Министерство образования и науки Украины

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

К.Ф. ТЯПКИН

М.М. ДОВБНИЧ

НОВАЯ РОТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ ГЕОЛОГО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

THE NEW ROTATIONAL HYPOTHESIS OF STRUCTURE FORMATION AND ITS GEOLOGICAL AND MATHEMATICAL GROUNDS

Под общей редакцией члена-корреспондента НАН Украины
К.Ф. Тяпкина

Активно мыслящим геологам

XXI столетия посвящается

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НОУЛИДЖ»
Донецк 2009

УДК 550.3:551.24
ББК 26.2
Т99

Утверждено к печати Ученым советом
Национального горного университета (протокол № 5 от 30.06.2009 г.)

Рецензенты:

Член-корреспондент НАН Украины **В.И. Лялько**
Директор научного центра аэрокосмических исследований Земли
ИГН НАН Украины, Киев

Член-корреспондент НАН Украины **А.Е. Лукин**
Директор Черниговского отделения УкрГГРИ, Чернигов

Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М.
Новая ротационная гипотеза структурообразования и ее геолого-математическое обоснование: монография. – Донецк: «Ноулидж», 2009. – 342 с.

ISBN 978-966-1517-31-9

На основе анализа современных представлений о *саморазвитии* Земли под действием эндогенных сил, обусловленных внутриземными спонтанно протекающими процессами, авторы пришли к выводу о необходимости их замены представлениями о тектоническом развитии нашей планеты под влиянием сил взаимодействия ее с космическими полями, которые могут позволить в конечном итоге перейти от констатации имеющей место *многоактной и многофазной* тектоники к выяснению ее природы и основных законов формирования тектонических структур.

В монографии изложены: сущность Новой ротационной гипотезы, ее геолого-математическое обоснование и роль в совершенствовании наук о Земле. Показано и количественно обосновано, что источником сил и энергии, необходимых для образования таких явлений, как тектонические активизации Земли, мировые трансгрессии и регрессии и даже генерация земного магнитного поля является вращение Земли, точнее, вариации ее ротационного режима, возникающие в результате взаимодействия нашей планеты с окружающими ее космическими полями.

Предназначена для специалистов наук о Земле и может быть использована в качестве учебного руководства студентами и аспирантами университетов по дисциплинам *Геотектоника и Геология месторождений полезных ископаемых*.

На основі аналізу сучасних уявлень про саморозвиток Землі під дією ендогенних сил, зумовлених внутрішніми земними спонтанними процесами, автори зробили висновок про необхідність їх заміни уявленнями про тектонічний розвиток нашої планети під впливом сил взаємодії з її космічними полями, які можуть дозволити зрештою перейти від констатації існуючої багатоактної та багатофазної тектоніки до з’ясування її природи та головних законів формування тектонічних структур.

У монографії викладено: сутність Нової ротаційної гіпотези, її геолого-математичне обґрунтування та її роль у вдосконаленні наук про Землю. Показано та кількісно обґрунтовано, що джерелом сил та енергії, необхідної для утворення таких явищ, як тектонічні активізації Землі, світові трансгресії та регресії та навіть генерація магнітного поля є обертання Землі, а саме – варіації її ротаційного режиму, які є результатом взаємодії нашої планети з оточуючими її космічними полями.

Призначається для спеціалістів наук про Землю та може бути використана як навчальний посібник студентами та аспірантами університетів з дисциплін *Геотектоніка* та *Геологія родовищ корисних копалин*.

УДК 550.3:551.24
ББК 26.2

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА

Надо полагать, что причина формирования лика Земли интересовала человечество с незапамятных времен. Проблема источников сил, под действием которых происходят любые преобразования на Земле, особенно активно обсуждалась исследователями в прошлом веке. В это время стало достаточно ясно, что все экзогенные процессы на Земле направлены на пенепленизацию ее поверхности. Но вместо пенеплена наблюдаются довольно контрастные формы ее поверхности, характеризующиеся разностью отметок, достигающих значений порядка ± 10 км. Следовательно, должны существовать какие то силы, время от времени нарушающие ход плавного выравнивания земной поверхности и образующие в верхней оболочке Земли, наблюдаемые ныне структурные формы. Такие явления принято называть *тектоническими активизациями Земли*.

Несмотря на длительное и во многом успешное изучение геологических процессов в верхних оболочках Земли, природа сил, приводящих к тектоническим активизациям Земли, *до сих пор остается гипотетической*. Исследователи пытались найти источник такого рода сил внутри Земли, последовательно привлекая для этих целей спонтанно протекающие в ее недрах физико-геологические и геохимические процессы типа: плотностной дифференциации вещества; его тепловой или химической конвекции; явления уплотнения или разуплотнения вещества, обусловленные фазовыми или электронными переходами из одного состояния в другое; радиоактивный распад и некоторые другие. *Но, оказывается, что спонтанно протекающие в Земле физико-геологические и геохимические процессы неспособны создавать в тектоносфере, наблюдающиеся латеральные неоднородности. Более того, сами эти процессы могут возникать только как реакции на внешнее воздействие, т.е. силы внеземного происхождения*.

В 1974 году была опубликована Новая ротационная гипотеза структурообразования[1], отличающаяся от классической ротационной тем, что в ней главным фактором деформации Земли принята не вариация угловой скорости ее вращения, а перемещение оси вращения относительно геоида. В названной работе изложена сущность гипотезы, приведена качественная картина деформации верхних оболочек Земли и схема распределения возникающих в них напряжений. Эффективность гипотезы проиллюстрирована на примере формирования структур типа геосинклиналей. К сожалению, публикация этой гипотезы прошла практически малозамеченной специалистами наук о Земле. Она лишь

---

[1] *Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза формирования структур в земной коре // Геол. журн. 1974. №4. С.3-16.*

пополнила коллекцию геотектонических гипотез. Надо полагать, в настоящее время ситуация должна кардинально измениться. Дело в том, что моему соавтору М.М. Довбничу в 2002 и последующие годы удалось решить ряд задач теоретической механики о деформациях вращающейся Земли. В итоге этих решений получены поля напряжений в тектоносфере Земли, обусловленные изменением ротационного режима Земли[2], а также – поле напряжений, обусловленных лунно-солнечными приливами[3] для разных моделей Земли. Насколько нам известно, такие решения получены впервые в мировой практике. Важность их трудно переоценить!

Практическое значение, полученных М.М. Довбничем решений задач, заключается в том, что сформулированная ранее на основе качественных представлений Новая ротационная гипотеза структурообразования получила количественное обоснование. Следовательно, ее вполне можно использовать в качестве научной основы для объяснения вновь получаемых фактических геологических данных, а так же – «испытывать на прочность» уже сложившиеся, традиционные или вновь возникающие представления о формировании тектонических структур путем проведения количественных расчетов.

Научное их значение сводится к следующему.

1. Найден главный недостающий элемент ранее используемых геотектонических гипотез – реальный источник сил, под действием которого происходят тектонические активизации Земли, определяющие законы ее развития. Таким источником оказалось вращение Земли, точнее, вариации ее ротационного режима, определяющие механизмы образования глобальных тектонических структур и сопутствующих им явлений.

2. В результате анализа полей ротационных напряжений в тектоносфере, разрядка которых приводит к тектоническим активизациям Земли, развеян миф «о чрезмерной малости этих напряжений, не способных оказывать существенного влияния на тектонические процессы», многие десятилетия тормозивший развитие геотектоники.

3. Открывается возможность использования фундаментальных законов динамики для ограничения фантазии исследователей при объяснении геотектонических явлений.

В процессе изучения тектоники Украинского щита геолого-геофизическими методами всего фундамента выявлено шесть систем

---

[2] *Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруго-вязкой Земли // Геофиз. журн. 2002. №2. С.52-59*

[3] *Довбнич М.М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженное состояние тектоносферы // Доповіді НАН України. 2007. №11. С.105-112*

разломов, характеризующихся следующими парами азимутов простираний: 0 и 270º, 17 и 287º, 35 и 305º, 45 и 315º, 62 и 332º, 77 и 347º. Каждая система разломов соответствует определенной тектонической активизации Земли. На Всесоюзной конференции *Геофизические методы изучения систем разломов и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений*, состоявшейся в 1988 г. в Днепропетровском горном институте[4], было установлено, что аналогичные закономерности проявляются на всей территории СССР: в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ, на Урале и Кавказе имеют место 6±2 систем разломов фундамента с азимутами простирания, совпадающими (в пределах точности их определения) с названными выше.

В результате изучения складчатости в областях метаморфических образований коллектив ленинградских исследователей констатирует следующее[5]: *многочисленными исследованиями последнего десятилетия в самых разных участках земного шара для самых различных комплексов установлено, что наблюдаемое тектоническое строение от масштабов одного шлифа до масштаба целой складчатой зоны возникло не в результате одноактной, однофазной деформации складчатых пород, а является сводным результатом нескольких таких фаз*.

Из приведенных выше данных об эмпирически наблюдающейся многоактности формирования разломных и складчатых структур может быть только один вывод: настало время не только констатировать имеющее место многоактность тектонических явлений на Земле, а и выяснять генетическую природу этой многоактности и основные закономерности ее образования.

Накопившиеся в геотектонике противоречия, побудили авторов к составлению настоящей монографии, главной целью которой является обоснование предложения геологическому сообществу: *сменить традиционные представления о «саморазвитии» Земли под действием эндогенных сил, обусловленных спонтанно протекающими в ней физико-химическими процессами, на новые, согласно которым решающая роль в тектоническом развитии Земли отводится ротационным силам, обусловленным взаимодействием нашей планеты с окружающими ее космическими полями*. Необходимость и возможность реализации этого предложения сомнений не вызывают. Авторы надеются на благожелательное отношение к ним специалистов в области наук о Земле.

---

[4] *Тяпкин К.Ф., Кучма В.Г. Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений // Геофиз. журн. 1999. №6. С. 91-93.*

[5] *Геологическая съемка в областях метаморфических образований / Колл. авт. под ред. К.О. Кратца и М.А. Черноморского. Л.: Недра. 1972. вып.4. 376 с.*

Часть I. НОВАЯ РОТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ НАУК О ЗЕМЛЕ

Part I. THE NEW ROTATIONAL HYPOTHESIS OF STRUCTURE FORMATION AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF GEOSCIENCES

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Форма и размеры Земли; ее оболочечное строение

Форма и размеры Земли. Реальная форма Земли очень сложна. В первом приближении ее можно считать *шаром* радиуса R=6,371023·10^3 км. Более точной характеристикой ее формы может служить *эллипсоид вращения* (рис. 1.1.). Экваториальный радиус земного эллипсоида α_1=6,378160·10^3 км, а полярный – α_3=6,356778·10^3 км. Сжатие земного эллипсоида $\varepsilon = (a_1 - a_3)/a_1 = 0{,}00335292$ или $(298{,}245)^{-1}$.

Уравнение главного сечения земного эллипсоида в полярных координатах с началом в геометрическом центре Земли можно записать в виде

$$r = a_1\left(1 - \varepsilon \sin^2 \varphi\right) \tag{1.1}$$

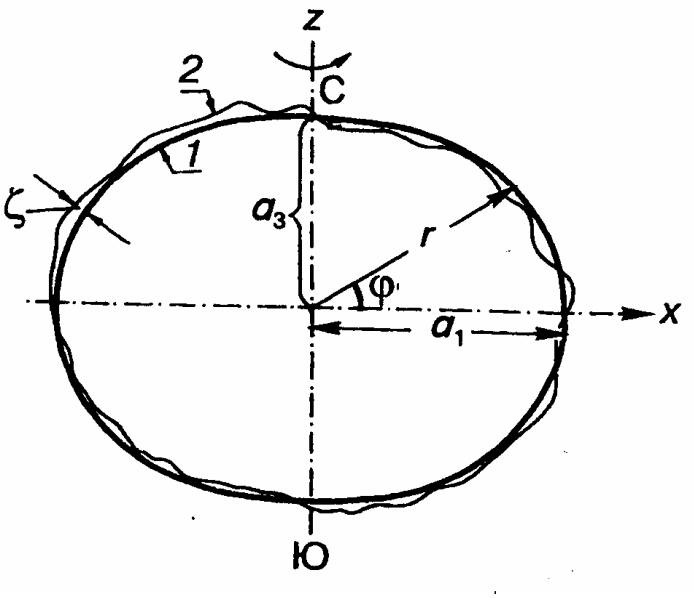


Рис. 1.1. К определению формы земли:
1 – земной эллипсоид; 2 – геоид; ζ – отклонение геоида от эллипсоида.

В качестве следующего приближения к реальной форме Земли принимают *геоид*. Геоид представляет собой одну из уровенных поверхностей гравитационного потенциала Земли, совпадающую с невозмущенной поверхностью морей и океанов, продолженную под континенты. Эта поверхность наиболее близко совпадает с земным эллипсоидом, отклоняясь от него не более чем на 120 м. В геодезической практике геоид используется для восстановления истинной поверхности Земли.

Геоид обычно характеризуется отклонениями от земного эллипсоида (референц-эллипсоида). Их можно определить несколькими способами: 1) вычислить по распределению аномалий гравитационного поля на поверхности Земли по известной формуле Стокса [18]; 2) путем изучения особенностей траекторий движения искусственных спутников Земли; 3) на морях и океанах путем прямого измерения расстояний с помощью лазерного альтиметра, установленного на искусственном спутнике Земли,

орбита которого известна. На рис. 1.2 приведена схема одной из карт высот геоида, полученная вторым способом.

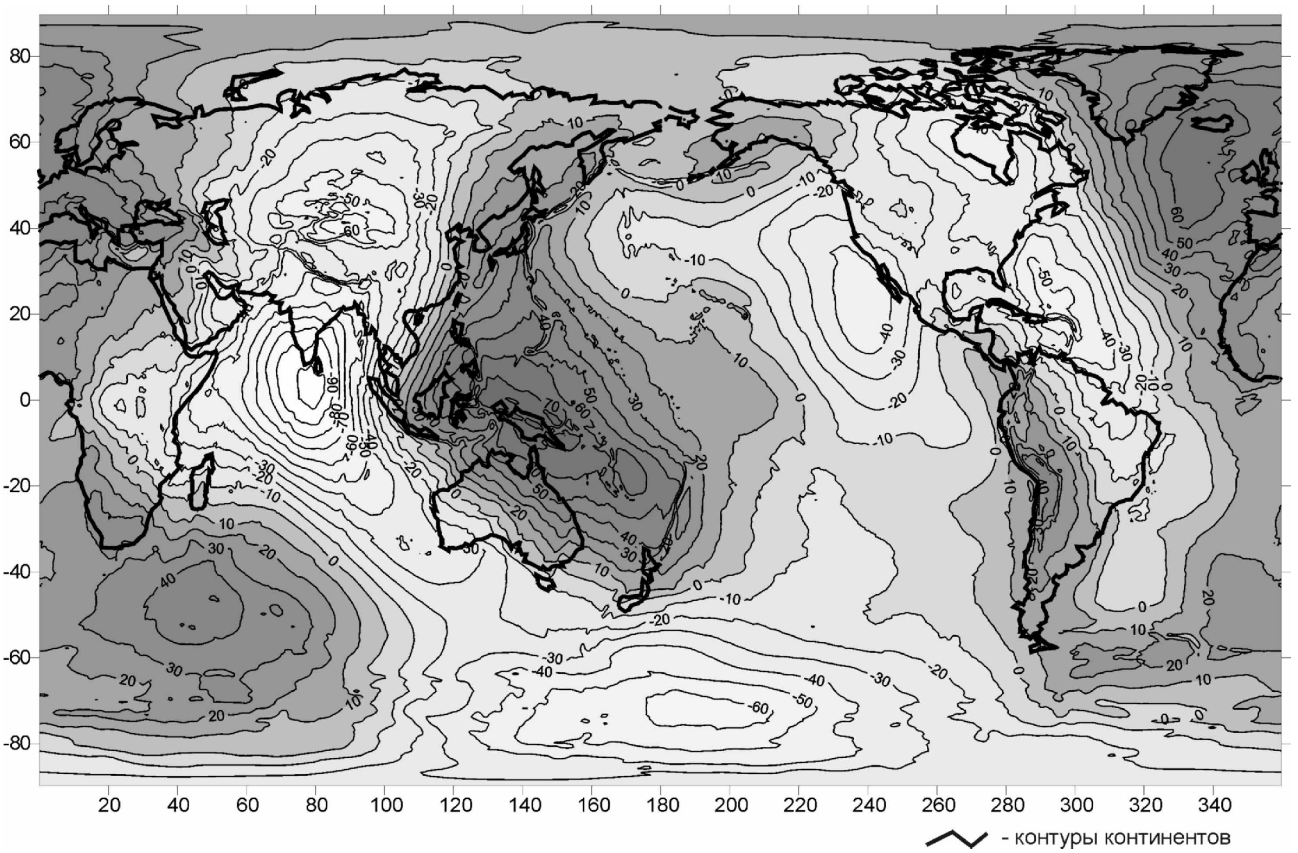


Рис. 1.2. Схема аномалий геоида (по материалам проекта GRACE): оцифровка изолиний высот геоида в метрах.

Оболочечное строение Земли. В общих чертах Землю представляют состоящей из следующих концентрических слоев: 1) тонкой *коры*, структура которой переменна и относительно сложна; 2) менее неоднородной твердой *мантии*, простирающейся от коры до глубины порядка 2900 км; 3) жидкого *внешнего ядра*, толщиной порядка 2200 км; 4) вероятно твердого *внутреннего ядра*, радиусом порядка 1200 км. Такие представления основаны на результатах изучения закономерностей распространения в Земле упругих волн, вызванных землетрясениями. На рис. 1.3,*а* приведены графики изменения скоростей продольных (*Vp*) и поперечных (*Vs*) упругих волн от поверхности Земли до ее центра, полученные Г. Джеффрисом (1939), Б. Гуттенбергом и К. Рихтером (1939). Обращает на себя внимание достаточно хорошее совпадение кривых по разным авторам, что свидетельствует об их достоверности.

Рядом исследователей предложены модели строения Земли, в основе которых лежат приведенные выше графики распространения упругих волн. Они отличаются только деталями. Поэтому ограничимся приведением только одной из них (тип А), составленной К.Е. Булленом [12].

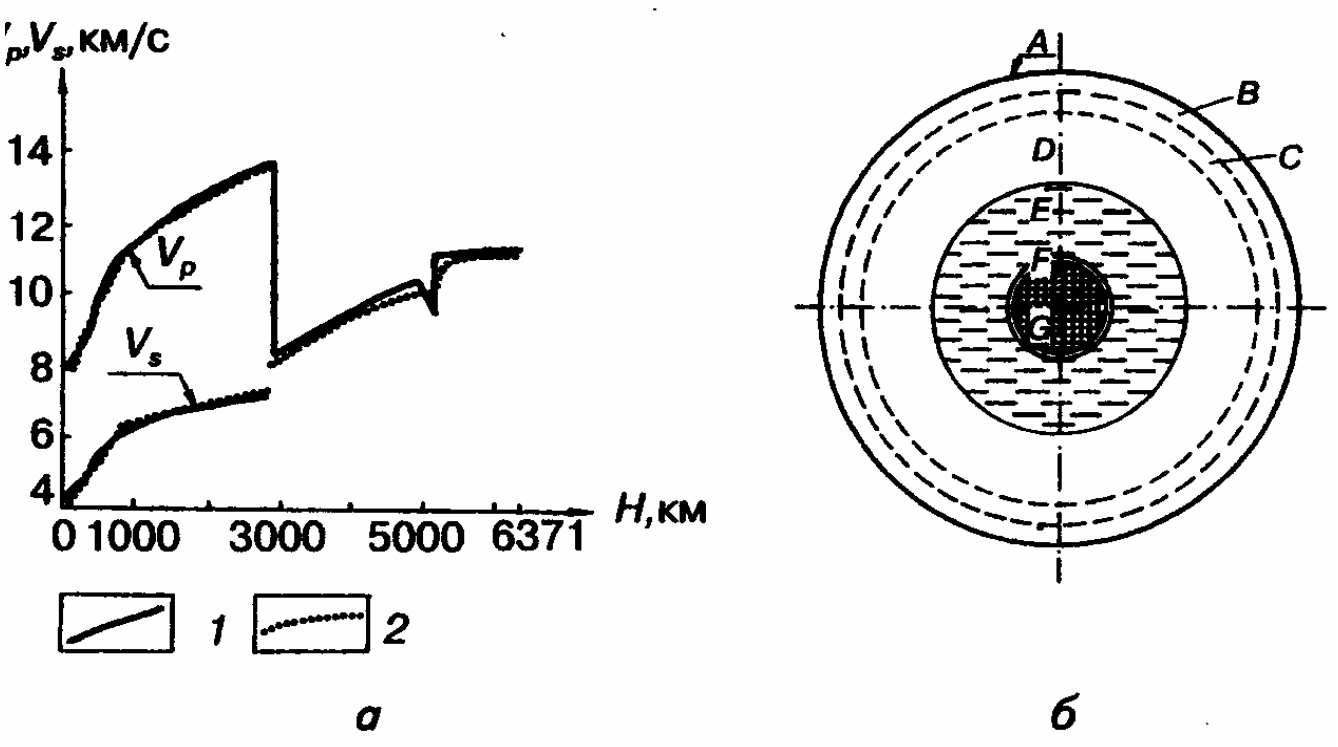


Рис. 1.3. Графики и распределения скоростей продольных Vp и поперечных Vs упругих волн в Земле (а) и соответствующие им концентрические оболочки (зоны) Земли (б): 1 – скорость по Г. Джеффрису; 2 – скорость по Б. Гуттенбергу и К. Рихтеру; Н – глубина от поверхности Земли.

В этой модели Земля разделена на семь концентрических оболочек (зон), которым присвоены буквенные обозначения: *A, B, C, D, E, F, G*. На рис. 1.3,б показана схема расположения названных выше оболочек Земли (с сохранением относительного масштаба), а в таблице 1.1 приведены физические параметры этих оболочек. Параметры упругих свойств вещества получены, в основном, по данным сейсмологии. При определении плотности использовалось соотношение между скоростью распространения упругих волн в веществе и его плотностью с тем условием, чтобы удовлетворялись известные значения средней плотности Земли и ее момента инерции.

Зона A представляет собой *земную кору*. В качестве подошвы земной коры условились принимать сейсмическую границу Мохоровичича, в окрестности которой происходит изменение скорости продольных волн от 7 до 8 км/с. Это наименее однородная зона. Детальнее она будет рассмотрена ниже.

Зоны B, C и D соответствуют *мантии* Земли. Резкой разницы между ними нет, за исключением того, что в интервале зоны *C* наблюдается повышение значений градиентов нарастания скоростей *Vp* и *Vs* с глубиной. Границы между этими зонами соответствуют скачкам этих значений.

