекс объяснили механизм образования таких структур следующим образом: астеносфера увлекает литосферу и заставляет ее двигаться под островную дугу вместе с корой, где возникают все землетрясения, сперва поверхностные, затем более глубокие.

Более широко эта проблема была рассмотрена в 1982 г. С. Уэдой. В статье "Сравнительная субдуктология" он выявил два механизма субдукции — чилийский и марианский. В первом на изгибе около желоба доминируют растягивающие напряжения, вызывающие сбросы, на глубине 80 км появляются надвиги, и усилия сжатия начинают преобладать. Во втором механизме на средних и значительных глубинах доминирует растяжение. Вместе с тем С. Уэда подчеркнул, что в очагах крупных землетрясений наиболее частый тип подвижек надвиговый или поддвиговый.

Характеризуя роль сейсмогенных поясов как границ литосферных блоков (в дальнейшем их будут называть плитами) и увязывая их с конкретными структурами, В. Морган [Morgan, 1968. С. 1959] писал: "Каждый блок ограничен поднятием (где образуется новая поверхность), желобами (где поверхность разрушается) и крупными разломами". Так

были выделены границы дивергентные, между двумя раздвигающимися плитами вдоль срединно-океанических хребтов, границы конвергентные, определяемые схождением двух плит в области островных дуг и глубоководных желобов, и границы трансформные, намечаемые зонами секущих трансформных разломов по Уилсону.

ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ ДАННЫЕ

Магнитометры стали использовать на море в конце 40-х годов, сначала с применением самолетов, а затем при буксировке судами.

Первые результаты магнитных измерений были получены в восточной части Тихого океана. Р. Мейсон в 1958 г., а затем Р. Мейсон и А. Рафф в 1961 г. обнаружили параллельные аномалии, имеющие четыре границы, с глубиной залегания намагниченных тел около 3 км. Несколько позже Дж. Хейрцлер с соавторами (1966 г.) выявили параллельные магнитные аномалии в Атлантике на хребте Рейкьянес — в центре положительную осевую аномалию, вызванную прямо намагниченным телом (ширина 40 км, амплитуда 3000γ), и по бокам с каждой стороны шесть аномалий (ширина по 15 км, амплитуда от 500 до 1000γ), расположенных симметрично по отношению к оси хребта [Кулон, 1973].

На симметричное параллельное расположение магнитных аномалий в 1963 г. обратили внимание также Ф. Вайн и Д. Мэтьюз [Новая..., 1974]. Они установили, что в одном из участков срединно-океанического хребта скважина на глубине 13 м вошла в базальтовый слой, обладающий обратной намагниченностью. В то же время участок коры около места бурения показал нормальную намагниченность. Следовательно, как заключили они, скважина достигла слоя лавы с обратной намагниченностью, перекрывающего нормально намагниченный блок. Развивая гипотезу Г. Хесса и Р. Дитца о расширении океанического дна, они предположили, что порода приобретает намагниченность, когда она находится на оси хребта, симметричное же чередование полос положительных и отрицательных аномалий по бокам хребта, вызванных блоками слоя 2, попеременно намагниченными в прямом и обратном направлении относительно общей направленности современного магнитного поля, это чередование полос обусловлено разрастанием дна океана в сочетании с периодическими инверсиями магнитного поля Земли. "Если происходит раздвигание океанического дна, — подчеркнули Вайн и Мэтьюз, — перемещающиеся блоки нормально и обратно намагниченного материала должны двигаться в стороны от центра океанического хребта и вытягиваться параллельно его гребню" [Новая..., 1974. С. 36]. Детальное сравнение магнитных профилей и шкалы инверсий позволило Ф. Вайну и Дж. Уилсону в 1965 г. получить для хребта Хуан-де-Фука скорость разрастания в 1,5 см/год.

Последующее изучение магнитных аномалий в Северной и Южной Атлантике, в Индийском и Тихом океанах и в Арктике выявило относительно простой характер движения блоков океанической коры. Дж. Хейрцлер, Г. Диксон, Э. Херрон, У. Питман и К. Ле Пишон в 1968 г. пришли к согласованному выводу о том, что в океаническом ложе всюду "обнаруживается определенный рисунок магнитных аномалий, для которого характерно расположение аномалий параллельно и билатерально

симметрично системе срединно-океанических хребтов. Блоки включают серии чередующихся полос нормально и обратно намагниченного материала преимущественно базальтового состава" [Новая..., 1974. С. 38]. А П.Р. Фогт, Э.Д. Шнейдер и Г.Л. Джонсон прямо указали, что "соответствие гипотезы Вайна и Мэтьюза (1963 г.) общей картине распределения аномалий магнитного поля над океанической корой позволило рассматривать основную концепцию расширения ложа океанов... не как гипотезу, а как реальный факт" [Земная..., 1972. С. 505].

На основе интерпретации данных по магнитным аномалиям над Тихоокеанским антарктическим хребтом, указывающих на относительно быстрые движения дна океана в этой области, была построена шкала времени для инверсий геомагнитного поля за последние 10 млн. лет. Эта шкала применялась затем для других районов. На ее основе было установлено, например, что в Южной Атлантике, по Дж. Хейрцлеру, скорость расширения океанического дна равна 2 см/год [Земная..., 1972].

Скорость разрастания океанического дна в других регионах определялась также по карте возрастов океанического дна, составленной в России В.В. Федынским, С.А. Ушаковым и Н.В. Шебалиным (1972 г.) на основе шкалы времени магнитных инверсий. Диапазон скоростей был определен от 0,5 до 19 см/год. Были выявлены также зоны с наибольшими (Тихий океан) и наименьшими (Северный Ледовитый океан) скоростями. Анализируя этот материал, Р.М. Деменицкая [1975. С. 187] заключила, что" ... каждый океан, разрастаясь со своей средней скоростью, в действительности разрастается не с постоянной, а с переменной скоростью и, значит, наращивание коры претерпевает как ускорение, так и замедление в ходе общего процесса, вплоть до полных остановок".

Аналогичный вывод был получен и более поздними расчетами [Кокс, Харт, 1989], согласно которым средние скорости движения Северной Америки и Евразии, например, значительно уменьшились к настоящему времени. Эти авторы обратили внимание также на различия в скоростях океанических и континентальных плит — первые движутся в настоящее время со скоростью 80 км/млн лет или более, тогда как большинство континентальных плит в 4 раза или более медленнее. Другой пример неравномерности процесса, по О.Эльдхольму и др., — разрастание дна Норвежско-Гренландского моря, которое происходило в позднем палеоцене со скоростью 2,5 см/год, а в кайнозое — 9 см/год [Геология..., 1984].

ТЕПЛОВОЙ ПОТОК

Точные определения теплового потока в океанах начались по инициативе Э. Булларда в начале 50-х годов и были выполнены Э. Буллардом, Р. Ревеллом и А.Е. Максвеллом в 1956—1959 гг. Результаты исследований затем были обобщены в сводке У. Ли и С. Уэда (1965 г.), которые привели средние арифметические значения теплового потока для Атлантического, Индийского и Тихого океанов, несколько уточненные спустя 3 года Р.Л. фон Герценом и У. Ли [Земная..., 1972]. Как оказалось, тепловой поток составил в Атлантическом океане 1,32 мккал/с·см^2, в Индийском океане 1,36 и в Тихом 1,50, а во всех океанах и морях в среднем 1,46 мккал/с·см^2. Наибольший тепловой поток (в мкал/с·см^2) был

установлен: на срединно-океанических хребтах — 1,82, несколько меньший во впадинах — 1,28 и самый небольшой в желобах — 0,99.

Рядом авторов было высказано мнение, что разрастание океанического дна, идущее от срединно-океанических хребтов, обусловлено тепловой конвекцией в мантии. По Г. Хессу [Новая..., 1974], именно конвекционные ячейки обусловливают высокое значение теплового потока, а их восходящие ветви приходятся на срединно-океанические хребты; скорость конвекции в мантии была им определена в 1 см/год.

На неравномерности теплового расширения океанической коры указал Ж. Кулон [1973]. Он отметил, что "если рельеф срединно-океанических хребтов является следствием теплового расширения ..., то неизбежно появление скачков в разрастании; если разрастание носит регулярный характер, что мы имеем нормальную форму хребта, соответствующую последовательному охлаждению плиты литосферы по мере ее удаления от оси. Если разрастание прекращается, хребет опускается, а если оно возобновляется, то формируются расчлененные плато типа тех, что отмечаются в действительности по обе стороны от оси в зоне гребня в Северной Атлантике" (с. 134).

Примерно в это же время исследователи пришли к заключению, что океаническая кора разогрета в значительно большей степени, чем континентальная кора и, следовательно, она более подвижна. Как отметил М. Ботт [1974. С. 236], "было обнаружено, что тепловой поток в океанах почти такой же, как средний поток на континентах. Это обстоятельство привело к единодушному мнению, что источники почти всего океанического теплового потока находятся ниже границы Мохоровичича. А это может только означать, что тепловой поток в верхней части субокеанической мантии должен быть в два или три раза больше, чем в субконтинентальной".

Наряду с радиоактивными источниками тепла и в дополнение к ним стали указываться и другие процессы, влекущие за собой разогрев Земли. По М. Ботту [1974. С. 228], например, "два других процесса, кроме радиоактивного распада, могли внести вклад в разогрев Земли в процессе ее образования: 1) высвобождение кинетической энергии при ударах протопланетных частиц, сталкивающихся с растущей Землей и 2) адиабатическое сжатие, сопровождавшееся постепенным ростом температуры". Кроме того, "возможным источником внутреннего тепла может быть диссипация энергии вращения Земли, по мере того, как вращение замедляется из-за приливного взаимодействия с Луной и в меньшей степени с Солнцем".

По мере поступления данных о величине теплового потока в разных частях океана стали возникать и новые представления о конвекции в мантии как движущей силе латеральных перемещений блоков океанической коры. Р.Л. фон Герцен и У. Ли так обрисовали этот процесс: "Когда в нашем распоряжении имелось лишь несколько десятков измерений, казалось, что данные измерений теплового потока подтверждают концепцию конвективных течений под дном всего Мирового океана. По мере увеличения количества данных и размера площади, охваченной измерениями, выяснилось, что такая простая модель не может объяснить ряда фактов [Земная..., 1972. С. 69]. Возникла необходимость выдвижения более слож-

ных моделей распространения конвективых течений в пространстве и во времени. В частности, по мнению фон Герцена и Ли, "наличие относительно узкой и непостоянной полосы высоких значений теплового потока на большинстве среднеокеанических хребтов может указывать на относительно неглубокую конвекцию, возможно связанную с интрузиями магмы вблизи поверхности" (Там же).

ВЫВОДЫ

Приведенные выше геолого-геофизические данные о строении океанической коры уже в первые десятилетия современного этапа изучения Мирового океана неоспоримо доказали широкое проявление в его пределах в разных формах горизонтальных перемещений большой амплитуды. Выявлены были, во-первых, крупные и гигантские сдвиги, рассекающие на больших расстояних срединно-океанические хребты и пространства между ними; во-вторых, крупные раздвиги в связи с формированием срединно-океанических хребтов и обособлением и расширением в их осевых частях новой, все более и более молодой океанической коры; в-третьих, — надвиги и горизонтальные сколы, предопределившие явления обдукции по периферии океанов или скучивание масс в их внутренних частях, в том числе (на определенных ранних стадиях) и в пределах срединно-океанических хребтов. В общем, морфотектоника и геодинамика океанического дна были представлены как совокупность крупных подвижных блоков или толстых пластин, раздвигающихся по границам срединно-океанических хребтов (спрединг), погружающихся под периферийные островные дуги или под континенты (субдукция) и рассекающихся трансформными разломами, вдоль которых, а также по поверхности астеносферы эти перемещения и осуществляются.

Вместе с тем при разработке всех этих вопросов сложился очень большой спектр самых различных мнений о строении, развитии и движениях океанической коры, нередко взаимоисключающих друг друга. Это относится, прежде всего, к размерам подвижных плит, их количеству, границам, возрасту, а также направлениям, способам и скоростям их перемещений.

Сопоставление основных глобальных тектонических гипотез по всем этим вопросам будет выполнено в последующих разделах работы, сейчас же мы проиллюстрируем сказанное только двумя группами региональных представлений, из которых будет видно, насколько велики расхождения во мнениях разных авторов.

Первая группа касается механизмов формирования структур по активным окраинам океанов, главным образом по северо-западной тихоокеанской окраине.

Как уже отмечалось выше, Г. Штилле [1957], основываясь на данных Б. Гутенберга, С. Рихтера и Г. Беньофа, высказал мысль о надвигании на впадину Тихого океана окружающих его континентальных блоков. По его мнению, "огромная поверхность надвиговых движений по периферии Тихого океана представляет действительную геотектоническую границу между Тихим океаном и его континентальными краями... Она служила ли-

нией геотектонического раздела первого порядка с древних времен истории Земли и была некогда, несомненно, более или менее вертикальна. В борьбе за пространство эта геотектоническая линия стала надвиговой поверхностью" (с. 202—203), как результат тектонических сил сжатия.

Примерно в это же время в сборнике "Островные дуги" Р. Швиннер, Д. Григгс, Дж. Умбгров (1952 г.), а позже Э. Краус (1959 г.) и Р. Дитц (1961 г.), опираясь на данные о глубинной сейсмичности, аномалиях силы тяжести и имея в виду дугообразную в плане форму островных дуг, также отметили надвигание на впадину Тихого океана, но объяснили это не контракцией, как Г. Штилле, а действием нисходящих подкоровых течений.

П.Н. Кропоткин и К.А. Шахварстова [1965] поддержали идею надвигания масс на Тихоокеанскую впадину, но увязали этот процесс не только с образованием островных дуг, но и с одновременным формированием впадин тыловых окраинных морей, которые возникают при отторжении масс и их отодвигании в виде островных дуг от материка. В числе доказательств этого были отмечены: 1) выпуклая в плане форма островных дуг с впадинами растяжения на тыловой стороне; 2) наклон глубинной зоны скалывания с очагами неглубоких, средних и глубокофокусных землетрясений; 3) аномалии силы тяжести — положительные на островных дугах, отрицательные на желобах; 4) напряжения горизонтального сжатия в очагах землетрясений; 5) перекрытие крупных сдвигов широтного простирания в северо-восточной части Тихого океана материковой глыбой Северной Америки.

Иначе к проблеме подошли Дж. Оливер, Б. Айзекс и К. Вадати. В 1967 г. они на разных примерах показали, что по периферии Тихого океана происходит не надвигание континентальной коры на океаническую, а, наоборот, поддвигание второй под первую [Новая..., 1974]. К такому выводу они, а также П. Фогт, Э. Шнейдер и Г. Джонсон пришли "на основании малого затухания волн *S* в пределах зоны по сравнению с мантией на аналогичных глубинах в других местах". Здесь "сейсмичность проявляется вблизи кровли зоны, то есть в хрупком коровом слое, который затащен глубоко в верхнюю мантию" [Там же. С. 545]. Были предложены два механизма этого процесса: 1) плиты погружаются в мантию под действием собственного веса в силу их отрицательной плавучести (В. Элзассер, 1971 г.); 2) плиты активно затягиваются под островные дуги или края континентов нисходящими мантийными потоками (Д. Мак-Кензи и др., 1974 г.; Г. Дэвис, 1978 г.).

В противоположность этим взглядам Ю.В. Чудинов [1985] выдвинул идею о том, что структуры зоны перехода от континента к океану образуются не в процессе поддвигания океанической плиты под континент, а в результате выдвигания, подъема и вытекания ("эдукции") мантийного вещества из-под континентов. От этого сейсмофокальная зона разрастается в сторону континента и угасает в сторону океана, а различия в скорости обусловливают отторжение краевых частей континента с образованием островных дуг, выпуклых в сторону движения.

Еще одна (не последняя — *А.С.*) точка зрения на затронутую проблему представлена в работе В.Н. Шарапова, И.Г. Симбиревой и П.М. Бон-

даренко [1984]. Опираясь на данные экспериментов, они высказали предположение о возможности образования дугообразных и спиралевидных систем разрывов в связи с первичной структурой сдвигового поля напряжений. Соответственно, природа глубоководных желобов была рассмотрена как итог действия механизма сложного широкого сдвигания, а сами желоба — как составная часть "эшелона зон растяжения, возникающих в пределах и океанического и континентального взаимодействующих сегментов литосферы" (с. 186). В заключение же было подчеркнуто, что "Камчатский или Курильский желоба... не есть следы ныряния океанической литосферной плиты под континент" (Там же). В связи с развитием грандиозных сдвигов на востоке Азиатского материка также было истолковано и происхождение впадин окраинных морей [Уткин, 1978].

Вторая группа представлений анализирует соотношения структур в днище океанов с разными типами тектонических движений. Как отметил Ю.М. Пущаровский [1978], тектонические движения в океанах нашли троякое структурное выражение: 1) обусловили формирование поднятий, входящих в систему срединно-океанических поясов — они были вызваны региональным сжатием в зонах ранее проявившихся раздвигов при схождении их стен; 2) вызвали такие разнообразные структурные формы, как сдвиги гигантской протяженности, гайоты и атоллы, сводовые и горстовые поднятия, депрессии с глубиной погружения океанского дна на тысячи метров; 3) обусловили сложные деструктивные преобразования коры, например, на больших глубинах обнаружены мелководные отложения былых континентальных структур, которые потом оказались разобщенными вследствие растяжения земной коры. В итоге Ю.М. Пущаровский пришел "к усложненному представлению о процессе тектонической деструкции, поскольку механизмы простого раздвига континентов, их погружения с базификацией или плитовой тектоники не позволяют понять имеющие здесь место структурные особенности" (с. 17).

По-видимому, здесь дело сводится к выяснению общей картины соотношений вертикальных и горизонтальных движений, которые в океанах (как впрочем и на континентах) все еще остаются довольно неопределенными. Безусловно, установленные амплитуды горизонтальных перемещений масс океанической коры многократно превосходят амплитуды их вертикальных перемещений. Точно так же различны и их скорости, к примеру, средняя скорость дрейфа коры составляет от 1 до 13 см/год, а средняя скорость вертикальных движений блоков от 5 до 10 см в тысячу лет [Пейве, 1991]. Это позволило А.В. Пейве и другим исследователям сделать вывод о ведущей роли в тектонических процессах именно движений по горизонтали.

С другой стороны, как считают сторонники подкоровых конвекционных течений (Г. Хесс, Р. Дитц, Ф. Венинг-Мейнес и др.), зоны раздвигания плит, начинающиеся от срединно-океанических хребтов, обусловлены вертикальным подъемом мантийного материала, а зоны скучивания по океаническим окраинам — его нисходящим наклонным движением. В этой концепции отчетливо просматривается тесная взаимосвязь горизонтальных и вертикальных движений, так что если основываться на ней, "великий геологический спор" о приоритете тех или иных на современном

этапе в общем виде, по-видимому, теряет свой смысл, поскольку выясняется, что они являются следствием одного, того или другого процесса, а характер их соотношений и значение изменяются в зависимости от места и времени проявления и каждый раз нуждаются в специальном исследовании.

ОКЕАНИЧЕСКАЯ КОРА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОШЛОГО МАТЕРИКОВ

Полученные новые фактические данные о строении литосферы океанического дна и ее преобразованиях в связи с доминирующими горизонтальными перемещениями масс многие исследователи современного этапа стали распространять на всю земную кору в глобальном масштабе и искать древние "ископаемые" океанические структуры в пределах всех материков. Появились интересные попытки восстановления и истории развития мезозойских, палеозойских и докембрийских океанов, а в связи с их развитием — относительные и абсолютные оценки перемещений океанических и континентальных плит по земной сфере. Параллельно с этим возникли представления о последовательном, стадийном формировании континентальной коры на океаническом фундаменте.

Начало этому было положено статьей А.В. Пейве [1969] "Океаническая кора геологического прошлого", в которой автор сопоставил разрезы мезозойских эвгеосинклиналей в Альпийско-Гималайском поясе (Динариды, Восточное Средиземноморье, Малый Кавказ, Оман) и в складчатых сооружениях вокруг Тихого океана (Береговые хребты Калифорнии, Корякское нагорье). Он установил их сходство между собой и с разрезами дна океанов и пришел к выводу, что мезозойские эвгеосинклинали представляли собой области развития океанической коры. В их разрезе присутствует "фундамент" из гипербазитов, габброидов и метаморфизованных основных эффузивов ранних циклов развития и "чехол" из основных и средних эффузивов, радиоляритов, кремнистых сланцев и пелагических известняков. По мощности и физическим свойствам "чехол" соответствует первому и второму геофизическим слоям современных океанов, а "фундамент" — третьему и четвертому слоям, охватывающим базальтовый слой и часть верхней мантии. Таким образом, мезозойские эвгеосинклинали палеогеографически были частями Мирового океана, в современную же структуру они были тектонически выжаты по разломам, и слагающие их осадки были превращены в меланж и заняли положение в подошве крупнейших аллохтонных пластин. По А.В. Пейве [1991. С. 28], "эвгеосинклинали всегда возникали на фундаменте океанической коры. Это — их главное отличительное свойство".

В том же году Дж. Дьюи [Dewey, 1969] наметил раннепалеозойский палеоокеан — Атлантический, существовавший, по его мнению, на месте каледонского складчатого пояса Северо-Западной Европы и Аппалач. А П.Н. Кропоткин в 1971 г. предположил, что Евразия является составным континентом, образовавшимся за счет соединения континентальных блоков при закрытии разделяющих их океанических бассейнов.

Продолжая развивать эту тему, Дж. Дьюи и Дж. Берд пришли к заключению, что "классификация и анализ геосинклиналей... могут быть рассмотрены в рамках представлений о расширении и сокращении океанов

путем наращивания и поглощения литосферных плит" [Новая..., 1974. С. 189]. В таких рамках, в частности, могут рассматриваться ортогеосинклинали Кея и особенно эвгеосинклинали, а также другие типы геосинклиналей, зарождающихся на океанической или континентальной коре. Было отмечено также, что молодые горные пояса и современные островные дуги, ассоциирующиеся с поясами высокой сейсмичности и вулканизма, образуются на границах между океанами и континентами (Анды), в океанах (Новые Гебриды) и там, где столкновение континентов либо уже произошло (Гималаи), либо должно произойти в будущем (Восточное Средиземноморье). Указаны были два основных типа горообразования — с участием термальных процессов над опускающейся плитой и когда происходит столкновение континента с континентом. Дьюи и Берд обратили внимание на большое сходство основных черт строения этих молодых орогенических поясов с древними поясами, считая "что их развитие было обусловлено аналогичными процессами" [Новая..., 1974. С. 192].

Сходство разреза океанической коры и стратифицированных толщ офиолитовых поясов Тетиса (Вуринос, Кипр), а также Папуа, Новой Каледонии и Калифорнии в 1971 г. отметил Р. Колман, указав, что средний состав пород офиолитовой ассоциации хорошо сопоставляется с составом океанических базальтов, габбро и перидотитов, а "базальты глубоководных океанических областей, представленные субщелочными толеитами,... поразительно похожи на подушечные лавы, диабазы, трондъемиты и габбро из офиолитовых ассоциаций" [Новая..., 1974. С. 234].

Фрагменты океанической коры в структуре альпийского складчатого пояса (юг Европы, западная часть Азии, Куба) комплексно, по вещественным и структурным признакам были рассмотрены в монографии А.Л. Книппера [1975].

На еще более широком материале проблему офиолитов (т.е. проблему раскрытия бассейнов с корой океанического типа) проанализировал В.Е. Хаин [1979], который пришел к выводу, что офиолитообразование в истории Земли протекало почти непрерывно с резким усилением в венд-кембрии и позднем триасе—юре. Подытожив все эти данные, Ю.М. Пущаровский [1980] подчеркнул, что "современная теоретическая геология признает тождество в строении земной коры океанов и офиолитовых серий континентов, что позволяет делать важные мобилистские построения" (с.148).

В связи с перемещениями литосферных плит вдоль разломов разного типа А. Миясиро в 1972 г. выделил несколько типов метаморфических поясов на окраинах континентов и под островными дугами — современный вдоль тихоокеанского побережья Южной Америки, парные мезозойские пояса (Францисканский и Сьерра-Невады, а также Новой Зеландии и Юго-Западной Японии), позднепалеозойский Чилийский пояс и др. Вместе с тем было заявлено, что не все структурные элементы, установленные в днище океанов, могут быть с таких же позиций намечены на континентах [Новая..., 1974]. Д.П. Мак-Кензи [McKenzie, 1970] тоже отметил, что... "концепция тектоники плит в упрощенном виде неприменима к границам на континенте" (с. 239), поскольку они отличаются большей сложностью, здесь не существует четких сейсмических границ и вообще "границы континентальных плит часто могут осложняться из-за наличия мелких,

перемещающихся плит, движение которых не связано непосредственно с перемещением крупных плит" (с. 243).

Тем не менее исследования по этой проблеме продолжались. Был выполнен целый ряд реконструкций для мезозойско-кайнозойского времени с целью воссоздания Пангеи (X.Le Pichon, 1968 г.; R. Dietz, J. Holdch, 1972 г.), реконструкция развития Альпийского пояса в мезозое и кайнозое (J. Dewey, W. Pitman и др., 1973 г.), а незадолго до этого было воспроизведено совмещение континентов по обе стороны Атлантики (E. Bullard, J. Everett, A. Smith, 1965 г.).

Неоднократно предпринимались попытки аналогичных реконструкций для палеозойского времени, основанные главным образом на палеомагнитных данных (П.Н. Кропоткин, 1967 г.; K. Creer, 1970 г.; M. McElhinny, J. Briden, 1971 г.; A. Smith, J. Briden, C. Drewey, 1973 г.; А.Н. Храмов, Г.И. Гончаров и др., 1974 г.; E. Kanasewich и др., 1978 г.; A. Ziegler и др., 1979 г.; S. Scotese и др., 1979 г.; A. Smith и др., 1981 г., и т.д.). В совокупности они довольно противоречиво обрисовали картину глобальных перемещений литосферных плит по земной сфере.