Таблица 1.1. Параметры модели строения Земли (тип А)

Зона		Интервал глубин, км	Интервал плотности, г/см^3	Модуль Юнга $E \cdot 10^{11}$,Н/м^2	Коэффициент Пуассона	Давление $P \cdot 10^{11}$,Н/м^2
Кора *(A)**		0–33	(2,84)	(0,91)	(0,267)	0–0,009
Мантия	*B*	33–413	3,32–3,64	1,60–2,29	0,270–0,280	0,009–0,141
	C	413–984	3,64–4,55	2,29-4,68	0,280–0,276	0,141–0,379
	D	984–2900	4,55–5,11	4,68–6,33	0,276–0,293	0,379–0,87
Ядро	*E*	2900–4000	9,98–11,42	0	0,5	1,36–2,47
		4000–4980	11,42–12,17	0	0,5	2,47–3,20
	F	4980–5120	12,17–12,25	–	–	3,20–3,28
	G	5120–6371	12,25–12,51	–	–	3,28–3,61

C зоной *B* исследователи часто связывают наличие слоя (слоев) “пониженной скорости“ и соответствующего ему слоя “инверсии плотности“. Эти слои обычно отождествляют с *астеносферой*, играющей существенную роль в геотектонических построениях. Вопрос о существовании гипотетической астеносферы рассмотрен ниже. К.Е. Буллен [12], исходя из современных данных, пришел к выводу о том, что *существование слоев пониженной плотности следует считать вполне возможным, но вовсе не доказанным.* Совокупность зон *B* и *C* обычно называют *верхней мантией*, зону *D – нижней мантией.*

Зоны E, F и G – соответствуют *ядру* Земли. Зону *E* называют внешним ядром. В связи с тем, что сквозь эту зону не проходят поперечные волны, сделан вывод, что вещество в ней находится в жидком состоянии. Большую часть зоны *E* рассматривают как достаточно однородную. Согласно гипотезе динамомагнитного поля Земли, зона *E* – сосредоточение конвективных потоков, которые создают главную часть магнитного поля. Зону *G* – *внутреннее ядро* – считают твердым, сложенным достаточно однородным веществом. Зона *F* – переходной слой между внешним и внутренним ядром – характеризуется наличием резкого скачка в скорости распространения продольных упругих волн.

Исходя из представлений Г. Барта [69] о взаимосвязи геомагнитного диполя с внутренним ядром, есть основание считать, что *внутреннее ядро (G) находится* не в *геометрическом центре, а дрейфует в жидком ядре (E).* По результатам исследований И.М. Пудовкина и Г.Е. Валуевой [42,43]

на эпоху 1955г., внутреннее ядро смещено относительно геометрического центра Земли на 436км в направлении точки земной поверхности с координатами 15,6°с.ш. и 150,9°в.д. Представляется, что эффект эксцентрического положения внутреннего ядра имеет существенное значение в теоретической геотектонике [59].

Касаясь характеристики состава пород, слагающих описанные выше оболочки, отметим следующее. Это одна из самых сложных проблем, поскольку прямых данных о породах в подкоровом пространстве нет. Исследователи вынуждены ограничиваться гипотезами, основанными на косвенных данных. В частности, полезной является аналогия с составом метеоритов. Известны два класса метеоритов: “железные”, состоящие преимущественно из железо-никелевого сплава, и “каменные”, состоящие, главным образом, из силикатов. Каменные разделяют на две группы: хондриты (90%) и ахондриты (10%). Состав хондритов удивительно однообразен и подобен составу ультраосновных пород на Земле; состав ахондритов – ближе к базальтам. В первом приближении принимается, что состав ядра подобен составу железных метеоритов, а состав мантии – каменных (хондритов). Дальнейшее уточнение состава обычно осуществляется на основании экспериментальных данных о свойствах, соответствующих горных пород при высоких давлениях (P) и температурах (t^o). Проблема осложняется тем, что до сих пор окончательно не решен вопрос о “горячем” или “холодном” происхождении Земли, хотя большинство исследователей склоняются к представлению о “холодном” ее происхождении. В этом случае в качестве механизма образования внутренних оболочек Земли можно принять гипотезу зоной плавки, предложенную А.П. Виноградовым [14]. Отличительной особенностью гипотезы *зонной плавки* от аналогичной гипотезы гравитационной дифференциации является то, что в процессе зонной плавки вверх поднимаются не более легкие, а более легкоплавкие компоненты.

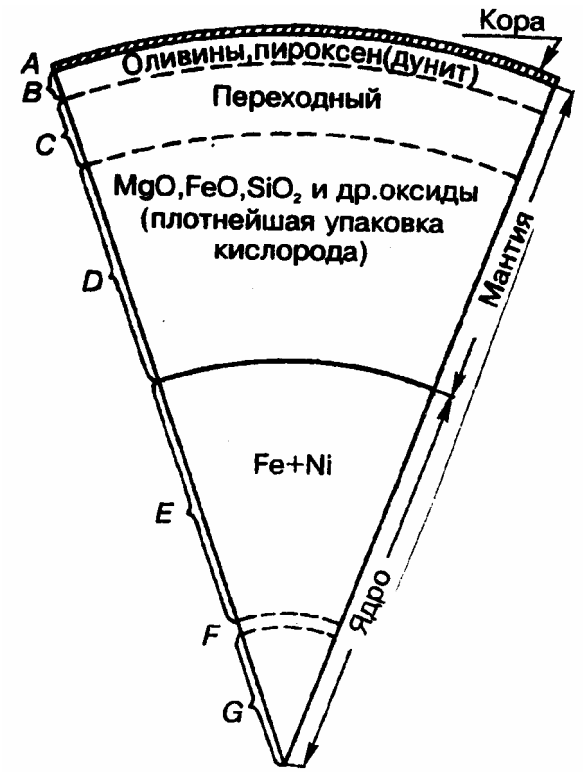


Рис.1.4. Разрез Земли по А.П.Виноградову

На рис.1.4 показан состав

отдельных зон Земли в соответствии с гипотезой зонной плавки. Обсуждая этот вопрос, К.Е. Буллен считает, что зоны *B* и *D* можно принять однородными по химическому и фазовому составам. Некоторое отличие зоны *C* он связывает с фазовыми переходами, а изменение состава считает не значительным. Химический и фазовый составы в зонах *E* и *G* он также считает одинаковым, но не чисто Fe – Ni. Различные исследователи на ряду с Fe и Ni включают Si, Mg, O, S. Е.К. Буллен вслед за О. Сорохтиным, отдает предпочтение представлениям, согласно которым ядро (во всяком случае внешнее) состоит из $Fe_2O \leftrightarrow FeO + Fe$.

1.2 Земная кора и верхняя мантия

Общие сведения. Первоначально, до разработки и использования геофизических методов, исходя из представлений о “горячем” происхождении Земли, под термином *земная кора* понимали внешнюю твердую (каменную) оболочку Земли толщиной в несколько десятков километров, ниже которой располагается силикатный расплав (магма). Из данных сейсмологии стало ясно, что верхняя оболочка Земли до глубины порядка 2900 км является твердой. В этой ситуации возник вопрос о механизме достижения отдельными блоками верхних оболочек Земли равновесного состояния (изостазии). Была выдвинута гипотеза о существовании в верхней мантии слоя пониженной вязкости способного к перетеканию и получившего наименование *астеносфера* (Г.Б. Баррел, 1914г.). При этом верхняя граница астеносферного слоя принималась в качестве поверхности изостатической компенсации. Верхняя оболочка Земли выше астеносферного слоя считается твердой и получила название *литосфера*. В определенном смысле литосфера оказалась аналогом земной коры.

Открытие сейсмологами в верхней мантии на глубинах от 50-60 до 200-250 км слоя пониженной скорости распространения упругих волн (сейсмического волновода) в значительной мере укрепило гипотезу о существовании астеносферного слоя. Понижение скоростей обычно объясняют особыми термодинамическими условиями, приводящими к частичному плавлению или аморфизации вещества и уменьшению вязкости астеносферы по сравнению с литосферой примерно на три порядка (до 10^{19} Па·с). Представления о непрерывном распространении астеносферы в планетарном масштабе получили широкое развитие в геологии и лежат в основе многих гипотез, разрабатываемых как сторонниками новой глобальной тектоники, так и их оппонентами. Первые не могут обойтись без астеносферы как слоя, по которому происходят перемещения плит, а вторые рассматривают астеносферу в

качестве слоя, в котором останавливается и преобразуется вещество, поднимающееся из верхней мантии.

Поскольку реальность существования астеносферы базируется, в основном, на наличии слоя пониженной скорости распространения упругих волн в верхней мантии, отметим ряд его особенностей.

1. В настоящее время считается общепринятым [11 и др.], что слой пониженной скорости распространения упругих волн в верхней мантии и астеносферу нельзя идентифицировать, поскольку они имеют разную природу. Тем не менее, высказывается предположение о возможной их пространственной близости.

2. В.З. Рябой [47], детально занимавшийся этой проблемой, на основании анализа мировых данных пришел к выводу, что астеносферный слой (слой пониженной скорости) не является глобальным образованием, а имеет прерывистый характер. В частности, в континентальных областях этот слой слабо выражен, а в пределах древних щитов или докембрийских платформ, а также в пределах некоторых океанических плит, практически не проявляется. Приведенное выше заключение о прерывистом характере распространения слоя пониженной скорости распространения упругих волн, даже если его можно отождествлять с астеносферой, ставит под сомнение возможность использования этого слоя для объяснения перемещения по нему литосферных плит.

3. Сейсмические волноводы, отождествляемые с астеносферой, достаточно четко фиксируются только в тектонических активных районах, таких как горно-складчатые сооружения, рифтовые зоны и области перехода от континента к океану, т.е. в районах наиболее активного проявления разломных структур. В этих районах на графиках кажущего удельного электрического сопротивления ρ_T, полученных методами МТЗ-МВЗ, фиксируются минимумы, которые в рамках горизонтально-слоистых моделей интерпретируются как результат влияния высокопроводящего слоя, отождествляемого с астеносферой. Совпадение районов распространения сейсмических волноводов и высокопроводящих слоев в верхней мантии используется исследователями для доказательства справедливости приведенного выше вывода об отсутствии в верхней мантии непрерывного в планетарном масштабе слоя частично расплавленных пород (астеносферы) и приуроченности последнего к тектонически активным регионам.

Возможно и другое объяснение этому совпадению, суть которого сводится к следующему [59]. Причина появления соответствующего минимума на кривой ρ_T связана не с астеносферой, а с влиянием сети разломов, которыми тектонически активные районы, нарушены в бóльшей мере. Следовательно, роль вертикальных границ раздела в формировании электрического разреза в значительной мере возрастает. При этом

отделить влияние глубинной высокопроводящей зоны от влияния разломно-блоковых структур на форму и уровень значений графиков ρ_T в геосинклинальных областях пока не представляется возможным. Поэтому, проблему существования “электрической” *астеносферы* следует считать открытой. Однако, если электрическая астеносфера отсутствует и ее проявление на кривых ρ_T вызвано влиянием разломно-блоковой тектоники, то объяснение совпадения такого рода районов с районами распространения волноводов надо искать также во влиянии на результаты сейсмических наблюдений субвертикальных границ, которые в настоящее время практически не учитываются. Приведенные выше данные, в случае их справедливости, сводят к минимуму *реальность существования гипотетической астеносферы.*

В 1909 г. югославским геофизиком А. Мохоровичичем на глубине 50 км установлена четкая сейсмическая граница со скоростью распространения упругих волн 7,7 км/с. Последующие подтверждения наличия такой границы со скоростью (8,0 ±0,2) км/с в различных геологических регионах послужили основой для нового определения земной коры, которые сохраняются до сих пор. *Под земной корой понимают низкоскоростной слой, перекрывающий мантию. За основание земной коры принимается верхняя сейсмическая граница, характеризующаяся скоростью распространения упругих волн (8,0±0,2) км/с и носящая имя ее первооткрывателя.*

Выделение В. Конрадом (1923 г.) сейсмической границы внутри земной коры послужило основанием для представления последней, состоящей из двух слоев: верхнего – со средней скоростью распределения упругих волн порядка 6,0 км/с и нижнего – со средней скоростью порядка 7,0 км/с. Поскольку такие величины скоростей распространения упругих волн свойственны соответственно гранитам и базальтам, то и выделенные слои условно назвали *гранитным и базальтовым.* Так возникла двухслойная модель земной коры.

Успехи, достигнутые в процессе использования метода глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ), привели к уточнению описанной выше модели. В частности, установлено, что в земной коре фиксируется не одна, а несколько сейсмических границ, располагающихся как выше так и ниже границы Конрада. При этом, собственно, граница Конрада выделяется не везде. Консолидированная земная кора континентального типа имеет сложное слоисто–блоковое строение. По современным представлениям [22] ее целесообразнее характеризовать не двухслойной, а трехслойной моделью.

Представляется уместным отметить, что еще в 1968 г. один из ведущих специалистов в использовании метода ГСЗ И.П. Косминская [21] указывала на несоответствие понятия “о гранито-базальтовой“ коре новым

данным. Она специально *подчеркивала, что сохранение этих отживших представлений сковывает мысли исследователей, которые пытаются уложить сложные процессы формирования многослойной среды в узкие рамки двух слоев.* Несмотря на это, двухслойной моделью земной коры некоторые исследователи пользуются до сих пор [17 и др.]

Наряду с рассмотренными выше структурными элементами верхней части Земли в современной литературе используется термин *тектоносфера.* Под тектоносферой обычно понимают верхнюю часть Земли, в пределах которой совершаются все активные тектонические процессы. Считают, что нижней границей тектоносферы является область расположения очагов самых глубоких землетрясений. Она располагается на глубинах порядка 700-900 км от поверхности Земли.

Поверхностные структуры земной коры. Все поверхностные структуры можно разделить на два класса: *континенты и океаны* (рис. 1.5.). Океаны покрывают примерно 70% площади поверхности Земли, остальное приходится на континенты. Высотные отметки важнейших элементов рельефа изменяются от уровня вершин самых высоких гор (Эверест +8848 м.) до уровня самых глубоких океанических желобов (Марианский желоб -10912 м.). Средняя высота континентов равна 870 м, а средняя глубина океанических впадин – 3700 м. Зоны перехода от океанов к материкам представляют собой шельфы – мелководные моря глубиной порядка 100-200 м и шириной до 200 км, либо глубоководные желобы с сопутствующими им островными дугами, как правило, ограничивающие окраинные моря. Континенты сложены породами, образовавшимися на протяжении времени, охватывающего большую часть истории Земли, насчитывающей около 4,6 млрд. лет. Возраст океанов считается более молодым, не превышающим 200 млн. лет.

Основными структурными образованиями материков являются *платформы и молодые горно-складчатые сооружения.* Платформы представляют собой преимущественно равнинные образования, состоящие из фундамента, сложенного ультраметаморфическими и магматическими породами и чехла, средней мощностью 3-4 км, сложенного слабометаморфизоваными осадочными и осадочно-вулканогенными породами. В пределах платформ выделяются глубокие впадины, авлакогены и рифты, мощность осадочных образований в которых достигает 20 км, а также – щиты. Последние представляют собой области, фундамент платформ в которых практически выходит на поверхность (мощность осадочного чехла 0-100 м.). В настоящее время установлено, что *состав фундамента в пределах щитов и других частей платформ практически одинаков*.

На рис.1.5. показаны горно-складчатые сооружения третичного, мезозойского и палеозойского возрастов. Они представляют собой

претерпевшие инверсию бывшие геосинклинальные области соответствующего возраста. Обращает на себя несколько их особенностей:

1. В разрезе складчатых сооружений определенного возраста имеются более древние метаосадочные породы и почти всегда присутствуют молодые изверженные породы.

2. Горно-складчатым сооружениям со стороны платформы обычно сопутствуют “предгорные прогибы”. Последние, как правило, отделены от горно-складчатых сооружений крупными разломами.

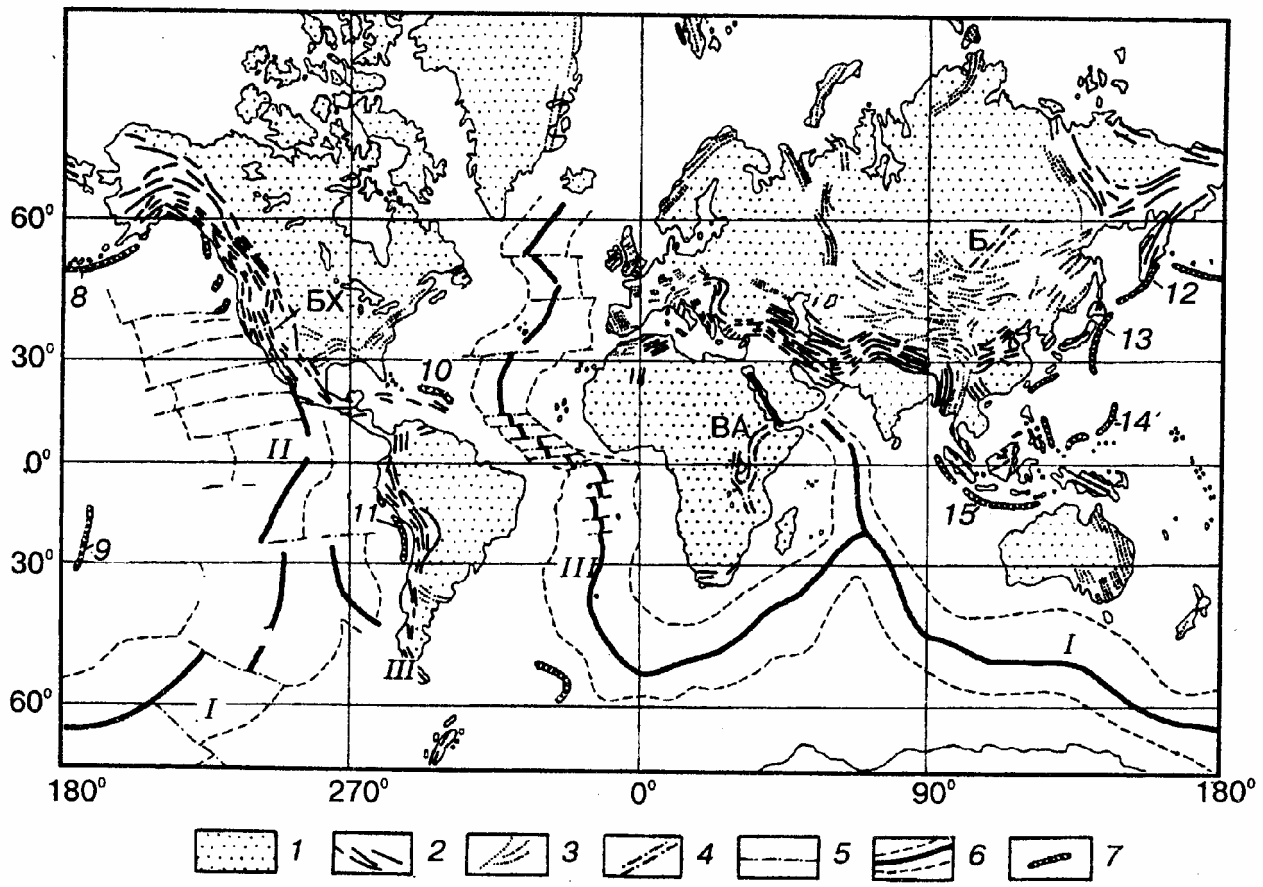


Рис. 1.5. Схема расположения основных поверхностных структур земной коры: 1 – докембрийские платформы; 2 – горно-складчатые сооружения третичного и мезозойского возраста; 3 – горно-складчатые сооружения палеозойского возраста; 4 – континентальные рифтовые структуры (БХ-Бассейнов и Хребтов, ВА – Восточно-Африканская, Б – Байкальская); 5 – разломы в океане; 6 – срединно-океанические хребты (I - Тихоокеанско-Антарктический, II – Восточно-Тихоокеанский); 7 – глубоководные желоба (8 – Алеутский, 9 – Тонга, 10 – Пуэрто-Рико, 11 – Перуанско-Чилийский, 12 – Камчатский, 13 – Японский, 14 – Марианский).

Дно океанов изучено, естественно, слабее, чем материки. Основными структурами океанического дна являются *океанические платформы* (талассократоны), *океанические хребты, рифты и глубоководные желобы*

с сопутствующим*и островными дугами*. Основные сведения о строении океанических структур получены сейсмическими методами.

Океанические *подводные хребты* образуют величайшую систему поднятий дна океана, общая длина которых достигает 80000 км (рис.1.5), ширина хребтов 500-1000 км. Гребни хребтов возвышаются над дном моря в среднем на 2-3 км. Вдоль гребней идут отчетливые рвы, называемые *срединными рифтами*. Более четко срединные рвы выражены в Индийском и Атлантическом океанах. В ряде случаев срединные рвы смыкаются с континентальными (рис.1.5.). О составе пород, слагающих океанические хребты, можно судить по образцам, поднятым драгами. Наиболее распространенная в них порода – базальт, встречаются также габбро, серпентиниты и другие изверженные породы и их метаморфические разновидности. По представлениям авторов настоящей монографии континентальным аналогом срединных океанических хребтов может служить Уральский хребет, расположенный на границе Европы и Азии.

Наиболее интересными для теоретической геотектоники являются *глубоководные желобы*, представляющие собой крупные линейные структуры оседания океанического дна, глубина которых достигает 11 км. Они обычно располагаются в зонах перехода от континента к океану и образуют системы: горно-складчатая окраина материка – глубоководный желоб (например, Перуанско-Чилийский) или островная дуга – глубоководный желоб (например, Курило-Камчатский). Глубоководные желобы имеют асимметричную V-образную форму, с бóльшей крутизной крыльев (8-20º) со стороны суши. Нижняя часть желобов может быть заполнена осадками и тогда они приобретают плоское дно. Системы глубоководных желобов с сопутствующими им горно-складчатыми сооружениями или островными дугами характеризуются проявлениями землетрясений и вулканизма. При этом наблюдается определенная закономерность в пространственном расположении очагов землетрясений и вулканических аппаратов. Детальным изучением этих закономерностей занимался Г. Беньоф [70,71]. Результаты этих исследований позволили ему предположить наличие крупных зон разломов тектоносферы, направленных от глубоководного желоба под материк или островную дугу. По представлению Г. Беньофа эти зоны состоят из двух или трех прямолинейных фрагментов с увеличивающими углами падения от приповерхностных частей (в среднем 30º) к более глубинным (в среднем 60º). Схема одной из таких зон, пересекающих Перуанско-Чилийский желоб в интервале между 30º и 35º ю.ш. приведена на рис.1.6. При этом само происхождение глубоководных желобов связывается с зонами разломов, сформировавшихся в условиях горизонтального сжатия.

В процессе последующего изучения глубоководных желобов и сейсмофокальных зон, именуемых зонами Беньофа, исследователями получены данные и выводы, не совпадающие с описанными выше представлениями. В частности, оказалось, что образование основного профиля обусловлено относительными перемещениями блоков фундамента по субвертикальным разломам, происходящими в режиме *растяжения, а не сжатия* [72, 74]. При этом блоки фундамента имеют вид пластин размерами порядка сотен километров по простиранию и шириной не превышающей первые десятки километров. Механизм формирования асимметричного профиля желобов, а также его усложнения, возникающие при смене режима растяжения на режим сжатия рассматривался нами ранее [59].

Одним из первых, обративших внимание на несоответствие фокальных зон представлениям Г. Беньофа, был А.А. Пронин [41]. Анализируя более поздние данные о расположении очагов землетрясений на вертикальных разрезах, пересекающих глубоководные желобы, в частности, Перуанско-Чилийский (рис.1.6,*б*) в полосе, расположенной на той же широте, что и на рис.1.6,*а* он обнаружил значительное различие в расположении очагов землетрясений: хотя тенденция увеличения их глубины в направлении к материку сохраняется, но закономерность, отмеченная на рис.1.6,*а*, не наблюдается. Очаги землетрясений на рис.1.6,*б* располагаются в виде облака. А.А. Пронин подчеркивает, что *выделить на рис.1.6,б зону Беньофа, т.е. наметить ее верхнюю и нижнюю границы, как это сделал сам Г. Беньоф, можно только при очень хорошем воображении*. Аналогичные выводы он распространяет на Новогебридский и Японский желобы.

Ранее была обоснована другая, альтернативная интерпретация наблюдающейся закономерности расположения фокальных зон в районах окраин континентов или глубоководных желобов с сопутствующими им островными дугами [58, 61]. Суть ее заключается в следующем (рис.1.6,*в*): разделяемые субвертикальными разломами блоки на различной глубине имеют разную взаимосвязь: в верхней части весьма слабую, а начиная с определенной глубины – соответствующую твердому упругому телу. В этих условиях очаг землетрясения, происходящего под действием поля планетарных напряжений, представляет собой начальную область разрыва упругой взаимосвязи между блоками. Эта область расположена на границе между названными выше верхней и нижней частями разломов.

Такая интерпретация более проста и не противоречит известным фактическим данным об особенностях строения рассматриваемых районов. Она надежно подтверждается наличием достаточно уверенно устанавливаемых тектонических уступов в пределах глубоководных желобов и параллельно им располагающихся узких блоков на окраинах

материков (или островных дуг). Кстати, отсутствие какой-либо корреляции между расположением очагов землетрясений и границей Мохоровичича (рис. 1.6, *б*) можно тоже рассматривать как свидетельство в пользу альтернативной интерпретации (см. дополнительно [59]).

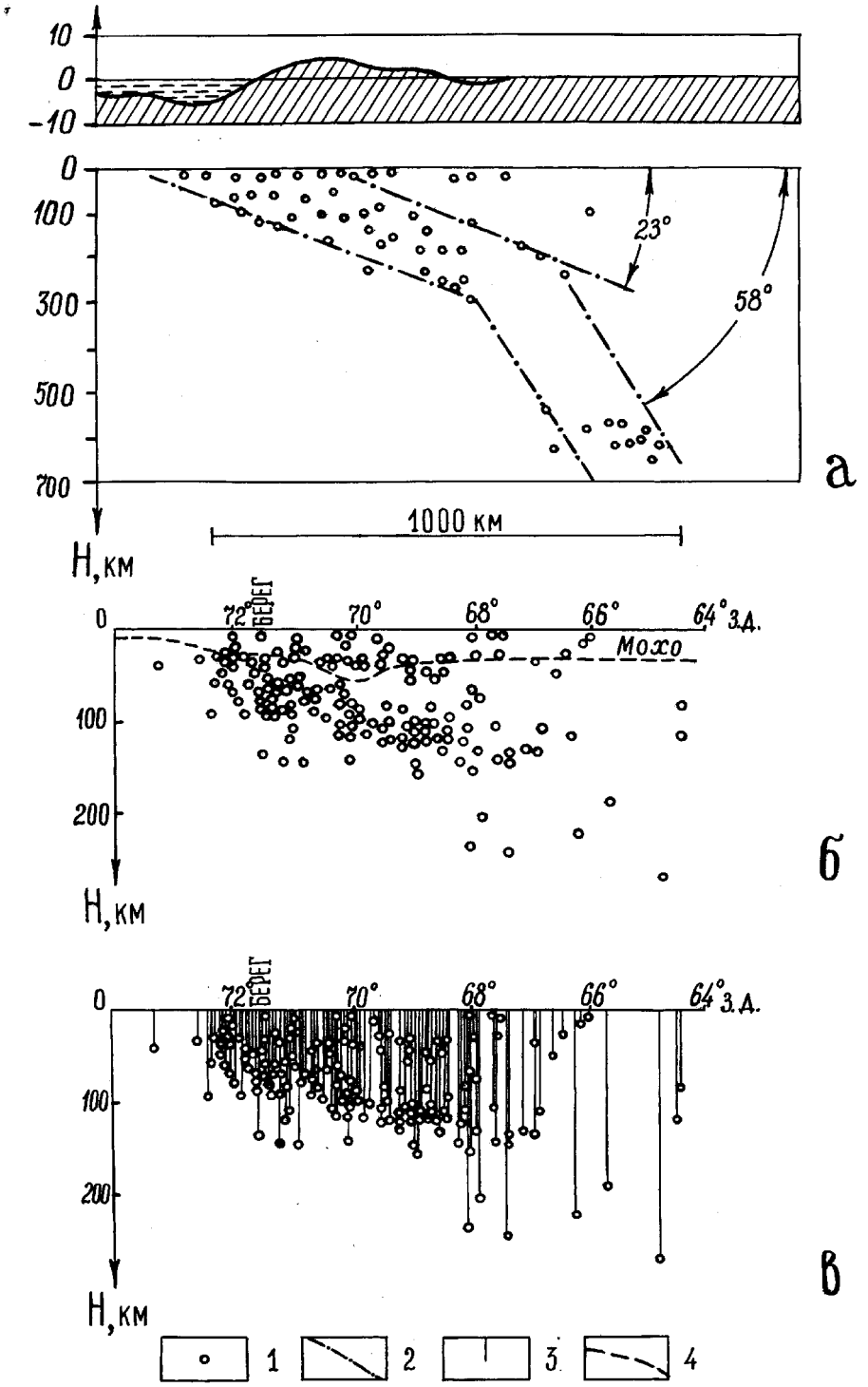


Рис.1.6. Расположение очагов землетрясений в зоне, пересекающей Перуанско-Чилийский глубоководный желоб: *а* – по данным Г. Беньофа [70,71], б – по более поздним данным [45], *в* – интерпретация автора [58, 61]: 1 – очаги землетрясений; 2 – предполагаемые границы зоны Беньофа; 3 – вертикальные разломы тектоносферы, разделяющие верхние части блоков; 4 - граница Мохоровичича.

Таким образом, можно констатировать, что *фокальные зоны, получившие наименования зон Беньофа – это виртуальные тектонические области, в пределах которых расположены очаги землетрясений, представляющие собой области нарушения упругой связи между вертикальными блоками тектоносферы, происходящими под действием поля планетарных напряжений*. Указанные зоны ни в коей мере не соответствуют первоначальной интерпретации Г. Беньофа в виде глубинных разломов, падающих под материк (островную дугу). Эта интерпретация послужила “находкой” для сторонников Новой глобальной тектоники, которые использовали фокальные зоны для объяснения явлений “субдукции” литосферных плит. Описанная выше интерпретация лишает их такой возможности.

Общность и различия земной коры на материках и океанах. По современным представлениям сейсмическая модель земной коры на материках состоит из трех этажей [22,59]. *Верхний этаж* представлен осадочными, эффузивными и интрузивными породами разного состава с преобладанием пород кислого ряда, характеризующимися скоростями распространения упругих волн от 5,5 до 6,0–6,3 км/с. Состав пород *промежуточного этажа* во многом аналогичен составу пород верхнего этажа. Они отличаются горизонтальной расслоенностью. Скорость распространения упругих волн в них 6,4–6,7 км/с. *Нижний этаж*, по-видимому, представлен породами осно́вного и ультраóсновного состава, со скоростью распространения упругих волн 6,8 – 7,7 км/с. Средняя мощность земной коры на континентах характеризуется значениями 40 ± 10 км.

Земная кора в пределах океанов по скорости распространения упругих волн делится на три слоя (начиная от морского дна) [10,59]. *Слой 1* на океанических платформах представлен глубоководными осадочными образованиями, которые в верхней части не консолидированы, а в – нижней встречаются в виде глин и сланцев относительно молодого возраста (K, J). Средняя мощность слоя 0,5–1,0 км. *Слой 2* характеризуется скоростью распространения сейсмических волн порядка 5 км/с и средней мощностью порядка 2 км. Его считают сложенным либо базальтовыми лавами, либо уплотненными осадками, либо их чередованием. В некоторых случаях этот слой представлен офиолитовыми ассоциациями в виде шаровых лав. Последние обычно секутся параллельными дайками габброидов, нижние части которых уходят в третий слой. *Слой 3* отличается достаточно выдержанной мощностью порядка 5 км и постоянством скорости распространения упругих волн в нем (6,4 – 7,0 км/с). Существует несколько разных мнений о его составе: основные изверженные породы типа габбро; частично серпентинизированные перидотиты; амфиболиты. Общая

мощность океанической земной коры в сейсмической модели оценивается величиной порядка 15 ± 5 км.

Различные мощности земной коры на материках и океанах, а так же отсутствие, т.н. “гранитного” слоя в глубоководных частях океанов и наличие вместо него океанического слоя 2, представленного преимущественно базальтовыми лавами и ряд других особенностей послужили сейсмологам основанием для разделения земной коры на два резко отличных по сейсмическим характеристикам типа – *континентальный и океанический* с выделением промежуточных подтипов. Естественным следствием такого разделения явились представления о различном происхождении земной коры на материках и океанах, которые были использованы для обоснования некоторых тектонических гипотез. В частности, в основе гипотезы тектоники плит лежат представления о новообразовании океанической земной коры в процессе “спрединга” морского дна. Сторонники концепции геосинклиналей и платформ используют океаническую кору в качестве базимента, на котором возникали геосинклинали, а т.н. офиолитовую формацию, лежащую в основании геосинклиналей, считают остатком океанического слоя 2.

В настоящее время нет сомнений в том, что океаны представляют собой опущенные блоки земной коры, заполненные водой. Прямым доказательством этого могут служить данные глубоководного бурения с корабля “Гломар Челленджер” в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах. Изучив результаты бурения, А.А. Пронин [41] установил, что во всех океанах в достаточно представительном количестве скважин встречены автохтонные угленосные формации, приуроченные к различным стратиграфическим уровням меловых и палеоген-неогеновых образований. Следовательно, участки дна современных океанов, где встречены эти формации, в недалеком прошлом были континентальной поверхностью. Приведенные выше данные позволили А.А. Пронину одному из первых высказать утверждение неправомерности выделения *океанической коры* в самостоятельный тип.

Ниже рассмотрен механизм формирования, так называемой, океанической коры из обычной континентальной в процессе образования океанических впадин [59,61]. На рис. 1.7 слева приведена схема континентальной коры, справа – результат ее преобразования в т.н. океаническую вследствие опускания правого блока на величину ΔH, заполненного сейчас водой. В рамках модели неподвижной Земли, которой пользуется большинство тектонистов, опускание правого блока выглядело бы в виде простого его перемещения относительно левого, без каких-либо изменений. В реальных условиях, т.е., в условиях вращающейся Земли, будет иметь место следующее: в результате

опускания океанического блока, происходящего, как правило, в режиме растяжения, нарушается равновесное состояние Земли (геоизостазия [55]). Это нарушение частично компенсируется водным слоем, а остальная часть – подводными магматическими излияниями, образующими второй океанический слой. Возникновение магмы обусловлено декомпрессией глубинных частей тектоносферы вследствие проникновения в них серии разломов, которые одновременно являются каналами ее транспортировки в направлении земной поверхности (рис. 1.7). Процесс регулируется законом сохранения момента количества движения в пределах секторов Земли, вырезанных одинаковыми центральными телесными углами. Более подробное его описание можно найти в учебнике [59].

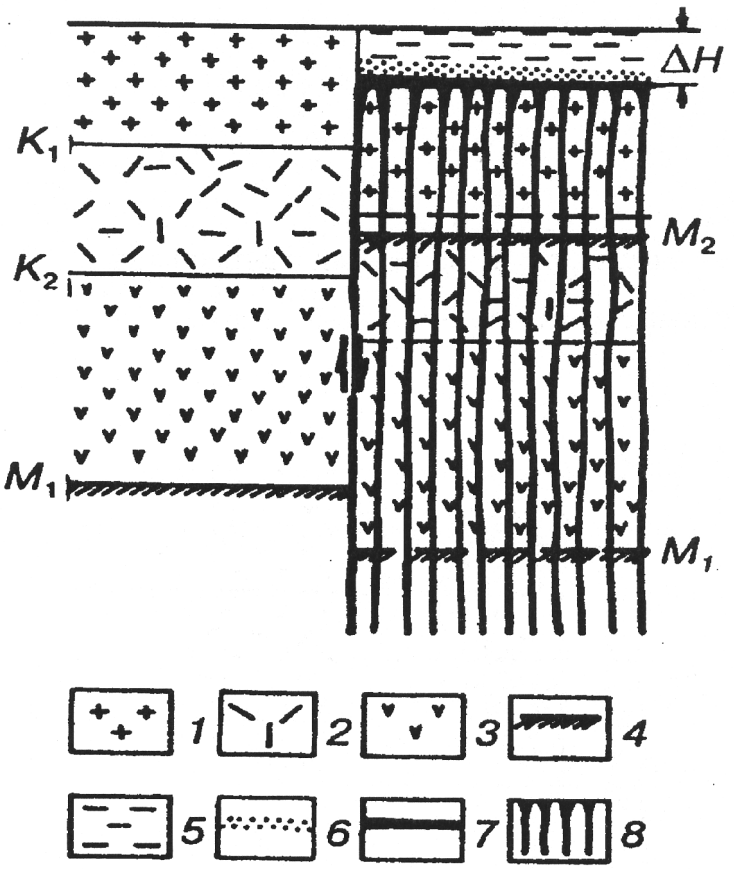


Рис. 1.7. Сейсмогеологические модели континентальной (слева) и океанической (справа) земной коры: 1-3 – соответственно верхний, промежуточный и нижний этажи континентальной коры; 4 – граница М, соответствующая подошве континентальной коры; M_2 – граница М, принимаемая за подошву океанической коры; 5-8 – слои океанической коры, включая водный; K_1 и K_2 – сейсмические границы между этажами.

Описанный выше процесс приводит к насыщению дайкоподобными образованиями основного или ультраосновного состава континентальной коры (правая часть рис. 1.7), в результате чего меняются ее физико-геологические характеристики: увеличивается скорость распространения упругих волн в верхних этажах земной коры, достигая значений в т.н.

“базальтовом” слое; возникает новая сейсмическая граница M_2 со свойствами, аналогичными свойствам границы М в континентальной коре. Последнее используется современными исследователями в качестве основания для того, чтобы верхнюю часть бывшей континентальной коры, расположенной выше границы M_2, принимать за океаническую кору. Механизм ее образования позволяет объяснить многие особенности, приписываемые океанической коре. В частности, становится ясным отсутствие т.н. “гранитного слоя” и малая мощность земной коры. Известное равенство плотности тепловых потоков на материках и океанах, установленные В. Ли и С. Уеда [73], обусловлено тем, что процесс контоминации пород бывшей континентальной коры дайкоподобными образованиями существенным образом не нарушает баланса слагающих ее пород кислого и основного состава. Другими словами, в рамках сейсмической модели все обстоит благополучно. Все основные характеристики земной коры, получаемые сейсмическими методами, сомнений не вызывают. Недоразумения начинаются при использовании современного понятия *земная кора* для решения проблем геотектоники, т.е., при переносе данного понятия из сейсмической модели в геологическую (геолого-петрологическую). Например, в геолого-петрологической модели подошву земной коры принято рассматривать как границу распространения определенных комплексов пород или их модификаций [46 и др.]. Естественно, возникает вопрос: как увязать в этой модели описанный выше переход от одной границы (M_1) к другой (M_2)? При любых глобальных тектонических построениях для восстановления истории развития тектоносферы в изучаемом регионе искомым должно быть положение границы M_1, а не вновь образованной M_2. Парадокс заключается в том, что современный подход к изучению глубинного строения тектоносферы Земли ориентирован на определение положения границы M_2. Задача нахождения границы M_1 принципиально разрешима, но она даже не ставится.

К изложенному выше следует добавить, что если описанная выше модель формирования т.н. “океанической коры” верна, то участкам ее распространения должно быть свойственно отсутствие проявления т.н. “гранитного слоя” в сейсмическом поле, и наличие положительных аномалий гравитационного поля, обусловленных увеличением плотности пород морского дна вследствие контоминации их дайкоподобными образованиями основного и ультраосновного состава. Более того, если при последующих тектонических преобразованиях земной коры положение такого рода участков изменится по отношению уровня моря, то гравитационные аномалии над ними должны сохраниться. В этом плане интересные результаты получены Г.Я. Голиздрой и А.К. Ахметшиной [15, 16] при изучении источников региональных гравитационных аномалий интенсивностью в несколько десятков мГл на Украинском щите. Наиболее

детально ими изучен район Голованевской положительной аномалии. В частности, установлено: 1) в границах аномалии в кристаллическом фундаменте преимущественно гранитоидного состава наблюдается повышенное содержание основных и ультраосновных пород в виде дайкоподобных включений; 2) интенсивность аномалии возрастает пропорционально увеличению такого рода включений. Аналогичные выводы ими получены при изучении других подобных аналогичных аномалий на Украинском щите (Приазовской и Запорожской). Другими словами, результаты исследований Г.Я. Голиздры и А.К. Ахметшиной свидетельствуют о том, что районы, изученных ими аномалий, можно считать реликтами древней “океанической коры”, образованной по описанной выше схеме. Есть основание полагать, что ряд известных положительных гравитационных аномалий на Восточно-Европейской платформе (Черниговская – в Днепровско-Донецкой впадине и Хобдинская – в Прикаспийской впадине), природа которых неоднократно служила предметом научных дискуссий, обусловлены результатом описанного выше процесса океанизации соответствующих участков земной коры Восточно-Европейской платформы.

И, еще – вместо термина *океанизация земной коры*, по-видимому, целесообразнее пользоваться термином *базификация земной коры.* Последний более адекватно отображает описанный выше процесс ее преобразования. Дело в том, что результаты такого рода преобразований не обязательно связаны с наличием водного слоя. В этом плане весьма интересны данные, полученные Г.Ф. Макаренко при изучении трапповых провинций Земли [31,32]. В частности, из результатов ее исследований можно сделать вывод о том, что для трапповых провинций на материках характерна типичная “океаническая кора”, только без водного слоя (по крайней мере, в настоящее время.).

1.3 Современное состояние геотектоники и ее проблемы

Известные данные. Тектонические структуры в земной коре и тесно связанный с ними лик Земли, формируются под противоположным действием двух групп сил. Следствием воздействия *одной* из них являются экзогенные физико-геологические процессы, наблюдаемые на земной поверхности, которые направлены на уменьшение разности отметок между геоидом и соответствующим ему уровненным эллипсоидом, т.е., на достижение более устойчивого равновесия Земли. Под влиянием этих процессов происходит денудация выступающих частей земной поверхности и заполнение ее понижений. Надо полагать, что пенепленизация имела место в течение всей геологической истории развития Земли. Энергетическая сторона этого процесса достаточно ясна.

Источником сил дезинтеграции приповерхностного слоя пород и отчасти их транспортировки является солнечная энергия. Средний поток солнечной теплоты, достигающий поверхности Земли, на континентах достигает значений $42x10^4$ Вт/м^2. Законы распределения вещества в приповерхностных частях земной коры регулируются гравитационным полем Земли.

Если бы Земля была подвержена влиянию только этой группе сил, то вследствие их направленности, она представляла бы собой в настоящее время пенепленизированный сфероид. На самом деле этого нет. Следовательно, существует *другая* группа сил, время от времени, выводящая Землю из состояния равновесия, в результате которых в определенных частях ее поверхности увеличиваются отклонения геоида от сфероида. Такие явления принято называть *тектоническими активизациями Земли.* Они выражаются *деформациями тектоносферы в виде ее разломов, перемещения по ним блоков тектоносферы, сопровождающихся активной магматической деятельностью и другими сопутствующими явлениями*. Несмотря на очевидность существования второй группы сил, периодически выводящих Землю из состояния равновесия, достаточно длительное и во многом успешное изучение запечатленных в «каменной летописи» результатов действия этих сил, наши знания о их природе до сих пор остаются во многом *гипотетическими.*

В настоящее время можно считать достаточно достоверно установленными следующие положения тектонического развития Земли.

1. Общепринятые представления о циклическом характере тектонической активности Земли, происходящей на фоне ее направленного развития [50,64 и др.].

2. Периоды тектонической активизации Земли уверенно коррелируются с периодами определенных астрономических явлений [5,35 и др].

3. Каждой тектонической активизации Земли предшествует более длительная эпоха относительно спокойного ее развития.

Поиском решения проблемы тектонических активизаций занимались многие исследователи. С нашей точки зрения заслуживает внимания предложение С.И.Субботина, приведенное в монографии [52, стр.99]:

Довольно закономерное размещение на земном шаре складчатых сооружений, этих сложно построенных структурных зон, в которых происходили разнообразные процессы и на развитие которых были «израсходованы» огромные, грандиозные порции энергии, свидетельствуют, что они обусловлены столь же грандиозным источником энергии. Таким источником может быть только явление планетарного масштаба – вращательное движение Земли и его

неравномерность. К сожалению, этот удивительный по своему предвидению вывод не был раскрыт С.И.Субботиным.

В настоящее время в геотектонике сложился оригинальный подход. При решении геотектонических проблем исследователи делят их условно на две части. К первой относят явления типа: *мировые трансгрессии и регрессии; возникновение геосинклиналей и платформ; опускание и поднятие определенных участков в тектоносфере; перемещение литосферных плит; возникновение в тектоносфере разломов, ослабленных зон, магматических диапиров и подобных им явлений.* При этом названные выше фундаментальные явления обычно не обосновываются, а просто постулируются. За науку же выдается рассмотрение второй части явлений, представляющих собой *следствия, вытекающие из перечисленных выше явлений.* Такой подход составляет основу курсов в общей геологии и геотектоники, читаемых в современных ВУЗах студентам геологических специальностей. С таким положением можно было мириться в позапрошлом и прошлом веках, в начальные этапы развития этих наук - этапы накопления исходных фактических геологических данных.