Наиболее полно проблему глобальной палеокинематики литосферы с позиций мобилизма проанализировали Л.П. Зоненшайн и А.М. Городницкий [1977], выполнившие реконструкции континентов и океанов по восьми эпохам палеозоя (ранний кембрий, средний—поздний ордовик, ранний—средний девон, ранний—средний карбон, поздний карбон—ранняя пермь) и мезозоя (средний—поздний триас, поздняя юра, поздний мел). В основу были положены три группы данных — геологические, палеомагнитные и палеоклиматические.

По мнению Л.П. Зоненшайна и А.М. Городницкого [1977. С. 22], "развитие и формирование складчатых поясов Земли представляет собой... историю океанов от их раскрытия до закрытия за счет расхождения и схождения континентов". "Эпизод создания Пангеи не был единичным и случайным в истории Земли. Единые континенты возникали, вероятно, где-то на рубежах 1000—900, 1700—1900, 2500—2700 млн лет, т.е. в те эпохи, которые в геологической летописи отмечены широким проявлением гранитизации и метаморфизма" (Там же).

Несколько позже Л.П. Зоненшайн с соавторами [1984] предприняли попытку абсолютных реконструкций с использованием следов движения плит над горячими точками и данных о кажущейся миграции полюса, что им позволило рассчитать положение полюсов вращения и углы поворота плит. Были вычислены параметры конечных перемещений континентов для шести моментов времени через 60 млн лет — 220, 280, 340, 400, 460 и 520 млн лет, и показано не только широтное (как в большинстве прежних реконструкций), но и долготное положение континентов. Восстановлены также пути перемещения континентов и конфигурация палеозойских океанов.

По другому, но также мобилистскому пути пошли исследования ученых Геологического института АН СССР. В 70-х годах была опубликована коллективная статья "Палеозоиды Евразии и некоторые вопросы эволюции геосинклинального процесса" [Пейве и др., 1972], в которой на основе изучения и сопоставления разрезов земной коры были показаны основные закономерности превращения океанической коры в континентальную.

Установленное сходство отложений нижних частей разреза эвгеосинклиналей с отложениями океанических структур, а также сходство в строении их фундаментов позволило рассматривать раннюю стадию развития эвгеосинклиналей как океаническую. Аналогичным образом более поздние сооружения палеозоид, отвечающие по набору вулканогенно-осадочных пород сериям современных островных дуг, стали рассматриваться как показатели переходной от океана к континенту стадии. Процесс же превращения океанической коры в континентальную был сведен к формированию "гранитного" слоя, за которым следует континентальная стадия развития земной коры. Выяснилось, что "гранитный" слой создается «как путем его новообразования на океанической коре (гранитизация, выплавление гранитоидов), так и путем перераспределения в пространстве (в результате горизонтальных движений) участков "гранитного" слоя, возникших в более ранние геотектонические периоды» [Пейве, 1991. С. 70).

Исходя из этих теоретических предпосылок, коллектив Геологического института АН СССР во главе с А.В. Пейве и А.Л. Яншиным в 1976 г. составил новую тектоническую карту Северной Евразии (масштаб 1:5 000 000) и к ней обширную объяснительную записку [Тектоника..., 1980]. В последней были предложены различные механизмы формирования континентальной коры, например автохтонный, с главной ролью метаморфизма и гранитизации формаций океанической и переходной стадий, и аллохтонный при тектоническом скучивании палеоокеанических структур и фрагментов древних континентальных кор. Обоснованы также основные этапы формирования земной коры Северной Евразии, в течение которых возникли области континентальной коры соответственно к началу рифея, началу фанерозоя, началу девона, середине карбона, середине триаса, середине мела, к концу миоцена. Выделены, кроме того, области с незавершенным процессом формирования континентальной коры.

В 80-х годах появились данные, поставившие вопрос о тектонике литосферных плит в докембрии. Так, в разных регионах были установлены ранние протерозойские офиолиты — в Индостане (A. Sarkar, 1982 г.), в горах Улутау, Центральный Казахстан [Макарычев и др., 1983], в Канаде (P. Hoffman, 1985 г.), офиолиты с возрастом до 2 млрд лет на северо-востоке Финляндии (A. Kontinen, 1987 г.). Были также выявлены базальные комплексы древних зеленокаменных поясов, близкие к типично офиолитовым, — пояса Йеллоунайф в Канаде (H. Helmstaed, W. Podghat, J. Brophy, 1986 г.), Уинд Ривер в штате Вайоминг, США (R. Kerr, 1986 г.), Барбертонский пояс Южной Африки (M. de Wit, R. Hart, P. Hart, 1987 г.).

В это же время на примере территории СССР обсуждалась возможность применения гипотезы плитной тектоники к структурам архея и раннего неогея [Мусатов и др., 1984]. Было отмечено, что архейские зеленокаменные пояса развивались по модели палеорифтов. В раннем протерозое деструкции и рифтингу подверглись Балтийский щит, Канская глыба, Анабарский и Алданский щиты, с горизонтальными перемещениями от 200—300 до 500—700 км. Явления субдукции не получили развития, или они были незначительными. Ограничения на субдукцию, по мнению авторов, накладывал термальный режим архея, который обеспечивал

стабильность базальтов, не допуская их фазового перехода в эклогиты. Она затруднялась также благодаря малым размерам и огромному количеству архейских литосферных плит.

В.Е. Хаин [1988] также высказался "о специфичности архейской тектоники плит, связанной с высоким тепловым потоком, малой мощностью литосферы, вязкой реологией коры во всем ее сечении" (с. 8), назвав ее эмбриональной тектоникой. Что же касается раннепротерозойской тектоники, то, по В.Е. Хаину, "это была тектоника малых плит, между которыми существовала достаточно густая сеть коротких осей спрединга" (с. 6—7).

Первые признаки субдукции при формировании тектонических структур (не увязанной, однако, со спредингом) были указаны для рифея [Мусатов и др., 1984]. По мнению этих авторов, в то время (1,4 млрд лет назад) Западно-Сибирская океаническая плита субдуцировала под континентальную плиту Сибирской платформы. Амплитуда горизонтальных перемещений, по палеомагнитным данным, составила 2500 км. Енисейский кряж, Туруханская и Игарская зоны представляли собой островные дуги, а за ними образовалось задуговое море в виде Бугарихтинского прогиба. Здесь позже сформировался кембрийско-пермский платформенный чехол мощностью 8—11 км.

Проблема древних, докембрийских и палеозойских палеоокеанов продолжает волновать исследователей и в настоящее время, что нашло отражение, в частности, в докладах на тектоническом симпозиуме в 1992 г. в г. Москве [Тектоника..., 1992].

Н.А. Божко и А.М. Никишин в своем докладе пришли к выводу о существовании в эволюции палеоокеанов двух независимых ветвей — Мирового океана Панталассы (прообраза современного Тихого океана) и вторичных рифтогенных океанов от зеленокаменных прогибов до океанов атлантического типа. А.С. Новикова и Ю.М. Пущаровский обратили внимание на существенные вариации структурно-вещественных характеристик палеоокеанических комплексов в сравнении с разрезами современной океанической коры, что может указывать, по их мнению, на эволюционные изменения симатических кор в истории Земли и на значительные отличия, например, архейской океанической коры от современной. Об этом же, с других позиций, высказался А.Л. Книппер, отметивший, что палеоокеаны по своему обрамлению существенно отличаются от современных океанов и не обязательно в первых предполагать наличие пассивных и активных окраин, а тем более пытаться их устанавливать, принимая за эталоны окраины современных разных океанов (например, по пассивному атлантическому эталону и активному тихоокеанскому восстанавливать оба в палеоокеане Тетис).

В докладе А.А. Моссаковского, С.В. Руженцева, С.Г. Самыгина и Т.Н. Херасковой подтверждено существование палеоокеанических бассейнов в Центрально-Азиатском складчатом поясе. С учетом всего имеющегося фактического материала они обосновали вывод о двух принципиально различных классах палеоокеанических структур Центральной Азии. К первому классу отнесены палеоокеанические структуры мозаичного (тихоокеанского) типа преимущественно венд-раннепалеозойского и позднерифейского возраста, представленные сложным сочетанием структурно-

вещественных комплексов островных вулканических дуг, краевых морей и докембрийских микроконтинентов, а также пассивных континентальных окраин с мощными карбонатными чехлами, фрагменты которых участвуют в строении покровно-складчатых аккреционных комплексов салаирид и каледонид. Второй класс составляют палеоокеанические структуры линейного (тетического) типа, заложение которых в результате деструктивных процессов происходило в среднем—позднем ордовике, в позднем силуре—раннем девоне, в раннем—среднем девоне, в карбоне и перми; эти структуры в современном тектоническом рельефе представлены преимущественно субширотными коллизионно-аккреционными покровно-складчатыми зонами поздних каледонид, варисцид и индосинид.

Протоокеаническое заложение ряда структур Центральной Азии установил Г.И. Макарычев [1992]. На примере Урало-Монгольского складчатого пояса он показал, что основание разрезов дорифейских выступов сложено не сиалическими гнейсовыми комплексами, как считали многие, а в разной степени преобразованными в процессе метаморфизма и гранитизации ультрабазитами и базитами (протоофиолитами). Суммируя имеющиеся данные, Макарычев пришел к выводу "о направленном процессе становления континентальной коры в Урало-Монгольском протоокеане, начиная с позднего архея" (с. 123).

Еще один способ изучения палеокеанических структур, их латеральных передвижений и перегруппировок получил название "террейновый анализ", хотя в сущности он ничем не отличается от тех, что были изложены выше. Разработан он был в 80-е годы канадскими и американскими исследователями [Schermer et al., 1984]; (K. Fujta, J. Newberry, 1982 г.; B. Watson, K. Fujta, 1985 г.) на примерах окраин Тихого океана. С разной степенью достоверности было показано, что складчатые зоны образовались здесь путем прерывистой аккреции разнородных крупных блоков (suspect terranes) — островодужных, окраинно-морских, океанических, континентальных и др., перемещенных океаническими плитами на тысячи километров и сгруженных по периферии Тихоокеанского кольца.

Террейновый анализ был использован для палеотектонических реконструкций не только праокеанов, но и Евразийского континента в целом. Так, Л.П. Зоненшайн и М.И. Кузьмин [Тектонические..., 1989], помимо платформенных блоков и срединных массивов складчатых поясов, наметили здесь аккреционные массивы, возникшие за счет столкновения и соединения разновозрастных островных дуг между собой и с другими коровыми блоками, а также малые чужеродные блоки (собственно террейны), например Корякский или Олюторский. По их мнению, все эти образования, прежде чем соединиться на территории Евразии, "прошли путь в тысячи и даже многие тысячи километров" (с. 23). Разделяющие их складчатые пояса образовали своеобразную матрицу, которая обволакивает континентальные блоки, а общая картина тех и других напоминает "гигантскую брекчию".

Более дробно террейновый анализ отражен на тектонической схеме Азии, составленной А.А. Моссаковским, А.С. Перфильевым и С.В. Руженцевым [Тектонические..., 1989]. На схеме показаны палеоконтиненты и их фрагменты — микроконтиненты и аллохтонные массивы (террейны). Среди последних выявлено несколько генераций.

Ю.М. Пущаровский и его соавторы [1991] коснулись данной проблемы в связи с явлениями тектонической расслоенности литосферы. Они предложили различать при террейновом анализе процессы, происходящие в периокеанических поясах и во внутриконтинентальных. По их мнению, в первых главенствующая роль принадлежит аккреции, а во вторых — коллизии, хотя в обоих случаях тектоническая расслоенность выражена весьма отчетливо. Ими были выделены также два механизма аккреции — вертикальный и горизонтальный. При первом происходит тектоническое скучивание разнородных литопластин, что вызывает образование вертикальных неоднородностей и быстрое увеличение мощности коры. При действии второго механизма в результате сближения литопластин в пространстве возникают латеральные неоднородности и происходит быстрое разрастание континента.

Некоторые результаты террейнового анализа были подвергнуты в отдельных районах сомнениям. Так, М.Н. Шапиро, рассмотревший проблему аллохтонных блоков в структуре Северо-Востока России (область мезозоид, Корякское нагорье, Олюторско-Камчатская область), обратил внимание на некоторые фактические неточности, особенно в трактовке палеомагнитных данных [Тектонические..., 1989]. Он отметил, что гипотеза о ведущей роли аккреции аллохтонных блоков в формировании структуры этой части России в достаточной мере не обоснована. С его точки зрения, более реалистично "представление о деструкции краевых частей Азиатского континента с неоднократным формированием вторичных геосинклинальных прогибов, последующее замыкание и сжатие которых привели в ряде случаев к образованию резких структурных и формационных границ между блоками, что и создает иллюзию их аллохтонности" (с. 111).

Вместе с тем новое направление в геотектонике — изучение океанической коры, ее выявление в пределах континентов и выяснение ее преобразований в геологическом прошлом континентальных структур — нельзя не признать исключительно интересным и перспективным делом. Оно позволило установить в общих чертах сходство разрезов океанической коры и нижних частей эвгеосинклиналей на континентах, разработать концепцию превращения океанической коры в континентальную и на этом фоне по-новому взглянуть на процесс эволюции геосинклиналей, наконец, вплотную подойти к проблеме реконструкций расположения литосферных плит в разные, в том числе наиболее древние, геологические эпохи, а также путей и амплитуд их передвижений.

Одновременно обнаружились и негативные стороны этого нового направления. Во-первых, не все структурные элементы океанического дна могли быть найдены на континентах, что особенно касается границ подвижных плит и блоков, их соответствия выделяемым объемам последних, а также соответствия друг другу по размерам и возрасту. Во-вторых, картина перемещений литосферных плит и блоков по земной сфере, устанавливаемых по палеомагнитным данным, в разных интерпретациях оказалась противоречивой, что потребовало более тесной (или хоть какой-нибудь) увязки палеомагнитных измерений со структурными и другими геологическими данными. В-третьих (это тоже следует признать), тысячекилометровые перемещения террейнов ни по периферии океанов, ни

внутри континентов аналитически никем еще не были доказаны. В связи с этим возникает острая необходимость разного рода структурных анализов с тем, чтобы стало возможным последовательно "снимать" деформационно-позиционные преобразования коры континентов от этапа к этапу и, таким образом, приближаться к первоначальной картине строения и расположения океанов и континентов и в особенности тектонического и палеотектонического строения последних.

ГЛОБАЛЬНЫЕ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ ГИПОТЕЗЫ СОВРЕМЕННОГО ЭТАПА

Начавшийся в 50-х годах новый всплеск в развитии мобилистских идей начался с возрождения некоторых "старых", казалось бы навсегда похороненных, гипотез, объясняющих формирование тектонических структур либо глобальным горизонтальным сжатием, либо глобальным горизонтальным растяжением, либо крупноамплитудными горизонтальными перемещениями масс земной коры. Возникли термины "неоконтракционизм", "неомобилизм". На базе некоторых старых концепций появились новые (или, лучше сказать — обновленные) гипотезы, например, уже упоминавшаяся "тектоника литосферных плит" или "расширяющейся Земли", которые по мере поступления фактических материалов непрерывно модернизировались, положив начало многовариантным ответвлениям, по-разному объяснявшим характер, механизмы и причины горизонтальных и вертикальных движений, их соотношений, а также возникавших структур.

Контракционная гипотеза. Разновидности этой гипотезы разрабатывались Л. Кобером (1951 г.), Дж. Умбгровом (1952 г.), К. Ландесом (1952 г.), Т. Бартом (1952 г.), Л.У. де Ситтером (1956 г.), Г. Штилле (1957 г.), а в СССР — А.Т. Асланяном (1955 г.), Н.Н. Парийским (1955г.), П.Н. Кропоткиным (1971 г.) и др.

Общее сокращение земной коры было связано с уменьшением земного радиуса. Уже давно было известно, что под влиянием приливных течений, вызываемых притяжением Луны и Солнца, скорость вращения Земли подвержена вековому замедлению. Н.Н. Парийский выяснил, что действительное замедление вращения Земли меньше расчетного и что одной из наиболее вероятных причин такого несоответствия является сокращение радиуса Земли. Проанализировав данные о современных и древних (по ассирийским и египетским записям) затмениях Солнца и Луны, он нашел, что радиус Земли сокращается на 0,5 мм/год.

А.Т. Асланян [1955. С. 268] пришел к выводу, что причина деформаций Земли — взаимодействие "между силами тяжести и силами сцепления, носящее перманентный характер и разрешающееся в конечном итоге в уменьшении объема планеты, которое совершается со средней скоростью 0,5—1 мм/год (по радиусу)". Свою гипотезу Асланян назвал "контракционно-изостатической теорией".

Еще один источник эндогенной энергии указал Т. Барт (1952 г.), отметивший, что к сокращению устанавливаемого объема Земли прямое отношение имеют процессы дегазации.

Также иначе к проблеме подошел Л. де Ситтер [1960]. По его представлениям, в недрах Земли более плотные молекулы стремятся опустить-

ся вниз, а менее плотные — подняться вверх. При этом сиаль становится более легким и увеличивается в объеме (по мощности и по плотности). Накопление тяжелого материала в ядре за счет этого процесса должно было бы повлечь за собой его рост (по расчетам, за 2000 млн лет на 800 км по радиусу). Однако этот материал должен уплотниться на 1/5 и, следовательно, земной радиус не увеличится, а, наоборот, уменьшится. Это уменьшение за 2000 млн лет должно было произойти на 200 км, или за каждую эпоху из восьми—десяти орогений на 20—25 км, а в целом укорочение земной окружности должно составить 125—150 км. Подобная контракция, идущая за счет полиморфизма и уплотнения ядра и нижней мантии, влечет за собой сокращение верхней мантии и коры и общее горизонтальное сжатие. В этом процессе де Ситтер допускает сочетание вертикальных и горизонтальных напряжений и движений и соответственно парагенез областей сжатия с участками растяжения.

Контракционист Г. Штилле не считает сжатие повсеместным. По его мнению [1964. С. 860], "сжатие земной коры происходит... под действием закона наименьшего сопротивления, который теперь иногда... называют "принципом наибольшей выгоды". Соответственно с этим процессы сжатия не проявляются в сверхжестких (расположенных под океанами кратонах) и вообще в жестких (поднятых континентальных кратонах) областях земной коры; они локализуются в подвижных областях, какими в первую очередь являются ортогеосинклинали". Так, по принципу "наибольшей выгоды" происходит перемещение сжатия из более устойчивых в менее устойчивые области Земли. В наибольшей степени это происходит в системе океан—континент — "океанский погруженный кратон отдает ближайшим окружающим его областям энергию сжатия, причем величина этой энергии тем больше, чем больше размеры океана" (с. 861).

Однако высокие напряжения были установлены прямыми измерениями в горных выработках на площади "устойчивых" консолидированных областей, например на Балтийском щите, и тем бо́льшие, чем на бо́льшей глубине измерения производились (данные Н. Хаста, 1969 г.). Это позволило П.Н. Кропоткину сделать вывод [1971. С. 245], что, "по-видимому, мы имеем дело с глобальным, слабо дифференцированным полем напряжений, охватывающим фундамент (гранитный слой коры) и часть отложений чехла", с преобладанием сжатия в глобальной деформации Земли указывают также сейсмологические данные, например, в подкоровом слое горизонтальная компонента напряжений в зонах надвига составляет 1 500—3 000 кг/см^2. Отдавая предпочтение идее глобального сжатия в связи с сокращением радиуса Земли, П.Н. Кропоткин известные явления растяжения считает локальными и объясняет их либо поворотом жестких глыб при сжатии, либо их относительным сдвигом, либо механизмом "магматического клина", раздвигающего земную кору.

Любопытная оценка неоконтракционизма дана в работе В.А. Магницкого [1965]. Он считает, что гипотеза контракции "лучше всего объясняет возникновение сил горизонтального сжатия, которые могут быть причиной образования складчатости и надвигов". Однако "контракционная гипотеза невозможна энергетически" (с. 101).

Гипотеза неомобилизма. Воссоздание гипотезы, опять же в разных вариантах, связывается с именами Б. Гутенберга (1951 г.), Г. Юри (1953 г.),

Ф. Вениг-Мейнеса (1952—1957 гг.), Э. Крауса (1959 г.), а в нашей стране — П.Н. Кропоткина (1961 г.), Б.Л. Личкова (1964 г.), П.С. Воронова (1968 г.) и др.

По определению П.Н. Кропоткина [1961а. С. 112], "неомобилизм — это теория, в которой горизонтальное перемещение материковых глыб трактуется не как "свободный дрейф" по пластичной оболочке под действием каких-то неведомых внешних сил, как это было у А. Вегенера, а как результат тех же самых горизонтальных и вертикальных движений подкорового вещества, которые проявляются в глубокофокусных землетрясениях, в нарушениях изостатического равновесия и т.п.".

Одним из главных механизмов горизонтальных движений в земной коре был принят механизм подкоровых конвекционных течений, разработанный еще в первой половине XX в. (см. выше). Б. Гутенберг в 1951 г. и позже неоднократно использовал в своих построениях этот механизм, одновременно подчеркивая, что" ... возможность существования подкоровых течений просто постулируется, но ни тип, ни какие-либо другие детали соответствующих неупругих процессов не обсуждаются" [1963. С. 241]. В 1953 г. Г. Юри рассмотрел различные типы конвекционных потоков во всех частях Земли. Теоретическое обоснование процесса было дано в 50-х годах Ф. Вениг-Мейнесом и Э. Краусом.

Вениг-Мейнес для объяснения особенностей индонезийских островных дуг и глубоководных впадин в 1952 г. предложил сложную систему конвекционных потоков, развивающихся по следующей схеме: 1) возникновение крупного течения от Азиатского континента в сторону Тихого и Индийского океанов, а затем вниз; 2) впячивание коры в субстрат под зоны отрицательных гравитационных аномалий; 3) нарушение теплового равновесия и появление потока, достигающего глубины 700 км; 4) разогрев субстрата вследствие выделения радиоактивного тепла в области впячивания и формирование новых потоков — восходящих под этой областью и нисходящих под бассейном за островной дугой; 5) подток разогретого материала из более глубоких частей, исчезновение различий в плотностях восходящих и нисходящих потоков и прекращение течения. По Вениг-Мейнесу [1957], гипотеза контракции не может объяснить значительного сокращения площади земной коры, какая следует из геологии складчатых горных хребтов. Вероятно, конвекционное течение от континента к океану порождает горизонтальное орогеническое напряжение, а также создает предпосылки и для формирования геосинклиналей.

Э. Краус в книге "История развития континентов и океанов", вышедшей в 1959 г., предложил другую схему зарождения конвекционных течений. В базальтовом слое, который он назвал "сальсимой", в результате гравитационной дифференциации обособляется гранитная магма, которая затем поднимается и наращивает гранитный слой. Оставшийся более тяжелый материал базальтового слоя ("неосима"), наоборот, опускается в глубину, увеличивая массу ультраосновных пород. Возникающие при этом глубинные течения направлены в гранитном слое к зонам дифференциации, а в "симе" — в сторону от них. Верхнее течение Э. Краус назвал "гипореоном", оно создает орогены, нижнее — "батиреоном", оно направлено почти повсеместно с запада на восток. В орогенах возникают поддви-

ги блоков рамы под растущее складчатое сооружение, орогены как бы разваливаются, а складчатость в них мигрирует от оси антиклинориев в их периферии (двухсторонняя вергентность). Формирование океанических впадин Э. Краус связал с распадом материковых глыб и отодвиганием их друг от друга. Складчатость тихоокеанского кольца он объяснил подкоровым течением с запада на восток и крупным экваториальным сдвигом по линии о-в Целебес—острова Фиджи и Тонга.

Предполагаемые причины подкоровых течений в Земле рассмотрел Б. Гутенберг [1963]. Среди этих причин он указал: химические процессы, дифференциацию в сочетании с действием силы тяжести, радиоактивность и различия отдельных участков по температуре и термическим свойствам. Из внешних причин он отметил процессы осадконакопления и эрозии. С изменением астрономических параметров Земли были связаны изменения приливных напряжений и фигуры Земли, движения земной оси, изменения скорости вращения отдельных частей земной коры и движения блоков коры относительно друг друга (без непосредственной увязки последних с подкоровыми течениями).

Идеи неомобилизма широко пропагандировал П.С. Воронов [1968а,б], применивший ее к истории распада Гондваны и в сопоставлении своих представлений с новыми мобилистскими взглядами Р. ван Беммелена. По П.С. Воронову, процесс распада начался с местного разогрева верхних частей мантии под суперконтинентом Гондваны, наращивания снизу (за счет фазовых переходов вещества мантии) базальтового слоя, образования обширного сводового поднятия и системы глубинных разломов, которые наметили деструкцию наиболее крупных глыб будущих южных континентов. Под действием устойчивого восходящего потока вещества мантии и его растекания от центральных частей к периферическим возникла компенсационная кольцевая геосинклиналь Фосса с кольцевым утолщением краев надастеносферной части мантии по периферии Гондваны. Эти утолщения создали препятствие на пути горизонтально перемещавшихся радиальных струй вязкого вещества мантии и породили в теле Гондваны центробежные горизонтальные напряжения, которые затем обусловили возникновение полого наклоненных под суперконтинент сколов земной коры и дрейф материковых глыб по поверхности астеносферы.

В отличие от П.С. Воронова, ван Беммелен [Bemmelen, 1965, 1966] предполагал, что развитие вздутий (мега-ундаций) контролируется процессами турбулентных и ламинарных течений вещества не верхней, а нижней мантии. В начальной стадии над растущим вздутием мега-ундации происходит постепенное растяжение и гравитационное соскальзывание, причем горизонтальные перемещения захватывают блоки не только континентальной, но и океанической коры. Распад Гондваны, по ван Беммелену, начался на рубеже палеозоя и мезозоя. Сначала она раскололась на Афро-Южноамериканскую, Индо-Австралийскую и Антарктическую глыбы, которые стали перемещаться соответственно на запад, восток и юг, обусловив раскрытие Индийского океана. В конце юры центр мега-ундации сместился в юго-восточную часть Индийского океана, Индо-Австралийская глыба разделилась на две — Австралийскую, начавшую дрейф на северо-восток, и Индийскую — на север. С началом мела рост

новой мега-ундации вызвал раскол и раздвижение Афро-Южноамериканской глыбы на Африканскую и Южноамериканскую, образовав впадину южной части Атлантического океана.