Нам представляется, что наступило время, когда предметом геотектоники должно быть изучение пространственно-временных закономерностей возникновения и развития именно перечисленных выше фундаментальных явлений (первичный тектогенез) и энергетические возможности структурообразования в тектоносфере, что никак не исключает необходимости изучения следствий, вытекающих из образования фундаментальных структур (явлений). Но эти следствия должны быть тесно увязаны с закономерностями возникновения основных структур – должны быть соблюдены законы причинно- следственной взаимосвязи изучаемых явлений.

Одной из причин становления такого подхода к решению геотектонических проблем является игнорирование исследователями *явления вращения Земли*. Папа Римский недавно реабилитировал Галилео Галилея и тем самым признал, что *Земля все таки вертится,* а абсолютное большинство ведущих ученых-тектонистов в своих построениях используют *модель неподвижной Земли,* хотя общеизвестно, что законы геодинамики в моделях неподвижной и вращающейся Земли существенно различаются. *«Безнаказанно» поднимать и опускать участки тектоносферы, двигать литосферные плиты и предполагать подобные им явления в тектоносфере, можно только в рамках модели неподвижной Земли.* Перемещение 1 км^3 вещества тектоносферы (не говоря уже о целых плитах!) нарушает сложившееся равновесие Земли (геоизостазию), восстановление которого возможно только путем деформации геоида, естественно, по законам вращающегося тела [60].

Проблемы геотектоники. Главными проблемами геотектоники, да пожалуй и всех наук о Земле, являются: *природа тектонических активизаций Земли и закономерности их возникновения во времени; выяснение источников сил и энергии, приводящих к этим активизациям; механизмы осуществления активизации Земли и физические законы, управляемые ими.*

Долгое время, начиная с М. Ломоносова и Дж. Геттона, исследователи Земли исходили из представлений о том, что ведущая роль в формировании лика нашей планеты и структуры ее внешней твердой оболочки принадлежит внутренним глубинным факторам и практически пренебрегали ролью внешних астрономических факторов. В качестве источников сил тектонеза исследователи принимают внутриземные физико-геологические и геохимические процессы типа: плотностной дифференциации вещества, его тепловой или механической конвекции [4], явления уплотнения или разуплотнения, обусловленные фазовыми или электронными переходами из одного состояния вещества в другое [52], радиоактивный распад [7] и др., т.е. внутренние факторы Земли, возникающие в результате ее саморазвития. По-видимому, считают, что таким образом, удовлетворяется известное положение материалистической диалектики, согласно которому *источником развития предметов и процессов являются их внутренние противоречия, поэтому развитие выступает как саморазвитие, т.е. совершается благодаря своим внутренним стимулам и не нуждаются ни в каких внешних силах.*

Рассмотрим это положение подробнее. Во-первых, считая источником сил тектогенеза любой из физико-геологических или геохимических процессов, и не учитывая, например, влияние взаимодействия Земли с физическими полями окружающего космического пространства мы нарушаем другое положение диалектики – *взаимосвязь и взаимообусловленность явлений в природе.* В самом деле, Земля не может не реагировать на гравитационные, магнитные и электрические поля окружающего космического пространства, но обычно этим влиянием пренебрегают, считая его не существенным.

Во-вторых, силы взаимодействия Земли с пронизывающими ее физическими полями Космоса в философском смысле относятся к внутренним силам «системы Земля». Другими словами, принимая в качестве источника сил тектогенеза силы взаимодействия Земли с физическими полями Космоса, мы не только не нарушаем основных положений материалистической диалектики ,а наоборот, приводим в соответствие с ними исходные посылки [56].

В рамках рассматриваемой проблемы представляют определенный интерес ответы, по крайней мере, на два вопроса: 1) Каково конкретное

выражение сил тектогенеза, обусловленных взаимодействием Земли с окружающими физическими полями? 2) Каковы роль и место перечисленных выше внутриземных физико-геологических и геохимических процессов в тектонических активизациях Земли?

1. Взаимодействие Земли с окружающими физическими полями может выражаться по-разному; для наших целей наибольший интерес представляет результат этого взаимодействия в виде изменения ротационного режима Земли (положения оси вращения и угловой скорости). Постоянному ротационному режиму соответствует определенная фигура равновесия Земли – сфероид, к которому, как отмечалось выше, под действием экзогенных процессов стремится геоид. Если принять ротационный режим Земли изменяющимся (а это – экспериментально установленный факт!), то естественным следствием этого должно быть приспособление геоида к новому ротационному режиму. Непрерывное изменение ротационного режима Земли в течение геологических эпох и соответствующее приспособление к нему фигуры равновесия Земли должно приводить к постепенному накоплению напряжений в тектоносфере и последующей их разрядке в виде разломов в тектоносфере и сопутствующих им геологических явлений. Такова одна из возможных схем возникновения тектонических активизаций Земли [59].

2. Для получения ответа на второй вопрос будем исходить из двух очевидных положений [56]:

1) все перечисленные выше внутриземные процессы могут спонтанно развиваться только однонаправленно, в сторону достижения минимума энергии системы; 2) изменение направленности таких процессов, например, уплотнений и разуплотнений, смена фазовых состояний вещества, может происходить только в виде реакций на какой-то внешний фактор.

Из первого положения следует, что приняв любой из перечисленных выше спонтанных внутриземных процессов за *основной* , а тем более – *единственный* источник сил тектогенеза, в лучшем случае, мы можем объяснить направленное развитие Земли, но не его цикличность. Если принять в качестве *основного* источника сил тектогенеза силы взаимодействия Земли с окружающими физическими полями, приводящие к изменению ее ротационного режима, то напряжения, которые возникают в геоиде в процессе его приспособления к новому ротационному режиму, выступают в качестве одного из факторов, регулирующих состояние вещества внутри Земли. Следовательно, «внутриземные» силы, обусловленные спонтанными физико-геологическими и геохимическими процессами, оказываются *реакциями* на названные выше силы взаимодействия Земли с физическими полями Космоса. Другими словами,

все известные внутриземные физико-геологические и геохимические процессы можно рассматривать в качестве участников тектонических активизаций Земли; их направленность регулируется распределением напряжений внутри Земли, возникающих в результате ее взаимодействия с окружающими полями Космоса. Такой подход вовсе не исключает возможности определенного вклада сил, возникающих в процессе спонтанного превращения вещества внутри Земли, но надо иметь в виду, что эти силы могут определять только *направленное* развитие Земли. *Цикличность,* на фоне направленного развития Земли, оказывается прямым следствием законов ее движения в системе Галактики. Об этом, в частности, свидетельствует совпадение периодов основных геологических циклов с астрономическими [5].

В научной литературе более или менее систематически появлялись статьи с предложениями использовать ротационный режим Земли, точнее, его вариации, для объяснения тектогенеза нашей планеты. Ограничимся перечнем только нескольких работ, опубликованных в начале шестидесятых годов прошлого столетия: П.Н. Кропоткина и Ю.А. Трапезникова [24], Г.Ф. Лунгерсгаузена [27, М.В. Стоваса [49]. В 1960 г. Н.М. Страхов [51, с.24], касаясь перемещения оси вращения Земли, писал: *В настоящее время эти перемещения являются уже не домыслом, не смелой догадкою, как это было до недавнего времени, не умозрительной концепцией, которую можно игнорировать при чисто эмпирическом изучении земной коры; теперь – это факт. Как всякий достоверно установленный, к тому же достаточно крупный факт, его нельзя больше игнорировать при изучении тектогенеза; он должен привлечь к себе внимание исследователей.* К сожалению, приведенные выше подобные им работы не нашли должного понимания у современников [60]. По-видимому, наступило время реализации предложения Н.М. Страхова!

1.4. Геотектонические гипотезы и их роль в развитии тектоники

Геотектонические гипотезы и их назначение. Развитие любой отрасли наук о Земле, в частности, геотектоники, идет по следующему сценарию. На начальном этапе происходит первичное накопление фактических данных об особенностях строения изучаемых регионов Земли, осуществляемое геологическими, геофизическими, геохимическими и другими методами исследований. В результате обобщения этих данных создается определенная концепция событий, приводящих к образованию выявленных особенностей строения изучаемых регионов или Земли в целом. В связи с уникальной сложностью рассматриваемой проблемы и хронической нехваткой исходных данных, созданные, таким образом, геотектонические

концепции являются *гипотезами*. На последующих этапах развития геотектоники эти гипотезы принимаются в качестве научной основы для осмысливания вновь получаемых результатов наблюдений.

Такой подход позволяет использовать опыт предшествующих исследователей, сохранять определенные традиции, уменьшает вероятность принятия необоснованной интерпретации наблюдаемых фактов и, таким образом, способствует стабильности развития науки. Вместе с тем, приверженность традиционным представлениям имеет и свою оборотную сторону – может привести к «торможению» научной мысли. Поэтому, стремление, с одной стороны, сохранить традиционные представления, а с другой - преодолеть их, представляет собой сложную диалектическую проблему, к решению которой надо подходить весьма аккуратно. Теоретически считается, что при появлении новых данных, противоречащих традиционной концепции, ее надо менять, но при этом возникают определенные сложности, связанные с оценкой значимости вновь полученных данных. Такое положение усугубляется еще и тем, что некоторые данные получены не прямыми наблюдениями, а представляют собой результаты их интерпретации. В частности, это относится к данным, полученным геофизическими методами.

Содержание известных геотектонических гипотез, начиная с самых ранних, можно найти в обзоре Л.А. Пухлякова [44]; им посвящены разделы монографий по геотектонике В.В. Белоусова [7], В.Е. Хаина [65], Ю.А. Косыгина [23]; на страницах геологического журнала – в серии статей И.И. Чебаненко [68]. В методологическом плане интересные мысли высказаны Л.К. Алексеевой [2]. Цель настоящего раздела монографии – не повторять ранее проводившийся анализ преимуществ и недостатков одних гипотез по сравнению с другими и, тем более, не вступать в полемику с перечисленными авторами, а попытаться сформулировать основные требования (критерии), которым должна удовлетворять любая геотектоническая гипотеза, *претендующая на право быть научной основой для объяснения возникновения и закономерностей формирования основных тектонических структур и сопровождающих их явлений в тектоносфере Земли;* с позиции этих критериев – оценить роль известных геотектонических гипотез в развитии геотектоники.

Основные требования, предъявляемые к геотектоническим гипотезам. Ниже речь будет идти только о гипотезах, относящихся к геологическому этапу развития Земли, под которым понимается этап, начинающийся с эпохи образования оболочечного строения Земли по настоящее время. Для того, чтобы геотектоническая гипотеза могла быть принята в качестве научной основы при анализе роли и места вновь получаемых фактических геологических данных о тектоническом развитии Земли, она должна удовлетворять следующим пяти основным условиям [57].

1. В гипотезе должны быть четко определены: силы, участвующие в формировании тектонических структур, и этих сил должно быть достаточно для реализации механизма их формирования, а также – источник энергии, поддерживающий действующие силы в течение рассматриваемого отрезка времени. По-видимому, это условие не нуждается в пояснении.

2. Гипотеза должна объяснять цикличность геологических процессов на Земле, происходящих на фоне ее направленного развития. В разделе 1.3 это положение уже приводилось, как одно из общепринятых [50,64 и др.]. К этому добавим следующее. Известная фанерозойская хроностратиграфическая шкала полностью основана на представлениях о цикличности геологических процессов, протекающих на фоне необратимого развития Земли. Конкретные проявления цикличности в седиментогенезе, тектогенезе, магматизме и метаморфизме взаимосвязаны. Более того, уверенно устанавливаемая взаимосвязь геологических и астрономических циклов позволяет сделать вывод об общности причин этих явлений.

3. В геотектонических гипотезах нельзя игнорировать общеизвестный факт – вращение Земли. Другими словами, при изучении тектонического развития нашей планеты исследователи должны использовать *модель вращающейся Земли* вместо наиболее часто распространенного использования *модели неподвижной Земли.* Дело в том, что законы геодинамики в моделях неподвижной и вращающейся Земли существенно различаются. Достаточно наглядный пример различия этих законов приведен в разделе 1.2 при объяснении преобразования континентальной земной коры в океаническую. Следовательно, использование модели неподвижной Земли не соответствует реальным условиям существования нашей планеты: *Земля все-таки вертится!*

4. Геотектоническая гипотеза должна обладать возможностью объяснить возникновение латеральных неоднородностей в пределах ранее сформированных сравнительно однородных сфероидальных оболочек. По-видимому, не будет преувеличением считать это условие главным предназначением любой геотектонической гипотезы. Дело в том, что оболочечное строение Земли может сформироваться под действием сил, обусловленных спонтанно развивающимися процессами любой природы, приводящих к дифференциации вещества. При этом практически исключается сохранение неоднородностей догеологического этапа развития Земли, а спонтанно протекающие процессы в принципе не могут создавать латеральные неоднородности [56]. Однако, если силы, возникающие в результате спонтанно протекающих процессов в Земле, не могут создавать латеральных неоднородностей в сфероидальных оболочках, а в природе они есть, то невольно приходится обратиться к

источнику сил другой природы. Оказывается, что без привлечения внешних сил практически не возможно объяснить возникновение латеральных неоднородностей в пределах тектоносферы Земли. Следовательно, к первому основному условию о четком определении сил, необходимых для структурообразования надо добавить уточнение: *необходимо, чтобы эти силы (или, по крайней мере, их часть) имели внешний источник.* Следует специально обратить внимание, что авторы некоторых гипотез вместо поиска внешнего источника сил прибегают к «запрещенным» приемам: предполагают изначальное существование неоднородностей в тектоносфере в виде ослабленных зон, разломов и подобных им структурных элементов. Таким образом, гипотеза лишается своего главного назначения.

5. Фиксируемые на поверхности Земли физические поля должны быть тесно связаны с механизмом тектогенеза рассматриваемой гипотезы. Это условие основано на том, что любые перемещения (преобразования) масс в недоступных для непосредственного наблюдения глубинах Земли должны отражаться в физических полях на земной поверхности. Следовательно, для выяснения истории тектонического развития Земли, кроме результатов прямых геологических наблюдений, необходимо привлекать данные, полученные геофизическими методами. При этом, следует иметь в виду, что такого рода данные являются результатами интерпретации наблюдаемых физических полей, а значит, в определенной мере субъективны.

Выше приведены пять *основных* условий (требований) для оценки роли геотектонических гипотез в развитии геотектоники. Любой непредупрежденный исследователь вряд ли найдет эти требования излишними. Они относятся к *обязательным.* Не выполнение любого из них в геотектонической гипотезе лишает ее возможности быть научной основой для объяснения закономерностей структурообразования в тектоносфере Земли.

Оценка известных геотектонических гипотез. Целью предлагаемой оценки геотектонических гипотез является – возможность использования в качестве научной основы при анализе фактических геологических данных, получаемых в процессе решения современных геологических задач в конкретных регионах. Для осуществления этой цели используются пять выше приведенных основных требований определяется насколько соответствует им рассматриваемая гипотеза (концепция). При этом детальные особенности этих гипотез не рассматриваются, т.к. их можно найти в соответствующих источниках [7,23,65 и др.]. Следует специально подчеркнуть, что в случае заключения о нецелесообразности использования рассматриваемой гипотезы в качестве научной основы при решении современных геологических задач,

это вовсе не значит, что эта гипотеза вообще бесполезна. Надо иметь в виду, что многие из рассматриваемых гипотез в период своего господства служили стимулами изучения ряда фундаментальных геологических явлений и даже – развития отраслей геологических наук. Таким образом, можно сказать, что обобщенный опыт реализации известных геотектонических гипотез является современным фундаментом наук о Земле.

Касаясь классификации геотектонических гипотез, отметим, что в литературе часто встречаются утверждения о том, что основные противоречия в современных тектонических воззрениях между представителями двух крайних направлений: сторонниками примата вертикальных и горизонтальных направлений перемещения блоков земной коры («фиксистами» и «мобилистами»). Это не более чем заблуждение! На самом деле главное противоречие в современной теоретической геотектонике сводится к вопросу о том, надо или не надо учитывать участие космических сил в тектогенезе Земли. Ответ на этот вопрос был рассмотрен ранее [56] и обсуждался в начале монографии. Поэтому, не повторяясь, исходя из названного выше противоречия, для удобства оценки роли и места геотектонических гипотез, все они условно разделены на два класса: к I-му классу отнесены гипотезы, не учитывающие влияние космических сил на процесс тектогенеза (использующие модель «неподвижной Земли»), а ко II-му классу – гипотезы, учитывающие влияние космических сил, приводящих к вариациям ротационного режима Земли (использующих модель «вращающейся Земли»). Внутри каждого класса рассматриваются группы гипотез, отличающиеся друг от друга преимущественно природой сил, используемых для объяснения тектогенеза.

Геотектонические гипотезы I класса. Абсолютное большинство известных геотектонических гипотез относятся к I классу. В этих гипотезах для решения геотектонических проблем используется “модель неподвижной Земли“, т.е. не учитывается общеизвестное явление ее вращения, а это значит, что не выполняется третье основное требование, предъявляемое к геотектоническим гипотезам. Следовательно, ни одну из гипотез этого класса нельзя использовать в качестве научной основы при решении современных тектонических проблем.

Исходя из замечания, приведенного в начале раздела, рассмотрим дополнительно особенности различных групп гипотез, обращая особое внимание на соответствие их другим обязательным требованиям. Начнем *с группы гипотез, использующих модели сжимающейся, расширяющейся и пульсирующей Земли.* Первые две из них, в лучшем случае, способны объяснить только направленное развитие Земли, но не ее цикличность, т.е. каждая из них не удовлетворяет не только третьему, но и второму

обязательному требованию, предъявляемым к гипотезам. Вместе с тем, следует отметить, что во время господства контракционной гипотезы (вторая половина XIX столетия) были разработаны основы учения о шарьяжах и складчатости. Более того, современные представления о механизме формирования складок (поперечный и продольный изгибы) являются следствием контракционной гипотезы. Гипотеза расширяющейся Земли стимулировала развитие представлений о рифтообразовании в истории развития Земли [33 и др.].

Пульсационная гипотеза, активно развивавшаяся М.А. Усовым и В.А. Обручевым (1940), а в последнее время − Е.Е. Милановским [34], представляет собой попытку объяснения цикличности развития Земли. К сожалению, ни в одном из вариантов этой гипотезы не раскрыт механизм возникновения и регулирования явления пульсации Земли, а, следовательно, нет оснований считать, что эта гипотеза удовлетворяет второму основному требованию, предъявляемому к геотектоническим гипотезам.

Гипотезы, основанные на использовании явлений глубинной дифференциации вещества и его преобразование в виде полиморфных, фазовых и электронных переходов из одного состояния вещества в другое, а также – радиоактивного распада, в качестве источников энергии тектогенеза. К таким гипотезам можно отнести гипотезы: Ван Бемелена [9], С.И. Субботина и др. [52], В.Л. Барсукова и В.С. Урусова [6]. Явления преобразования вещества учитывались также в рассмотренных выше гипотезах расширяющейся и пульсирующей Земли. Явление радиоактивного распада рассматривались В.В. Белоусовым [7], как возможный источник энергии структурообразования в земной коре.

Ранее было показано [56], что силы, возникающие в Земле в результате спонтанно протекащих физико-геологических и геохимических процессов в виде полиморфных, фазовых и электронных преобразований вещества в условиях высоких температур и давлений, а также – радиоактивного распада, могут приводить только к направленному преобразованию геосфер в радиальных направлениях: изменения их радиусов, значений физических параметров и даже – агрегатного состояния вещества в них. Последнее достаточно наглядно демонстрируется процессами ультраметаморфизма в верхней части тектоносферы Земли. В результате ультраметаморфизма первично осадочная терригенная толща с течением времени превращается в кристаллические образования. Это один из примеров участия спонтанных физико-геологических и геохимических процессов в Земле, характеризующих ее направленное развитие.

Процессы полиморфных, фазовых и электронных преобразований вещества могут проявляться при формировании структур тектоносферы,

но только при определенных условиях. В частности, одним из таких условий является возможность локализации названных выше процессов в пределах формирующихся структур. Рассмотрим это на примере геотектонических взглядов С.И. Субботина [52]. Кратко они сводятся к следующему. Образование основных структур в верхней части тектоносферы, представленных глубинными разломами, платформенными впадинами и поднятиями, впадинами внутри континентальных морей, геосинклиналями и складчатыми горными сооружениями тесно связано с уплотнениями и разуплотнениями вещества на глубинах от 50 км до основания тектоносферы. Над зонами уплотнения образуются структуры типа впадин, над зонами разуплотнения – типа поднятий, а в пределах переходных зон – глубинные разломы (см. подробнее [52]). Причину возникновения уплотнений и разуплотнений авторы видят в происходящих в тектоносфере полиморфных, фазовых, а возможно, электронных и химических преобразований вещества тектоносферы при высоких термодинамических параметрах.

Известно, что состояние вещества, форма его кристаллической решетки и распределение электронов на энергетических уровнях в атоме зависит от термодинамических *Pt°* – условий, в которых находится в данный момент вещество. Для полиморфного, фазового или электронного превращения вещества необходимо изменение термодинамических условий. По-видимому, такие изменения имели место в начальный (догеологический) этап развития Земли и играли существенную роль в формировании ее оболочного строения. В рассматриваемый нами геологический этап развития нет оснований предполагать, что эти процессы прекратились, но в связи с тем, что спонтанно протекающие в Земле процессы не могут создавать латеральных неоднородностей в ее оболочках, в частности, тектоносфере, то С.И. Субботин ставит вопрос о возможности локализации этих процессов в определенных областях тектоносферы. Одну из главных возможностей концентрации напряжений в одних частях тектоносферы и снятия их в других частях С.И. Субботин видит *в изменении ротационного режима Земли*, следствиями которого являются перераспределение напряжений в отдельных зонах тектоносферы. Изменения геодинамических напряжений носят планетарный характер и являются закономерностью, общей для всех континентов и океанических впадин. Для наших целей важно подчеркнуть следующее:

1. С.И. Субботин, рассматривая роль спонтанных внутриземных процессов в структурообразовании, сформулировал условие их возникновения или активизации – наличие сил другой природы. 2. В качестве одного из источников таких сил он называет изменение ротационного режима Земли.