Дальнейшее развитие этой мега-ундации в северном направлении способствовало раскрытию в конце мезозоя-кайнозое всей впадины Атлантического океана. Касаясь энергетики тектонических процессов, ван Беммелен отдал предпочтение физико-химическим источникам. "Наша планета, — писал он, — представляет собой огромную физико-химическую систему, внутренняя структура которой определяется внутриатомными силами. Главным источником эндогенной энергии можно считать реакцию между электронными оболочками земных элементов" [Беммелен, 1956. С. 14].

Кроме возрождения гипотез неоконтракции и неомобилизма, на современном этапе возродились и другие гипотезы: расширения Земли, пульсационная, ротационная, также с элементами мобилизма.

Гипотеза расширения Земли. Сформулированная на предыдущем этапе как альтернатива гипотезы контракции, она получила новую аргументацию и, как и тогда, нашла много сторонников и противников. Идеи расширения Земли в связи с увеличением земного радиуса поддержали С. Кэри (1959, 1991 гг.), П. Иордан (1955—1964 гг.), Л. Эдьед (1956—1961 гг.), Б. Хейзен (1961 г.), О. Хильгенберг (1962—1969 гг.), К. Крир (1965 г.), И.В. Кириллов (1958 г.), В.Б. Нейман (1962 г.), Д.Д. Иваненко и М.У. Сагитов (1961 г.), А.Н. Храмов (1967 г.), Ю.В. Чудинов (1976 г.), М. Гораи (1984 г.), Х. Оуэн (1989 г.) и др.

Л. Эдьед, исходя из анализа палеогеографических карт суши и моря, пришел в 1956 г. к выводу, что, начиная с докембрия, доля погруженных в воду частей материков постепенно уменьшается и отношение площади океанов к материкам возрастает. Отсюда последовало заключение, что земной радиус также увеличивается, и средняя скорость этого увеличения составляет 0,5 мм/год. К близкому выводу на основании палеомагнитных данных пришли А.Н. Храмов и Л.Е. Шолпо [1967].

П. Иордан в своей книге "Расширение Земли" (1964 г.) подтвердил ранее высказанное представление П. Дирака о том, что "гравитационная постоянная" Вселенной со временем уменьшается (все должно весить меньше), а Земля в связи с переходом минералов в менее плотные разновидности во всем ее объеме должна расширяться. О расширении Земли в конце 50-х годов писал также П. Грубер, отметивший, что за последние 250 млн лет площадь земной поверхности увеличилась на 27%. К. Крир высказал в 1965 г. мысль, что расширение должно было произойти от некоей космической причины на очень ранних этапах истории Земли. Р. Дэрнли в эти же годы рассмотрел модель расширяющейся Земли, исходя из реконструкции докембрийских складчатых поясов. Он предположил, что земной радиус 2750 млн лет назад составлял 4400 км, а 650 млн лет назад — 6000 км. Наконец, в 70-х годах на модели Земли вдвое уменьшенного радиуса (К. Фогель, К. Перри) обнаружилось, что все современные материки совмещаются без зияний в один обширный суперматерик. Было предположено, что континентальная кора раньше покрывала всю Землю, затем была расколота и разошлась в стороны (по радиальным направлениям) по мере увеличения ее размеров. Так, гипотеза

расширения, оставаясь мобилистской, стала альтернативной и по отношению к гипотезе дрейфа материков.

Сводка мировых данных о расширяющейся Земле недавно была выполнена С. Кэри [1991]. Он привел следующие доказательства ее расширения: 1) по находкам тропических окаменелостей и по палеомагнитным данным Северная Америка сейчас на 35°, а Европа на 40° ближе к северному полюсу, чем в перми; материки сблизились в районе Арктики, которая должна была подвергнуться сжатию, но она стала областью растяжения — здесь раскрылся Северный Ледовитый океан; 2) за последние 2 млн лет угловые расстояния на земной поверхности, являющиеся объектом палеомагнитных измерений, со временем (в связи с увеличением радиуса Земли) становятся все более и более длинными; 3) в процессе распада Пангеи и расхождения ее частей в стороны длина Тихоокеанского кольца увеличилась на 13 тыс. км, когда как согласно "тектонике плит" (см. ниже) площадь Тихого океана должна была уменьшиться на величину, равную сумме площадей других океанов; 4) по предварительным данным НАСА (Американское Национальное управление по аэронавтике и исследованиям космического пространства), длина хорды между Европой и Северной Америкой увеличивается на 1,5 ± 0,5 см/год, между Северной Америкой и Гавайями — 4 ± 1, между Гавайями и Южной Америкой — 5 ± 3, между Южной Америкой и Австралией — 6 ± 3 см/год; по сообщению Паркинсона, данные НАСА за несколько лет указывают на увеличение радиуса Земли до 2,8 ± 0,8 см/год. С. Кэри считает, что длина окружности земного шара увеличивается в среднем на 17,6 см/год, а, следовательно, начиная с середины мелового периода, она возросла на 12 600—22 600 км.

В итоге С. Кэри приходит к выводу, что Земля расширяется по радиальным направлениям, а поднятие по радиусам трансформируется в горизонтальное растекание (возникают горные пояса, складки, покровы). Кроме того, Земля от взаимодействия инерционных сил и сил тяготения подвергается усилиям кручения панглобального масштаба вдоль огромных кольцевых зон: левосторонней — Тетической и правосторонней — Циркумтихоокеанской, благодаря которым возникают сдвиги и, как следствие, асимметрия между севером и югом и между западом и востоком (соответственно с большими расширениями южного полушария и вдоль западной окраины Тихого океана). С. Кэри вводит также понятие "диапировый орогенез", считая, что "все грандиозные надвиги, которые можно видеть в Альпах и Гималаях, — это неизбежное следствие диапирового орогенеза" [1991. С. 335].

М. Гораи [1984] рассмотрел расширение Земли в причинно-эволюционной ретроспективе. По его предположениям, диаметр Земли на ранних стадиях ее развития был меньше современного на 1500 км, а диаметр ядра больше на сотни километров. Затем, как показали расчеты, в интервале с момента образования Земли до позднего палеозоя (4 млрд лет) ее диаметр увеличился на 30%, а после мезозоя — на 70%. Этот процесс М. Гораи объяснил понижением давления в глубинных частях Земли, вследствие чего металлизированные минералы подвергаются фазовым превращениям и становятся обычными окисными и силикатными соединениями; объем их резко возрастает, также возрастает и объем мантии,

состоящей из силикатов и окислов, а объем ядра, сложенного железом и никелем, наоборот, уменьшается.

Причины, приводящие к уменьшению глубинного давления, находятся, по мнению М. Гораи, не только внутри Земли, но и в космосе (например, в связи с уменьшением "постоянной" всемирного тяготения и уменьшением от этого массы Земли). Процесс "расширения космоса связан также с историей образования тепла Земли" (с. 106), причем расширение и разогрев Земли стимулировали появление восходящего потока, от которого верхняя мантия разогревалась и происходило вторичное расширение слагающего ее вещества. Это стимулировало воздымание поверхности земной коры, а поскольку оно происходило неравномерно, блоки коры подвергались горизонтальным деформациям с образованием надвигов, флексур, а также рифтов, глубоководных желобов и островных дуг (без горизонтального дрейфа плит).

Как видим, в представлениях сторонников гипотезы расширяющейся Земли имеют место разные точки зрения на этот процесс (как было и на предыдущем этапе). Это касается скорости и амплитуд расширения (значительное, незначительное), возраста (ранний, поздний), причин расширения (внешние, внутренние), механизмов сопутствующего структурообразования (диапировый орогенез, горизонтальное растекание) и т.д.

Среди противников гипотезы назовем Р. Дитца (1967 г.), К.Ле Пишона (1968 г.), В.Е. Хаина (1972 г.), Ю.А. Трапезникова (1963 г.). Они считают, что гипотеза расширяющейся Земли не объясняет механизмы складкообразования, формирования покровно-надвиговых структур, другие явления сжатия земной коры, а также ряд глобальных морфологических особенностей Земли. Кроме того, высказывается утверждение, особенно идеологами "тектоники литосферных плит", что расширение происходит только в океанах, в зонах спрединга, и оно полностью компенсируется в зонах субдукции, где "излишки" океанической коры пододвигаются под кору континентальную.

Пульсационная гипотеза. Получила дальнейшее развитие как некий противовес гипотезам контракции и расширяющейся Земли. К ней возвратились некоторые украинские исследователи (В.Г. Бондарчук, С.И. Субботин), Е.Е. Милановский, американский геолог Л. Смирнов и др.

По В.Г. Бондарчуку [1961], в основе тектонических движений "лежит сжатие—расширение и вытекающее из него опускание—поднятие", причем "ведущие формы тектонических движений связаны с осевым вращением планеты" (с. 56). Автор различает: 1) движения подкоровых масс, возникающие в результате действия центробежных и тормозящих сил, направленных к экватору и против вращения Земли; 2) движения волновые и орогенические, а также гравитационные, направленные в сторону наименьшего сопротивления. В другой работе [Бондарчук, 1975] говорится, что распределение и направленность движений обусловлены полярным сжатием и экваториальным растяжением Земли, возникающими при ее осевом вращении. Взамен отрицаемой гипотезы дрейфа материков предлагается гипотеза расширения материков и доминирующих вертикальных движений.

С.И. Субботин и его соавторы [1968] допускают возможность горизонтальных перемещений масс под корою, но считают их недостаточными

для формирования прогибов или поднятий земной коры. По их мнению, "горизонтальные перемещения подкоровых масс... происходят... в малых масштабах и являются следствием процессов сжатия и расширения вещества. Такие перемещения осуществляются в промежутках между зонами сжатия и расширения и направлены от расширяющегося объема к сжимающемуся» (с. 160). Причина сосуществующих сжатия и растяжения предполагается в проявлениях "фазовых, полиморфных, возможно, электронных превращений и химических реакций в веществе подкоровой зоны" (с. 60).

На более широком материале и с большими подробностями пульсационную гипотезу разрабатывал Е.Е. Милановский [1978]. В качестве основных предпосылок гипотезы (в дополнение к ранее высказанным в начале XX в.) им были указаны периодичность тектонических движений, вулканизма и эвстатических колебаний уровня Мирового океана, вызываемых чередованием эпох сжатия и растяжения. Он выделил тринадцать эпох сжатия (складчатости) — позднеальпийскую, ларамийскую, субгерцинско-австрийскую и т.д., а в промежутках между ними — периоды растяжения, активизации рифтовых зон и проявлений внегеосинклинального вулканизма, и все это в увязке с эвстатическими колебаниями уровня океана — сжатие соответствует регрессиям и эпохам складчатости, а растяжение — трансгрессиям, рифтогенезу и внегеосинклинальному вулканизму.

В другой, более поздней, работе Е.Е. Милановский [1991. С. 18] пришел к выводу, что "ведущим глубинным тектоническим процессом на Земле в мезо-кайнозое является рифтогенез и, в частности, его наиболее зрелая и крупномасштабная форма — спрединг, осуществлявшийся в зонах подъема и распространения в стороны глубинного мантийного материала в условиях ... некоторого общего расширения Земли". В то же время он признал "разнообразие форм проявления коллизии литосферных блоков (обдукция, общее скучивание и, может быть, субдукция на более локальных участках и в ограниченном масштабе)" (Там же), хотя и посчитал все это результатом подчиненного процесса в преобразованиях литосферы.

В 1989 г. на международном симпозиуме в Вашингтоне была изложена концепция гравитационной пульсации сжимающейся—расширяющейся Земли [Васильев, 1991]. Ее автор, Л. Смирнов, сопоставил расчеты средней скорости увеличения радиуса Земли для разных интервалов времени с интервалами интенсивного горообразования и пришел к заключению, что орогенез различных порядков составляет "бинарную многократную гармоническую схему" фанерозойских циклов, которая коррелируется с циклами осадкообразования на протяжении всей истории Земли (4,5 млрд лет). Этапы горообразования были увязаны, в свою очередь, с пульсирующим уменьшением гравитационной постоянной, с изменением угловой скорости вращения Земли, с главными палеомагнитными инверсиями и великими биологическими вымираниями.

Таким образом, диапазон модели пульсирующей Земли в разных представлениях достаточно велик и разнообразен. Одни авторы устанавливают глобальное чередование эпох сжатия и растяжения, другие — одновременное проявление растяжения и сжатия в разных частях Земли. Одни в этом процессе допускают большие горизонтальные перемещения, другие считают их незначительными, третьи признают только формирова-

ние орогенных поясов, отводя горизонтальным перемещениям пассивную, несуществующую роль. Так же разнообразно толкование причин расширения—сжатия и роли каждого из этих состояний (их соотношения) в истории Земли.

Ротационная гипотеза. На современном этапе она привлекалась многими для объяснения структуры Земли с мобилистских позиций. В частности, ее использовали А.В. Пейве (1961 г.), Э. Краус, Б.Л. Личков (1965 г.), П.С. Воронов (1979 г.), К.Ф. Тяпкин (1981 г.) и многие другие.

В советской геологической литературе ротационную гипотезу в наиболее полном виде разработали М. Стовас (1961, 1963 г.) и Г. Каттерфельд. В основе гипотезы мы по-прежнему видим изменения угловой скорости вращения Земли и изменения ее формы, которые вызывают не только радиальные напряжения и вертикальные движения, но и тангенциальные (широтные и долготные), а также объемное сжатие и растяжение коры. М. Стовас отводил важную роль (как это делалось и раньше) 35-м параллелям, считая их пограничными линиями перемены знака напряжений при изменении скорости вращения. Экваториальное же ускорение, как он полагал, должно было вызывать относительное смещение материковых глыб в экваториальной зоне к востоку.

В дополнение к этим представлениям Г. Каттерфельд связал незональные особенности строения земной коры и ее асимметрию с трехосностью Земли и неравенством северного и южного, восточного и западного полушарий. Он указал на концентрацию деформирующих сил при уменьшении полярного и экваториального сжатия земного эллипсоида вдоль экстремальных и критических параллелей и меридианов, вдоль которых при вековом уменьшении сжатия возникают опускания п поднятия. Благодаря осевому вращению при опускании глыб появляются тангенциальные силы, смещающие их на восток, а при поднятии — на запад. С вращательным движением Каттерфельд связывает также относительное отставание северных и опережение южных зон (особенно вблизи 62°-ных параллелей) и относительный сдвиг обоих полушарий — северного к западу, южного к востоку с последующим S-образным искривлением меридиональных осей Америки и Австралазии.

Б.Л. Личков [1965] использовал ротационную гипотезу для объяснения деформаций Земли с других позиций. За основу трактовки ее строения и развития он, помимо представления о реальности тангенциального перемещения материков (ярким сторонником которого он был и на предыдущем этапе), принял еще два постулата — о дисимметрии материков и об изостатическом строении земной коры, истолковав все это в связи с ротационной механикой. Деформации планеты, в том числе образование горных поясов двух преобладающих направлений — широтного и субмеридионального, он объяснил вращением: "На этой основе, — писал он, — легче всего понять, почему одно из этих двух направлений параллельно вращению Земли..., а другое... — ему перпендикулярно" (с. 61). С другой стороны, "эти структуры связаны с воздействием океанов на тело каждого материка... Приливные воздействия гидросферы (также. — *А.С.*) создают напряжения в литосфере и приводят к образованию в ней гор" (с. 62). Структурные нарушения создаются, таким образом, "действием прецессии и океанических приливов, которое дополняется действием атмосферы...

Иначе говоря, природные воды планеты вместе с ее атмосферой являются в гравитационном процессе главным фактором создания и переделки структур планеты и изменения ее формы... в результате изменений вращения Земли и изменений ее скорости" (с. 77). Главный же, исходный механизм тектогенеза, по Б.Л. Личкову, — это перестройка планеты в связи с переходом ее еще в глубокой древности из кристаллического (астероидного) состояния пространства в гравитационное, с обтекаемой сфероидальной формой.

При объяснении горизонтальных перемещений глыб земной коры большую роль ротационным ("гравитационно-инерционным") силам отводил А.В. Пейве [1961]. Под действием этих сил, по его мнению, глыбы, обладая разной плотностью и ограничиваясь с боков и снизу тектоническими поверхностями, перемещаются с разной скоростью, одни быстрее, другие медленнее. При этом первые давят на вторые, вызывая по фронту образование зон сжатия, складчатости и утолщения земной коры, а в тыловых частях — зоны растяжения и проседаний. Скорость горизонтальных перемещений глыб, исходя из данных по амплитудам крупных сдвигов, А.В. Пейве определил величиной в первые километры за 1 млн лет.

Формирование сдвигов в земной коре некоторые авторы связали исключительно с вращением планеты. По П.С. Воронову [1979], например, скачкообразное изменение угловой скорости вращения Земли (при стабильном в течение последних 100 млн лет положении ее географических полюсов) обусловило многократное перемещение волн сжатия и растяжения в меридиональном направлении. При этом возникла система трещин с ориентировкой 35° и 325° (при сжатии) и 55° и 305° (при растяжении); первые оказались правыми сдвигами, вторые — левыми. Постоянные "полюсобежные силы", как полагает П.С. Воронов, обусловили отток масс от полюса к экватору, в результате чего возникли две субпараллельные глобальные сдвиговые зоны — одна по северному побережью Тихого океана, другая в полосе от Ирана до Северного моря.

По данным К.Ф. Тяпкина [1981], горизонтальные сдвиги происходят по наиболее крупным, ранее образовавшимся разломам. Они возникают под действием разности меридиональной и широтной компонент планетарного поля напряжений, обусловленного относительным перемещением оси вращения Земли. С этим же явлением он связывает формирование и геосинклиналей.

Основным возражением против ротационной гипотезы осталось выдвинутое ранее многими тектонистами и геофизиками положение о малой величине тех сил, с помощью которых гипотеза объясняет тектогенез и в том числе горизонтальные движения глыб литосферы.

Гипотеза "новой глобальной тектоники" (или "тектоники литосферных плит"). Была предложена в 60-х годах на основе геофизических данных по океанам (см. выше). Этой гипотезе посвящена наиболее обширная на современном этапе специальная литература, которая содержит как многочисленные доводы в ее пользу, так и серьезную критику.

Гипотезу впервые сформулировал В. Морган в своем выступлении на ежегодной конференции Американского геофизического союза в Вашингтоне в апреле 1967 г. [Ле Пишон и др., 1977]. В том же году Д. Мак-Кензи и Р. Паркер дали четкое определение "тектоники плит", использовав ее

при объяснении генезиса тектонических структур и сейсмичности по периферии северной части Тихого океана. Годом позже В. Морган писал: "предполагается, что поверхность Земли состоит из нескольких жестких коровых блоков и что каждый блок ограничен поднятиями,... желобами... и крупными разломами" [Morgan, 1968. С. 1959]. Но еще раньше, в 1965 г., Дж. Уилсон [1974] отметил, что непрерывная сеть подвижных поясов по всей Земле разделяет ее поверхность на несколько крупных жестких плит. В 1968 г. Б. Айзекс, Дж. Оливер и Л. Сайкс показали, что подвижные пояса отличаются высокой сейсмичностью. Наконец, К.Ле Пишон (1968 г.) высказал мнение, что "тектоника плит" обеспечивает разработку согласованной глобальной кинематической картины и рассмотрел это на примере кайнозойской эволюции Земли. Одновременно с В. Морганом он предположил горизонтальные перемещения плит на тысячи километров.

Сущность самой гипотезы литосферных плит в кратких чертах сводится к следующему.

1. Тектогенез обеспечивается взаимодействием двух оболочек Земли — жесткой и хрупкой литосферы мощностью 50—100 км и пластичной, ее подстилающей астеносферы.

2. Литосфера разделена подвижными сейсмическими поясами на несколько крупных плит, которые перемещаются на тысячи километров по астеносфере (не по верхней мантии, как было в гипотезе А. Вегенера); в состав плит входят как материки, так и прилежащие океанические участки, причем при перемещениях они, оставаясь жесткими, деформируются только по краям.

3. Различаются перемещения трех типов — раздвиги, поддвиги и сдвиги; раздвиги происходят в осевых частях срединно-океанических хребтов — здесь плиты раздвигаются, в промежутки между ними поступают базальты, которые застывают, образуя новую кору; при этом по обе стороны каждого хребта создается система симметрично расположенных магматических полос (несколько более древних и с большей мощностью по мере удаления от срединной оси) с прямой и обратной линейной намагниченностью; скорость раздвигания колеблется от 1 до 10 см/год; этот процесс получил название "спрединг". Поддвиги развиваются на противоположных относительно срединных хребтов окраинах литосферных плит под глубоководными желобами — здесь, в зонах Вадати—Заварицкого—Беньофа океаническая литосфера со скоростью 6—9 см/год поддвигается (субдуцирует) под континентальную с последующим погружением ее в мантию (поскольку она оказывается холоднее и тяжелее мантии), т.е. в этих зонах как бы "уничтожаются" (компенсируются) "излишки" новой океанической коры (до 3 км^2 в год), образовавшиеся в срединно-океанических хребтах. Как предполагается, радиус Земли при этом остается постоянным. Сдвиги проявляются как результат растяжения—сжатия плит и происходят по разломам, разделяющим соприкасающиеся плиты; они, как отмечалось выше, получили название "трансформных разломов".

4. В качестве механизма горизонтального перемещения литосферных плит принимается тепловая конвекция в мантии Земли — восходящие потоки в зонах спрединга, горизонтальное течение, переносящее плиты к

окраинам Мирового океана и нисходящие потоки в зонах субдукции. Как отметил М. Ботт [1974. С. 333], "горизонтальные размеры конвективной ячейки, вероятно, должны быть порядка ширины океана, чтобы быть в соответствии с разрастанием океанического дна и континентальным дрейфом... Длина предполагаемой ячейки конвекции должна быть примерно в 10 раз больше ее толщины".

Воспринятая многими восторженно [Зоненшайн, Савостин, 1979; и др.] гипотеза "литосферных плит" встретила и немало оппонентов, которые либо целиком отвергли ее, либо ее отдельные положения. В России это были Ю.М. Шейнманн, В.В. Белоусов, В.А. Магницкий, Е.В. Артюшков, Ю.А. Косыгин и др., за рубежом — А. Мейерхофф, Г. Мейерхофф, Дж. Уорзел, С. Кэри, М. Гораи, Х. Оуэн, Дж. Диккинс, П. Лоумэн и др.

По мнению В.В. Белоусова [1984, С. 11], "обобщения, сформулированные "тектоникой плит", основываются не на чертах длительного развития коры, а на особенностях современных процессов в ней". "Сиюминутный характер основных исходных данных не способствует раскрытию длительных закономерностей развития земной коры", а "проявления глубоких (ниже астеносферы. — *А.С.*) неоднородностей, находящиеся в непосредственной связи с разделением земной коры на континенты и океаны,... никак не могут быть согласованы с горизонтальными перемещениями литосферных плит". И далее: "Единственное независимое обоснование кинематики плит представляется... палеомагнетизмом... Однако принятая в наши дни интерпретация палеомагнитных изменений является по меньшей мере спорной" (с. 14).

В.А. Магницкий и Е.В. Артюшков считают, что далеко не очевиден главный постулат гипотезы о наличии обширных жестких плит, поскольку они в действительности разбиты на множество блоков с границами, глубоко уходящими в литосферу, и с очень сложным спектром автономных перемещений [Тектоносфера..., 1978]. Они отмечают также несоответствие сейсмической активности зон погружения и поглощения плит (где сосредоточено 85—90% всей сейсмической энергии Земли) и зон разрастания срединных океанических хребтов (где сейсмическая энергия незначительна). Кроме того, при неоднократном обновлении дна океанов (согласно гипотезе, за счет появления новой и поглощения старой это повторялось каждые 200—300 млн лет) количество радиогенного аргона в атмосфере должно быть в несколько раз больше, чем это наблюдается сейчас. По Магницкому и Артюшкову, "существование тепловой конвекции в мантии крайне маловероятно", а если она и происходит, то "учет реальной вязкости астеносферы... приводит к много меньшим значениям напряжений, чем получают при своих расчетах разработчики гипотезы литосферных плит" [Там же. С. 508—510]. По мнению этих оппонентов, "крупномасштабные движения земной коры, как горизонтальные, так и вертикальные, оказываются в конечном итоге обусловленными одним и тем же явлением — дифференциацией по плотности на границе ядра и мантии и подъемом в верхнюю мантию больших масс легкого нагретого материала" (с. 521), которые затем растекаются в стороны, увлекая за собой кору.

Ю.А. Косыгин [1983] соглашается с мнениями об отсутствии историзма

при объяснении генезиса тектонических структур и сейсмичности по периферии северной части Тихого океана. Годом позже В. Морган писал: "предполагается, что поверхность Земли состоит из нескольких жестких коровых блоков и что каждый блок ограничен поднятиями,... желобами... и крупными разломами" [Morgan, 1968. С. 1959]. Но еще раньше, в 1965 г., Дж. Уилсон [1974] отметил, что непрерывная сеть подвижных поясов по всей Земле разделяет ее поверхность на несколько крупных жестких плит. В 1968 г. Б. Айзекс, Дж. Оливер и Л. Сайкс показали, что подвижные пояса отличаются высокой сейсмичностью. Наконец, К.Ле Пишон (1968 г.) высказал мнение, что "тектоника плит" обеспечивает разработку согласованной глобальной кинематической картины и рассмотрел это на примере кайнозойской эволюции Земли. Одновременно с В. Морганом он предположил горизонтальные перемещения плит на тысячи километров.

Сущность самой гипотезы литосферных плит в кратких чертах сводится к следующему.

1. Тектогенез обеспечивается взаимодействием двух оболочек Земли — жесткой и хрупкой литосферы мощностью 50—100 км и пластичной, ее подстилающей астеносферы.

2. Литосфера разделена подвижными сейсмическими поясами на несколько крупных плит, которые перемещаются на тысячи километров по астеносфере (не по верхней мантии, как было в гипотезе А. Вегенера); в состав плит входят как материки, так и прилежащие океанические участки, причем при перемещениях они, оставаясь жесткими, деформируются только по краям.

3. Различаются перемещения трех типов — раздвиги, поддвиги и сдвиги; раздвиги происходят в осевых частях срединно-океанических хребтов — здесь плиты раздвигаются, в промежутки между ними поступают базальты, которые застывают, образуя новую кору; при этом по обе стороны каждого хребта создается система симметрично расположенных магматических полос (несколько более древних и с большей мощностью по мере удаления от срединной оси) с прямой и обратной линейной намагниченностью; скорость раздвигания колеблется от 1 до 10 см/год; этот процесс получил название "спрединг". Поддвиги развиваются на противоположных относительно срединных хребтов окраинах литосферных плит под глубоководными желобами — здесь, в зонах Вадати—Заварицкого—Беньофа океаническая литосфера со скоростью 6—9 см/год поддвигается (субдуцирует) под континентальную с последующим погружением ее в мантию (поскольку она оказывается холоднее и тяжелее мантии), т.е. в этих зонах как бы "уничтожаются" (компенсируются) "излишки" новой океанической коры (до 3 км^2 в год), образовавшиеся в срединно-океанических хребтах. Как предполагается, радиус Земли при этом остается постоянным. Сдвиги проявляются как результат растяжения—сжатия плит и происходят по разломам, разделяющим соприкасающиеся плиты; они, как отмечалось выше, получили название "трансформных разломов".

4. В качестве механизма горизонтального перемещения литосферных плит принимается тепловая конвекция в мантии Земли — восходящие потоки в зонах спрединга, горизонтальное течение, переносящее плиты к

окраинам Мирового океана и нисходящие потоки в зонах субдукции. Как отметил М. Ботт [1974. С. 333], "горизонтальные размеры конвективной ячейки, вероятно, должны быть порядка ширины океана, чтобы быть в соответствии с разрастанием океанического дна и континентальным дрейфом... Длина предполагаемой ячейки конвекции должна быть примерно в 10 раз больше ее толщины".

Воспринятая многими восторженно [Зоненшайн, Савостин, 1979; и др.] гипотеза "литосферных плит" встретила и немало оппонентов, которые либо целиком отвергли ее, либо ее отдельные положения. В России это были Ю.М. Шейнманн, В.В. Белоусов, В.А. Магницкий, Е.В. Артюшков, Ю.А. Косыгин и др., за рубежом — А. Мейерхофф, Г. Мейерхофф, Дж. Уорзел, С. Кэри, М. Гораи, Х. Оуэн, Дж. Диккинс, П. Лоумэн и др.

По мнению В.В. Белоусова [1984, С. 11], "обобщения, сформулированные "тектоникой плит", основываются не на чертах длительного развития коры, а на особенностях современных процессов в ней". "Сиюминутный характер основных исходных данных не способствует раскрытию длительных закономерностей развития земной коры", а "проявления глубоких (ниже астеносферы. — *А.С.*) неоднородностей, находящиеся в непосредственной связи с разделением земной коры на континенты и океаны,... никак не могут быть согласованы с горизонтальными перемещениями литосферных плит". И далее: "Единственное независимое обоснование кинематики плит представляется... палеомагнетизмом... Однако принятая в наши дни интерпретация палеомагнитных изменений является по меньшей мере спорной" (с. 14).

В.А. Магницкий и Е.В. Артюшков считают, что далеко не очевиден главный постулат гипотезы о наличии обширных жестких плит, поскольку они в действительности разбиты на множество блоков с границами, глубоко уходящими в литосферу, и с очень сложным спектром автономных перемещений [Тектоносфера..., 1978]. Они отмечают также несоответствие сейсмической активности зон погружения и поглощения плит (где сосредоточено 85—90% всей сейсмической энергии Земли) и зон разрастания срединных океанических хребтов (где сейсмическая энергия незначительна). Кроме того, при неоднократном обновлении дна океанов (согласно гипотезе, за счет появления новой и поглощения старой это повторялось каждые 200—300 млн лет) количество радиогенного аргона в атмосфере должно быть в несколько раз больше, чем это наблюдается сейчас. По Магницкому и Артюшкову, "существование тепловой конвекции в мантии крайне маловероятно", а если она и происходит, то "учет реальной вязкости астеносферы... приводит к много меньшим значениям напряжений, чем получают при своих расчетах разработчики гипотезы литосферных плит" [Там же. С. 508—510]. По мнению этих оппонентов, "крупномасштабные движения земной коры, как горизонтальные, так и вертикальные, оказываются в конечном итоге обусловленными одним и тем же явлением — дифференциацией по плотности на границе ядра и мантии и подъемом в верхнюю мантию больших масс легкого нагретого материала" (с. 521), которые затем растекаются в стороны, увлекая за собой кору.

Ю.А. Косыгин [1983] соглашается с мнениями об отсутствии историзма

в гипотезе литосферных плит (поскольку "геологическое содержание сюда не вкладывается") и о предположительности допущения конвективных течений в мантии (поскольку ни один из расчетов... "не доказывает обязательности конвекции, а определяет лишь только возможности" (с. 489). Он обращает внимание на неравнозначность границ между плитами, из которых одни со сгущением сейсмических очагов, другие с рассеянными очагами ("пунктирные"), третьи "ископаемые", под которыми можно понимать самые различные геолого-геоморфологические элементы. Он сомневается в правомерности спрединга по палеомагнитным данным, так как в некоторых районах... "магнитные аномалии не обладают линейностью, а образуют мозаичную структуру", да и симметрия кривых по обе стороны от оси спрединга... "намечается с трудом" (с. 501). Вместе с тем, по Ю.А. Косыгину, гипотеза литосферных плит, "как и любая другая научная гипотеза, достойна внимания и проверки..., она является немаловажным стимулятором исследования и согласования фактов" (с. 509).

Сторонники расширяющейся Земли полностью принимают идею спрединга, но категорически отрицают возможность субдукции. М. Горан [1984] указывает, например, что зона Вадати-Беньофа, по которой предполагается поддвигание океанической коры под континент, присутствует далеко не везде (ее нет, в частности, под Тихоокеанским побережьем Северной Америки). Он считает, что... "нет убедительных доказательств, подтверждающих одно из положений тектоники плит о совпадении островных и континентальных дуг с зонами субдукции" (с. 88). С. Кэри [1991] усматривает в построениях "тектоники плит" целый ряд "аномалий", например, отсутствие поглощения океанической коры в пределах Африки или Антарктиды, где, по гипотезе, оно должно быть, затем наличие режима широтного растяжения в Южных Андах, когда они должны находиться в условиях интенсивного сжатия в результате поддвигания тихоокеанской плиты. Наконец, отсутствие неизбежных скоплений огромных масс океанических илов, соскобленных с поверхности плиты при ее погружении в любом глубоководном желобе, и т.д. Оба автора единодушно утверждают, что "субдукция — это миф".

Ряд недостатков гипотезы тектоники плит перечисляют и другие авторы. Даже такой яркий сторонник дрейфа и убежденный мобилист, как П.Н. Кропоткин [1980], полагает, что "современную теорию тектоники литосферных плит... можно принимать лишь как первое, очень грубое приближение к реальной картине геодинамики" (с. 239). Он подчеркивает, что в геодинамике необходимо оперировать не с отдельными плитами или парами плит, разделенными активными разломами, а с ансамблями плит. По его представлениям, механизм тепловой конвекции, положенный в основу тектоники плит, не может создать напряжения такой величины, какая фактически наблюдается в подвижных поясах. Он также допускает возможность синтеза основных закономерностей — горизонтальных и вертикальных движений магматизма и общей геохимической эволюции, если принять за основу значительную подвижность блоков земной коры и верхней мантии.

Перейдем теперь к рассмотрению эволюции "тектоники литосферных плит", поскольку в настоящее время она выглядит далеко не так, как было четверть века назад. Изменились представления о количестве и раз-

мерах плит, о их жесткости, а также о механизмах и причинах крупномасштабных горизонтальных перемещений.

Количество и размеры плит. Первоначально в 1968 г. [Ле Пишон и др., 1977] было выделено шесть крупнейших плит (Тихоокеанская, Американская, Африканская, Евразийская, Австралийская и Антарктическая) с границами трояко типа — дивергентными, где возникает новая кора, конвергентными, где происходит поглощение "излишков" океанической коры, и боковыми трансформными разломами разного типа. В этой модели относительные движения вдоль деструктивных границ плит были вычислены по движениям, измеренным вдоль конструктивных границ. Этим была как бы проверена совместимость модели с представлением о нерасширяющейся Земле.

Несколько позже количество плит увеличилось до девяти за счет разделения Америки на Северную и Южную и добавления новых плит Наски и Кокосовой, размером от 1000 км до 7000 и до 11000 км. Затем К.Ле Пишон к своим шести плитам, выделенным в 1968 г., прибавил еще шесть — Наска, Сомали, Филиппинскую, Аравийскую, Карибскую и Кокосовую. При этом он обнаружил различия между векторами движения, но счел их несущественными, если "соблюдается условие, что в обеих моделях граница находится между одними и теми же плитами" [Ле Пишон и др., 1977. С. 98]. Было подчеркнуто также, что полученные результаты "не согласуются с гипотезой расширяющейся Земли" (с. 87).

После этого в структуре Земли выделялись 11 плит (Дж. Минстер, 1974 г.), 20 плит (В. Морган), 27 плит (К. Чейз, 1978 г.; Ю.И. Галушкин и С.А. Ушаков, 1979 г.) с указанием как направления, так и линейной скорости относительного движения этих плит, и, наконец, до 100 плит [Деменицкая, 1975]. В связи с этим Л.И. Красный [1976. С. 57] констатировал, что "наметилось формальное сближение концепции геоблоков и подвижных литосферных плит" и что в обеих концепциях "имеются особенности, сближающие их (крупные блоки, связанные своим происхождением с конвекционными ячейками)", а также и отклонения от геологических факторов, к которым (отклонениям) Л.И. Красный относит "гипотезу всеобщего спрединга" (с. 63).

Сюда же затем вошли и террейны (см. выше) — "не что иное, как те же микроплиты, скорее всего коровые, и не литосферные, судя по их небольшим размерам", которые "испытали то или иное перемещение вдоль края континента, нарушившее их первоначальные пространственные соотношения" [Хаин, 1988. С. 11, 12]. Более разнообразно стали пониматься и впадины окраинных морей, также так или иначе отвечающие всем этим плитным, микроплитным и блоковым формам тектонической делимости земной коры. Как выяснилось, одни из них образуются вдоль осей спрединга перпендикулярно срединно-океаническим (Бискайский залив, Тасманово море), другие возникают на участках океана, будучи отгороженными островными дугами (Южно-Китайское море, Западно-Филлипинская впадина, Карибское море), третью группу составляют задуговые моря, сопряженные с зонами субдукции и связанные, по Д. Каригу, с вторичной конвекцией над ними [Хаин, 1988].

Жестокость литосферных плит и новые мобилистские гипотезы. Как уже говорилось в первых формулировках "тектоники литосферных плит",

эти плиты значились как жесткие образования, скользящие по поверхности астеносферы, неспособные в своих внутренних частях даже к изгибам и деформирующиеся только по краям. Однако уже в это время сначала на континентальных, а потом и в океаническом дне, было установлено, что земная кора повсеместно имеет слоистое строение. Глубинное сейсмическое зондирование показало, что земная кора континентов состоит из трех главных слоев — осадочного, гранитного и базальтового, характеризующихся разными скоростями продольных сейсмических волн, границы же между ними и в подошве коры являются тектоническими, нередко совпадающими в верхних горизонтах с зонами надвигов. На разных глубинных уровнях были выявлены волноводы, т.е. зоны резкого падения скоростей сейсмических волн. С некоторыми из них (так же, как и с границами в коре) совпали очаги землетрясений, что подкрепило идею о тектонической природе тех и других. Так возникла концепция тектонической расслоенности литосферы, на основе геолого-геофизических данных подробно разработанная сотрудниками Геологического института АН СССР во главе с А.В. Пейве и Ю.М. Пущаровским и освещенная в ряде статей и нескольких монографиях [Тектоническая..., 1980, 1982, 1990]. Несколько позже аналогичные исследования были начаты и в других странах, особенно в США; здесь тектоническая расслоенность получила название "деламинации".

В итоге исследований было признано, что "основными поверхностями срывов являются граница чехла и фундамента, поверхность Конрада (гранитогнейсовые аллохтоны), поверхность Мохо (офиолитовые аллохтоны) и астеносферные слои (дунит-гарцбургитовые аллохтоны)" и что "тектонические движения охватывают по глубине всю литосферу, неоднородность которой обусловливает дифференцированные послойно-дисгармонические перемещения литопластин на разных уровнях глубинности" [Тектоническая..., 1990. С. 282]. В качестве важнейшего фактора тектонического расслоения было принято субгоризонтальное течение вещества литосферы. Отсюда последовало заключение о непрерывной латеральной и глубинной смене в литосфере тектодинамических ситуаций, о разнотипности движений в различных горизонтах и неравномерности деформаций [Пущаровский и др., 1991].

Таким образом, выяснилось, что литосферные плиты совсем не жесткие. А.В. Пейве и А.А. Савельев писали: "Мы приходим к выводу, что не жесткие литосферные плиты, а вся масса литосферы вместе с покрывающей ее тонкой пленкой коры неравномерно движется вдоль свободной поверхности Земли по периодически изменяющимся направлениям и формирует ее чрезвычайно сложную структуру [Пейве, 1991. С. 190]. Эти движения, вызванные вещественно-гравитационной дифференциацией и порожденными ею конвективными тепломассопотоками, начались с окончанием аккреции протопланетного облака и, по-видимому, кончатся с началом исчерпания энергетических возможностей дифференциации и теплового вырождения планеты".

Одну из первых попыток рассмотреть глобальную кинематику земной коры с позиций тектонического течения слагающего ее вещества осуществил автор данной работы [Суворов, 1978]. В развитие идей А.В. Пейве [1961, 1967] о дифференцированном движении блоков земной

коры и о важной роли в этом процессе как разрывно-глыбового, так и пластического течения горных масс, а также в развитие предположений Ю.М. Пущаровского [1972 и др.] о явлениях оттока и подтока глубинного сиалического вещества из одних структур в другие А.И. Суворов разработал представление о "региональных тектонопарах" как об одном из основных активных выражений тектогенеза. Таким термином были обозначены системы парагенетически взаимосвязанных в каждом случае двух структурных элементов — дугообразного в плане поднятия и примыкающей к нему с внутренней (тыловой) стороны ареальной депрессии. Первоначально они были установлены в палеозоидах Центрального Казахстана (А.И. Суворов, 1969 г.), а затем выяснилось, что они весьма широко распространены и в других районах территории СССР, включая как складчатые области, так и платформы (А.И. Суворов, 1973, 1976 гг.). Они оказались широко представленными и в новейшей структуре континентов и океанов.

В качестве основных свойств региональных тектонопар были указаны: 1) пространственная сопряженность дугообразного фронтального поднятия и тыловой ареальной депрессии; 2) синхронное их развитие; 3) радиальная асимметрия; 4) наличие в поднятиях утолщенной консолидированной (гранито-базальтовой) коры и тонкого осадочного слоя при сокращенной мощности консолидированной коры и мощного осадочного слоя в депрессиях; 5) широкое проявление в пределах поднятий пережатых линейных складок, взбросов и крупноамплитудных сдвиго-надвигов и столь же широкое развитие в депрессиях мозаично расположенных простых глыбовых складок, сбросов и сбросо-раздвигов; 6) преобладающая роль в поднятиях явлений динамометаморфизма и интрузивного магматизма при усиленной эффузивной деятельности в депрессиях. На этом основании был сделан вывод, что "все это свидетельствует о формировании поднятий в обстановке тангенциального сжатия, а депрессий в обстановке тангенциального растяжения и позволяет объяснить их парагенезис глубинным перераспределением вещества — оттоком из-под депрессий и нагнетанием в пределы поднятий" [Суворов, 1978. С. 4].

На многих примерах было показано, что в новейшей геодинамической картине Земли отчетливо различаются три типа региональных тектонопар: континентальные (длина 700—4000 км, ширина 300—3000 км, площадь 0,5—10 млн км^2), океанические (длина до 5—6 тыс. км, ширина до 3—4 тыс. км, максимальная площадь до 15—25 млн км^2) и переходные между ними, с промежуточными параметрами. Соответственно расположению и группировкам новейших региональных тектонопар в литосфере Земли были выделены три крупнейших сегмента, каждый со своей кинематической моделью движений — Евразийский, с последовательным перемещением масс с востока на запад вдоль огромного Евразиатско-Североатлантического сдвига и неоднократной трансформацией в этом направлении горизонтальных движений по дугообразным надвигам в вертикальные, связанные с ростом поднятий; Тихоокеанский, с встречным движением тектонопар и их столкновением в срединных частях ложа Тихого океана по зоне северо-западного направления; Африканский, находящийся в условиях всестороннего растяжения в результате соответствующего растекания глубинных масс.

Появление концепций тектонической расслоенности литосферы и разномасштабной ее многоплитности (или многоблоковости) обнажило целый ряд неувязок и новых нерешенных проблем в основаниях и деталях "тектоники литосферных плит", которые В.Е. Хаин [1988] попытался сгладить. Считая концепцию тектонической расслоенности весьма прогрессивной, он в то же время отметил, что "нельзя вместе с тем согласиться с... попытками объявить эту концепцию особым течением в мобилизме, способным конкурировать с тектоникой плит" (с. 8). По его мнению, основной постулат "классической тектоники плит о жесткости и монолитности литосферных плит, по крайней мере в глобальном масштабе" продолжает сохраняться, тектоническая же расслоенность плит — "явление региональное (для каждой данной эпохи), а не глобальное" (с. 9). В.Е. Хаин пересмотрел основные постулаты тектоники плит и предложил их возможную формулировку (см. составленную им табл. 4, правый столбец).

В книге А. Кокса и Р. Харта "Тектоника плит" [1989], вышедшей в оригинале в 1986 г., затронута целая серия аналогичных вопросов, составляющих основу этой гипотезы. Один из них — являются ли плиты "пассивными пассажирами" или они сами играют активную роль в конвективном процессе — решается авторами в пользу совмещения этих двух постулатов. По их мнению, "наблюдения не исключают возможности существования "двухмасштабной" конвекции, когда конвекция одного более крупного масштаба включает в себя плиты как активные элементы, а режим мелкомасштабной конвекции ограничен толщей астеносферы" (с. 376).

Более четкое решение проблемы соотношений концепций тектоники плит и тектонической расслоенности литосферы предложил Л.И. Лобковский [1988]. По его представлениям, "классическая теория тектоники литосферных плит, успешно объяснившая многие глобальные закономерности строения и эволюции литосферной оболочки Земли, столкнулась с серьезными трудностями при рассмотрении геологических процессов регионального масштаба" (с. 192). Выход из этого он увидел в разработанной им "концепции двухъярусной тектоники плит". Он убежден, что существуют два основных яруса и два масштаба проявления тектоники плит: литосферный и коровый. Глобальные горизонтальные движения поверхностной оболочки Земли размером в несколько тысяч километров объясняются геодинамикой нижнего литосферного яруса, а размером в сотни километров — геодинамикой верхнего корового яруса, в основании с другим астенослоем (он совпадает с нижним серпентинитовым слоем коры).

Л.И. Лобковский полагает, что "верхний корово-плитный ярус в принципе работает аналогично нижнему литосферному ярусу. Главное отличие сводится к тому, что вместо процесса субдукции... при сближении коровых плит развивается явление обдукции" (с. 201). С этим связано утолщение земной коры, формирование горных хребтов и высоких плато, повышенный тепловой поток, миграция сейсмоактивности, механизм отторжения и аккреции чужеродных экзотических блоков (террейнов). На этой основе он, как и В.Е. Хаин, приходит к выводу, что "между концепциями тектоники литосферных плит и тектонической расслоенности литосферы... нет глубоких противоречий, их взаимопроникновение является чрезвычайно плодотворным для развития геологической науки" (с. 217).

Таблица 4

Схема эволюции "Тектоники литосферных плит" [Хаин, 1988]

1	2
1. Верхняя твердая Земля разделена на упруговязкую литосферу и вязкую астеносферу, подстилаемую упруговязкой мезосферой. По поверхности астеносферы происходит относительное смещение литосферы	1. Кора и мантия Земли, вплоть до границы ядра, расслоены на большое число оболочек, способных перемещаться дифференцированно одна относительно другой. Расслоенность возрастает в областях повышенного теплового потока. Существуют поверхности раздела, имеющие всеземное распространение, и другие — более ограниченные
2. Литосфера разделена на ограниченное число больших и малых плит, монолитных, жестких и недеформируемых	2. Литосфера разделена на ограниченное число крупных плит, между которыми простираются зоны торошения, состоящие из мозаики микроплит и коровых блоков. Крупные плиты не вполне монолитны и испытывают внутренние деформации вдоль швов, подразделяющих их на субплиты. Швы часто наследуют древние разломы
3. Границы плит делятся на дивергентные, конвергентные и трансформные	3. При преобладании одного из кинематических типов границ плит они имеют сложный характер и в пространстве, и во времени, могут носить диффузный характер, оси спрединга и субдукции могут испытывать "перескоки" и разрастание, вдоль трансформных разломов может происходить растяжение или сжатие, вдоль рифтов сдвиги и т.п.
4. Имеет место полная компенсация спрединга субдукцией; объем Земли остается неизмененным	4. Субдукция не является единственным компенсатором спрединга, серьезное значение имеют обдукция, сдвиговое торошение и коробление литосферы в межплитных зонах. Кроме того, субдукция не компенсирует спрединг автоматически, а несколько отстает от него с накоплением напряжений сжатия в океанской литосфере. Весьма вероятно, что имеет место пульсация Земли вследствие временного преобладания спрединга или субдукции
5. Причиной перемещения литосферных плит является тепловая конвекция в мантии; литосферные плиты увлекаются горизонтальным конвективным потоком в астеносфере	5. Конвекция в мантии не является непосредственным механизмом перемещения литосферных плит; таковым является гравитация. Конвекция носит сложный, многоступенчатый характер и, вероятно, не является чисто тепловой. Тем не менее конвекции принадлежит определяющая роль в движениях коры и мантии

Дальнейшее развитие затронутые вопросы получили в новых работах В.Е. Хаина. В одной из них (1989 г.) им окончательно принимается представление о концентрически-зональном, оболочечном строении Земли. В качестве оболочек им указаны нижняя, средняя и верхняя мантии и нижняя и верхняя континентальная кора. "Каждая оболочка составляет автономную динамическую систему", а их взаимоотношения определяются перемещениями относительно друг друга. Этот принцип всеобщей относительной подвижности "и лежит в основе всей геодинамики", считает Хаин [1989. С. 1437].

Он предполагает наличие подвижных границ: 1) между ядром и мантией — здесь окислы и (или) сульфиды железа стекают в ядро, а разогретый силикатный материал всплывает и дает начало конвективным течениям в нижней мантии, а затем в средней и верхней; 2) на глубине около

670 км и выше этой границы мантия разделена сейсмофокальными зонами на два сектора — континентальный и океанский, которые испытывают пульсации — расширение—сжатие через каждые 600 млн лет; 3) на глубине 400 км — по этой поверхности срыва континенты раздвигаются, создавая пространство для вторичных океанов; 4) между корой и верхней мантией (поверхность Мохоровичича) — при коллизии литосферных плит нижняя вязко-пластичная часть коры скручивается, формируя орогены; 5) между осадочной оболочкой и консолидированной корой — по этой поверхности массы складчато-покровных зон перемещаются в сторону кратона; 6) внутри осадочной оболочки (нагнетание материала, диапиризм).

В другой работе [Хаин, Зверев, 1990] на основе данных сейсмической томографии Д.Л. Андерсона, А.М. Дзевонского [1984] и геодинамического анализа томографических карт высказано мнение о существовании в верхней части планеты двух глобальных разноглубинных и взаимосвязанных потоков перемещения вещества и боковых давлений. "Верхний поток включает кору и верхнюю мантию. Он направлен от рифтогенов к континентам и вызывает в них развитие деформаций и интенсивное скучивание сиалического материала... Нижний среднемантийный поток направлен от областей скучивания сиалического материала и рифтогенов с большими скоростями спрединга в сторону океанических плит и рифтогенов с малыми скоростями спрединга" (с. 224).

Ю.М. Пущаровский в ряде публикаций последних лет обратил внимание на неупорядоченное проявление во времени и пространстве структурообразующих движений, посчитав, что причина этого кроется в нелинейной геодинамике Земли. На это указывают "нерегулярные и разномасштабные тепломассопотоки... на разных уровнях", мантийные неоднородности и глубинная асимметрия, "неожиданное" возникновение или быстрое отмирание сейсмических, тектонических и магматических импульсов, часто наблюдаемые "нерегулярности в структурном плане Земли", "тектоническое скучивание литопластин в одних местах и рассредоточение масс в других" и т.д. С другой стороны, "линейные зависимости в геосинклинальной теории или в теории тектоники плит не могут объяснить очень многих вещей". По мнению Ю.М. Пущаровского [1992. С. 160—161], "путь дальнейшего развития геотектоники лежит через развитие нелинейной геодинамики". Это и есть, как он полагает, "мобилизм... не доведенный до голых абстракций".