И, хотя, он не раскрывает конкретного механизма возникновения этих сил и их роли в локализации спонтанных процессов, участвующих в структурообразовании, сам факт необходимости привлечения внешнего источника сил весьма примечателен. Большинство авторов геотектонических гипотез, использующих спонтанно протекающие в Земле явления, этого не делают, предпочитая более легкий, но менее законный путь – локализацию этих процессов с помощью предположения о «ранее возникших неоднородностях» в тектоносфере.

Таким образом, приведенные выше соображения позволяют констатировать, что геотектонические гипотезы, основанные на использовании внутриземных спонтанно протекающих процессов, не удовлетворяют не только *третьему* основному требованию, но и *второму* – могут объяснять только направленное развитие Земли, но не его цикличность. Кроме того, без дополнительного привлечения «внешних» сил гипотезы этой группы не могут объяснить возникновение латеральных неоднородностей в тектоносфере (*четвертое* основное требование).

Рассмотрим следующую *группу гипотез, основанных на явлении изостазии Земли, в ее классическом варианте.* Концепция изостазии (равновесного состояния) Земли возникла в начале XIX столетия. В соответствии с господствующими тогда представлениями о «плавании» земной коры на магме, изучение равновесного состояния Земли было заменено изучением равновесного состояния земной коры. Такой подход, по-существу, сохраняется до сих пор, только оценивается равновесное состояние не земной коры, а литосферы. При этом роль подстилающей кору магмы играет *гипотетическая астеносфера*. Под изостазией понимается состояние земной коры (литосферы), при котором отдельные ее блоки располагаются на подстилающем субстрате так, как если бы они плавали на нем по закону Архимеда [3 и др.]. Следствием такого предположения является равенство давлений на некоторой поверхности в подстилающем субстрате (закон Паскаля), называемой поверхностью компенсации. Для практической оценки величины отклонения земной коры от равновесного состояния пользуются ее блоковыми моделями, предложенными Г. Эри, Ф. Праттом и др. Схемы их приведены на рис.1.8 (см. подробнее [3,59]).

Концепция изостазии первоначально была разработана и успешно использовалась для учета отклонения отвесных линий от их нормального положения, происходящего под влиянием поверхностных неоднородностей, обусловленных колебаниями рельефа твердой Земли. Отвесная линия (вертикаль) используется в качестве репера, от которого отсчитываются угловые расстояния в сферических координатах.

Успешное применение концепции изостазии земной коры для

решения геодезических задач являлось определенным свидетельством реальности самого явления изостазии и поэтому возникло естественное желание – попытаться использовать его в геологии. Детальный обзор ранних предложений (начало XIX столетия) можно найти в обстоятельной работе Е.Н. Люстиха [28]. В данном случае ограничимся изложением основных положений концепции изостазии в формировании тектонических структур.

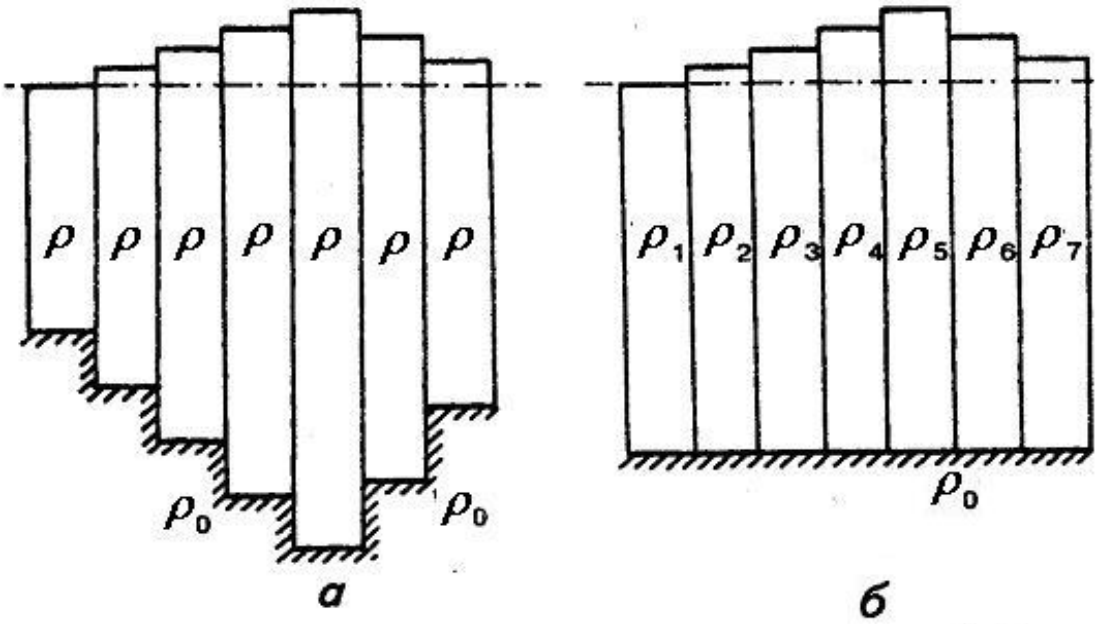


Рис.1.8. Физико-геологические модели земной коры: *а* – Г. Эри, б – Ф. Пратта.
ρ_0 – плотность подстилающего субстрата; ρ – плотность блоков земной коры в модели Г.Эри; ρ_1-ρ_2 и т.д. – плотность блоков земной коры в модели Ф. Пратта.

Поскольку индикаторами нарушения изостазии земной коры считались отклонения рельефа твердой земной коры от уровня геоида, то авторы изостатических гипотез (Боуи, Деттон) решили использовать силы, необходимые для восстановления изостазии, при объяснении роли денудационно-седиментационого процесса в структурообразовании. В результате денудации выступающих частей земной коры, эти участки должны испытывать изостатическое поднятие (всплывать) и, тем самым, приводить к последующему размыву, а накопление осадков на дне водного бассейна должно вызывать его прогибание, освобождая место для последующего осадконакопления. Так объяснялось накопление огромных толщ мелководных осадков, часто наблюдаемых в природе. Заметим попутно, что именно в это время поиск механизма восстановления изостазии привел к *предположению* (Баррел, 1914) наличия слоя пониженной вязкости (астеносферы). Перемещение вещества в этом слое должно приводить к уравновешению блоков земной коры изучаемого разреза.

К сожалению, идея использования явления изостазии, весьма популярная у геодезистов, оказалась менее популярной у геологов и, в конечном счете, была признана несостоятельной [28]. Нам представляется, что это заключение вполне правомерно, т.к. основной целью любой геотектонической гипотезы является поиск источников сил, приводящих к тектонической активизации Земли, т.е. выводящих ее из состояния равновесия, а используемые в гипотезе изостатические силы направлены на достижение ее равновесного состояния. Если допустить, что геологические процессы в земной коре, происходящие под действием изостатических сил, полностью соответствуют представлениям авторов рассматриваемых гипотез, то конечным их результатом должна быть полная пенепленизация земной поверхности, т.е. Земля должна приобрести форму равновесного эллипсоида вращения и любые последующие тектонические преобразования на Земле должны прекратиться. Естественно, это абсурд!

В заключение можно констатировать, что геотектонические гипотезы, основанные на явлении изостазии, кроме основного недостатка гипотез I класса – игнорировании вращения Земли – не удовлетворяют по крайней мере, еще двум основным требованиям: в них нет источника сил, приводящего к тектоническим активизациям Земли, и они не объясняют цикличности развития Земли. В качестве курьеза, доставшегося в наследство современным исследователям от сторонников изостатических гипотез, можно назвать способ определения численных значений вязкости и прочности гипотетической астеносферы, основанный на величине скорости послеледникового изостатического поднятия Фенноскандии. Конструктивную критику, полученных таким образом результатов, можно найти в работе Е.Н. Люстиха [29].

Далее рассмотрим концепцию *геосинклиналей и платформ*. Первые представления о структурах типа геосинклиналей были высказаны еще в середине XIX века американскими геологами Дж. Холлом и Дж. Дена. Значительный вклад в развитие концепции геосинклиналей и платформ был внесен российскими исследователями В.В. Белоусовым [7], В.Е. Хаиным [65] и др., французским ученым Ж. Обуэном [37] и многими другими. Исчерпывающие представления о сущности рассматриваемой концепции можно найти в трудах перечисленных выше исследователей. В данном случае ограничимся только приведением определения этих структур по В.Е.Хаину, необходимого для дальнейшего изложения.

Геосинклиналями (геосинклинальными подвижными поясами) следует называть зоны высокой подвижности, значительной расчлененности и повышенной проницаемости земной коры, характеризующиеся на ранних этапах своего развития преобладанием интенсивных погружений, а на заключительных – интенсивных поднятий.

Концепция геосинклиналей и противопоставлявшихся им платформ более 100 лет безраздельно господствовала в умах геологов. Главная отличительная особенность этой концепции, по сравнению со всеми остальными, заключается в том, что ее основа представляет собой результат обобщения фактических геологических данных, полученных геологами всех стран мира в течение, по крайней мере, целого века. За это время изучены геосинклинальные структуры на всех континентах Земли, выяснены особенности их геологического строения, послужившие основой для классификации этих структур. Успехи стратиграфии и региональной геологии материков во многом обязаны этой концепции. На основе концепции геосинклиналей и платформ развились новые отрасли наук о Земле, например такие, как металлогения и прогнозирование месторождений полезных ископаемых.

Гипотетическими в рассматриваемой концепции являются представления: *о закономерностях возникновения геосинклинальных структур, их пространственном расположении и механизме их развития, точнее – об источнике сил и энергии, необходимом для развития этих структур.*

Исходя из особенностей геосинклинальной складчатости, по сравнению со складчатостью на платформах, исследователи связывали положение этих структур с особого рода «подвижными поясами» в земной коре (см. определение), в пределах которых более легко осуществлялось «прогибание» земной коры. При этом недооценивалась роль глубинных разломов земной коры. Наличие в основании геосинклинали т.н. офиолитовой формации, сходной по составу со вторым океаническим слоем, приводило исследователей к мысли о возникновении геосинклиналей в областях развития земной коры «океанического типа» [38]. В этом прослеживается определенная логика, но для объяснения механизма развития рассматриваемых структур необходим источник сил и энергии. В качестве источников энергии, необходимых для формирования геосинклинальных структур, исследователи старались привлечь энергию радиоактивного распада [7], энергию полиморфных, фазовых и подобных им преобразований вещества [52 и др.], т.е. энергию внутриземных физико-химических превращений, старательно обходя источник энергии, обусловленный вращением Земли. Выше было показано, что любые, спонтанно протекающие внутри земные процессы, не могут являться источником сил тектогенеза без участия сил другой природы. Следовательно, можно констатировать, что классический вариант концепции геосинклиналей и платформ не целесообразно использовать в качестве научной основы для решения современных геологических задач, т.к. он не удовлетворяет, по крайней мере, двум основным требованиям: 1) в нем отсутствует источник сил тектогенеза; 2) используется модель

«неподвижной Земли». Это не значит, что реально установленные закономерности развития геосинклиналей надо игнорировать. Наоборот, эти закономерности могут и должны быть использованы при решении задач современной геологии – даже при оценке научной ценности геотектонических гипотез. Последние должны быть способными объяснить полученные опытным путем обобщенные особенности геологического строения геосинклинальных структур.

К изложенному выше целесообразно добавить следующее. Во второй половине XX века произошло непонятное, на первый взгляд, явление – господствующая тектоническая концепция, заслуги которой в развитии наук о Земле несомненны, быстро уступает место новой концепции, именуемой *тектоникой литосферных* плит, представляющей собой возрожденную на новой основе гипотезу *дрейфа континентов* [13]. Поражает необычно быстрое распространение идей тектоники литосферных плит в Америке и Западных странах. В русскоязычной литературе первоначально многие исследователи более осторожно относились к этой концепции. В настоящее время количество как сторонников, так и противников плейттектоники в разных странах примерно выровнялось. Возникает естественный вопрос: как объяснить неоправданно поспешный отказ многих исследователей от господствовавшей долгое время достаточно развитой и, казалось бы, плодотворной концепции геосинклиналей и платформ в пользу концепции тектоники литосферных плит. Например, В.В.Белоусов объясняет это так [8]: *в предшествующий период для осуществления «Проекта верхней мантии» стали работать совместно геологи, геофизики, геохимики со своими методами и своей психологией.* Возникновение плейттектоники он связывает с тем, что *наша наука пополнилась вдруг людьми, которые начали все как бы сызнова, которые не имели школы континентальной геологии и которые, занявшись преимущественно океанами и, найдя там для своих методов и своей психологии наиболее подходящую обстановку, пошли по пути почти полного игнорирования достижений континентальной геологии.*

Нам представляется, что одной из главных причин сравнительно легкого отказа от господствующей концепции является неспособность ее объяснить многие факты и закономерности, присущие не только океанам, но и континентам.

В первую очередь это связано с отсутствием в концепции реального источника энергии, обеспечивающего развитие рассматриваемых структур. В подтверждение этого тезиса сошлемся на модель развития геосинклинального процесса, изложенную в разделе 2. Достаточно было воспользоваться источником энергии, обусловленным изменением ротационного режима Земли, как все известные закономерности развития

геосинклинальных структур нашли свое объяснение.

Следующие на очереди *гипотезы, основанные на использовании явления конвекции вещества* в мантии. Рассмотрим оценку этого рода гипотез на примере ныне ставшей модной *концепции тектоники литосферных п*лит или *Новой глобальной тектоники.* В первую очередь отметим, что эта концепция получила свое развитие на основе результатов изучения наряду с континентами акваторий океанов преимущественно геофизическими методами, выполнявшегося в рамках международного «Проекта верхней мантии» во второй половине XX столетия. В процессе исследований получено много новых данных; некоторые из них – впервые. Особый интерес представляют данные, полученные геофизическими методами, при изучении океанов.

1. Выявлены специфические линейные аномалии «зебрового» типа, которые интерпретировались как индикаторы растяжения (spreding) морского дна.

2. Сейсмическими работами установлена необычайно тонкая земная кора, которая представлялась исследователям как новообразование, формирующееся в процессе развития океанов.

3. Палеомагнитными исследованиями на континентах подтверждены известные данные о несовпадении линий миграции полюсов, полученных по результатам изучения горных пород в различных частях Земли. Перечисленные данные не укладывались в традиционные представления концепции геосинклиналей и платформ, поэтому возник вопрос о замене ее новой. Новая глобальная тектоника была сформулирована на основе *интерпретации* вновь полученных геофизических данных и, по сути дела, представляет обновленный вариант известной гипотезы А. Вегенера о дрейфе материков [13]. Сущность Новой глобальной тектоники заключается в следующем [36].

1. Литосфера Земли состоит из некоторого количества блоков (плит), представляющих собой участки океанического дна с находящимися на них континентами.

2. Плиты испытывают горизонтальные перемещения относительно друг друга. Представления о поверхностях перемещения у сторонников концепции Новой глобальной тектоники далеко не одинаковые: одни (Г. Хесс [36]) считают, что перемещения литосферных плит происходит вместе с верхней частью мантии, при этом образуется новая океаническая кора; другие (В. Морган [36]) придерживаются мнения, что плиты перемещаются по астеносферному слою. Начало перемещения (раздвиг) совпадает с разделяющей плиты рифтовой зоной (срединным океаническим хребтом). На противоположном конце предполагается погружение плиты вдоль зон Беньофа под континент или островную дугу.

3. Перемещения литосферных плит принимается за основу развития

земной коры и ее генеральных структур. С ними связываются тектоническая, вулканическая и сейсмическая активности Земли.

С целью оценить реальное значение рассматриваемой концепции начнем с вопроса: каков источник сил, двигающих литосферные плиты и каков источник энергии, поддерживающих эти силы? В качестве движущего механизма перемещения плит сторонники Новой глобальной тектоники предлагают гипотетическую *конвекцию вещества в мантии.* Схематически модель тепловой конвекции вещества в мантии выглядит следующим образом. Под действием разности температур между основанием мантии и ее верхней границей происходит всплывание нагретого, более легкого материала мантии в направлении к поверхности Земли, а остывший, более тяжелый, опускается в обратном направлении. Так устанавливается конвективный круговорот вещества в определенных ячейках мантии.

Попытка объяснить перемещение литосферных плит с помощью конвекции вещества в мантии представляет собой замену одной неизвестной другой – одинаково остается нерешенной проблема источника сил и энергии, необходимых для осуществления этого явления. Эта проблема интересовала многих исследователей.

Одним из первых математическим решением проблемы реализации тепловой конвекции вещества мантии, не привязывая ее к определенной тектонической концепции, занимался Ч. Пикерис (1935). В качестве источника энергии он принял радиогенное тепло, генерируемое радиоактивными элементами в земной коре. Е.Н. Люстих [30], анализируя результаты, полученные Ч. Пикерисом, пришел к выводу: *в виду недостаточной обоснованности принятых при расчетах значений параметров мантии эти результаты нельзя использовать даже для суждения о возможности явления конвекции в мантии.*

Весьма подробное рассмотрение тепловой конвекции в мантии можно найти у М. Ботта [10]. Он приходит к следующим выводам: *1.Можно ожидать, что в верхней мантии существуют конвективные течения, которые являются эффективным механизмом переноса теплоты. 2. Конвекции в нижней мантии или же по всей глубине мантии может препятствовать значительная вязкость, предполагаемая в нижней мантии.*

Важность этих выводов трудно было бы переоценить, если бы для их получения использовались параметры мантии, в частности, ее динамической вязкости, близкие к реальным. Динамическую вязкость обычно определяют, основываясь на идее современного изостатического всплывания Фенноскандии и Северной Америки после снятия ледовой нагрузки. Ранее было показано [59], что полученные таким образом данные, нельзя считать достоверными. Дополнительные соображения по

этому вопросу можно найти в работе Е.Н. Люстиха [29].

Изучением природы конвекции в мантии и ее роли в тектогенезе Земли занимался Е.В. Артюшков [4]. Исходя из определенной проблематичности тепловой конвекции, он предложил использовать ее модифицированный вариант, практически представляющий суперпозицию тепловой и плотностной (химической) конвекции. Сущность ее заключается в следующем. В нижней части мантии, на границе с ядром, происходит дифференциация вещества, при которой более тяжелая фракция, обогащенная железом, присоединяется к ядру, а оставшееся более легкое вещество всплывает в верхние слои планеты, формируя верхнюю мантию. Всплывание легкого материала происходит вдоль определенных «каналов», в которых температура повышена, а вязкость понижена по отношению к породам нижней мантии. В условиях верхней мантии имеет место вторичное преобразование легкого нагретого материала в виде полиморфных переходов типа *базальт-эклогит* или фазовых превращений типа *оливин-шпинель, кварц-коэсит-стишовит* и др. Образующееся в результате вторичного преобразования более плотное вещество погружается в нижнюю часть верхней мантии, а более легкие фракции всплывают вверх. Совокупность описанных выше перемещений вещества в мантии представляет собой *плотностную (химическую) конвекцию.*

Нам представляется, что сущность предлагаемого Е.В. Артюшковым умозрительного варианта плотностной конвекции вещества в мантии, не может быть признанным более вероятным, по сравнению с ранее рассмотренным вариантом тепловой конвекции, в частности потому, что для обоснования плотностной конвекции используются явления дифференциации вещества мантии и его полиморфные и фазовые преобразования, спонтанно протекающие процессы в оболочках Земли. Эти процессы могут возникать как реакции на какой-нибудь внешний фактор, происходят однонаправленно и не могут приводить к возникновению латеральных неоднородностей и в гомогенных земных оболочках. Результатом их воздействия могут быть только изменения параметров оболочек в радиальном направлении [56]. И уж совсем неправомерно использование специальных «каналов» для перемещения дифференциатов вещества мантии. Если принять «всплывание» или «погружение» этих дифференциатов равномерным по всей поверхности мантии, то, как признает сам автор, ни о какой конвекции не может быть и речи.

Таким образом, можно констатировать, что рассматриваемая концепция не удовлетворяет первому основному требованию – в ней нет источника сил и энергии, необходимого для осуществления процесса тектонической активизации Земли. Результаты дальнейшего анализа

свидетельствуют о том, что концепция Новой глобальной тектоники не удовлетворяет ни одному из основных требований, предъявляемых к такого рода концепциям [57]. Рассмотрим это подробнее.

Поскольку всю тектоническую жизнь Земли авторы Новой глобальной тектоники рассматривают в краевых частях движущихся плит, то для объяснения цикличности тектонических процессов потребовалось бы очень сложный «регулятор» кинематики и перемещения плит. Вряд ли это возможно.

Концепция тектоники литосферных плит не учитывает фактор вращения Земли. Авторы этой концепции «ничто-же сумяшеся» перемещают плиты по латерали, какие-то их части «заталкивают» в мантию, формируют новые участки земной коры, совершенно не учитывая, что этим они изменяют момент количества движения Земли в пространстве, а следовательно, состояние ее равновесия, со всеми вытекающими последствиями.

В рассматриваемой концепции не нашлось места внешним силам, которые необходимы для создания латеральных неоднородностей (включая плиты) в гомогенных оболочках Земли. И последнее. Сторонники концепции тектоники литосферных плит, характеризуя ее, часто прибегают к выражениям типа: *эта концепция наиболее полно и удачно обобщила новую, в основном геофизическую, информацию о строении дна океанов.* Мягко говоря, это просто преувеличение. Эта концепция в лучшем случае использует отдельные элементы физических полей, а в соответствии с пятым основным требованием она должна отражать взаимосвязь процессов тектогенеза и главных физических полей Земли. В частности, если движение литосферных плит связывают с конвекцией мантии, то эта взаимосвязь должна проявляться в гравитационном магнитном, тепловом и др. полях. В концепции этого нет. Более того, наблюдается ряд противоречий между представлениями ее авторов и реальными особенностями физических полей. Например, если бы океаническая кора так отличалась от континентальной, как представляют авторы рассматриваемой концепции, то, в первую очередь, это должно было найти отражение в аномалиях геоида. На самом деле никакой корреляции между аномалиями геоида, материками и океанами не наблюдается, что свидетельствует об изначально единой природе этих кор. Об этом же свидетельствует и равенство тепловых потоков на континентах и океанах [73].

В заключение добавим, что исходные геофизические закономерности, послужившие основой концепции тектоники литосферных плит, могут быть проинтерпретированы с позиции Новой ротационной гипотезы структурообразования без привлечения значительных латеральных перемещений глобальных структур в верхних оболочках Земли [54,59].

Гипотезы II класса (ротационные) Ротационными принято называть геотектонические гипотезы, в основе которых лежат представления, что источником сил и энергии тектонических активизаций Земли является изменение ее ротационного режима, происходящее в результате взаимодействия нашей планеты с космическими полями. Ротационный режим Земли характеризуется множеством различных параметров. Главнейшие из них – угловая скорость вращения Земли, положение оси вращения Земли, ее прецессия и нутация. Наибольшее развитие получили две группы ротационных гипотез: одна из них основана на изменении угловой скорости вращения Земли, другая – на изменении положения оси ее вращения относительно фигуры Земли.