Еще одно направление эволюции "тектоники плит" — это поиск энергетических источников и механизмов глобальных горизонтальных и связанных с ним вертикальных движений литосферы, направленный главным образом в далекие глубины Земли, нередко вне связи с конкретными тектоническими структурами, наблюдаемыми на поверхности.

Одна из таких наиболее основательных попыток осуществлена в работе О.Г. Сорохтина [1974]. Развитие тектоносферы и горизонтальные перемещения плит им связываются с развитием самых глубоких оболочек Земли и с процессами, происходящими на границе мантии и ядра, в качестве же механизма этого развития принята модель гравитационной конвекции. С его точки зрения, "главным, движущим эволюцию, планетарным процессом является процесс плотностной дифференциации первичного

вещества Земли, приводящий к выделению тяжелого ядра и расслоению Земли на две основные геосферы — на железистое ядро и силикатную оболочку. Все остальные процессы играют более подчиненную роль (например, радиогенный разогрев планеты) или являются следствием главного процесса (например, плотностная конвекция в мантии Земли". И "всего вероятнее, что конвективные движения в мантии происходят циклически, с последовательными перестройками структуры конвективных ячеек...", причем "каждому конвективному циклу в мантии соответствует тектонический цикл на поверхности Земли: настоящий, альпийский цикл — по счету двадцатый от момента образования Земли" (с. 163).

В другой работе О.Г. Сорохтин [1979] увязал перемещения литосферных плит с происхождением земной коры. "Океаническая кора, — писал он, — образуется в процессе формирования океанских литосферных плит в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов, а континентальная кора — в зонах поддвига океанских плит под островные дуги и активные окраины континентов" (с. 15). Природа третьего слоя была связана с механизмом гидратации мантийных пород, второго слоя — с развитием разрывных нарушений в астеносфере с последующим излиянием базальтовых выплавок, гранитная же магма — с переплавлением осадков в зонах поддвига плит. Было подчеркнуто, что "скорость образования новой коры всегда пропорциональна скорости движения литосферных плит" (с. 23).

Несколько позже изложенная концепция в основном была подтверждена и дополнена специальными расчетами. Согласно новым данным, главный источник энергии — это процесс выделения земного ядра [Монин, Сорохтин, 1984; Монин, 1987]. "От общего теплового потока, идущего из земных недр и равного примерно $4{,}2 \cdot 10^{20}$ эрг/с, на долю процесса выделения ядра приходится бóльшая часть, около $3 \cdot 10^{20}$ эрг/с, тогда как генерируемая в мантии радиогенная энергия составляет всего $0{,}27 \times \times 10^{20}$ эрг/с,... что составляет только 6% от суммарных теплопотерь Земли" [Монин, Сорохтин, 1984. С. 23]; и далее: образование ядра "сопровождалось выделением $1{,}46 \cdot 10^{38}$ эрг гравитационной энергии, из которых $1{,}23 \cdot 10^{38}$ эрг перешло в тепло, а $0{,}23 \cdot 10^{38}$ эрг — в энергию дополнительного сжатия Земли... Этот процесс фактически определил эволюцию Земли" (с. 25).

Следующая гипотеза [Артюшков, 1979; Артюшков и др., 1979] исходит из тех же предпосылок о плотностной дифференциации вещества на границе нижней мантии и ядра Земли, но главная постулируемая здесь мысль — иная, это утверждение о независимости проявлений горизонтальных и вертикальных движений литосферы. Дифференциация вызывает подъем в верхнюю мантию крупных масс легкого нагретого материала, из которого выплавляется аномальная мантия, всплывающая к литосфере и накапливающаяся в областях высокого залегания и образующая "ловушки". Взаимодействие литосферы с аномальной мантией в длительно существующих "ловушках" вызывает, в свою очередь, тектонические (вертикальные и горизонтальные) движения. После изостатического поднятия коры кора и аномальная мантия в области положительных структур стремятся растечься в стороны, чтобы уменьшить высоту поднятий. В результате в литосфере возникают значительные добавочные напряжения. Они приводят к большим горизонтальным перемещениям ли-

тосферы, к разрастанию дна океана и к дрейфу континентов [Артюшков, 1979. С. 298—299]. Области глубокого залегания подошвы литосферы (на континентальных платформах) обтекаются легким нагретым материалом и представляют собой "антиловушки" с устойчивым низкотемпературным режимом. Здесь базальт переходит в более плотный гранатовый гранулит, затем в эклогит, отчего объем пород уменьшается на 10—12%, поверхность Земли погружается и возникают осадочные бассейны. Вертикальные движения здесь не зависят непосредственно от горизонтальных движений, а перемещение литосферных плит не изменяет расположение ни "ловушек", ни "антиловушек". Таким образом, длительно развивающиеся вертикальные движения и глобальные горизонтальные перемещения могут проявляться одновременно и независимо друг от друга, "хотя и порождены одним процессом, происходящим в недрах Земли" [Артюшков и др., 1979. С. 18].

Еще одна "глубинная" гипотеза, имеющая отношение к тектонике и геодинамике литосферных плит — это гипотеза эволюции Земли, разработанная В.П. Мясниковым и В.Е. Фадеевым [1980], исходя из пространственных и временных соотношений ядра и мантии. В ее основу была положена теория конвективных движений вещества в связи с вязкостью, теплопроводностью и другими свойствами временного характера. Авторы, основываясь, как и О.Г. Сорохтин, на анализе процессов, происходящих на границе ядро—мантия, математически обосновали движение тяжелого вещества в глубь Земли, формирование ядра (начиная или с поверхности или с некоторого промежуточного слоя) и тенденцию его уменьшения со временем. Это позволило им считать термическую энергию Земли как результат гравитационного фактора и как стимулятор экзотермических химических реакций, ведущих к активизации конвекции.

Другой вывод, полученный путем теоретических расчетов и экспериментальных данных, касается реологического фактора. По мнению этих авторов, горные породы верхней мантии при постоянных внешних нагрузках и при всех температурах и давлениях можно рассматривать как вязкие жидкости, которые расслаиваются на оболочки с постоянным в каждой из них химическим составом.

Наконец, интересным представляется заключение о значительном превышении скоростей горизонтальных над скоростями вертикальных движений в мантии, что соответствует сделанным ранее выводам по геологическим и геофизическим данным для верхних оболочек Земли.

Попробуем теперь сопоставить рассмотренные глобальные гипотезы современного этапа по некоторым наиболее важным геодинамическим и структурным параметрам (см. табл. 5).

Как показывает табл. 5, мобилистские тектонические гипотезы современного этапа обнаруживают, как было и прежде, большой спектр разноречивых суждений (даже в рамках каждой из них). Так, в неоконтракционистских представлениях говорится и о всеобщем глобальном сжатии и о сосуществовании областей сжатия в литосфере с участками растяжения. В гипотезе расширения Земли приводятся соображения о всеобщем глобальном растяжении, но не всеми исключается возможность проявления в

отдельных участках и сжимающих усилий с соответствующими деформациями. В пульсационной гипотезе обосновывается не только чередование глобальных сжатия и растяжения, но и одновременность их проявления в разных регионах.

В одних из этих гипотез на первый план поставлен активный радиальный и пассивный (вторичный) тангенциальный тектогенез, в других — сочетание в разных пропорциях одновременных горизонтальных и вертикальных движений, в третьих доказывается приоритет горизонтальных перемещений с их трансформацией в определенных условиях в вертикальные.

В тектонике литосферных плит дается схема движений спрединг—субдукция или спрединг—субдукция—обдукция, в гипотезе расширяющейся Земли субдукция полностью отрицается, а в химико-плотностной модели доказывается независимость проявления крупномасштабных горизонтальных и вертикальных движений. Наконец, по одним методикам, доказывается вековое сокращение радиуса Земли (и ее контракция), по другим, напротив, его увеличение (и, соответственно, растяжение Земли).

Вместе с тем сопоставление гипотез указывает и на существенное сближение ряда их основных положений. Прежде всего это касается энергетических источников. На современном этапе из их числа исключено радиогенное тепло (как недостаточное для существенных тектонических преобразований), взамен которого выдвинуты процессы гравитационной дифференциации вещества (гипотеза неоконтракции), сочетание гравитационной дифференциации с химическими процессами, а также с нарушениями теплового режима и изостатического равновесия (неомобилизм), уплотнение ядра и расширение мантии (гипотеза расширения Земли), гравитационная дифференциация на уровне ядро—мантия и процессы выделения земного ядра (все "глубинные" гипотезы).

В связи с этим резко возрастает роль космического и ротационного факторов в развитии структуры Земли, поскольку выясняется, что все глубинные превращения в ее недрах и генерируемые там источники энергии могут быть обусловлены именно действием этих факторов (уменьшение "гравитационной постоянной Вселенной", осевое вращение Земли, неравномерные скорости вращения, действие Солнца и Луны и т.д.). Так или иначе ротационные космические гипотезы оказываются в одной плоскости с глубинными геодинамическими гипотезами и не так уж по отношению к ним альтернативны.

Сближение гипотез наметилось и по механизмам тектогенеза. Почти в каждой из них постулируется положение о сосуществовании в литосфере зон сжатия и растяжения, что нашло объяснение в подъеме, опускании и горизонтальном растекании вещества литосферы, т.е. в признании действия всех этих факторов, которые в совокупности и составили модель конвективных течений. Только в основу этой модели было положено не действие радиогенного тепла, а гравитационные процессы.

Интерес представляет и еще одна составная часть предложенных гипотез, трактующих генезис конкретных тектонических структур, наблюдаемых на поверхности Земли. Каждая гипотеза, разумеется, на первый план выводит "свои" структуры, например гипотеза плит — структуры зон спрединга, субдукции и трансформных разломов, гипотеза расширения

Таблица 5

Сопоставление геотектонических гипотез современного этапа

Гипотеза	Энергетические источники	Механизмы тектогенеза
1	2	3
Неоконтракционизма	Сокращение радиуса Земли за счет: 1) взаимодействия между силами тяжести и силами сцепления; 2) дегазация Земли; 3) полиморфизма и уплотнения ядра	Всеобщее глобальное сжатие. Сочетание областей сжатия с участками растяжения. Миграция энергии сжатий от кратонов к подвижным областям
Неомобилизма	Гравитационная дифференциация, химические процессы, нарушения теплового режима, изостатического равновесия. Реакции между электронными оболочками земных элементов. Ротационные силы, вызывающие активное взаимодействие гидросферы и атмосферы с литосферой	Подкоровые и коровые конвективные течения. Вздутия в мантии, раскол суперконтинента и растекание материковых глыб. Перестройка планеты в связи с переходом ее из кристаллического (астероидного) состояния в гравитационное (сфероидальное)
Расширения Земли	Увеличение радиуса Земли за счет: 1) уменьшения "гравитационной постоянной" Вселенной; 2) понижения давления в глубинных частях Земли, расширения мантии и уплотнения ядра	Всеобщее глобальное растяжение по радиальным направлениям с последующим растеканием по горизонтали. Мантийный разогрев, восходящие потоки, вторичное неравномерное расширение, горизонтальная деформация коры
Пульсационная	Фазовые, полиморфные, электронные превращения и химические реакции в веществе подкорковой зоны. Гравитационная пульсация Земли, пульсирующее уменьшение гравитационной "постоянной". Неравномерное осевое вращение планеты и связанное с этим действие центробежных тормозящих сил	Глобальное попеременное сжатие — расширение и опускание — поднятие. Подъем и растекание мантийного материала. Сосуществование зон сжатия и растяжения, незначительные горизонтальные движения от расширяющихся объемов к сжимающимся
Ротационная	Изменения угловой скорости вращения Земли и ее формы, вызывающие радиальные и тангенциальные напряжения. Действие гравитационно-инерционных сил. Действие полюсобежных сил	Неравномерное распределение по сфере Земли радиальных и тангенциальных напряжений. Неравномерное перемещение глыб по латерали, с образованием фронтальных зон сжатия и тыловых зон растяжения. Многократные перемещения волн сжатия и растяжения по меридианам и параллелям
Литосферных плит	То же	Тепловая конвекция в мантии — восходящие потоки в зонах спрединга, горизонтальный перенос плит, нисходящие потоки в зонах субдукции

Соотношения горизонтальных и вертикальных движений	Структурные результаты	Авторы
4	5	6
Активный радиальный тектонез и пассивный тангенциальный. Сочетание горизонтальных и вертикальных движений	Орогенез, складчатость, надвиги, сдвиги, раздвиги, сбросы. Повороты и проседания жестких глыб	А.Т. Асланян, Т. Барт, П.Н. Кропоткин, Л.У. де Ситтер, Г. Штилле и др.
Сочетание горизонтальных и вертикальных движений подкорового и корового вещества. Первичность восходящих потоков и вторичный дрейф материковых глыб. Первичность конвекционных течений от континента к океану с последующей трансформацией в вертикальное течение	Океанические впадины (за счет раздвигания глыб), геосинклинали, складчатые горные пояса, вздутия, горизонтальные сдвиги	Б. Гутенберг, Р.В. ван Беммелен, Ф.А. Венинг-Мейнес, Э. Краус, П.С. Воронов, П.Н. Кропоткин, Б.Л. Личков и др.
Преобладающее горизонтальное растекание по радиальным направлениям. Сочетание вторичных восходящих потоков с горизонтальным растеканием	Материковые глыбы и океаны, рифты, глубоководные желоба, островные дуги, горные пояса, складки, покровы, сдвиги	Э. Эдьед, О. Хильгенберг, Б. Хейзен, С.У. Кэри, И.В. Кириллов, В.Б. Нейман, М. Гораи и др.
Первичные вертикальные и вторичные (гравитационные) горизонтальные движения. Сочетания преобладающих вертикальных и незначительных горизонтальных перемещений подкоровых масс. Спрединг в сочетании с обдукцией и локальным проявлением субдукции	Чередование эпох складкообразования и рифтогенеза, регрессий и трансгрессий, орогенеза и осадконакопления, расширения и коллизия литосферных блоков	Е. Е. Милановский, В.Г. Бондарчук, С.И. Субботин, Л. Смирнов и др.
Сочетание горизонтальных и вертикальных движений. Преобладающие горизонтальные движения с образованием зон воздымания и проседания	Складчатость, утолщение земной коры, геосинклинали, горизонтальные сдвиги и надвиги	М.В. Стовас, Г.Н. Каттерфельд, А.В. Пейве, П.С. Воронов, К.Ф. Тяпкин и др.
Преобладающая роль горизонтальных перемещений плит литосферы. Сочетание вертикальных и горизонтальных потоков в мантии	Рифтогенные структуры на срединно-океанических хребтах, поддвигание в зонах глубоководных желобов, трансформные разломы	К.Ле Пишон, Д.П. Мак-Кензи, Р.Л. Паркер, В. Морган, Дж. Уилсон, Б. Айзекс, Дж. Оливер, Л. Сайкс и др.

Таблица 5 (окончание)

1	2	3
Морфотектоническая	Вещественно-гравитационная дифференциация литосферы	Послойное течение вещества земной коры и верхней мантии
Двухъярусной тектоники плит	Взаимодействие конвективных и кондуктивных зон с малыми и большими температурными градиентами	Двухъярусное и двухмасштабное движение плит — коровое (сотни километров) и литосферное (тысячи километров)
Многоярусной конвекции	Гравитационная дифференциация на уровне ядро—мантия	Многослойное конвективное течение коровых и мантийных масс на фоне двух глобальных потоков вещества и боковых давлений — среднемантийного и коро-верхнемантийного
Термогравитационная	Процесс выделения земного ядра путем плотностной дифференциации	Гравитационная конвекция с неоднократной перестройкой структуры конвективных ячеек
Химикоплотностная	То же	Подъем в верхнюю мантию легкого нагретого материала, формирование "ловушек", растекание материала, формирование "антиловушек" и зон проседания
Эволюции Земли	"	Конвективные течения, расслоение вещества верхней мантии на оболочки со своим химическим составом в каждой

Земли — океанические впадины, рифты, глубоководные желоба, и т.д. Но, как оказывается, выделяется и еще один огромный класс тектонических сооружений — горные пояса, геосинклинали, складчатость, надвиги, сдвиги, раздвиги, сбросы и тектонические покровы, а также их разные комбинации, происхождение которых объясняют почти все гипотезы, как бы они друг от друга не отличались. Либо эти сооружения могут возникать в разных геодинамических обстановках, либо являются результатом суммарного действия всех предусмотренных в гипотезах факторов, либо, наконец, сами гипотезы (что более всего вероятно) по своему существу сблизились, но пока на разных "языках" говорят об одном и том же.

И еще один вывод напрашивается из сопоставления глобальных геотектонических гипотез современного этапа — в каждой из них так или иначе говорится о сочетании горизонтальных и вертикальных движений при формировании ансамблей тектонических структур, что указывает на безусловное слияние в тех или иных соотношениях элементов фиксизма с элементами мобилизма. Правда, в одних толкованиях отдается предпочтение горизонтальным перемещениям (у них и амплитуда на два-три по-

4	5	6
Трансформация преобладающих по амплитуде горизонтальных движений в вертикальные	Фронтальные поднятия с пережатыми складками, надвигами и сдвигами; тыловые депрессии с простыми глыбовыми складками, сбросами и раздвигами	А.И. Суворов
Преобладающие горизонтальные и сопутствующие вертикальные движения	Четырехъярусные зоны спрединга, зоны субдукции и обдукции, террейные, горные пояса	Л.И. Лобковский
Преобладающие латеральные перемещения оболочек относительно друг друга. Первичное движение вещества вниз—вверх в зоне ядро—мантия	Вторичные океанические депрессии, орогены, складчато-покровные зоны	В.Е. Хаин
Преобладающая роль латеральных перемещений плит по схеме спрединг—субдукция	Рифтовые зоны срединно-океанических хребтов, поддвиговые зоны	О.Г. Сорохтин, С.А. Ушаков, А.С. Монин
Независимость проявлений крупномасштабных горизонтальных и вертикальных движений	Поднятия и осадочные бассейны	Е.В. Артюшков, А.Е. Шлезингер, А.Л. Яншин
Превышение скоростей горизонтальных движений в мантии над скоростями вертикальных движений	"	В.П. Мясников, В.Е. Фадеев

рядка больше и скорости выше), в других главными считаются перемещения по вертикали, вверх—вниз. Однако при объяснении даже тысячекилометровых перемещений по латерали исследователи не могут обойтись без привлечения фактора мощных восходящих или нисходящих потоков, гармонически вписывающихся в самые различные геодинамические схемы. Равным образом чисто фиксистские модели не могут обойтись без привлечения фактора горизонтального растекания вещества литосферы (вплоть до признания дрейфа континентов), без чего невозможно понять природу многих, больших и малых структур.

В заключение коснемся вопроса о текущих преобразованиях "тектоники литосферных плит", начавшихся сразу же после ее становления в 60-х годах и приведших три десятилетия спустя к несколько неожиданному, но, впрочем, естественному результату. Как отмечалось выше, целый ряд исследователей показали, что, во-первых, перемещение литосферных плит и всевозможных блоков происходит не только по одной поверхности (кровля астеносферы), но и по другим глобальным и региональным поверхностям и, во-вторых, глыбовая тектоническая делимость литосфе-

ры оказалась и в глобальном и в региональном масштабах более многообразной по размерам и по формам, чем было принято вначале. Возникли представления о двухъярусной, а затем и многоярусной моделях тектоники плит.

Столь же многообразными оказались и геодинамические соотношения подвижных ячеек литосферы и коры, которые сразу же вышли за рамки первичной схемы "спрединг—субдукция". Выяснилось, что спрединг не всегда сопровождается субдукцией (или обдукцией), а движение по азимутальной направленности носят не закономерный, а скорее хаотический и не всегда понятный характер (особенно по палеомагнитным данным). Ситуация еще более усложнилась при попытках внести в геодинамические модели фактор времени.

Так, гипотеза тектоники литосферных плит, будучи первоначально глобальной (она и была названа новой глобальной тектоникой), в конце-концов утратила это свое основное качество и сменилась множеством региональных и локальных гипотез, с разной степенью достоверности (в зависимости от фактической базы и идейных предпосылок) утверждающих кинематику и динамику процесса тектогенеза тех или иных регионов.

Думается, что это произошло не случайно и связано с первичными погрешностями гипотезы. Как толкует классическая тектоника, для того чтобы выделить какие-то геологические тела (в данном случае литосферные плиты), надо было показать их границы. И границы были показаны, но они оказались разнородными, разномасштабными и разновозрастными, т.е. не было соблюдено соответствие границ между собой и соответствие границ и объемов. Возникли неясности (они освещались в литературе), это потребовало новых изысканий, и в результате исследователи выявили еще более сложную и необычайно интересную картину строения литосферы, в которой однако оказалось пока невозможным установить и отделить друг от друга черты глобального и регионального масштаба, т.е. какие из них обусловлены глобальными, а какие региональными причинами. Эта проблема, по-видимому, будет объектом последующих исследований.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О МОБИЛИЗМЕ И ВЗГЛЯД В БУДУЩЕЕ

Из всего сказанного выше складывается такая закономерная схема становления и развития мобилистских идей и взглядов на тектонические структуры Земли и их происхождение.

В самых ранних представлениях об устройстве Земли и земной поверхности никакого мобилизма вообще не было. Абсолютное господство принадлежало тогда фиксизму, который истолковывал все земные превращения как следствие вертикальных сил и движений, направленных по радиусу Земли либо вверх либо вниз. Первые высказывания на этот счет принадлежат древним грекам (Страбон), и затем они повторялись с разными вариациями вплоть до конца XVIII в. и позже.

Зарождение нового, мобилистского, направления в геологии, вернее — первые слабые ростки его, произошло в XVII—XVIII вв., и связано это было с открытием некоторых новых, ранее неизвестных фактов и достаточно обоснованных для той эпохи предположений.

В это время было признано, что Земля состоит из ядра и внешней оболочки (Р. Декарт, Г.В. Лейбниц, Э. Галлей), а осадочные слои, первоначально залегающие горизонтально, приобретают затем наклонное и вертикальное положение (Н. Стено), а местами — сложное складчатое строение (А. Валиснери), в котором можно различать веерообразные структуры и лежачие складки (Г.Б. Соссюр), а также надвиги (В. Герман). При землетрясениях, кроме того, возникают небольшие сдвиги и раздвиги, отмеченные в дайковых и жильных полях (М.В. Ломоносов). Раздвиговое происхождение приписывалось некоторым крупным котловинам, например, котловине озера Байкал (П.С. Паллас).

Все эти интересные для мобилизма факты были истолкованы тем не менее с фиксистским подходом. Крутое залегание осадочных слоев Н. Стено объяснял либо подземными толчками снизу вверх от возгорания подземных газов, либо от явлений поверхностных подмыва и обрушения горных пород. Е. Патрен говорил о вздутиях "гранитно-соляного теста" и последующем сползании глинисто-сланцевых пород. Давление снизу вверх и растекание масс под его действием в стороны — такой механизм использовал Г.Б. Соссюр, чтобы обосновать происхождение веерообразного строения Альп и присутствие здесь лежачих складок.

Вместе с тем известны и высказывания иного плана. Например, Э. Галлей на рубеже XVII и XVIII вв. высказался о том, что внешняя оболочка и

ядро планеты вращаются с несколько различными скоростями. Этим обусловлен, по его мнению, западный дрейф геомагнитного поля. С вращением Земли Ж. Бюффон связал перераспределение осадочного материала на ее поверхности и его скопление в виде гор у экватора. Начиная с Декарта, постулировалась в тех или иных формах идея об охлаждении и сжатии Земли.

В конечном же счете общепринятые представления о действующих в Земле силах, вызывающих отмеченные деформации, оказались отнюдь не мобилистскими. Преобладало мнение о действии "господствующего жара в земной утробе" (М.В. Ломоносов), либо сильно сжатых паров в земной коре (Дж. Мичел), либо, наконец, о проявлениях вулканических сил, главным образом и вызывающих вертикальные движения кверху (Дж. Геттон).

Ни новые факты, ни предложенные для их объяснения отдельные в некоторой степени мобилистские механизмы, ни соображения о горизонтально действующем сжатии Земли в связи с ее охлаждением не вызвали какого-либо общественного резонанса — время для этого еще не пришло. Поэтому весь этот наиболее продолжительный этап в развитии наук о Земле все еще оставался фиксистским, а применительно к мобилизму он может быть назван только эмбриональным.

На морфографическом этапе (первая половина XIX в.) мобилизм получил более четкое оформление и более широкое распространение в объяснении наблюдаемых природных явлений. Именно к этому времени относится становление геологии как науки и открытие в ряде стран новых многочисленных фактов, поколебавших господствовавшие вертикалистские представления. Экспериментально воспроизводятся складки, полученные путем горизонтального сдавливания разных материалов (Дж. Холл, Шотландия). В Бельгии устанавливаются опрокинутые складки и перевернутые слои (А. Дюмон). В Швейцарских Альпах и Шотландии открываются тектонические покровы (А. Эшер, 1841 г.; Дж. Николь, 1844 г.). Получают известность многочисленные признаки динамометаморфизма — кливаж, сланцеватость и другие изменения горных пород в связи с горизонтальным давлением (А. Седжвик, Р. Мурчисон, Шарп, П.С. Усов, К. Роджерс и др.). Все это невозможно стало объяснять вертикальными движениями, и прежние не очень отчетливые соображения о контракции Земли в связи с ее охлаждением получили вдруг сильное подкрепление и новое развитие — с их помощью легче стало понимать тектонические покровы, опрокинутые складки, перевернутые слои и метаморфические преобразования горных пород.

Гипотеза контракции вначале в виде идеи была высказана в 1829 г. Эли де Бомоном, а затем в 1852 г. им же была представлена как достаточно подробно обоснованная геологическим материалом цельная концепция. Так возникла первая форма мобилизма (которую можно назвать стресс-мобилизмом), начавшая успешное противоборство с некоторыми другими гипотезами морфографического этапа.