Первые предложения использовать явление изменения угловой скорости вращения Земли для объяснения ее деформации были высказаны еще в конце XVIII, начале XIX столетий и связаны с именами: геофизика Дж. Дарвина, механика Л.С. Лейбензона, математика А. Вероне, а несколько позже – геодезистов А.В. Магницкого и Ф.Н. Красовского. Содержание этих предложений можно найти в монографии Б.Л. Личкова [26]. Наиболее существенный вклад в развитие гипотезы, основанной на изменении угловой скорости вращения Земли внесли: Л.С. Лейбензон [25], В.А. Цареградский [67], Г.Н. Каттерфельд [20] и особенно М.В. Стовас [49].

Геотектонические гипотезы, основанные на использовании перемещения оси вращения Земли, относительно геоида, появились в середине XX столетия и связаны с именами Ф. Веннинг-Мейнеса [77], А. Шайдеггера [75], А.В. Солнцева [48], Г.Д. Хизаношвили [66] и автора настоящей монографии [53,76]. Сущность названных выше ротационных гипотез в современном виде сводятся к следующему.

В настоящее время можно считать общепринятыми представлениями о том, что Земля и все планеты Солнечной системы находятся в состоянии, близком к состоянию равновесия (геоизостазии). *Под геоизостазией понимается такое состояние, при котором внешняя уровенная поверхность Земли – геоид и любые ее внутренние уровенные поверхности находятся в гидростатическом равновесии, соответствующим реальной скорости вращения Земли, вокруг неподвижной оси.* При этом, как показал Л.С. Лейбензон [25], закон распределения плотностей внутри Земли оказывает весьма малое влияние на отклонения ее формы от теоретической, соответствующей однородной сфере при неизменной скорости вращения и неподвижности оси.

Экспериментально установлено, что в течение последних 500 млн.лет угловая скорость вращения Земли непрерывно уменьшается [40,59]. Причем уменьшение угловой скорости происходит не плавно, а с определенными флуктуациями. Причину уменьшения угловой скорости вращения Земли исследователи объясняют частичной потерей энергии в

результате внутреннего трения при ее деформациях, обусловленных влиянием лунно-солнечных приливов [1]. Причины имеющих место флуктуаций угловой скорости менее явны. Одну из них, с периодом галактического года объяснил В.А. Цареградский [67]. Он связал ее с особенностями движения системы Земля–Луна–Солнце за этот период вокруг центра Галактики по данным П.П. Паренаго [39]. Эксцентрическое расположение внутреннего ядра Земли должно приводить к флуктуациям угловой скорости вращения Земли с периодами 600-1200 лет. По-видимому, с этой же особенностью строения Земли связаны флуктуации угловой скорости с меньшими периодами, в частности, с годичным и внутригодичными.

Изменение положения оси вращения Земли по отношению к геоиду объясняется следующим образом. Земля представляет собой магнит, перемещаясь в переменном магнитном поле Галактики, она должна испытывать определенный вращательный момент. Вместе с тем Земля-гироскоп, момент количества движения которого должен сохраняться. Удовлетворить обоим этим требованиям *одновременно* можно только при условии перемещения не Земли в целом, а отдельных ее частей. Исходя из современных представлений о строении Земли (рис.1.1), наиболее вероятен проворот внутреннего ядра G относительно остальной части Земли по промежуточному слою F. Достоверность такой интерпретации подтверждается результатами экспериментального изучения перемещения полюсов по поверхности Земли, которое возможно только при этом условии.

Рассмотрим следствия, возникающие в результате нарушения ротационного режима Земли и роли, которую они играют в расходовании части энергии вращения Земли на образование сил тектогенеза. Изменение ротационного режима Земли приводит к нарушению геоизостазии: 1) уменьшенному значению угловой скорости вращения Земли будет соответствовать новый геоид с меньшей величиной коэффициента сжатия (рис.1.9, *а*); 2) новому расположению оси вращения Земли – новый эллипсоид, с тем же самым коэффициентом сжатия, но расположенный относительно новой оси вращения (см. рис.1.9, *б*). Непрерывному изменению ротационного режима Земли соответствует непрерывное стремление к достижению равновесного состояния, соответствующего новому ротационному режиму. Новое равновесное состояние достигается путем соответствующей деформации геоида, осуществляемой под действием возникающих напряжений в Земле, в частности, в ее тектоносфере. Распределение этих напряжений схематически показано на рис. 1.9.

При достижении этими напряжениями критических величин, равных пределу прочности пород, слагающих тектоносферу, начинается их

разрядка в виде образования разломов тектоносферы и сопутствующих им геологических явлений. Этот процесс называют тектонической активизацией Земли. Из приведенной на рис. 1.9. схемы возникновения напряжений в тектоносфере виден механизм расходования энергии вращения Земли на ее тектогенез.

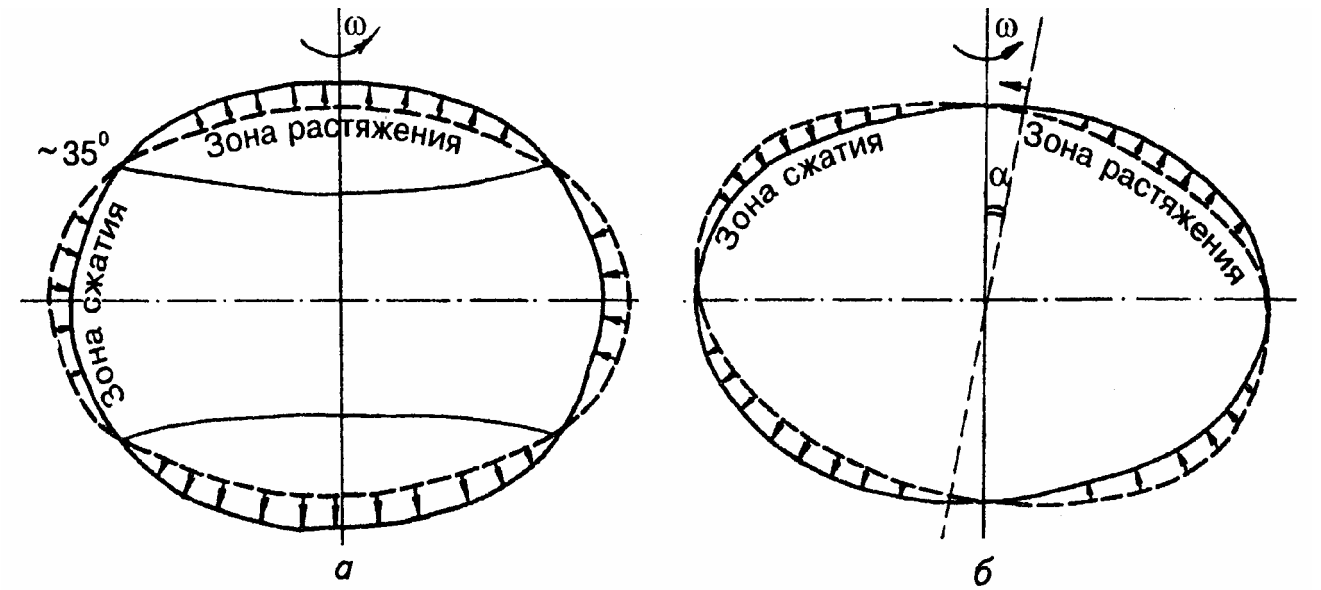


Рис. 1.9. Схемы распределения напряжений в тектоносфере в случае изменения скорости вращения Земли (*а*) и случае изменения оси ее вращения (б).

Долгое время считалось, что эти напряжения слишком малы для формирования тектонических структур [7]. В настоящее время М.М. Довбничу удалось решить задачу о распределении напряжений, возникших в упруго-вязкой тектоносфере Земли, возникающих в результате нарушения ротационного режима Земли (см. подробнее раздел 4 настоящей монографии).

В частности, им показано [19, 62]:

1) *основной вклад в создание поля напряжений тектоносферы вносится не вариацией угловой скорости вращения Земли, а изменением положения оси ее вращения; их численные значения отличаются друг от друга примерно на два порядка;* 2) *напряжения, обусловленные изменением положения оси вращения, накапливаясь, достигают величин, превышающих предел прочности вещества, слагающего тектоносферу, т.е., этих напряжений вполне достаточно для осуществления разломообразования в тектоносфере Земли и сопутствующих им геологических явлений.*

Приведенные результаты расчетов свидетельствуют о следующем.

1. Вариации угловой скорости вращения Земли создают напряжения, которые, несомненно, участвуют в процессе тектогенеза, но их одних оказывается недостаточно для структурообразования в тектоносфере, т.е.

наиболее известный вариант рациональной гипотезы, основанный на изменении угловой скорости вращения Земли, не соответствует первому основному требованию, предъявляемому к геотектоническим гипотезам: наличию и *достаточности* источника сил тектогенеза.

2. Положение о том, что напряжения, обусловленные относительным перемещением оси вращения, вполне достаточны для осуществления разломообразования тектоносферы, позволяет сделать вывод о возможности создания ротационной гипотезы на основе использования только одного этого фактора. В дальнейшем будем называть ее Новой, в отличие от наиболее известной, основанной на использовании явления вариации угловой скорости вращения Земли. Подробное содержание Новой ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере изложено в разделе 2 настоящей монографии. Забегая несколько вперед, отметим, что она удовлетворяет всем пяти основным требованиям, предъявляемым к геотектоническим гипотезам.

В заключение, к изложенной выше оценке групп гипотез обоих классов систем целесообразно добавить следующее.

Авторами геотектонических гипотез I класса являются преимущественно специалисты в области геологии и несколько реже – геофизики. В основу предлагаемых гипотез они брали либо обобщение результатов изучения конкретных тектонических структур, либо известные физико-химические и геологические явления типа: различных преобразований вещества, конвекции вещества, изостазии. Авторами ротационных геотектонических гипотез (II класса) являются преимущественно специалисты в области физики Земли, математики, механики, геодезисты.

Первые пытаются создать общую концепцию развития Земли на основе данных, полученных в результате непосредственных наблюдений или известных в природе явлений, т.е. идут «от частного к общему»; вторые, используя законы механики и математики, стараются найти общие законы деформации Земли как планеты и определить их роль в тектоническом развитии Земли. Обе группы исследователей решают одну и ту же проблему, но разными методами. Это обстоятельство приводит к определенным проблемам во взаимопонимании обеих групп специалистов: первым сложно оценить реальность и степень достоверности получаемых физико-математических закономерностей, а вторые, будучи менее знакомы с особенностями геологического строения структур, вынуждены пользоваться для проверки своих выводов преимущественно литературными данными. Сложность усугубляется еще и тем, что выбор исходных параметров Земли для расчета возникших в ней напряжений, далеко неоднозначен. Так, например, Л.С. Лейбензон [64], пользуясь *упругой моделью Земли,* пришел к выводу о том, что

замедление вращения Земли в течение периода порядка 35-40 млн.лет (а это известный в геологии тектонический цикл второго порядка) накапливаются напряжения, равные пределу прочности вещества тектоносферы, т.е., изменение угловой скорости вращения может приводить к явлению разломообразования в ней. Если же воспользоваться более адекватной *моделью упруго-вязкой Земли* [19,62], то за счет релаксации части напряжений в связи с вязкостью Земли, накапливаемых напряжений, оказывается, недостаточно для реализации явления разломообразования в тектоносфере.

Отсюда вывод: *Создание современной геотектонической концепции возможно только альянсом обеих групп исследователей.*

1.5 Литература

1. Авсюк Ю.Н. Приливные силы и природные процессы. М.: ОИФЗ РАН. 1996. –188с.
2. Алексеева Л.К. Роль геотектонических гипотез в становлении общей теории Земли // Вестн.АН КазССР, 1968, №9. – С.17-20.
3. Артемьев М.Е. Изостатические аномалии и силы тяжести и некоторые вопросы их толкования. М.: Наука, 1966. – 138 с.
4. Артюшков Е.В. Геодинамика. М: Наука, 1979. – 328 с.
5. Балуховский Н.Ф. Геологические циклы. К.: Наукова думка. 1966. – 168 с.
6. Барсуков В.Л., Урусов В.С. Фазовые превращения в мантии и расширение Земли // Природа, 1983, №5 .- С.16-25.
7. Белоусов В.В. Основные вопросы тектоники. М.:Госгеолтехиздат, 1962. – 608 с.
8. Белоусов В.В. Тектоносфера Земли: идеи и действительность // Проблема глобальной Тектоники. М.: Наука, 1973. С.69-99.
9. Бемелен Ван. Горообразование. М.: Мир, 1956. -104 с.
10. Ботт М. Внутренее строение Земли. М: Мир, 1974. – 374 с.
11. Браун Д., Массет А. Недоступная Земля. Пер. с англ., М.: Мир. 1984. – 262 с.
12. Буллен К.Е. Плотность Земли. М.: Мир, 1978. – 448 с.
13. Вегенер А. Возникновение материков и океанов М.-Л.: 1925. – 158 с.
14. Виноградов А.П. Происхождение оболочек Земли // Вестн. АН СССР, 1962, № 9. – С. 10-29.
15. Голиздра Г.Я., Ахметшина А.К. О природе обширных гравитационных аномалий Украинского Щита // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1972, № 8. – С. 91-99.
16. Голиздра Г.Я., Ахметшина А.К. Об источниках региональных гравитационных максимумов Приазовья // Геофизич. Сб. АН УССР, 1973, Вып. 51. – С. 69-77.
17. Гравитационная модель коры и верхней мантии Земли / Колл. авт. под редакцией Б.К. Балавадзе. К.: Наукова Думка, 1979. – 248 с.

18. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976. – 512 с.
19. Довбнич М.М. Оценка влияния космогонических факторов на напряженное состояние тектоносферы// Вестник НГУ. - 2007, №4. – С.34-41.
20. Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. М.: Георгафиздат, 1962. – 152 с.
21. Косминская И.П. Метод глубинного сейсмического зондирования земной коры и верхней мантии. М.: Наука, 1968. – 228 с.
22. Косминская И.П., Павленкова Н.И. Общие черты сейсмической модели литосферы основных геоструктур территории СССР. М.: Наука, 1980. – С. 141 – 152.
23. Косыгин Ю.А. Тектоника. М.: Недра, 1988. – 462с.
24. Кропоткин П.Н., Трапезников Ю.А. Вариации угловой скорости вращения Земли, колебания полюса и скорости дрейфа геомагнитного поля и возможная связь с геотектоническими процессами// Изв. АН СССР, сер.геологич. 1963, №2. – С.2-50.
25. Лейбензон Л.С. Собр.тр. т.IX Геофизика. Изд-во АН СССР, 1965. – С.98-117.
26. Личков Б.Л. Природные воды Земли и литосферы. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1960.–164 с.
27. Лунгерсгаузен Г.Ф. О периодичности геологических явлений и изменении климатов прошлых геологических эпох // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. – С.7-49.
28. Люстих Е.Н. Изостазия и изостатические гипотезы. М.: Из-во АН СССР, 1957.–90 с.
29. Люстих Е.Н. «Всплывание» Фенноскандии // Изостазия и изостатические гипотезы. М.: Изд-во АН СССР, 1957.- С.80-83.
30. Люстих Е.Н. О конвекции в оболочках Земли по расчетам Пикериса // Изв.АН СССР. Сер.геофиз. 1957, № 5. – С.614-615.
31. Макаренко Г.Ф. Базальтовые поля Земли. М: Недра, 1978. – 148 с.
32. Макаренко Г.Ф. Траппы в структуре материков. М: Недра, 1983. – 208 с.
33. Милоновский Е.Е. Рифтогенез в истории развития Земли: рифтогенез на древних платформах. М.: Недра, 1983. – 280 с.
34. Милоновский Е.Е. Пульсационная гипотеза геотектоники, ее становление и значение для понимания закономерностей развития Земли// Научное наследие М.А. Усова и его развитие. Новосибирск: Наука, 1984. – С.107-141.
35. Наливкин В.Д. О цикличности геологической истории // Географ.сб. Астрогеология. 1962, № 5. – С.188-197.
36. Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. – 471 с.
37. Обуэн Ж. Геосинклинали. М.: Мир, 1967. – 302 с.
38. Океаны и геосинклинали / А.В.Пейве, Н.А.Штрейс, А.Л.Книппер и др. // ДАН СССР, 1969, №3. – С.657-659.
39. Паренаго П.П. О гравитационном потенциале Галактики II //Астроном. журн. 1952,т.29, вып.3. – С245-283.
40. Парийский Н.Н. Изменение длины суток и деформация Земли// Тр. Геофиз. ин-та АН СССР, 1955,№26(153). – С.45-56.

41. Пронин А.А. Тектоническая история океанов и проблема становления земной коры и литосферы. Л: Наука, 1972, – 248 с.
42. Пудовкин И.М, Валуева Г.Е. Об определении параметров эксцентричного диполя // геомагнетизм и аэрономия. 1972, №1. – С. 161 – 164.
43. Пудовкин И.М, Валуева Г.Е. О характере дрейфа главного эксцентричного диполя // геомагнетизм и аэрономия. 1972, № 3. – С. 513-518.
44. Пухляков Л.А. Обзор геотектонических гипотез. Томск: Изд-во Томского ун-та. 1970. – 205с.
45. Пущаровский Ю.М., Архипов И.В. Геотектонические аспекты Чилийских Анд // Геотектоника, 1972, № 1. – С. 88-104.
46. Рингвуд А.Э., Мак-Грегор И.Д., Байд Ф.Р. Петрографический состав верхней мантии // Петрология верхней мантии. М.: Мир,1968. – С. 272-277.
47. Рябой В.З. Структура верхней мантии территории СССР по сейсмическим данным. М: Недра, 1979. – 246 с.
48. Солнцев А.В. О деформации Земли и вулканизме в связи с миграцией полюсов.// Вестн. КазССР, 1976, №:. – с.51-56.
49. Стовас М.В. Избранные труды. М.: Недра, 1975. – 153 с.
50. Страхов Н.М. О периодичности и необратимой эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР, сер.геологич. 1949, №6. – С.70 – 111.
51. Страхов Н.М. Типы климатической зональности в послепротерозойской истории Земли и их значение для геологии // Изв. АН СССР, серия геологическая, 1960, №3.- С.23-85.
52. Субботин С.И., Наумчик Г.Л., Рахимова И.Ш. Мантия Земли и тектогенез. К.: Наукова думка, 1968. – 175 с.
53. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза формирования структур в земной коре// Геол.журн.1974,№4. – С.3-16.
54. Тяпкин К.Ф. Тектоника плит и Новая ротационная гипотеза формирования структур в земной коре // геофизический сборник, 1977, №79. – С.3-14.
55. Тяпкин К.Ф. Проблема изостазии// Изв. ВУЗов. Сер. геология и разведка, 1985, №8. – С.125-128.
56. Тяпкин К.Ф. О роли «внутренних» и «внешних» сил Земли в процессе тектогенеза // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1987, № 3. - С.3-8.
57. Тяпкин К.Ф. Основные требования к геотектонеским гипотезам // Докл.НАН Украины, 1995, № 2, – С.87-89.
58. Тяпкин К.Ф. Проблема зон Беньофа // Доклады НАН Украины 1995, № 11. – 90-92.
59. Тяпкин К.Ф. Физика земли. Учебник. К: Вища школа 1998. – 312 с.
60. Тяпкин К.Ф. О кризисе в современной геотектонике и возможности выхода из него// Геофизика, 2003. №5, С.70-72.
61. Тяпкин К.Ф. О парадоксах в современных науках о Земле: Геофизике и геотектонике// Геофизич.журн. 2007, № 2. – С. 71-79.
62. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруго-вязкой Земли // Геофиз. журн. 2002, №2. – С.52-59.

63. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Вращение Земли – единственный реальный источник энергии тектогенеза // Геофизика, 2007, №1. – С.59-64.
64. Хаин В.Е. Направленность, цикличность и неравномерность развития земной коры// Строение и развитие земной коры. Гостоптехиздат, 1964. – С.23-28.
65. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. – 511 с.
66. Хизаношвили Г.Д. Динамика оси вращения и уровней океанов. Тбилиси: 1960. – 142 с.
67. Цареградский В.А. К вопросу о деформациях земной коры // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. – С.149-221.
68. ЧебаненкоИ.И. Теоретические проблемы современной тектоники (статьи 1-4) // Геол. журн., 1985, №2. – С.116-128; №3. – С.90-100; №4. – С.75-82; №5. – С.91-102.
69. Barta G. Demonstration and Physical backround of the asymmetrical structure of Earth // XVII Geophysical symposium. Karlovy Vary : 1972. – P. 3/1 – 3/10.
70. Benioff H. Seismic devidence for the faint origin of oceanic deep // Geolog SV. Amer Bull. 1949.V60, № 12. – P. 1837 – 1856.
71. Benioff H. Orogenesis and deep crustal structure Additional evidence from seismology // Geolog. Soc. Amer. Bill. 1954. V. 65, № 5. – P. 385 – 400.
72. Katz H.R. Continental margin in Chile is tectonic style compressional or extensional // Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bul, 1971, v. 55. – P. 1753 – 1758.
73. Lee W.H.K., Uyede S. Review of heat flov data // Terrestrial heat flov, ed by Lee W.H.K. Geophys. Monogr. № 8 American Geophysical union. Washington : 1965. – P. 191-210.
74. Maflei T.S., Siber E.D., Jonson G/L/ Topography and Structure of the western Puerto Rico French // Geol. Sv. Amer. Bull, 1974. № 4. – P. 513-518.
75. Scheidegger A. Principles of Geodynamics.Springer–Verlag, Berlin-Gottingen-Heidelbers, 1958. – 453 p.
76. Tyapkin K.F. A new rotation hypothesis on the development of the tectonic system of the Earth’s crust// Trans. Hung. Geophys. Inst. 1977, №24. – P.39-52.
77. Wenihg Menez F. Shear pattens in the Earths crust // Trans. Amer. Geophis. Union, 1944, vol. 28, N1-2. P.1-61.

2. НОВАЯ РОТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ

А все-таки Земля вертится!
Галилео Галилей

2.1. Исходные предпосылки

Геоизостазия. Форма нашей планеты (геоид) весьма близка к состоянию равновесия вращающейся жидкости равновеликой массы (сфероиду). Сфероид или теоретический геоид мало отличается от сферы и характеризуется величиной сжатия ε=1/298,25, зависящей от угловой скорости и в некоторой мере – от распределения масс внутри Земли. Для характеристики равновесного состояния Земли в целом в 1984 году на XXVII сессии МГК в Москве было предложено понятие *геоизостазии. Геоизостазии соответствует такое состояние Земли, которое она приняла бы, если бы слагающий ее субстрат в пределах каждой оболочки стал жидким, не смешиваясь [34,60].* В этом случае нашу планету можно было бы охарактеризовать совокупностью уровенных поверхностей, представляющих собой систему сфероидов со все уменьшающимися к центру коэффициетами сжатия, в формировании которых участвуют массы всей Земли, включая гидросферу и атмосферу. Строго говоря, в достижении геоизостазии должны участвовать и все физические поля Земли.