Вертикально-подъемный механизм в связи с вулканической активностью продолжали в это время разрабатывать А. Гумбольтд, Л. фон Бух ("Кратеры поднятия и взрыва"), Д.И. Соколов, Науман и др., но факти-

ческие основы их построений были в конце концов разрушены новыми данными.

В виде компромисса Дж. Холл и Б. Штудер в 1815 г. предложили вертикально-подъемный механизм в сочетании с горизонтальным сжатием, а Сц. Брейслак в 1819 г. высказался о проявлениях горизонтального сжатия в связи с давлением газов то вверх, то вниз и колебательным характером при этом процессе движений земной поверхности.

Выдвигались также и другие идеи о действующих силах и механизмах в преобразованиях земной коры, например, новые соображения об изменении скорости вращения Земли (Д. Бушпорн, 1849 г.) или мысли о возможности подкоровых конвекционных течений (В. Гопкинс, 1839 г.). Но все же большинству исследователей в конце морфографического этапа более правильной и перспективной показалась гипотеза контракции.

Следующий, морфогенетический, этап в развитии мобилизма охватил вторую половину XIX в. и первую половину XX в. Он характеризовался не только дальнейшим накоплением фактических данных, но и обилием теоретических разработок с попытками выявления разных механизмов и действующих в земной коре сил (отсюда название этапа).

В это время предлагается много гипотез с теми или иными вариантами решения генетических вопросов, однако главенствующая роль, особенно на первом подэтапе, остается за гипотезой контракции. Ее фактической опорой по-прежнему являются структурные данные. На основании анализа складчатых структур производятся подсчеты размеров сокращения земной коры и укорочения радиуса Земли (А. Гейм, 1878 г.; А. Лаппаран и др.). Осуществляются более совершенные опыты по воссозданию складок кливажа, сланцеватости и других деформаций путем горизонтального сдавливания (Г. Добре, А. Фавр, Г. Шардт, Д. Лоссен, Г. Кэделл, Б. Виллис и др., 1878—1893 гг.). Разрабатывается теория шарьяжей, учитывающая весьма могочисленные данные полевых исследований (М. Бертран, А. Тёрнебом, А. Ротплетц, А. Штахе, М. Люжон и др., 1871—1896 гг.). Выявляются региональные сдвиги и горизонтальные флексуры (Э. Зюсс, 1882 г.), а также крупные рифтовые структуры, образованные горизонтальным растяжением (Дж. Грегори, 90-е годы). Несимметричное строение горных цепей и их дугообразная в плане форма истолковываются как результат горизонтального движения масс (Э. Зюсс, И.Д. Черский, И.В. Мушкетов, 1875—1886 гг.). По угловым несогласиям в залегании пластов намечаются разновозрастные складчатые зоны — гуронская, каледонская, герцинская, альпийская (М. Бертран, 1887 г.).

По многочисленным замерам строится гипсографическая кривая земной поверхности, отрезки которой на разных уровнях привязываются к поверхностям двух различных по составу земных слоев — сиалю и симы (Г. Вагнер, Э. Зюсс и др., 80-е годы). В это же время на континентах устанавливаются глубоководные осадки и их парагенетические связи с базитами и ультрабазитами (Э. Зюсс, 1875 г.; Т. Фукс, 1883 г.; М. Неймайр, 1885 г.). Значение этих открытий для мобилистских разработок будет признано позже.

Из числа других наиболее важных подобного рода открытий первого подэтапа морфогенетического этапа отметим открытие намагниченности лав (А. Деллес, 1849 г.; М. Меллони, 1853 г.), радиоактивности (А. Беккерель, 1896 г.), связи очагов землетрясений с конкретными надвигами и сдвигами (Э. Зюсс, 1873 г.; Д. Битнер, Э. Рейер, Д. Тарамелли и др.), а также первые теоретические расчеты плотности Земли (средней, металлического ядра и земной коры), размеров земного радиуса и толщины земной коры (Э. Вихерт,1896 г.).

Выдвигаются и всевозможные механизмы деформаций земной коры. Наиболее популярным становится "механизм тисков", обязанный контракции Земли (Э. Зюсс, Дж. Дана и др.). А. Гейм связывает складчатость и горообразование с длительным, вызванным той же контракцией, процессом, который сводится к опусканию протяженных зон в океаническом дне, отложению в них осадков и задавливанию их со стороны смежных зон. Б. Виллис настаивает на комбинации "механизма тисков" и течения горных пород при различном поведении в этом процессе их компетентных и некомпетентных разностей. Б. Котта вносит в механизм деформаций идею многофакторности и выделяет в горных поясах горы складчатые, обусловленные боковым давлением, горы вулканические и горы плутонические, возникающие в связи с образованием вулканов и внедрением интрузивов.

Менее заметными оказались еще некоторые механизмы, в общем-то вполне возможные. Например, Н.А. Головкинский высказался о послойном течении горных пород. Э. Рейер предложил гипотезу гравитационного тектогенеза. К.Э. Деттон разрабатывает механизм выдавливания материала из-под перегруженных осадками прибрежных зон в направлении материков с образованием здесь складок и горных поясов.

Соображения о действующих силах оказались еще более разноречивыми. Дж. Дана, Э. Зюсс, Ж. Леконт и многие другие в качестве основной движущей силы приняли охлаждение Земли, уменьшение ее радиуса и глобальное сжатие земной коры. Б. Виллис рассмотрел контракцию в сочетании с изостазией. А. Блитт объединил ротационный и изостатический факторы. Е.В. Быханов выдвинул на первый план уменьшение скорости вращения Земли и связал с этим уменьшением континентальный дрейф. Г. Веттштейн предположил действие двух сил — центробежных, нарастающих от полюсов к экватору, и приливных, от действия Солнца на ядро Земли, вызывающих западный дрейф материков. Ф. Рихтгофен принял за основу глыбообразования миграцию масс земной коры в сторону океанических впадин. О. Фишер развивал идею о конвекционных тепловых потоках. Н.А. Головкинский и М. Рид постулировали мысль о происхождении деформаций за счет изменения объемов горных пород — первый за счет химических процессов, второй за счет разогрева и расширения масс. Наконец, А. Дрейсон связал деформации земной коры с расширением Земли.

Полученные на первом подэтапе морфогенетического этапа данные и их интерпретации были существенно дополнены на втором его подэтапе, от начала до середины XX в.

Среди выявленных шарьяжей были установлены их составные части,

произведена классификация этих нарушений и доказаны большие амплитуды горизонтальных перемещений (М. Люжон, 1901 г.; П. Термье, 1903 г.; Э. Ог, Л. Кобер, Р. Хелблинг, 1938 г.). Была установлена взаимосвязь отдельных видов складчатости со сдвигами и надвигами и доказано их происхождение под действием бокового давления (Буксторф, Э. Ог, А. Гейм, 1907—1921 гг.). А моделирование покровно-складчатых структур (С. Токуда, Ли Сы-гуан, Д. Григгс и др., 1926—1939 гг.) также прояснило их генетическую связь с горизонтальным давлением и (или) конвективным течением в нижних слоях.

В области сейсмологии, рождение которой связывается с именем Б.Б. Голицына, также наметились существенные для развития мобилизма открытия. Уже в первом десятилетии XX в. выполняются первые определения сейсмических волн в оболочке Земли (Милн, Бендорф, Цоприц) и делаются попытки выяснения строения Земли по временам пробега волн от землетрясений (Р. Олдгем). Устанавливаются поверхность Мохоровичича (1909 г.), граница Голицына (1916 г.), а между ними — верхняя мантия. В 1926 г. намечается граница Конрада, разделившая консолидированную кору на "гранитный" и "базальтовый" слои (Г. Джеффрис) и обосновывается слой Гутенберга с пониженной скоростью сейсмических волн в верхней мантии.

Изучение конкретных землетрясений позволяет находить плоскости разрыва и направление первого движения в очаге (С. Накамура, 1922 г.; П. Байерли, 1928 г.). На это же время приходится открытие очагов глубокофокусных землетрясений (Г. Тернер, 1922 г.; К. Вадати, 1928 г.). Спустя некоторое время А.Н. Заварицкий использует эти данные в тектонике.

Разрабатывается новый метод — глубинное сейсмическое зондирование (Г.А. Гамбурцев, 30-е годы), применение которого в разных странах даст потом очень важные сведения о строении и мощности слоев с разной скоростью прохождения волн в земной коре и верхней мантии от искусственных взрывов.

Замечательные открытия осуществляются и в других областях геофизики. В 1914—1915 гг. Дж. Баррел гравиметрическими исследованиями намечает новый слой в мантии — астеносферу, способный к вязкому или пластичному течению. Появляются новые данные по палеомагнетизму — о разной, прямой и обратной направленности намагниченности горных пород (в начале века П. Дави, Б. Брюнес, позже — П. Меркантон, Я. Хосперг и др.), которые С. Кэри (1938 г.) использует применительно к палеоклиматологии и тектонике. Наконец, Дж. Джоли (1905 г.) доказывает факт выделения тепла в горных породах при радиоактивном распаде и применяет его при разработке новой мобилистской гипотезы. Открытие этого факта, подтвержденного затем рядом других исследователей, существенно поколеблет основы гипотезы контракции (от векового охлаждения Земли), и многие к середине XX в. начнут от нее отказываться.

Структурными исследованиями разрабатываются новые механизмы образования складок, покровов и других структур. Предлагается, например, несколько моделей возникновения шарьяжей — механизм "прокатывания" при первичном появлении сорванных со своего основания плас-

тин и вторичном (между ними) — складок (О.А. Ампферер, 1915 г.), механизм активной нижней и пассивной верхней оболочек (Д. Григгс, 1939 г.) или поддвигания первой под вторую (В. Хобс, Л. Кобер, 1921 г.), механизм серфинга — движения аллохтонной пластины на гребне "волны", за которую принимается поднятие (Ж. Мерла, 1951 г).

Обосновываются также механизмы вращательных, "вихревых" горизонтальных движений, создающие определенным образом расположенные складки и разрывы и их зоны (М.А. Боголепов, 1923—1925 гг.; Д. Ли, 1928 г.; Ли Сы-гуан, 1939 г.; А. Холмс, 1949 г.). А Вегенер (1929 г.) предлагает механизм континентального дрейфа — процесс раскола земной коры на глыбы, их горизонтальное перемещение и вращение.

В отношении действующих сил, вызывающих деформации земной коры и ее перемещения, представления по-прежнему остаются многоплановыми, как и в первой половине морфогенетического этапа. Одни из них развивают предшествующие взгляды, например о сочетании контракции и изостазии (И.Д. Лукашевич, 1907 г.; Э. Ог, 1938 г.; У. Том, 1940 г.) или о совместном действии контракции и ротационного фактора (Г. Джеффрис, 1924 г.). Другие наибольшую роль приписывают космогоническим или собственно ратационным силам (центробежным или полюсобежным) в связи с изменением угловой скорости вращения Земли, положения земной оси и приливными движениями (Д. Крейхгауэр, 1902 г.; Д. Дарвин 1908 г.; А. Бём, 1910 г.; Л. Поккельс, 1911 г.; А. Вегенер, 1929 г.; Р. Штауб, 1938 г.). Третьи главными считают изостатические движения коры в сторону Тихоокеанской впадины — шрама после отрыва Луны от Земли (В. Пикеринг, 1907 г.; Д. Дарвин и др.). Четвертые за основу принимают глубинные конвекционные течения от неравенства температур на одних уровнях от физико-химических преобразований вещества, от изменения объемов при кристаллизации и т.д. (О. Ампферер, 1906 г.; Р. Швиннер, 1920 г.; Ф. Вениング-Мейнес, 1930 г.; М. Боголепов, 1932 г.; К. Пикерис, 1935 г.; А.Н. Заварицкий, 1946 г.). Пятые, наконец, связывают разобщенность материков с увеличением земного радиуса, расширением Земли и глобальным растяжением внешней оболочки (О.С. Хильгенберг, 1933 г.; П. Дирак, П. Иордан).

Наряду с этим в первой половине XX в. высказываются и совершенно новые соображения о действующих силах. Так, главным источником энергии в Земле, как причины крупных перемещений глыб земной коры некоторые исследователи (Дж. Джоли, 1925 г.; Б. Гутенберг, 1956 г.) стали считать радиогенное тепло. Другие учли данные о радиоактивности пород, но по-прежнему остались на позициях гипотезы контракции, допуская охлаждение Земли через химические изменения вещества, выделение ювенильных газов (А.П. Павлов, 1938 г.) или через медленный расход запаса в земной коре радиоактивных элементов (П.Н. Кропоткин, 1948 г.). Были и такие высказывания, которые связывали действие первичных сил с миграцией радиоактивных элементов и устанавливали тектонический процесс идущим по схеме нагревание—расширение—охлаждение—сжатие с последующим смещением масс литосферы вверх по наклонной плоскости и с большой горизонтальной составляющей (Б. и С. Виллисы, 1941 г.) или только вверх с последующим гравитационным соскальзыванием в сторону (В.В. Белоусов, 1942—1943 гг.). Некоторыми

авторами предпринимались попытки и комплексного подхода к оценке действующих сил, учитывающего, например, перемещение оси вращения Земли, действие приливов, ведущих к уменьшению угловой скорости вращения, перераспределение силы тяжести в связи с предполагаемым отрывом Луны от Земли, внутренние превращения вещества, кристаллокинетические и химические течения и т.д. (Е. Дакке и др.).

На основании сказанного можно полагать, что наиболее существенным достижением всего морфогенетического этапа являются новые факты структурной геологии и геофизики, подкрепившие мобилистские взгляды. Особая роль среди них принадлежит" 1) открытию радиоактивности и выделения тепла в горных породах при радиоактивном распаде, что поставит под сомнение гипотезу контракции и вызовет интерес к другим идеям; 2) открытию астеносферы и волноводов в мантии — некоторое время спустя это позволит обосновать и принять идею о скольжении материковых глыб не по кровле верхней мантии, как думал А. Вегенер, а по поверхности астеносферы; 3) открытию слоистости земной коры и верхней мантии — еще позже это приведет к разработке концепции о многослойной геодинамике литосферы в связи с горизонтальными движениями слагающих ее глыб.

В отношении механизмов возникновения тектонических структур наиболее значительной и перспективной окажется идея о дроблении континентальной коры на глыбы и их дрейфе на большие расстояния; на следующем (современном) этапе развития мобилизма она станет господствующей. Что же касается представлений о действующих силах, то на протяжении всего рассмотренного этапа они остались, как мы видели выше, во многом разноречивыми. Из мозаики взглядов на этот счет напрашивается только один вывод — каждый из них в той или иной мере подкреплен фактическим материалом, но ни один из них не может быть признан единственно верным и использован применительно ко всей Земле. И совсем не случайно многие исследователи, начиная уже с прошлого века, стали прибегать к попыткам представить геодинамику литосферы как двух- или трехфакторный процесс, т.е. как следствие и сумму действия разных сил.

Современный этап (вторая половина XX в.) вобрал в себя и переработал заново все, что было достигнуто на предыдущих этапах развития мобилизма. В разных странах было сделано множество новых открытий, подтвердивших огромное значение в формировании структуры Земли горизонтальных движений и горизонтально действующих сил. Этот этап в целом можно считать триумфом мобилизма.

На многочисленных примерах повторными триангуляциями были определены скорости и амплитуды новейших горизонтальных движений и их количественное превосходство над движениями по вертикали. С помощью измерений лазерными приборами удалось показать достоверность современного расширения рифтовых зон. На всех континентах стали известны перемещения масс в геологическом прошлом по сдвигам, надвигам и раздвигам с конечными амплитудами в десятки и сотни километров, сопровождающиеся в каждом случае соответствующими системами складок и других деформаций; они были установлены в структурах разного возраста и на разных глубинных уровнях. Разрабатываются механизмы движения в

зонах шарьяжей, надвигов, раздвигов и сдвигов и намечаются парагенезы всех этих нарушений. А предпринятые палинспастические построения позволяют восстанавливать процессы их развития. Кроме перемещений такого типа, отмечаются также вихревые и спиралевидные латеральные перемещения в отдельных участках земной коры.

В качестве показателей горизонтальных движений устанавливаются разнообразные меланжи, отличающиеся по составу, структуре и возрасту, а также по способу образования. Введением новых понятий — "олистостром", "олистолит" иллюстрируется процесс движения тектонических покровов в седиментационные бассейны. Офиолитовый же и близкие к нему по составу комплексы горных пород признаются стимулятором и диагностическим признаком горизонтальных подвижек разного типа — одни из них залегают в основании шарьяжей, другие являются стоящими на головах корнями шарьяжных пластин (сутуры), третьи принадлежат раздвиговым зонам литосферы (параллельные диабазовые дайки).

Выявляются признаки послойного пластического течения вещества горных пород, происходящего в некоторых участках земной коры, как было доказано, на многие километры и десятки километров и влекущего за собой значительные сокращения по ширине складчатых зон. Доказывается также тектоническая расслоенность земной коры и верхней мантии и тектоническая природа многих горизонтальных границ между геофизическими слоями и зон волноводов. Изучением космических снимков многих территорий при сопоставлении их с данными о строении основных геофизических слоев земной коры обосновывается резкая изменчивость структурных планов при переходе от одного глубинного слоя к другому. Колебания же мощностей геофизических слоев, их раздувы и пережимы, объясняются перетеканием слагающего их вещества из одних структурных участков в другие.

Новые данные были получены в результате изучения очагов землетрясений, например доказана их приуроченнсть к поверхностям между геофизическими слоями и к зонам волноводов, а также выявлены геодинамические обстановки в них, в одних случаях (чаще) сжатия с образованием сдвигов либо надвигов, в других — горизонтального растяжения с образованием рифтогенных зон. Непосредственные же измерения напряжений в горных массивах установили, что в современной земной коре (во многих областях) господствует горизонтальное сжатие.

Измерения тепловых потоков, идущих из недр Земли, помогли выявить тепловую неустойчивость земной коры и верхней мантии, что и стали считать причиной конвекции, объяснив ею дрейф литоплит.

По палеомагнитным данным разрабатывается геохронологическая шкала. Смена полярностей была увязана с радиоактивным распадом, что потом, с учетом других закономерностей, позволило обосновать явления спрединга. Одновременно, по этим же данным, строятся кривые миграции полюсов с целью выяснения взаимных перемещений континентов.

При изучении дна Мирового океана создается представление о его рельефе и о совпадении элементов рельефа с тектоническими структурами, среди которых, в частности, различаются и обосновываются раздви-

гающиеся срединно-океанические хребты, многочисленные гигантские и меньшего размера сдвиги и надвиги, а также трансформные разломы. Выявляются, кроме того, многочисленные подвижные блоки и плиты, разделенные сейсмическими поясами и разломами, вдоль которых блоки и плиты перемещаются на огромные расстояния (преимущественно от срединно-океанических хребтов к окраинам континентов, под которые они либо поддвигаются, либо на них надвигаются). По разным признакам намечается тектоническая расслоенность океанической коры, характер разреза которой устанавливается бурением и драгированием. Все эти новые данные сопоставляются с данными по континентам с целью выяснения океанического прошлого этих последних и общих закономерностей горизонтальных движений и превращения океанической коры в континентальную.

Представления о механизмах деформаций на современном этапе (как и на предыдущем) отличаются разнообразием, но многие из них под давлением новых фактов модернизируются. Например, в возрожденной гипотезе контракции (неоконтракционизм) в качестве основы принимается не всеобщее глобальное сжатие, а сочетание и взаимодействие областей сжатия с участками растяжения при миграции энергии сжатия от кратонов к подвижным областям. В гипотезе расширения Земли делаются попытки объяснить образование структур сжатия неравномерным ходом растяжения, трансформацией поднятия по радиусам в горизонтальное растекание, усилиями кручения от взаимодействия инерционных сил и сил тяготения и т.д. В пульсационную гипотезу в качестве основы вносятся гравитационный и ротационный факторы, а некоторыми авторами допускаются значительные перемещения коровых глыб.

Но наиболее наглядно процесс модернизации механизма деформаций литосферы вырисовывается в современной "тектонике литосферных плит". Вместо движущихся шести плит в первых вариантах гипотезы намечается до сотни подвижных блоков, вместо одной астеносферной поверхности смещения принимаются две, на разных уровнях, и намечается двухъярусное и двухмасштабное движение плит — коровое (сотни километров) и литосферное (тысячи километров). А еще позже обосновывается многослойное конвективное течение коровых и мантийных масс (гипотеза многоярусной конвекции).

Новую струю в понимание главных исходных причин действия намеченных механизмов вносят на современном этапе соображения о гравитационных процессах — о процессе выделения земного ядра путем плотностной дифференциации и дифференциации на уровне ядро—мантия. Эта причина так или иначе фигурирует почти во всех глобальных мобилистских гипотезах, включая альтернативные (см. табл. 5).

В этом прослеживается явная тенденция к сближению точек зрения на геодинамику литосферы. И не только в этом. В рамках одних и тех же гипотез все чаще и чаще предпринимаются попытки комплексного, разностороннего подхода к оценкам действующих сил и механизмов в литосфере. Достаточно сказать, например, что в гипотезах "неомобилизма" с самого начала его возрождения в 50-х годах, в качестве основных действующих сил были приняты: гравитационная дифференциация, хими-

ческие процессы, нарушения теплового режима и изостатического равновесия, реакции между электронными оболочками, ротационные силы, вызывающие активное взаимодействие гидросферы и атмосферы с литосферой. Таким образом была намечена, в еще большей степени, чем на предыдущем этапе, многопричинность (т.е. сумма многих причин, трудно и далеко не всегда различимых по наблюдаемым структурным результатам), в качестве одной главной причины горизонтальных движений и деформаций литосферы.

Сказалось это и на представлениях о соотношении горизонтальных и вертикальных сил и движений масс земной коры и мантии Земли.

Сопоставление гипотез обнаружило, что все они в конечном счете принимают то или иное сочетание в тектонических процессах горизонтальных и вертикальных перемещений, их трансформацию друг в друга и сложные соотношения, зависящие в каждом случае от места и времени проявления. Отсюда может быть сделан вывод об искусственности противоречий между фиксизмом и мобилизмом и о неправомерности их жестких противопоставлений — это две стороны одного и того же процесса преобразований земных структур. Говоря другими словами, "великий геологический спор" — фиксизм или мобилизм — в настоящее время утратил какой-либо смысл. Учитывая все вышесказанное, мы приходим к выводу, что фиксизм стал частью мобилизма.

Как видим, путь становления мобилизма оказался довольно тернистым, с разными его толкованиями, с отступлениями и даже полным отказом многих от мобилистских идей. Но факты в конце-концов сделали свое дело, и мобилизм к концу XX в. стал главным направлением в геотектонике.

Возникновение множества альтернативных гипотез, тормозивших этот процесс, имеет свои причины. С нашей точки зрения, это было связано, скорее всего, с разными оценками и толкованиями фактов, что случалось и в далеком прошлом и случается ныне. Так, первые данные об очевидных горизонтальных перемещениях в земной коре долгое время объяснялись только с фиксистских позиций, к которым они и приспосабливались. Нередко подобные факты вообще игнорировались и "теории" строились вопреки им. Последние же, построенные на незначительных региональных данных, порой неправомерно распространялись на всю Землю. Известную негативную роль сыграла также ложная национальная гордость, не позволявшая должным образом воспринимать "чужие" открытия. Связано это было и с существованием разных противоборствовавших тектонических школ.

Отсюда — недолговечность многих гипотез. По выражению В.В. Белоусова, путь науки усеян трупами гипотез. Ю.А. Косыгин считает гипотезы важным инструментом познания, но также признает, что они в конце-концов "благородно отмирают". Этот вопрос заслуживает, по-видимому, специального разбора. Здесь мы отметим только одну его, мобилистскую, сторону.

В каждой гипотезе можно, очевидно, различать две непременные и обязательные части — идею и ее фактическое обоснование или, образно говоря, "душу" и "тело". Вся история мобилистских гипотез показывает, что всякий раз в гипотезах отмирает только "тело", только та факти-

ческая основа, которая благодаря новым открытиям устаревает и становится неспособной поддерживать идею. Так погибла, например, в свое время гипотеза "кратеров поднятия и взрыва" или была поколеблена в связи с открытием радиоактивности гипотеза охлаждения и контракции Земли.

Однако сама идея, положенная в основу гипотезы, по-видимому, существует вечно, поскольку человек живет, продолжает думать и пытается понять окружающую природу. Так, поколебленная в начале XX в. гипотеза контракции на современном этапе на новых основаниях была вновь восстановлена в виде "неоконтракции". Или с другой, ретроспективной, стороны идея о горизонтальных перемещениях бродила в умах еще во времена Страбона, когда существовали предания об отделении Сицилии от Италии, составлявших некогда одно целое. На такую же мысль наводил замеченный в начале XVII в. параллелизм противоположных берегов Атлантического океана, после чего спустя некоторое время в том же XVII в. возникла идея об отделении Америки от Старого Света.

Но это была только идея и именно как идея она просуществовала до конца XIX—начала XX вв., когда была сформулирована гипотеза континентального дрейфа, подкрепленная (особенно А. Вегенером) необходимым фактическим материалом (материальным телом).

Вместе с тем этого обоснования хватило только на несколько десятилетий. С открытием астеносферы гипотеза континентального дрейфа модернизируется и при той же идее обретает другое "тело". Было признано, что дрейф континентов осуществляется не по кровле мантии, как думали раньше, а по астеносфере в связи с подвижностью слагающего ее вещества. Соответственно этому возникает новая гипотеза — "литосферных плит" — со своим арсеналом фактических обоснований и структурных обобщений.

Однако на этом процесс модернизации не завершается. С открытием тектонической расслоенности земной коры и мантии исследователи приходят к новому выводу, что дрейф осуществляется не только по астеносфере, но и по другим поверхностям, в том числе и по кровле верхней мантии. И это снова возрождает частично, в какой-то мере, идею (но не "тело") о дрейфе в понимании А. Вегенера.

Но и это еще не все. Полученные новые данные о тектонической расслоенности литосферы и о многослойном конвективном течении коровых и мантийных масс подрывают первоначальные варианты представлений о "тектонике литосферных плит" (например, о жесткости литосферных плит, о их числе, о направлениях движения, о границах и т.д.). В итоге, как бы мы к этому не относились, первоначальное фактическое обоснование ("тело") гипотезы литосферных плит при ярком свете самой идеи в настоящее время все же "благородно отмирает". Короче говоря, мы являемся свидетелями и участниками крушения очередной гипотезы, на этот раз той, которой на современном этапе многие уделили так много внимания.

В связи со сказанным возникает целый ряд вопросов. Например, какие новые гипотезы будут выдвинуты в ближайшие годы для объяснения сложной картины тектонических движений литосферы, их причин и

механизмов? В связи с появлением и развитием новых методов изучения структуры Земли и неизбежностью получения все новых и новых дифференцированных данных во что выльется представление о новой тектонике литосферных плит, идея о континентальном дрейфе и тысячекилометровых перемещениях? Как будут соотноситься мобилизм и фиксизм в массовом сознании исследователей?

В отношении будущего всей проблемы в целом в последние годы высказывались многие суждения, касающиеся также и самой геотектоники. Так, намечается понятие "глубинная тектоника" — разработка квазистатических и геодинамических моделей глубинных зон, недоступных для непосредственных наблюдений, и их увязка с геологической ситуацией [Косыгин, 1983]. Н.Л. Добрецов высказал мысль, что тектоника в узком смысле (как наука о деформациях литосферы) все более будет сливаться с геофизикой и механикой и будет приобретать все более вещественный оттенок, превращаясь в тектонофизику и петротектонику [Будущее..., 1985]. Как указал В.Е. Хаин, на стыке геологии и геофизики рождается новая наука — геодинамика, предназначенная для раскрытия причин и механизмов развития тектоносферы, а также химическая геодинамика, привлекающая данные геохимии [Будущее..., 1985]. Наконец, появились тенденции усиленного изучения многих аспектов ранней геологической истории Земли, истории эволюции земного вещества, тесно переплетающегося с космогонией (О.А. Богатиков, М.С. Марков [Будущее..., 1985]).

Попробуем теперь представить, что могут дать эти новые развивающиеся направления для фактического обоснования на новом уровне идеи планетарного дрейфа литосферных плит.

Изучение глубин Земли геофизическими и космическими методами может бесспорно создать предпосылки для разработки новых моделей и механизмов деформации литосферы и наметить те силы, которые приводят в действие эти модели и механизмы. Однако все они, по-видимому, будут находиться на уровне гипотез и более или менее обоснованных догадок, количество которых будет зависеть от типа и характера применяемых методик (исходные данные, способы расчетов и т.д.). Возникнут новые конкурирующие альтернативы и, возможно, новые "великие споры". Один из них, например, сейчас уже отчетливо наметился — упорядочено или неупорядочено проявление во времени и пространстве структурообразующих движений, т.е. в напряженном глубинном поле Земли господствует нелинейная или линейная геодинамика? Таковы же будут, по-видимому, в ближайшем обозримом будущем и результаты подхода к проблеме со стороны изучения космоса, а также и ранней истории Земли.

Изучение вещества литосферы, петротектоника, химическая геодинамика и другие родственные им направления, если они будут развиваться интенсивно, раскроют множество новых граней и оттенков проблемы зависимости структур и движений от вещественного состава и морфологии объемов литосферы. Чтобы выявить глобальные закономерности такого плана, потребуются массовые исследования материала по всем континентам и океанам, что долгое время еще не будет возможно. И ближайшие результаты окажутся, скорее всего, чисто региональными и даже только локальными; они усилят процесс дальнейшего разрушения "тек-

тоники литосферных плит" (к чему привела, как мы видели выше, более детальная многослойная геодинамика).

Наиболее рациональным для новых попыток обоснования идеи глобального дрейфа литоплит (на новом витке знаний) будет дальнейший поиск связей глубинных геодинамических моделей с конкретными, наблюдаемыми на поверхности Земли, структурами и их парагенетическими сообществами разного порядка. Последние однако сейчас едва только намечаются, но далеко еще не выявлены и систематизированы в глобальном масштабе.

В связи с этим на первый план должен выступить метод изучения уровней тектонической организации вещества литосферы, и особенно, земной коры, начиная от более крупных вещественных ассоциаций, составляющих значительные объемы того или иного порядка, которые можно картировать в разных, в том числе мелких масштабах.

Выделение таких объемов потребует выявления более четких их границ, которые в рамках того или иного порядка должны быть равновеликими, однородными и одновозрастными, т.е. должны соответствовать друг другу и ограничиваемым им объемам.

Особое значение приобретет выяснение кинематики границ этих тел, в частности какие движения вдоль них происходят, в каких направлениях, с какой скоростью и к каким конечным амплитудам, а также к какому пространственному положению глыбовых тел они приводят.

Некоторые из таких границ глобального характера сейчас уже намечаются. Например, в масштабе планеты геофизикам удалось протрассировать две горизонтальные поверхности — поверхность фундамента Ф и поверхность Мохоровичича М, которые, по Н.Я. Кунину [1989], опоясывают земной шар и разделяют литосферу Земли на три слоя.

Более сложным представляется выделение глобальных боковых границ. Ими скорее всего окажутся крупнейшие дизъюнктивные зоны, типа сквозных дислокаций Н.С. Шатского, общие для платформ и складчатых областей, трансконтинентальные линеаменты, видимые из космоса и т.д. Привязка их к глобальным горизонтальным (сферическим) поверхностям позволит оконтурить все подвижные плиты, происхождение и подвижность которых обусловлены в основном глобальными (не региональными) силами.

Таким путем возможно будет на новом фактическом материале заново обосновать идею различных (взаимосвязанных) глобальных горизонтальных движений литосферы, сделать ее более фактографической и менее уязвимой для критики.

Что же касается соотношений горизонтальных и вертикальных сил и движений (мобилизма и фиксизма), то они, скорее всего, будут рассматриваться не как взаимоисключающие друг друга факторы, а во взаимной связи, как это наметилось уже в начале XIX в. и было поддержано в первой половине XX в. (Дж. Холл, Б. Штудер, Сц. Брейслак, В.А. Обручев, Э. Арган, Д.И. Мушкетов и др.). К этому склоняются и исследователи современного этапа. И в этом действительно есть определенный смысл, поскольку такой путь должен обеспечить более широкое и непротиворечивое понимание закономерностей формирования тектонических структур литосферы и континентов и океанов.

ЛИТЕРАТУРА

Ажгирей Г.Д. Об основных геотектонических выводах В.В. Белоусова и В.Е. Хаина // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1952. № 2. С. 142—146.

Ажгирей Г.Д. Структурная геология. М.: Изд-во МГУ, 1966. 366 с.

Ажгирей Г.Д. Шарьяжи в геосинклинальных поясах. М.: Наука, 1977. 156 с.

Айзекс Б., Оливер Дж., Сайкс Л. Сейсмология и новая глобальная тектоника // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 133—179.

Александров А.А., Богданов Н.А., Бялобжеский С.Г. и др. Новые данные по тектонике Корякского нагорья // Геотектоника. 1975. № 5. С. 60—72.

Андерсон Д.Л., Дзевонский А.М. Сейсмическая томография // В мире науки. 1984. № 12. С. 16—25.

Арган Э. Тектоника Азии / Пер. под ред. Ю.М. Шейнманна. М.: ОНТИ, 1935. 192 с.

Артюшков Е.В. Геодинамика. М.: Наука, 1979. 327 с.

Артюшков Е.В., Шлезингер А.Е., Яншин А.Л. Основные типы и механизм образования структур на литосферных плитах // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1979. Т. 54, вып. 2. С. 8—30; Вып. 3. С. 3—13.

Архангельский А.Д. К вопросу о покровной тектонике Урала // Там же. 1932. Т. 10, вып. 1. С. 105—111.

Архангельский А.Д. Геологическое строение и геологическая история СССР: В 2 т. 4-е изд. Т. 1. М.; Л.: Госгеолтехиздат, 1947. 412 с.

Архангельский А.Д., Федынский В.В. Геологические результаты гравиметрических исследований в Средней Азии и Юго-Западном Казахстане // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1936. № 1. С. 3—33.

Асланян А.Т. Исследования по теории тектонической деформации Земли. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1955. 290 с.

Баженов М.Л., Буртман В.С. Кинематика Памирской дуги // Геотектоника. 1982. № 4. С. 54—71.

Байерли П. Определение разрывов в очагах землетрясений по сейсмическим данным // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 89—100.

Балакина Л.М. О природе тектонических движений в островных дугах // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1991. Т. 66, вып. 1. С. 3—12.

Белостоцкий И.И. Строение и формирование тектонических покровов. М.: Наука, 1978. 238 с.

Белоусов В.В. Николаус Стено — основоположник геотектоники: (К 300-летию со дня рождения и 250-летию со дня смерти) // Природа. 1958. № 5. С. 107—111.

Белоусов В.В. Гипотезы поднятия и контракции в геотектонике // Там же. 1939. № 10. С. 34—42.

Белоусов В.В. Г.Б. Соссюр — первый исследователь строения Альп // Там же. 1940. № 1. С. 106—109.

Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат, 1954. 606 с.

Белоусов В.В. О некоторых тенденциях в современных науках о Земле // Природа. 1984. № 6. С. 3—17.

Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. М.: Недра, 1974. 280 с.

Беммелен Р.В. ван. Горообразование. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 104 с.

Беньоф Г. Сейсмические данные о строении коры и тектонической деятельности // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 76—88.

Берг Л.С. Некоторые соображения о теории передвижения материков // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва. 1947. Т. 79, вып. 1. С. 7—12.

Берг Л.С. О предполагаемом раздвижении материков // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1948. № 3. С. 3—8.
Блейк М.К. (мл.), *Джонс Д.Л.* Происхождение францисканского меланжа Северной Калифорнии // Геотектоника. 1974. № 6. С. 15—28.
Богатиков О.А., Богданов Н.А., Добрецов Н.Л. и др. Офиолиты Апеннинского полуострова // Там же. 1981. № 5. С. 105—112.
Богданов Н.А. Палеозойские геосинклинали обрамления Тихого океана. М.: Наука, 1975. 259 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 269).
Богданов Н.А. О тектоническом скучивании коры в океанах // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 133—146.
Бондарчук В.Г. Основные вопросы тектоорогении. Киев, 1961. 382 с. (Тр. ИГН АН УССР. Сер. геотектоники и геофизики; Вып. 8).
Бондарчук В.Г. Образование и законы развития земной коры. Киев: Наук. думка, 1975. 168 с.
Борисов А.А. Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным. М.: Недра, 1967. 303 с.
Борисов О.М., Глух А.К. Кольцевые структуры и линеаменты Средней Азии. Ташкент: Фан, 1982. 123 с.
Борисяк А.А. Происхождение континентов и океанов // Природа. 1978. № 2. С. 80—91.
Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 373 с.
Боуи У. Изостазия. М.; Л.: ОНТИ НКТП, 1936. 208 с.
Бронгулеев В.В. Проблема складкообразования в земной коре. М.: Недра, 1967. 292 с.
Брюханов В.Н., Буш В.А., Елович Е.Л. и др. Линейные и кольцевые структуры (по данным дешифрирования космических снимков) // Геотектоника. 1982. № 1. С. 3—13.
Бубнов С. Основные проблемы геологии. М.: Изд-во МГУ, 1960. 233 с.
Будущее геологической науки. М.: Наука, 1985. 166 с.
Буртман В.С. О Талассо-Ферганском сдвиге // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 12. С. 37—48.
Буртман В.С. О складчатых шарьяжах в Южном Тянь-Шане // Там же. 1968. № 9. С. 55—68.
Буртман В.С. Геология и механика шарьяжей. М.: Недра, 1973. 104 с.
Бухер У. Деформация в орогенических поясах // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 351—378.
Вайн Ф., Мэтьюз Д. Магнитные аномалии над океаническими хребтами // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 32—37.
Валеев Р.Н. Авлакогены Восточно-Европейской платформы. М.: Недра, 1978. 153 с.
Васильев Б.И. Новые концепции в геотектонике // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1991. Т. 66, вып. 1. С. 111—117.
Вассоевич Н.Б., Хаин В.Е. Явления покровной тектоники в Лагичских горах (Азербайджан) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1940. № 1. С. 76—80.
Вахрамеев В.А. Дрейф материков в свете палеоботанических данных // Проблемы теоретической и региональной тектоники. М.: Наука, 1971. С. 254—261.
Вегенер А. Происхождение континентов и океанов. Л.: Наука, 1984. 285 с.
Венинг Мейнес Ф.А. Пластическое впячивание земной коры: Происхождение геосинклиналей // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 339—350.
Виллис Б. Механика Аппалачских структур. Л.; М.: Госгортехиздат,1934. 112 с.
Внутреннее строение Земли: Сб. ст. М.: Изд-во иностр. лит., 1949. 418 с.
Войтович В.С. Надвиги и блоковые структуры Северо-Восточной Карелии // Геотектоника. 1975. № 2. С. 20—36.
Вольвовский И.И. Сейсмические исследования земной коры в СССР. М.: Недра, 1973. 208 с.
Вопросы современной зарубежной тектоники. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 500 с.
Воронов П.С. Очерки о закономерностях морфологии глобального рельефа Земли. Л.: Наука, 1968а. 124 с.
Воронов П.С. Дрейф континентов: За и против. Л.: Геогр. о-во СССР, 1968б. 31 с.
Воронов П.С. Две проблемы планетарной геологии // Зап. Ленингр. горн. ин-та. 1979. Вып. 81. С. 61—68.
Высоцкий Б.П. "Теория шарьяжей" в русской геологической литературе и ее современное положение // Вопр. геологии Азии. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 2. С. 7—33.
Галицкий В.В. Тектоника хребта Каратау (Южный Казахстан) // Тр. ИГН АН КазССР. 1967. Т. 19. С. 3—37.

Гамкрелидзе П.Д., Гамкрелидзе И.П. Тектонические покровы южного склона Большого Кавказа. Тбилиси: Мецниереба, 1977. 81 с.
Гансер А. Геология Гималаев. М.: Мир, 1967. 362 с.
Гафаров Р.А. О глубинном строении фундамента в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 8. С. 3—14.
Геодинамика внутриконтинентальных горных областей. Новосибирск: Наука, 1990. 384 с.
Геологические результаты прикладной геофизики. М.: Наука, 1968. 253 с. (XXIII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Пробл. 5).
Геологическое изучение Земли из космоса. М.: Наука, 1978. 225 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 317).
Геология Арктики. М.: Наука, 1984. 168 с. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 4).
Геология Советского Союза. М.: Наука, 1984. 127 с. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 1).
Герт Г. Геология Анд. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 291 с.
Гораи М. Эволюция расширяющейся Земли. М.: Недра, 1984. 112 с.
Грачев А.Ф., Федоровский В.С. Зеленокаменные пояса докембрия: Рифтовые зоны или островные дуги // Геотектоника. 1980. № 5. С. 3—24.
Григорьянц Б.В., Алиев Ад.А., Амбарцумов Л.А. и др. Новые данные о проявлениях покровной тектоники на Юго-Восточном Кавказе // Изв. АН АзССР. Сер. наук о Земле. 1982. № 1. С. 32—37.
Гутенберг Б. Скорости распространения сейсмических волн в земной коре // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 32—49.
Гутенберг Б. Физика земных недр. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. 263 с.
Деменицкая Р.М. Кора и мантия Земли. М.: Недра, 1975. 256 с.
Джеффрис Г. Земля, ее происхождение, история и строение. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 485 с.
Джоли Д. История поверхности Земли. М.; Л.: Госиздат, 1929. 190 с. (Современные проблемы естествознания; Кн. 43).
Дикси Ф. Великие африканские разломы. М.: Изд-во иностр. лит., 1959. 123 с.
Дю Тойт А.Л. Геология Южной Африки. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 488 с.
Дю Тойт А. Наши странствующие континенты // Проблемы перемещения материков. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. С. 7—63.
Заварицкий А.Н. Некоторые факты, которые надо учитывать при тектонических построениях // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1946. № 2. С. 3—12.
Земная кора и верхняя мантия. М.: Мир, 1972. 640 с.
Зоненшайн Л.П., Городницкий А.М. Палеозойские и мезозойские реконструкции континентов и океанов // Геотектоника. 1977. № 2. С. 3—23; № 3. С. 3—24.
Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Кононов М.В., Городницкий А.М. Палеозойские океаны: Попытка абсолютных реконструкций // Палеоокеанология. М.: Наука, 1984. С. 35—45. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 3).
Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. 312 с.
Иванов Б.А. Некоторые соображения в пользу контракционной гипотезы // Тр. Иркутск. гос. ун-та. Сер. геол. 1950. Т. 5, вып. 1. С. 36—42.
Ирдли А. Структурная геология Северной Америки. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 665 с.
Исследования литосферы и астеносферы на длинных профилях ГСЗ. М.: Наука, 1980. 250 с.
Казьмин В.Г. О некоторых особенностях рифтогенеза (на примере развития Красноморского, Аденского и Эфиопского рифтов) // Геотектоника. 1974. № 6. С. 3—14.
Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала М.: Наука, 1974. 230 с.
Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Складчатые покровы западного склона Южного Урала // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1970. № 4. С. 125—143.
Камалетдинов М.А., Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Постников Д.В. Шарьяжные и надвиговые структуры фундаментов платформы. М.: Наука, 1987. 183 с.
Карпинский А.П. О правильности в очертании, распределении и строении континентов // Горн. журн. 1888. Т. 1.
Карпинский А.П. Очерки геологического прошлого Европейской России. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 206 с.
Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. М.: Географгиз, 1962. 152 с.

Кейльман Г.А., Соколов В.Б., Козырев Б.И. и др. О глубинном строении восточного склона Среднего Урала // Глубинное строение и геофизические особенности структур земной коры и верхней мантии. М.: Наука, 1977. С. 58—61.

Кинг Л. Морфология Земли. М.: Прогресс, 1967. 559 с.

Книппер А.Л. Особенности образования антиклиналей с серпентинитовыми ядрами (Севано-Акеринская зона Малого Кавказа) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1965. Т. 40, вып. 2. С. 46—58.

Книппер А.Л. Надвиги и покровы на северо-восточном побережье оз. Севан // Геотектоника. 1966. № 3. С. 125—130.

Книппер А.Л. Тектоническое положение пород гипербазитовой формации в геосинклинальных областях и некоторые проблемы инициального магматизма // Проблемы связи тектоники и магматизма. М.: Наука, 1969. С. 116—132.

Книппер А.Л. Серпентинитовый меланж Малого Кавказа // Геотектоника. 1971. № 5. С. 11—26.

Книппер А.Л. Океаническая кора в структуре Альпийской складчатой области (юг Европы, западная часть Азии и Куба). М.: Наука, 1975. 208 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 267).

Кожурин А.И., Трифонов В.Г. Молодые сдвиги обрамления Тихого океана // Геотектоника. 1982. № 2. С. 3—18.

Кокс А., Харт Р. Тектоника плит. М.: Мир, 1989. 427 с.

Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир, 1979. 262 с.

Колман Р.Г., Хэдли Д.Г., Флек Р.Г. и др. Миоценовые офиолиты Тихама-Азир и их генезис в связи с образованием Красного моря // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 107—123.

Косыгин Ю. О вертикальном раздавливании в связи с развитием астенолитов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1948. № 3. С. 158—166.

Косыгин Ю.А. Тектоника. 2-е изд. М.: Недра, 1983. 536 с.

Краснопевцева Г.В. Геолого-геофизические особенности слоев с пониженными скоростями в земной коре: (Обзор). М.: ВИЭМС, 1978. 38 с.

Красный Л.И. Геоблоки и тектоника плит // Геофизический сборник. Киев: Наук. думка, 1976. Вып. 70. С. 56—63.

Кришнан М.С. Геология Индии и Бирмы. М.: Изд-во иностр. лит., 1954. 424 с.

Криштофович А.Н. Ботанико-географическая зональность и этапы развития флоры верхнего палеозоя // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1937. № 3. С. 383—404.

Кропоткин П.Н. Основные проблемы энергетики тектонических процессов // Там же. 1948. № 5. С. 89—104.

Кропоткин П.Н. Значение палеомагнетизма для стратиграфии и тектоники // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1958. Т. 33, вып. 4. С. 57—86.

Кропоткин П.Н. "Неомобилизм" и региональная геотектоника: Рецензия на книгу Крауса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961а. № 6. С. 112—116.

Кропоткин П.Н. Палеомагнетизм, палеоклиматы и проблема крупных горизонтальных движений земной коры // Сов. геология. 1961б. № 5. С. 16—38.

Кропоткин П.Н. Напряженное состояние земной коры по измерениям в горных выработках и геофизическим данным // Проблемы теоретической и региональной тектоники. М.: Наука, 1971. С. 238—253.

Кропоткин П.Н. Проблемы геодинамики // Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980. С. 176—247.

Кропоткин П.Н. Кардинальные вопросы динамики литосферы Земли и других планет в свете новейших геофизических данных: (К итогам 26-й сессии МГК) // Геотектоника. 1981. С. 132—136.

Кропоткин П.Н., Шахварстова К.А. Геологическое строение Тихоокеанского подвижного пояса. М.: Наука, 1965. 365 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 134).

Кузнецов Е.А. Развитие взглядов на тектонику Урала от А.П. Карпинского до наших дней // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1937. № 4. С. 637—653.

Кузнецов П.П., Симонов В.А. Офиолитогенез в рифтовых зонах // Структурные элементы земной коры и их эволюция. Новосибирск: Наука, 1983. С. 99—110. (Тр. Ин-та геологии и геофизики; Вып. 588).

Кулон Ж. Разрастание океанического дна и дрейф материков. Л.: Недра 1973. 230 с.

Кунин Н.Я. Строение литосферы континентов и океанов. М.: Недра, 1989. 286 с.

Кэри С.У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991. 447 с.

Ларин В.Н., Руженцев С.В. Моделирование покровных складок // Геотектоника.1975. № 3. С. 36—43.

Леммлейн Г.Г., Личков Б.Л. Аноним — "Астрономические предрассудки и материалы для сопоставления новой теории образования планетной системы". Ливны, 1877. (Идея о движении материков в русской научной мысли) // Изв. АН СССР. Сер. геол. и геофиз. 1946. № 4. С. 401—403.

Леонов М.Г. Дикий флиш альпийской области. М.: Наука, 1975. 139 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 199).

Леонов М.Г. Тектонический режим эпох образования олистостромов // Геотектоника. 1976. № 3. С. 26—39.

Леонов М.Г. Олистостромы и их генезис // Там же. 1978. № 5. С. 18—33.

Леонов М.Г. Тектонические покровы и метаморфизм горных пород Зеравшано-Гиссарской области // Тектóническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 217—230.

Леонов Н.И. Русский самородок Евграф Быханов // Тр. Ин-та истории естествознания АН СССР. 1952. Т. 4. С. 195—215.

Леонов Ю.Г. Платформенная тектоника в свете представлений о тектонической расслоенности коры // Геотектоника.1991. № 6. С. 3—17.

Ле Пишон К., Франшто Ж., Боннин Ж. Тектоника плит. М.: Мир., 1977. 287 с.

Ли Сы-Гуан. Вихревые структуры Северо-Западного Китая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 130 с.

Литвиненко И.В., Платоненкова Л.Н., Сапарова Ю.А., Анкудинов С.А. Глубинный разрез Имандра-Варзугской синклинорной зоны // Геология и глубинное строение восточной части Балтийского щита. М.: Наука, 1968. С. 96—103.

Личков Б.Л. О механизме горизонтальных движений земной коры // Природа. 1930. № 1. С. 58—78.

Личков Б.Л. Движение материков и климаты прошлого Земли. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 127 с.

Личков Б.Л. К основам современной теории Земли. Л.: Изд-во ЛГУ, 1965. 119 с.

Лобковский Л.И. Геодинамика зон спрединга, субдукции и двухъярусная тектоника плит. М.: Наука, 1988. 252 с.

Ломоносов М.В. О слоях земных, и другие работы по геологии. М.; Л.: Госгеолтехиздат, 1949. 211 с.

Лукьянов А.В. Пластические деформации известняков в зонах дробления, сопровождающих крупные разломы // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1959. № 4. С. 102—106.

Лукьянов А.В. Горизонтальные движения по разломам, происходящие при современных катастрофических землетрясениях // Разломы и горизонтальные движения земной коры. М.: Наука, 1963. С. 34—112. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 80).

Лукьянов А.В. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры. М.: Наука, 1965. 212 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 136).

Лукьянов А.В. Проблемы изучения тектонического течения горных пород // Тектоника. М.: Наука, 1984. С. 149—155. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 7).

Лукьянов А.В. Структуры тектонического сшивания в земной коре и на моделях // Экспериментальная тектоника в решении задач теоретической и практической геологии. Киев: ИГ АН УССР, 1987. С. 108—109.

Лукьянов А.В. Пластические деформации и тектоническое течение в литосфере. М.: Наука, 1991. 144 с.

Лукьянов А.В., Зиньков В.В., Быкова Ю.М. Внедрение базальтовых даек в континентальную кору как возможная причина ее расслоения // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262, № 3. С. 678—682.

Ляшенко О.В. Новые данные о строении Восточно-Саянского гипербазитового пояса // Геотектоника. 1979. № 4. С. 33—44.

Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Недра, 1965. 379 с.

Макаров В.И., Трифонов В.Г., Щукин Ю.К. Отражение глубинной структуры складчатых областей на космических снимках // Геотектоника. 1974. № 3. С. 114—132.

Макарычев Г.И. Геосинклинальный процесс и становление континентальной коры в Тянь-Шане. М.: Наука, 1978. 196 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 318).

Макарычев Г.И. Роль офиолитовой ассоциации в тектонической эволюции земной коры Южного Тянь-Шаня // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 31—46.

Макарычев Г.И. Два типа палеорифтов в Западной Монголии // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65, вып. 2. С. 31—43.