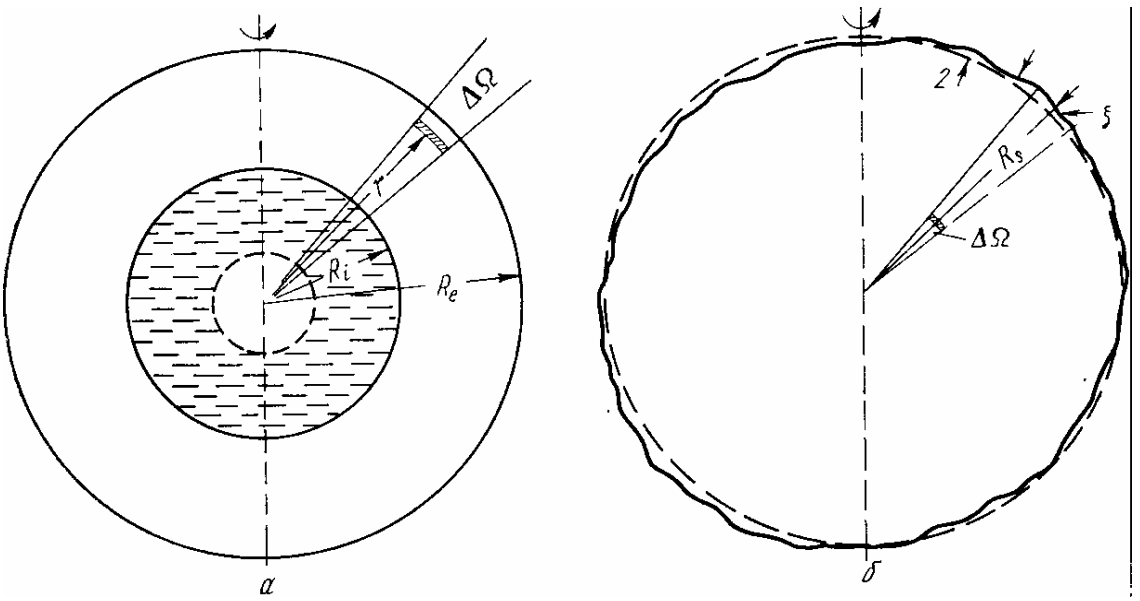


Рис 2.1. К определению геоизостазии: 1 – геоид; 2 – сфероид.

1. В качестве основного условия геоизостазии можно принять равенство веса секторов Земли, вырезанных одинаковыми центральными телесными углами $\Delta\Omega$. Количественно это условие выражается интегральным соотношением (рис. 2.1.)

$$\Delta\Omega\int_0^{\infty}\rho(r)g(r)r^2dr = const\,, \qquad (2.1)$$

где $\rho(r)$ – плотность пород внутри изучаемого сектора; $g(r)$ – ускорение силы тяжести в точках сектора на расстоянии r от центра Земли.

Выражение (2.1) можно представить в виде трех интегралов

$$I_1 + I_2 + I_3 = const\,, \qquad (2.2)$$

где $I_1 = \Delta\Omega\int_0^{R_i}\rho(r)g(r)r^2dr$; $I_2 = \Delta\Omega\int_{R_i}^{R_e}\rho(r)g(r)r^2dr$; $I_3 = \Delta\Omega\int_{R_e}^{\infty}\rho(r)g(r)r^2dr$;

R_i – внутренний радиус мантии Земли; R_e – внешний радиус мантии Земли.

Исходя из представлений о квазижидком внешнем ядре (рис. 2.1,*а*) величину I_1 можно считать постоянной. Справедливость этого утверждения непосредственно вытекает из известной теоремы: *в случае равновесия жидкости уровенные поверхности являются и поверхностями равного давления [37]*. Численное значение интеграла I_3 равно атмосферному давлению на поверхности Земли, т.е. достаточно мало по сравнению с двумя другими, а, следовательно, при оценке равновесного состояния мантии им вполне можно пренебречь. С учетом приведенных замечаний выражение (2.1) принимает вид

$$\Delta\Omega\int_{R_i}^{R_e}\rho(r)g(r)r^2dr = const \qquad (2.3)$$

Полученное равенство (2.3) по сути дела определяет равновесное состояние мантии, регулирующее основы тектогенеза Земли.

Заметим попутно, что интегральное выражение I_3 является основным регулятором закономерностей перемещения воздушных масс в атмосфере. В связи с тем, что $I_3 << I_2$ малые изменения величины I_2, обусловленные перемещениями масс в приповерхностном слое земной коры, приводят к образованию явлений типа циклонов и антициклонов в атмосфере. Аналогичные изменения в акваториях океанов – к возникновению явлений цунами и сопутствующих им ураганам в атмосфере.

2. Вторым условием достижения геоизостазии примем равенство потенциала в каждой точке Земли его теоретическому значению, соответствующему введенному определению геоизостазии. Практически

выполнение этого условия удобней проверять на поверхности Земли, а вместо значений потенциала воспользоваться отметками геоида $R_Г$ и сфероида R_C. Разность этих отметок можно принять в качестве критерия оценки уравновешенности Земли (см. рис. 2.1,*б*). В частности, согласно введенному определению геоизостазии геоид можно принять находящимся в состоянии равновесия при условии выполнения равенства

$$\zeta = R_Г - R_C = 0 \qquad (2.4)$$

В самом деле, если бы геоид стал жидким, т.е. ослабилась бы взаимосвязь между слагающими его твердыми частицами, то он принял бы фигуру равновесия – сфероид. Однако, поскольку существуют отклонения геоида от сфероида, обусловленные неоднородностями строения Земли, то должны существовать и напряжения, стремящиеся выровнять эти неоднородности, привести в соответствие с фигурой ее равновесия. При этом, естественно, закон распределения напряжений будет определяться функцией отклонения геоида от соответствующего ему сфероида.

Чтобы оценить современное состояние уравновешенности Земли обратимся к карте высот геоида (рис. 1.2). Судя по относительно небольшим отклонениям геоида от соответствующего ему сфероида (-110 ÷ +78 м), можно согласиться с выводом о том, что Земля, в основном, уравновешена. Наблюдается полное отсутствие корреляции высот геоида с расположением материков и океанов. Этот любопытный факт свидетельствует о том, что представления некоторых исследователей о резком различии континентальной и океанической коры не соответствуют действительности.

Аномалии геоида ζ, фиксируемые на поверхности Земли, свидетельствуя о нарушении равновесного состояния в определенных секторах Земли, по-существу, определяют *направленность геологических процессов* в этих секторах [37]. Они должны быть такими, чтобы “утяжелять” секторы с отрицательными значениями ζ и “облегчать” секторы с положительными значениями ζ. Назовем возможные физико-геологические процессы, участие которых в достижении геоизостазии наиболее вероятно.

Утяжеление отдельных секторов Земли может быть осуществлено в результате следующих физико-геологических процессов: подъема блоков тектоносферы, приводящих к увеличению отметок геоида; заполнения опущенных участков водой и терригенными образованиями; оледенения участков земной поверхности; “пропитывания” гранитной оболочки более тяжелыми базальтоидами и гипербазитами (дайкобразование);

образование траппов (платобазальтов); возможные перемещения глубинных границ вверх вследствие фазовых переходов базальт ↔ эклогит.

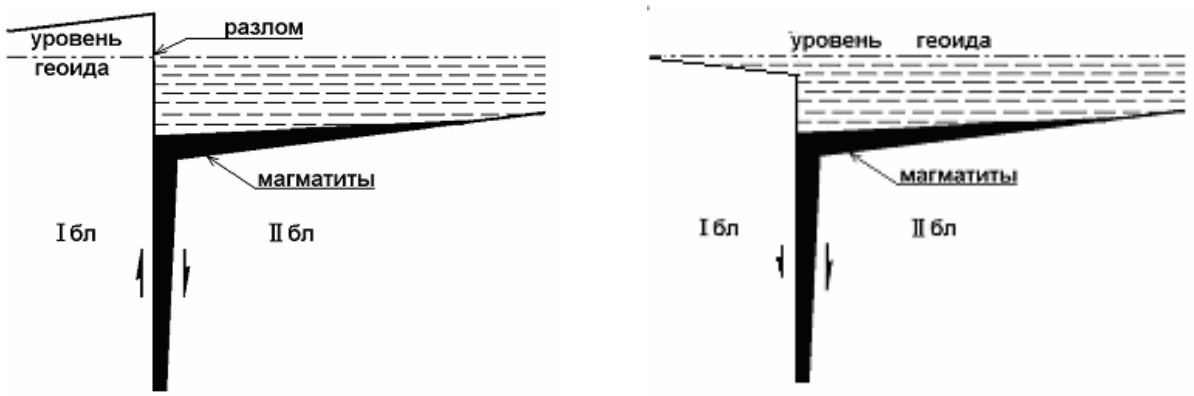
Разгрузка отдельных секторов Земли может быть осуществлена в результате протекания следующих процессов: опускания блоков тектоносферы, приводящего к уменьшению отметок геоида; денудации выступающих блоков тектоносферы или таяния на них льда, возникшего в предыдущую эпоху оледенения; заполнения верхних частей блоков тектоносферы легкими магматическими образованиями кислого состава (гранитизация); возможного перемещения глубинных границ вниз, вследствие фазовых переходов вещества мантии типа базальт ↔ эклогит.

Естественно, возникает вопрос о механизме реализации этих явлений и о законах, управляемых ими. В 1963 году опубликована замечательная работа И.Г. Клушина, посвященная решению названных выше проблем [13]. Основываясь на принципе наименьшего действия он показал, что *в пределах достаточно крупных секторов Земли местные изменения их радиусов должны обязательно сопровождаться вертикальным перераспределением плотности. Физическим законом, регулирующим пререраспределение плотности в пределах секторов Земли, вырезанных телесными углами* $\Delta\Omega$*, является закон сохранения момента количества движения. В его интегральное выражение входит расстояние участвующих масс от центра планеты r в четвертой степени. Следовательно, наиболее существенным значением момента количества движения обладают массы наиболее удаленных от центра геосфер.* К сожалению, эта публикация И.Г. Клушина не нашла должного отражения в работах специалистов, а ведь ее значение для теоретической геотектоники трудно переоценить!

Достаточно отметить, что приведенные в ней результаты позволяют отказаться от бытующих представлений о том, что для достижения равновесного состояния блоков земной коры (литосферы) необходим переток масс в латеральном направлении; становится ясным описанный в разделе 1 механизм преобразования континентальной коры в океаническую; получает определенное обоснование введение термина *тектоносфера*, соответствующего внешней оболочке Земли, массы которой в итервале глубин от 0 до 800 км составляют практически половину величины момента количества движения всей Земли.

Модель формирования структур типа геосинклиналей на границе двух блоков. В середине прошлого столетия Дж. Муди и М. Хиллом [56] была предложена новая модель формирования структур типа геосинклиналей на границе двух жестких блоков тектоносферы, разделенных разломом. Суть ее достаточно наглядно показана на рис. 2.2. Рассмотрим ее более подробно.

При относительном перемещении блоков тектоносферы по разграничивающему их глубинному разлому возникают условия, необходимые для осуществления геологических явлений, таких как *денудация и седиментация, активизация магматической деятельности и усиление метаморфизма пород*.



а *б*

Рис. 2.2. Модель формирования структур типа геосинклиналей по Дж. Муди и М. Хиллу.

1. При положении блоков изображенном на рис. 2.2,*а*, левый из них (приподнятый) является источником денудации, а в пределах правого (опущенного) возникает бассейн для осадконакопления. Гранулометрический состав терригенных осадков зависит от разности отметок блоков. Наряду с приподнятым блоком источником терригенного материала может служить и приподнятая часть правого блока, но осадки будут более тонкозернистыми. В совокупности эти источники формируют осадочную толщу бассейна.

При смене направления относительного премещения соприкасающихся блоков возможен другой вариант, изображенный на рис. 2.2,*б*. В этом случае осадконакопление может происходить во внутренних частях обоих блоков, но в различных фациальных условиях. В пределах правого блока будут преобладать устойчивые глубоководные фациальные условия, а в пределах левого блока – будут иметь место более мелководные условия с возможными перерывами в осадконакоплении. Малейшее изменение направления перемещения блоков может вывести верхнюю кромку левого из них на уровень геоида.

2. Относительное перемещение блоков тектоносферы, связанное с возникновением или активизацией разделяющего их глубинного разлома и происходящее в режиме растяжения, приводит к изменению агрегатное состояние вещества в глубинных зонах тектоносферы, до которых проникает разлом. Вещество на этих глубинах, находящееся при большом

давлении и высокой температуре в квазитвердом состоянии, начинает плавиться. Это происходит вследствие того, что при проникновении разлома давление резко падает, а температура остается высокой, превышающей точку плавления при вновь установившимся давлении. Расплавленное вещество (магма), увеличенное в объеме на 7-8% по сравнению с исходным, использует глубинный разлом в качестве канала для выхода на поверхность. Источником сил, под действием которых магма транспортируется в направлении к поверхности Земли, являются рассмотренные выше геоизостатические силы. Этот процесс регулируется законом сохранения момента количества движения в секторах Земли, вырезанных одинаковыми центральными телесными углами [13]. Так осуществляется активизация магматической деятельности с образованием пород основного или ультраосновного состава пород в начальные периоды формирования структур типа геосинклиналей. Что касается состава образующихся таким образом магм, то он определяется многими факторами, но наблюдается определенная тенденция: с увеличением глубины проникновения разломов, обусловленные ими магмы имеют более ультраосновной состав. По-видимому они представляют собой выплавки более тугоплавких компонентов пород вещества верхней мантии. Более подробные данные по этому вопросу можно найти в работах Л.А. Кадика и М.Я. Френкеля [12 и др.].

3. Возникший разлом является определенным “тепловодом”, доставляющим дополнительную энергию для метаморфизма пород, слагающих поверхностные структуры. Дополнительная тепловая энергия может быть получена не только с магматическим расплавом, но и путем теплопередачи в результате проникающей конвекции в теле разлома. Таким образом, усиливается метаморфизм пород, слагающих формируемые на границах блоков поверхностные структуры.

Перечисленные выше условия, возникающие при относительном перемещении блоков тектоносфер, объясняют четыре основных геологических процесса (денудацию, седиментацию, магматизм и активизацию метаморфизма), с которыми связано образование любых комплексов пород и формирование тектонических структур, в частности, структур типа геосинклиналей.

Обсуждаемая схема отличается от классической прежде всего тем, что в основу ее положена реальная физическая картина относительного перемещения жестких блоков, а не гипотетическое “прогибание”, представление о котором возникло в позапрошлом веке, когда ученые считали, что земная кора “плавает” на магме и когда деформациям изгиба придавалось неоправданно большое значение по сравнению со скалывающими деформациями. В настоящее время известно, что достаточно хрупкая земная кора располагается на верхней мантии,

упругость которой соизмерима с упругостью стали. Следовательно, традиционное представление о “прогибании” земной коры нельзя считать оправданным.

Выше рассмотрен простейший вариант модели формирования структур типа геосинклиналей, предложенный Дж. Муди и М. Хиллом и несколько усовершенствованный нами. Реальные модели, естественно, более сложнее. В частности, в реальных условиях целесообразнее использовать представление не о двух соприкасающихся блоках, а о двух группах блоков, разделенных глубиным разломом, как это сделано, например, в разделе 2.3. Для наших целей важно подчеркнуть две важные особенности рассматриваемой модели формирования структур типа геосинклиналей: *асимметрию формируемых поверхностных структур и их непосредственную взаимосвязь с глубинными разломами.*

Проиллюстрируем реальность формирования структур геосинклинального типа по описанной выше модели на примерах достаточно хорошо изученных структур различного возраста (рис.2.3).

На рис. 2.3,*а* показан разрез Криворожского железорудного бассейна, образование которого относится к раннему протерозою. Верхняя часть разреза построена по данным бурения, нижняя – путем интерпретации гравитационных аномалий [1,21]. Сравнение этого разреза со схемой, изображенной на рис. 2.2, не оставляет сомнений в их подобии. В частности, амфиболиты, лежащие в основании криворожской серии пород, представляют собой продукт подводных излияний базальтовой магмы. Формирование криворожской серии, представленной чередующимися терригенными и хемогенными образованиями, связано с периодическими относительными вертикальными перемещениями блоков тектоносферы в сочетании с активизацией вулканической деятельности (см. дополнительно [45]). Слабонаклоненные в процессе образования толщи в результате последующих деформаций, протекавших в режиме сжатия, приобрели крутые углы наклона. В приведенном на рис. 2.3,*а* примере не находит простое объяснение отсутствие второго “крыла” синклинория, хотя известно, что в северной части Криворожья, к западу от осевой линии разлома, встречаются породы криворожской серии с железистыми кварцитами, преимущественно магнетитового состава. Как показал Н.А. Плаксенко [26] на примере Курской магнитной аномалии (КМА) магнетитовый состав железистых кварцитов свидетельствует об их образовании в условиях мелководья. Это обстоятельство в сочетании со структурными особенностями пород криворожской серии позволяет считать их левым “крылом” структуры по схеме, приведенной на рис. 2.2,б.

На рис. 2.3, б приведен вертикальный разрез палеозойской структуры Донбасса вдоль сейсмического профиля XI по данным А.К. Михалева и М.И. Бородулина [18].

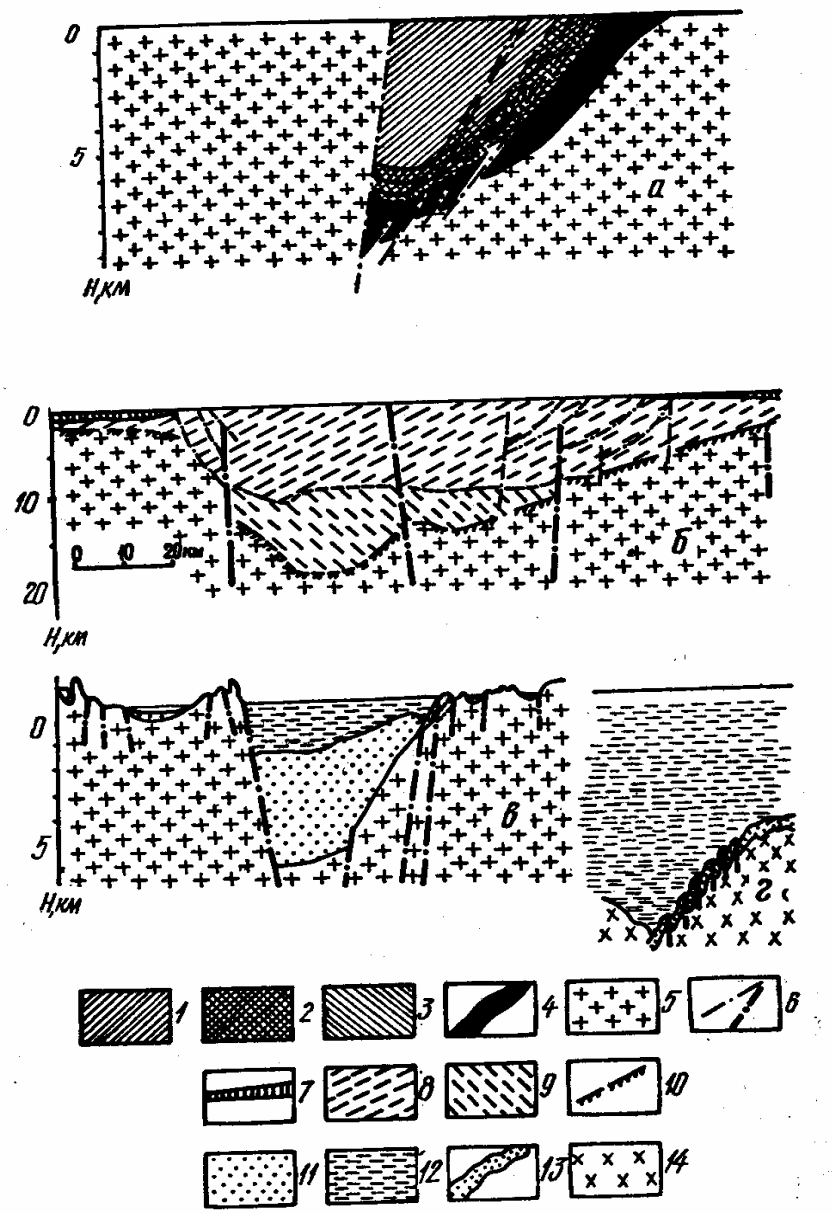


Рис. 2.3. Вертикальные разрезы структур (упрощены): *а* – Криворожский железорудный бассейн по И.К. Лейчинской и др. [21], *б* – Донецкий каменноугольный бассейн по А.К. Михалеву и М.И. Бородулину [18], *в* – Байкальский рифт по В.П. Солоненко и Н.А.Флоренсову [46], *г* – Курильский глубоководный желоб по Л.М. Марклину [10]. Породы криворожской серии: 1 – верхняя свита, 2 – средняя (железорудная) свита, 3 – нижняя свита; 4 – амфиболиты; 5 – породы архей-протерозойского фундамента; 6 – разрывы и надвиги; 7 – мезокайнозойские отложения; 8 – карбон; 9 – девон и, возможно, ордовик; 10 – поверхность архейско-протерозойского фундамента ; 11 – неоген четвертичное осадочное выполнение рифта; 12 – водный слой; 13 – глубоководные осадки; 14 – океанический фундамент.

Обращает на себя внимание асимметрия палеозойской структуры Донбасса. Участие в его образовании разломов и другие особенности разреза достаточно убедительно свидетельствуют о возникновении и формировании этой структуры по схеме, изображенной на рис. 2.2, в режиме растяжения. Наблюдающиеся усложнения структуры, в частности, серия надвигов, являются результатом последующих тектонических деформаций, протекавших в режиме сжатия.

На рис. 2.3,*в* приведен разрез Байкальского рифта по В.П. Солоненко и Н.А. Флоренсову. Из рисунка следует, что формирование молодых (N+Q) рифтовых структур также происходит по схеме, изображенной на рис. 2.2.