Макарычев Г.И. Первично-океаническая природа коры Урало-Монгольского складчатого пояса // Геотектоника. 1992. № 1. С. 111—124.

Макарычев Г.И., Гесь М.Д., Пазилова В.И. Докембрийские офиолиты Улутау в свете стадийного развития земной коры // Там же. 1983. № 4. С. 60—74.

Макарычев Г.И., Куренков С.А. Палеозойский серпентинитовый меланж Канской полосы (Южный Тянь-Шань) // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1974. Т. 49, вып. 4. С. 22—34.

Макарычев Г.И., Штрейс Н.А. Тектоническое положение офиолитов Южного Тянь-Шаня // Докл. АН СССР. 1973. Т. 210, № 5. С. 1164—1166.

Марков М.С., Некрасов Г.Е. Офиолиты рифтовых зон древней континентальной коры (хр. Пекульней, Чукотка) // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 81—92.

Межвилк А.А. Роль горизонтальных движений в формировании тектонических структур и месторождений Норильского района // Геотектоника, 1984. № 1. С. 99—110.

Мейен С.В. О гипотезе перемещения континентов с точки зрения палеофлористики карбона и перми // Там же. 1969. № 5. С. 3—16.

Менард Г.У. Геология дна Тихого океана. М.: Мир, 1966. 276 с.

Методика геологического картирования метаморфических комплексов. М.: Госгеолтехиздат. 1957. 452 с.

Милановский Е.Е. Рифтовые зоны континентов. М.: Недра, 1976. 278 с.

Милановский Е.Е. Некоторые закономерности тектонического развития и вулканизма Земли в фанерозое: (Проблемы пульсации и расширения Земли) // Геотектоника.1978. № 6. С. 3—16.

Милановский Е.Е. Основные этапы развития процессов рифтогенеза и их место в геологической истории Земли // Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981. С. 38—60.

Милановский Е.Е. Рифтогенез и его роль в тектоническом строении Земли и ее мезокайнозойской геодинамике // Геотектоника. 1991. № 1. С. 3—20.

Милеев В.С., Ротараш И.А., Самыгин С.Г. К природе Иртышской зоны смятия // Докл. АН СССР. 1980. Т. 255, № 2. С. 413—416.

Монин А.С. Ранняя геологическая история Земли. М.: Недра, 1987. 262 с.

Монин А.С., Сорохтин О.Г. Эволюция океанов и геохимия континентов // Палеоокеанология. М.: Наука, 1984. С. 22—35 (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 3).

Моссаковский А.А., Альбеар Х.Ф. Покровная структура Западной и Северной Кубы и история ее становления в свете изучения олистостром и моласс // Геотектоника. 1978. № 3. С. 100—118.

Мусатов Д.И., Федоровский В.С., Афанасьев Ю.Т. и др. Некоторые аспекты геологического строения и истории развития территории СССР с позиций новых геотектонических концепций // XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов. М.: Наука, 1984. Т. 1. С. 102—114.

Мушкетов Д.И. Современные тектонические воззрения в связи с геологией Средней Азии // Изв. Геол. ком. 1926. Т. 45, № 1. С. 9—29.

Мушкетов Д.И. Региональная геотектоника. Л.; М.: ОНТИ, 1935. 527 с.

Мушкетов И.В. Физическая геология. 2-е изд. М., 1899. Т. 1.VIII. 784 с.

Мясников В.П., Фадеев В.Е. Модели эволюции Земли и планет земной группы. М.: ВИНИТИ, 1980. 231 с.

Натальин Б.А., Борукаев Ч.Б. Мезозойские сутуры на юге Дальнего Востока СССР // Геотектоника. 1991. № 1. С. 84—97.

Никонов А.А. Кайнозойские тектонические движения по системе разломов Сан-Андреас в Калифорнии // Там же. 1975. № 2. С. 98—113.

Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. 471 с.

Новикова А.С. Тектоника фундамента древних платформ // Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980. С. 7—28.

Обручев В.А. Новые течения в тектонике // Изв. Геол. ком. 1926. Т. 45, № 3. С. 117—140.

Обручев В.А. История геологического исследования Сибири. Периоды 1 (XVII—XVIII вв.), 2 (1801—1850 гг.), 3 (1851—1888 гг.) 4 (1889—1917 гг.), 5 (1918—1940 гг.). М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1931, 1934, 1937, 1959.

Обручев В.А. Пульсационная гипотеза геотектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1940. № 1. С. 12—29.

Обручев В.А., Зотина М. Эдуард Зюсс. Журн.-газ. об-ние, 1937. 229 с. (Жизнь замечательных людей; Вып. 1(97)).
Ог Э. Геология. 7-е изд. М.; Л.: ГОНТИ, НКТП, 1938. 560 с.
Очерки по истории геологических знаний. М.: Изд-во АН СССР, 1953. Вып. 1, 2; 1955. Вып. 3, 4.
Павленкова Н.И. Структура и динамика земной коры и верхней мантии континентов // Проблемы движений и структурообразования в коре и верхней мантии. М.: Наука, 1985. С. 58—72.
Павлов А.П. Очерк истории геологических знаний. М.; Л.: ГИЗ, 1921. 84 с.
Паталаха Е.И. Механизм возникновения структур течения в зонах смятия. Алма-Ата: Наука, 1970. 216 с.
Паталаха Е.И. Генетические основы морфологической тектоники. Алма-Ата; Наука, 1981. 180 с.
Паталаха Е.И. Тектонофациальный анализ складчатых сооружений фанерозоя. М.: Недра, 1985. 168 с.
Пейве А.В. Разломы и их роль в строении земной коры и деформации горных пород // XXI Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов. М.: Наука, 1960. Проблема 18. С. 65—72.
Пейве А.В. Тектоника и магматизм // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1961. № 3. С. 36—54.
Пейве А.В. Разломы и тектонические движения // Геотектоника. 1967. № 5. С. 8—24.
Пейве А.В. Океаническая кора геологического прошлого // Там же. 1969. № 4. С. 5—24.
Пейве А.В. Геология раздела Мохоровичича // Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981. С. 7—13.
Пейве А.В. Эволюция земной коры и мобилизм: Изб. тр. М.: Наука, 1991. 255 с.
Пейве А.В., Штрейс Н.А., Моссаковский А.А. и др. Палеозоиды Евразии и некоторые вопросы геосинклинального процесса // Сов. геология. 1972. № 12. С. 7—25.
Плюснин К.П. Шарьяжи западного склона Северного и Среднего Урала, их возраст и структурное положение // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1969. № 4. С. 133—137.
Проблемы изучения современных движений земной коры. Киев: Наук. думка, 1977. 168 с.
Проблемы рифтогенеза: (Материалы к симпоз. по рифтовым зонам Земли). Иркутск: Ин-т зем. коры АН СССР, 1975. 154 с.
Пухляков Л.А. Обзор геотектонических гипотез. Томск: Политехн. ин-т, 1970. 266 с.
Пущаровский Ю.М. Очерк тектоники внешней антиклинальной зоны Восточных Карпат // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1951. Т. 26, вып. 6. С. 13—37.
Пущаровский Ю.М. Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. М.: Наука, 1972. 222 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 234).
Пущаровский Ю.М. Тектонические движения в океанах // Геотектоника. 1978. № 1. С. 3—18.
Пущаровский Ю.М. Проблемы тектоники океанов // Тектоника в исследованиях Геологического института АН СССР. М.: Наука, 1980. С. 123—175.
Пущаровский Ю.М. Морфологические категории поперечных разломных структур в Атлантике // Докл. АН СССР. 1991. Т. 320, № 3. С. 692—695.
Пущаровский Ю.М. Тектоника океанов и нелинейная геодинамика // Докл. РАН. 1992. Т. 324, № 1. С. 157—161.
Пущаровский Ю.М., Ельников И.Н., Перфильев А.С. Новые данные о глубинном строении Срединно-Атлантического хребта на 20° ю.ш. // Геотектоника. 1985. № 5. С. 5—13.
Пущаровский Ю.М., Руженцев С.В., Соколов С.Д. и др. Тектоническая расслоенность литосферы и ее значение для геокартирования // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1991. № 12. С. 22—40.
Разломообразование в литосфере: Зоны сдвига. Новосибирск: Наука, 1991. 262 с.
Разломы и горизонтальные движения земной коры. М.: Наука, 1963. 312 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 80).
Разломы и горизонтальные движения платформенных областей СССР. М.: Наука, 1977а. 143 с.
Разломы и горизонтальные движения горных сооружений СССР. М.: Наука, 1977б. 136 с.
Разницын Ю.Н. Тектоническая расслоенность океанической коры // Докл. АН СССР. 1989. Т. 307, № 6. С. 1441—1444.
Рождественский В.С. Сдвиги Северо-Восточного Сахалина // Геотектоника. 1975. № 2. С. 85—97.

Розанов Л.Н. Особенности отображения тектонических разломов на снимках из космоса // Исслед. Земли из космоса. 1980. № 3. С. 98—100.
Розова Е.А. Землетрясения Средней Азии. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 120 с. (Тр. Сейсмол. ин-та АН СССР).
Ротараш И.А., Гредюшко Е.А. История формирования и строения серпентинитового меланжа Зайсанской складчатой области // Геотектоника. 1974. № 4. С. 73—79.
Руженцев С.В. Сдвиги Юго-Восточного Памира // Разломы и горизонтальные движения земной коры. М.: Наука, 1963. С. 113—127.
Руженцев С.В. Тектонические покровы Музкольского хребта (Центральный Памир) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1965. № 3. С. 81—94.
Руженцев С.В. Геология южной части Сакмарской зоны Урала // Проблемы теоретической и региональной тектоники. М.: Наука, 1971. С. 25—40.
Руженцев С.В. Краевые офиолитовые аллохтоны: (Тектоническая природа и структурное положение). М.: Наука, 1976. 171 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 283).
Руженцев С.В., Белов А.А. К проблеме палеотектонических и палеогеографических реконструкций в областях складчато-покровного строения // Геотектоника. 1973. № 4. С. 18—33.
Савельев А.А., Самыгин С.Г. Офиолитовые аллохтоны Полярного и Приполярного Урала // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 9—30.
Самыгин С.Г. Карбогинский тектонический покров в хр. Тарбагатай (Восточный Казахстан) // Докл. АН СССР. 1982. Т. 262. № 2. С. 426—430.
Система рифтов Земли: (Тр. симпоз.): М.: Мир, 1970. 280 с.
Ситтер Л.У. де. Структурная геология. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. 473 с.
Сократов Г.И. Из истории русской геологии второй половины XIX в. // Зап. Ленингр. горн. ин-та. 1949. Т. 15/16. С. 41—70.
Соловьева И.А. К проблеме неоднородности коры и верхней мантии Земли // Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981. С. 71—103.
Сорохтин О.Г. Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974. 184 с.
Сорохтин О.Г. Теория тектоники литосферных плит и происхождение земной коры // Изв. вузов. Геология и разведка. 1979. № 5. С. 15—25.
Стовас М.В. Некоторые вопросы тектогенеза // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. С. 222—274.
Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований. Киев: Наук. думка, 1977. 310 с.
Строение континентальной земной коры на территории СССР (по геофизическим данным). Л.: Недра, 1974. 112 с. (Тр. ВСЕГЕИ; Вып. 211).
Субботин С.И., Наумчик Г.Л., Рахимова И.М. Мантия Земли и тектогенез. Киев: Наук. думка, 1968. 174 с.
Суворов А.И. Тектоническое районирование Ферганской впадины по генетическим признакам. М., 1954. 92 с. (Тр. ИГН АН СССР. Сер. геол.; Вып. 158 (№ 68)).
Суворов А.И. Успенско-Актасская динамопара разломов в Центральном Казахстане // Докл. АН СССР. 1961. Т. 137, № 4. С. 938—941.
Суворов А.И. Спасская зона Центрального Казахстана и некоторые вопросы сдвиговой тектоники // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1963. № 9. С. 46—60.
Суворов А.И. Закономерности строения и формирования глубинных разломов. М.: Наука, 1968. 316 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 179).
Суворов А.И. Новейшая глобальная кинематика литосферы (на основе региональных тектонопар) // Геотектоника.1978. № 2. С. 3—18.
Суворов А.И. Соотношения глыбовых поверхностных и глубинных структур Урало-Монгольского складчатого пояса // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 7. С. 3—16.
Суворов А.И., Самыгин С.Г. Матакский тектонический покров в Центральном Казахстане // Докл. АН СССР. 1963. Т. 153, № 1. С. 180—183.
Тайер Т.П. Некоторые аспекты структурного положения серии параллельных даек в офиолитовых комплексах // Геотектоника. 1977. № 6. С. 32—45.
Тектоника Азии. М.: Наука, 1984. 208 с. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 5).
Тектоника и магматизм современных и древних океанов: Тез. докл. тектон. совещ. М.: РАН, 1992. 43 с.
Тектоника платформ: Современные данные и идеи: Тез. докл. текстов. совещ. М.: Наука, 1993. 55 с.

Тектоника Северной Евразии. М.: Наука, 1980. 220 с.
Тектоническая расслоенность литосферы. М.: Наука, 1980. 216 с.
Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных поясов. М.: Наука, 1982. 114 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 359).
Тектоническая расслоенность литосферы и региональные геологические исследования. М.: Наука, 1990. 294 с.
Тектонические процессы. М.: Наука, 1989. 264 с. (XXVIII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов).
Тектоносфера Земли. М.: Наука, 1978. 532 с.
Тетяев М.М. Основы геотектоники. 2-е изд. М.; Л.: Госгеолтехиздат, 1941. 356 с.
Тихомиров В.В., Хаин В.Е. Краткий очерк истории геологии. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 260 с.
Трапезников Ю.А. Реферативный обзор и критика современных гипотез расширяющейся Земли // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1963. Т. 38, вып. 5. С. 65—74.
Трифонов В.Г. Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с. (Тр. ГИН АН СССР; Вып. 361).
Трифонов В.Г. Неотектоника и современные тектонические концепции // Геотектоника.1987. № 1. С. 25—38.
Тяпкин К.Ф. О природе горизонтальных сдвигов в земной коре с позиций новой ротационной гипотезы структурообразования // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1981. № 3. С. 30—32.
Уилсон Дж. Новый класс разломов и их отношение к континентальному дрейфу // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 58—67.
Усов М.А. Структурная геология. М.; Л.: Госгеолтехиздат, 1940а. 135 с.
Усов М.А. Геотектоническая теория саморазвития материи Земли // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1940б. № 1. С. 3—11.
Уткин В.П. Восточно-Азиатская глобальная сдвиговая зона, вулканический пояс и окраинные моря // Докл. АН СССР. 1978. Т. 240, № 2. С. 400—403.
Ушаков С.А., Ясаманов Н.А. Глобальные реконструкции климата и течений Мирового океана в фанерозое // Палеоокеанология. М.: Наука, 1984. С. 46—61. (XXVII Междунар. геол. конгр.: Докл. сов. геологов; Т. 5).
Федынский В.В., Ващилов Ю.Я. О слоисто-блоковой модели литосферы // Докл. АН СССР. 1977. Т. 233. № 6. С. 1180—1182.
Федынский В.В., Ушаков С.А., Шебалин Н.А. Возраст дна Мирового океана по геофизическим данным // Там же. 1972. Т. 204, № 6. С. 1442—1445.
Хаин В.Е. Некоторые вопросы происхождения и классификации складок земной коры // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1957. Т. 32, вып. 5. С. 71—98.
Хаин В.Е. От тектоники плит к более общей теории глобального тектогенеза // Геотектоника. 1978. № 3. С. 3—25.
Хаин В.Е. Об основных эпохах офиолитообразования в истории Земли // Тектоническое развитие земной коры и разломы. М.: Наука, 1979. С. 147—158.
Хаин В.Е. Глобальная тектоника: Состояние и перспективы // Проблемы тектоники земной коры. М.: Наука, 1981. С. 20—28.
Хаин В.Е. Тектоника плит двадцать лет спустя: (Размышления о прошлом, настоящем и будущем) // Геотектоника. 1988. № 6. С. 3—7.
Хаин В.Е. Расслоенность Земли и многоярусная конвекция как основа подлинно-глобальной геодинамической модели // Докл. АН СССР. 1989. Т. 308, № 6. С. 1437—1440.
Хаин В.Е., Зверев А.Т. Геодинамический анализ томографических карт // Там же. 1990. Т. 314, № 1. С. 221—225.
Хаин Е. В. Офиолиты и покровная структура Передового хребта Северного Кавказа // Геотектоника. 1979. № 4. С. 63—80.
Холмс А. Основы физической геологии. М.: Изд-во иностр. лит., 1949. 591 с.
Храмов А.Н., Шолпо Л.Е. Палеомагнетизм. Л.: Недра, 1967. 251 с. (Тр. ВНИГРИ; Вып. 256).
Хрычев Б.А. Некоторые закономерности строения земной коры Казахстана // Геотектоника. 1979. № 4. С. 112—116.
Хуан Бо-цинь. Основные черты тектонического строения Китая. М.: Изд-во иностр. лит., 1952. 162 с.
Хуан Цзи-цин. Некоторые особенности тектоники Китая // Вопросы современной зарубежной тектоники. М.: Изд-во иностр. лит., 1960. С. 11—21.
Хэллем Э. Великие геологические споры. М.: Мир, 1985. 216 с.

Чекунов А.В. Структура земной коры и тектоника юга европейской части СССР. Киев: Наук. думка, 1972. 176 с.
Чекунов А.В., Кучма В.Г. Реконструкция зон сжатия и растяжения в земной коре Украины по структурным особенностям разломов // Докл. АН УССР. Сер. Б. 1978. № 9. С. 799—801.
Чекунов А.В., Кучма В.Г. Глубинная структура разломов // Геотектоника. 1979. № 5. С. 24—38.
Чудинов Ю.В. Геология активных океанических окраин и глобальная тектоника. М.: Недра, 1985. 248 с.
Шарапов В.Н., Симбирева И.Г., Бондаренко П.М. Структура и геодинамика сейсмофокальной зоны Курило-Камчатского региона. Новосибирск: Наука, 1984. 199 с. (Тр. Ин-та геологии и геофизики СО АН СССР; Вып. 549).
Шатский Н.С. О надвигах восточной части Черных гор на Северном Кавказе // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1925. Т. 3, вып. 1/4. С. 305—344.
Шатский Н.С. Заметки по тектонике третичных отложений предгорий Северо-Восточного Кавказа // Там же. 1927. Т. 5, вып. 3/4. С. 321—369.
Шатский Н.С. Гипотеза Вегенера и геосинклинали // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1946. № 4. С. 7—21.
Шатский Н.С. Избранные труды. 1965. Т. 4. 336 с.
Шмидт О.Ю. Четыре лекции о теории происхождения Земли. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 96 с.
Штауб Р. Механизм движений земной коры в приложении к строению земных горных систем. Л.: ГОНТИ, 1938. 272 с.
Штилле Г. Современные деформации земной коры в свете изучения деформаций, происходивших в более ранние эпохи // Земная кора. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. С. 187—208.
Штилле Г. Избранные труды. М.: Мир, 1964. 887 с.
Шульц С.С. (мл.). Линейные и мозаичные системы сдвигов на космических снимках Земли // Изв. вузов. Геология и разведка. 1975. № 1. С. 16—21.
Щукин Ю.К. Сейсмогенные структуры и фокальные зоны Альпийского пояса, их связь с геофизическими полями и разломами // Разломы земной коры. М.: Наука, 1977. С. 125—133.
Эз В.В. Структурная геология метаморфических комплексов. М.: Недра, 1978. 192 с.
Эйхвальд Э.И. Геогнозия преимущественно в отношении к России. СПб., 1846. 572 с.
Юзвицкий А.З. Новые данные о Томском шарьяже // Геотектоника. 1976. № 4. С. 67—71.
Яншин А.Л. Тектоническое строение Евразии // Там же. 1965. № 5. С. 7—35.
Bailey E.B., McCallien W.Y. Serpentine lawas, the Ancara melange and Anatolian thrust // Trans. Roy Soc. Edinburg. 1952—1954. Vol. 6, N 11. P. 403—441.
Bemmelen R.W., van. Mega-undations as cause of continental drift // Geol. en mijbouw. 1965. Vol. 44, N 9. P. 320—333.
Bemmelen R.W. van. Le mècanisma de la dĕrive continentalè // Scientia. 1966. Vol. 101, N 3/4. P. 140—149.
Dewey J.F. Continental margins: A model for conversion of Atlantic type of Andean Type // Earth and Planet. Sci. Lett. 1969. Vol. 6, N 3. P. 189—197.
Fisher O. Physics of the Earth's crust. L.: MacMillan, 1881. 299 p.
Hutton D.H.W. Tectonic slides: A review and reappraisal // Fargh Sci. Rev. 1979. Vol. 15, N 2. P. 157—172.
McKenzie D.P. Plate tectonics of the Mediterranean region // Nature. 1970. Vol. 226. P. 239—243.
Molnar P., Tapponnier P. Cenozoic tectonics of Asia: Effects of a continental collision // Science. 1975. Vol. 189. N 4201. P. 419—426.
Morgan W.J. Rises, trenches, great faults, and crustal blocks // J. Geophys. Res. 1968. Vol. 73. P. 1959—1982.
Neev D., Hall J.K. A global system spiraling geosutures // J. Geophys. Res. B. 1982. Vol. 87, N 13. P. 10689—10708.
Schermer E.R., Nowell D.G., Jones D.L. The origin of allochthonous terranes // Ann. Rev. Earth and Planet Sci. 1984. N 12. P. 107—131.
Starnes R. The crack that cirdles the Earth // Sci. World. 1960. Vol. 8, N 3. P. 4—8.
Vacquier V. Measurement of horizontal displacement along faults in the ocean floor // Nature. 1959. Vol. 183. P. 452—453.
Wadati K. On the activity of deep-focus earthquakes in the Japan island and neighbourhood // Geophys. Mag. 1935. Vol. 8. P. 305—326.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Введение 6

Глава первая
Подготовительные этапы развития мобилистских идей 8
Эмбриональный этап (от Страбона до Ломоносова) 8
Морфографический этап (от Ломоносова до Эли де Бомона) 16

Глава вторая
Морфогенетический этап 24
Вторая половина XIX в. (от Эли де Бомона до Е.В. Быханова) 25
Структурные исследования 25
Открытия общего порядка 33
Новые гипотезы 38
Первая половина XX в. (от Е.В. Быханова до А. Вегенера и А.Дю. Тойта) 41
Структурные исследования 41
Геофизические исследования 52
Сопоставление основных гипотез морфогенетического этапа 56
Выводы 84

Глава третья
Современный этап (вторая половина XX в.) 91
Структурные исследования на континентах 92
Новейшие горизонтальные движения и их оценка 92
Покровно-надвиговые структуры 94
Горизонтальные сдвиги 104
Раздвиговые и грабен-рифтовые структуры 110
Горизонтальные движения и структурно-вещественные преобразования земной коры 119
Некоторые другие данные 128
Геофизические исследования континентальной коры 131
Сейсмические исследования 132
Изучение современных землетрясений 140
Палеомагнитные данные 145
Данные о тепловых потоках 148
Выводы 149
Исследования дна океанов и океанической коры 149
Рельеф 150
Разрез океанической коры 151
Латеральные перемещения 154
Изучение землетрясений в океанах 157
Палеомагнитные данные 159
Тепловой поток 160
Выводы 162
Океаническая кора геологического прошлого материков 165
Глобальные геотектонические гипотезы современного этапа 172

Глава четвертая
Общие закономерности развития представлений о мобилизме и взгляд в будущее 199

Литература 212

CONTENTS

Editor's preface 3

Introduction 6

Part one
Preliminary stages of the evolution mobilistic ideas 8
Embryonic stage (from Strabon to Lomonosov) 8
Morphographic stage (from Lomonosov to E. de Beaumont) 16

Part two
Morphogenetic stage 24
Second half of the XIXth c. (from E. de Beaumont to Bukhanov) 25
Structural studies 25
Discoveries of general order 33
New hypotheses 38
First half of the XXth c. (from E.V. Bykhanov to A. Wegener and A. Du Toit) 41
Structural studies 41
Geophysical research 52
Comparison of main hypotheses at morphogenetic stage 56
Conclusions 84

Part three
Modern stage (second half of the XXth c.) 91
Structural studies on the continents 92
Recent horizontal movements and their assessment 92
The nappe-thrust structures 94
Horizontal shifts 104
The disjoining and graben-rift structures 110
Horizontal movements and structural transformations of the earth's crust 119
Other data 128
Geophysical studies of continental crust 131
Seismic studies 132
Studies of modern earthquakes 140
Paleomagnetic data 145
The heat flow data 148
Conclusions 149
The ocean floor and oceanic crust studies 149
Relief 150
Section of the oceanic crust 151
Lateral shifts 154
Studies of oceanic earthquakes 157
Paleomagnetic data 159
Heat flow 160
Conclusions 162
The continental oceanic crust of geologuc past 165
The modern global geotectonic hypotheses 172

Part four
General evolution of mobilistic ideas and prospects for the future 199

References 212

Научное издание

Суворов Анатолий Иванович

ИСТОРИЯ
МОБИЛИЗМА
В ГЕОТЕКТОНИКЕ

Труды, вып. 494

Утверждено к печати
Геологическим институтом РАН

Редактор *М.А. Яценко*
Художественный редактор *И.Ю. Нестерова*
Технический редактор *О.В. Аредова*
Корректор *А.Б. Васильев*

Набор выполнен в издательстве
на компьютерной технике

ИБ № 1354
Л.Р. № 020297 от 27.11.91

Подписано к печати 08.09.94
Формат $60\times90^1/_{16}$ Гарнитура Таймс
Печать офсетная. Усл. печ.л. 14,0
Усл. кр.-отт. 14,3. Уч.-изд.л. 15,5
Тираж 370 экз. Тип. зак. 354

Издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Санкт-Петербургская типография № 1 РАН
199034, Санкт-Петербург В-34, 9-я линия, 12