Таким образом, оказывается все рассмотренные выше *континентальные* структуры формировались по единой схеме, простейшая модель которой изображена на рис. 2.2. Вывод об однотипности формирования континентальных структур типа геосинклиналей нельзя считать общепринятым. Вместе с тем, он не нов. Многие исследователи уже приходили к нему с несколько иных позиций. Так, например, А.Т. Грачев и В.С. Федоровский [7], со ссылкой на ряд других исследователей, подчеркивают общность таких структур, как рифты, авлакогены и геосинклинальные троги. В частности, они считают, что замечательной особенностью рифтов, авлакогенов и трогов является конседиментационый характер самих структур (как правило асимметричных), а также – ограничивающих их разломов, что развитие подобных структур, несомненно, *не является особенностью каких-то отдельных этапов в развитии Земли, скорее оно отражает одну из основных закономерностей тектогенеза*. *Все эти структуры, описанные авторами под разными названиями (рифты, авлакогены, геосинклинальные троги) имеют скорее всего единую природу – “сквозное” развитие в течение геологической истории.* Наблюдаемые отличия в геологическом строении рассматриваемых структур обусловлены особенностями их образования. В частности, непосредственными причинами, приводящими к таким отличиям, являются: глубины проникновения основных разломов в тектоносферу, амплитуды перемещения соприкасающихся блоков и закономерности последовательной смены режимов растяжения и сжатия.

Выше были рассмотрены структуры континентального типа. В пределах океанов подобными им структурами являются *глубоководные желобы с сопутствующими им островными дугами или прибрежными горными сооружениями*. Рассмотрим природу тектонической пары: глубоководный желоб – основная дуга. Вопрос об отождествлении этой пары с геосинклинальными структурами ставился еще Огом (1907) и достаточно детально изучался Ж. Обуэном на примере Зондских островов [22]. Зондские острова представлены двойной основной дугой: одна из них внутренняя – вулканическая, вторая – внешняя, не вулканическая, по обе стороны которой расположены две серии впадин – внутренняя (между островными дугами) и внешняя (с погруженной стороны внешней дуги). Анализируя приведенные выше особенности геологического строения Зондских островов и стадии развития альпийской геосинклинали эллинид, Ж. Обуэн приходит к выводу об их определенной сопоставимости.

Попробуем проверить этот вывод на примере детально изученного сейсморазведкой Курильского глубоководного желоба, вертикальный разрез которого приведен на рис. 2.3,*г*. Наряду с общеизвестной асимметрией поперечного профиля желобов обращает на себя внимание следующее. В приокеанском склоне желоба под толщей осадков (мощностью 600-700 м) устанавливается наличие океанического фундамента, представленного серией уступов, вытянутых по простиранию желоба и последовательно в виде мелких ступеней опускающихся по разломам к оси желоба. На рис. 2.3,*г* видна интересная особенность разреза: *каждая гипсометрически более нижняя ступенька структурно чуть вздернута по отношению к более высокой ступеньке; в совокупности они образуют погружающуюся взбросовую (а не сбросовую) лестницу [10]*. Последовательное погружение блоков фундамента свидетельствует о формировании структуры в режиме растяжения, а взбросовый характер взаимоотношений соседних блоков – о режиме сжатия. Кажущееся противоречие разрешается очень просто. Начальная стадия формирования желоба происходит в режиме растяжения тектоносферы Земли и реализуется в виде системы субвертикальных уступов. В последующие периоды при смене режима растяжения на режим сжатия происходит смена относительных направлений перемещений блоков. Таким образом, можно констатировать, что глубоководные желобы представляют собой современные рифтоподобные структуры на океанах, проходящие те же самые стадии развития, что и аналогичные структуры на континентах. В основе их лежит модель, изображенная на рис. 2.2., при этом сопутствующие им островные дуги соответствуют приподнятым к краям блоков.

Подводя итоги анализа особенностей формирования рассмотренных выше структур можно констатировать, что *геосинклинали, геосинклинальные строги, авлакогены, рифты и глубоководные желоба в сочетании с островными дугами на протяжение всей истории геологического развития Земли образовывались по единой схеме, простейшая модель которой приведена на рис. 2.2. [38]*. Свои особенности они приобретали в процессе последующего формирования в результате последовательной смены режимов растяжения и сжатия. Следовательно, чем древнее структура, тем больше вероятность ее осложнения последующими тектоническими деформациями. Этот вывод свидетельствует о том, что нет серьезных оснований подчеркивать резкую разницу в образовании обсуждаемых структур. Точно так же нет оснований противопоставлять образование этих структур на коре контенинтального или океанического типов.

В заключение подчеркнем, что приведенные выше выводы весьма важны для теоретической геотектоники, но они приобретают реальное

значение только при условии, если будут известны: механизм разломообразования в тектоносфере и законы, управляемые относительными перемещениями блоков по разломам. *Такую возможность представляет Новая ротационная гипотеза структурообразования.*

О траектории перемещения полюса вращения Земли по ее поверхности. Полюсами вращения Земли или географическими полюсами называют точки пересечения оси вращения Земли с ее поверхностью. В настоящее время известно, что в течение геологической истории развития Земли полюсы меняли свое место, перемещаясь по поверхности Земли. Исходя из того, что в основе Новой ротационной гипотезы структурообразования лежат представления о возникновении деформации тектоносферы в результате ее перемещения относительно оси вращения главным параметром, определяющим величину этих деформаций, является траектория движения полюса по поверхности Земли. Обычно пользуются северным полюсом, выбирая его положение за начало координат, а направление осей – в связи с направлением перемещения полюса.

Положение северного географического полюса и траектория его перемещения по поверхности Земли по данным астрономических наблюдений [8 и др.] сравнительно точно известны только с 1890 г. (с меньшей точностью – с 1846 г.). Известный фрагмент траектории полюса представляет собой сложную петлеобразную кривую с достаточно четко выраженной циклической составляющей с периодом порядка 1 года (1 и 1,2 года). К сожалению, время, в течение которого нам известна траектория движения географического полюса, в масштабе геологической шкалы времени несоизмеримо мало, а, следовательно, наблюдаемые закономерности не могут быть перенесены на древние геологические эпохи.

Существует другой путь косвенного определения траектории движения географического полюса с помощью данных о положении палеомагнитных полюсов. Это весьма не простой путь, но по-видимому, в настоящее время он единственно возможный. Рассмотрим принципиальный аспект этого вопроса.

Представления о положении геомагнитных полюсов в предыдущие геологические эпохи получают из палеомагнитных данных. Координаты палеомагнитных полюсов вычисляются исходя из гипотезы центрального осевого магнитного диполя Земли. Следствием такого подхода является теорема, что *среднее положение геомагнитного полюса за промежуток времени порядка 10^4лет должно соответствовать географическому полюсу*. Эта теорема эмпирически подтверждается специальными исследованиями [53,54] и непосредственно следует из ротационной

модели магнитного поля Земли [48]. При палеомагнитных исследованиях, как правило, в каждой точке наблюдения отбирается ряд образцов, возраст которых изменяется в пределах десятков тысяч и более лет. Средний виртуальный полюс, вычисленный по такой коллекции, будет свободен от влияния древних вековых вариаций, период которых 10^4 лет и менее. Одним из основных источников погрешности в определении положения палеомагнитных полюсов на поверхности геоида является влияние недипольной компоненты палеомагнитного поля геологической эпохи, для которой производится это определение. Если исходить из представления о том, что в течение геологической истории развития Земли недипольная компонента земного магнитного поля последовательно усложнялась, то современную разницу направлений магнитной оси и оси вращения Земли (11,5°) можно считать близкой к предельной величине отклонения этих направлений. С учетом приведенных выше замечаний надо сделать вывод о том, что ставить вопрос об определении реальной траектории перемещения палеомагнитного полюса по поверхности геоида практически невозможно. Поэтому попытаемся получить представление хотя бы о форме этой траектории для того, что бы использовать ее в качестве формы траектории перемещения географического полюса по поверхности Земли. С этой целью воспользуемся известными положениями палеомагнитных полюсов в различные геологические эпохи, полученными в результате палеомагнитных определений в пределах Восточно-Европейской платформы (рис. 2.4,*а*).

На рис. 2.4,*а* видно, что палеомагнитные полюсы в фанерозое образуют на поверхности геоида сложные сочетания, концентрируясь в “облака”. По ним обычно проводят “кривые миграции полюсов”, в общем случае отражающие общие тенденции их перемещений, а не реальные траектории. Г.М. Стовас были рассчитаны средние положения полюсов по периодам (рис. 2.4, б). Полученный график изменения среднего положения полюсов также нельзя считать траекторией движения полюса по поверхности геоида, т.к. в интервалах между средними значениями путь полюса остается неизвестным. Тем не мение, из этого графика следует важный вывод: *перемещение полюса по поверхности геоида в ранние геологические эпохи было не монотонным в одном направлении, а сложным петлеобразным*.

Некоторые представления о форме траектории палеомагнитного полюса дает траектория Северного полюса, вычисленная по специальной программе О.М. Русаковым по данным, полученным в пределах Восточно-Европейской платформы для *мезозоя* (рис. 2.4,*в*). Обращает на себя внимание сложный *петлеобразный* характер траектории несколько напоминающую собой греческую букву $\varkappa$ (каппа).

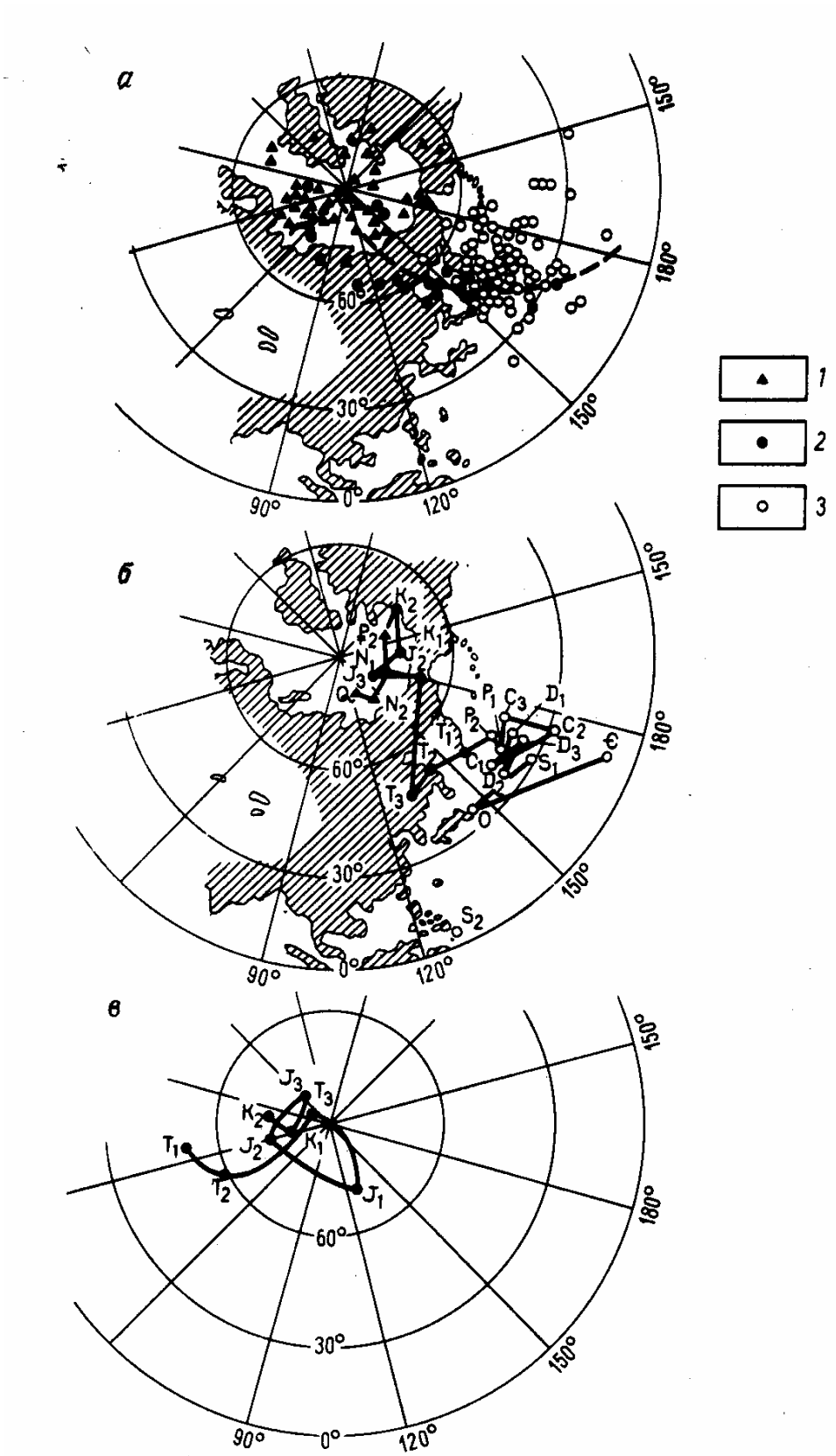


Рис. 2.4. Положение полюсов в различные геологические эпохи: *а* – по данным палеомагнитных определений на Восточно-Европейской платформе по А.Н. Храмову и др.,1971 (штриховая линия – кривая миграции полюсов); *б* – средние положения полюсов, в различные геологические периоды, вычеслинные Г.М. Стовас по указанным выше данным; *в* – траектория северного полюса в мезозое, вычисленная О.М. Русаковым. Полюсы: 1 – кайнозойские, 2 – мезозойские, 3 – палеозойские.

По-видимому, такие петлеобразные участки траектории являются результатом сложения монотонной региональной составляющей движения полюса и близких к круговым или эллиптическим периодичеких составляющих. На рисунке проявляются только составляющие с большими периодами порядка десятков миллионов лет.

Еще сложнее определить траекторию движения полюса в докембрии. Главная трудность состоит в очень ограниченном количестве палеомагнитных данных и значительно большем интервале времени. В 1972 г. на XXIV сессии МГК Г.Сполл демонстрировал кривые перемещения палеомагнитных полюсов в докембрии, полученные по результатам палеомагнитных измерений в Северной Америке и Африке. При этом, возраст пород изучаемых образцов определялся радиоактивным методом (рис. 2.5). Приведенные на рис. 2.5 кривые, вряд ли можно назвать траекториями движения полюса, но для наших целей важно подчеркнуть, что автор независимо приходит к выводу о их петлеобразном характере.

В заключение краткого обзора состояния проблемы определения траектории перемещения полюса по поверхности Земли можно констатировать следующее:

1. В настоящее время исходных данных для построения реальной траектории перемещения полюса в течение всей геологической истории Земли недостаточно.

2. По совокупности известных нам результатов определения положения полюсов на поверхности геоида, часть из которых приведена выше, представляется, что форма поступательной компоненты перемещения полюса должна иметь вид, приведенный на рис. 2.13,а сплошной линией. Вид траектории, осложненной циклическими компонентами без учета их порядка на рисунке условно показан штриховой линией.

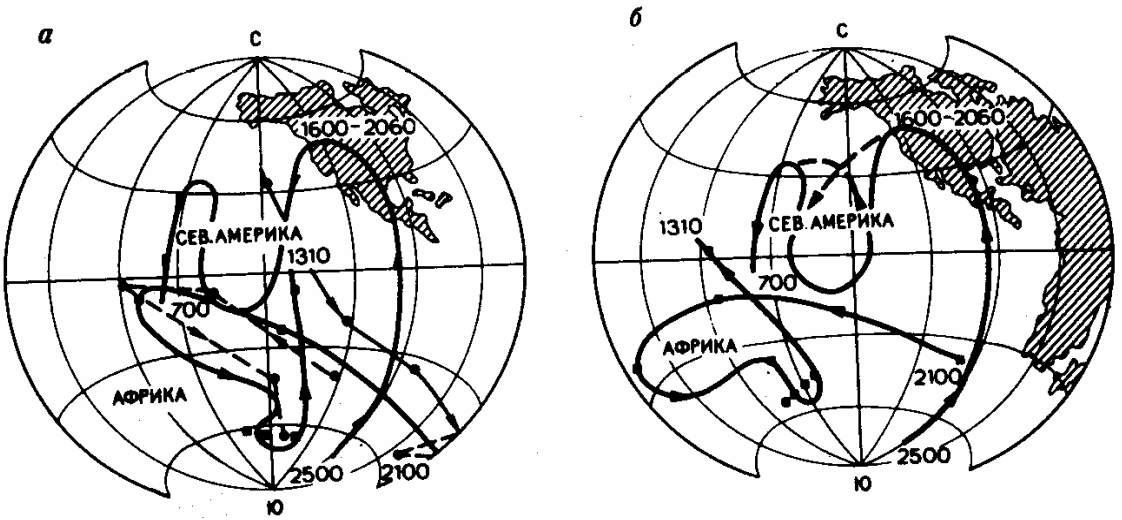


Рис. 2.5. Предполагаемые траектории движения полюса в докембрии, построенные Г. Споллом [57]: *а* – по данным Мак Элхини и др., *б* – по даным Булларда и др. Цифры на рисунке – радиометрический возраст образцов пород, использованных для определения положения полюсов.

Можно добавить, что этих представлений вполне достаточно для обоснования Новой ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере. Более подробно возможность решения проблемы определения траектории движения полюса по поверхности Земли, имеющей чрезвычайно важное значение для теоретической геотектоники, рассматривается в заключительной части монографии.

2.2. Физическая сущность Новой ротационной гипотезы структурообразования

При перемещении оси вращения относительно тела Земли ее фигура должна меняться, приспосабливаясь к новым условиям ротационного режима. Надо полагать, что в действительности дело обстоит наоборот – меняет свое положение Земля по отношению к практически неподвижной в пространстве оси вращения. Тем не мение, для удобства изложения будем пользоваться первым представлением. Физическая сущность явления от этого не меняется. Рассмотрим механическую сторону влияния изменения положения вращения Земли на возникающие в тектоносфере напряжения, приводящие к ее деформациям. На рис 2.6,*а* схематически изображены два контура Земли в плоскости перемещения ее оси вращения, соответствующие одинаковой угловой скорости вращения Земли, но разному положению оси ее вращения, отличающемуся на некоторый угол α. Штриховой линией показано первоначальное положение Земли, а сплошной – новая фигура Земли, приспособленная к новому положению оси вращения в более позднее время. С целью улучшения наглядности рассматриваемого явления сжатие Земли на рисунке показано резко увеличенным.

Роль поступательной компоненты перемещения оси вращения Земли, обусловливающей возникновение напряжений в тектоносфере. Довольно строгую *качественную* картину распределения напряжений, обусловленных поступательным перемещением оси (полюсов) вращения можно получить для дифференциально малых значений угла α. В этом случае, в соответствии с законом Гука, возникающие в упругом теле напряжения пропорциональны деформациям. Следовательно, в приповерхностном слое упругой Земли возникают напряжения, распределение которых показано на рис. 2.6,*а*. В двух противоположных квадрантах, в направлении которых происходит перемещение полюсов, образуются зоны сжатия, в двух других – зоны растяжения. Принимая величины напряжений пропорциональными деформациям, можем получить в первом приближении качественную картину их распределения. Из рис. 2.6,*а* следует, что, например, в зоне растяжения с удалением от оси вращения (точка 0) напряжения возрастают.

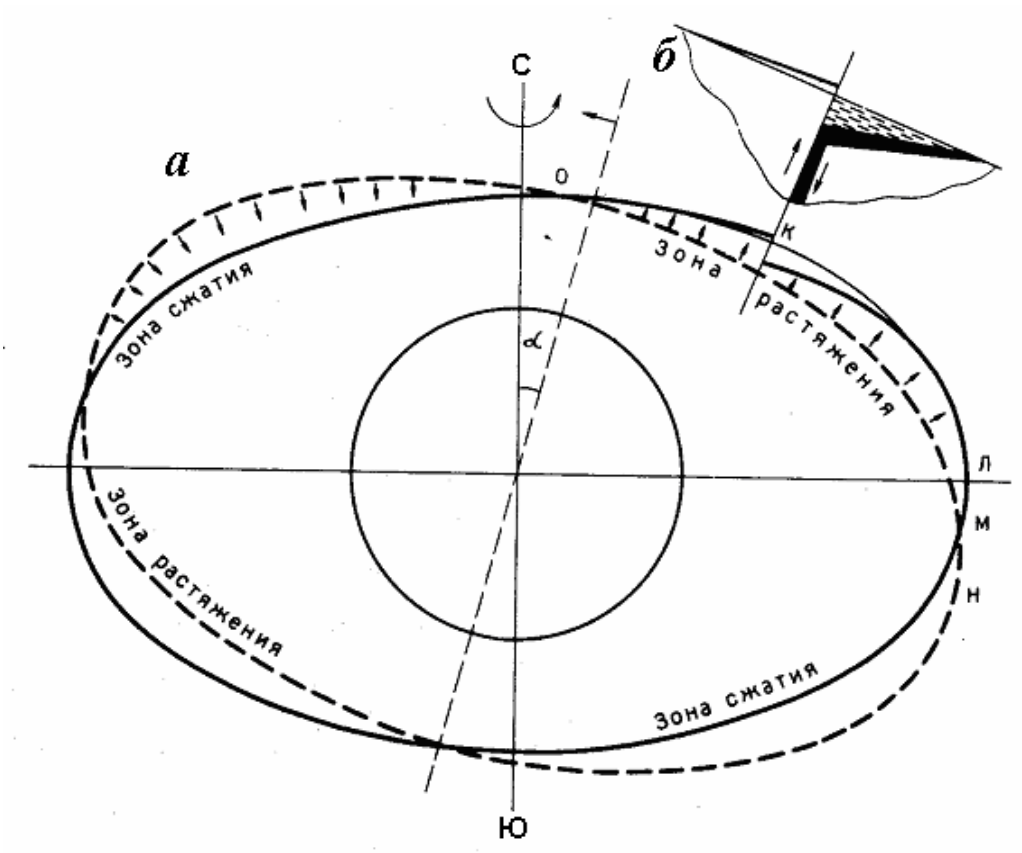


Рис. 2.6. Схема распределения напряжений в тектоносфере, возникающих в результате поступательного перемещения оси вращения.

С увеличением угла α интенсивность этого возрастания будет также увеличиваться. Это увеличение будет происходить до тех пор пока они при некоторой критической величине угла $\alpha = \alpha_k$ не достигнут значений предела прочности пород верхней части тектоносферы в некоторой точке *К*. При последующем увеличении угла α должна произойти разрядка накопившихся напряжений. Она заключается в возникновении глубинного разлома и такому перемещению по нему блоков тектоносферы, при котором вновь достигается равновесное состояние Земли (геоизостазия). При этом внешние контуры отдельных блоков тектоносферы будут располагаться вблизи поверхности равновесия (на рис. 2.6,*а* – сплошная тонкая линия). Другими словами, возникает ситуация, соответствующая описанной выше модели формирования структур типа геосинклиналей на жестком основании, предложенной ранее Дж. Муди и М. Хиллом [56] на основе обобщения фактических геологических данных. Она показана на выносном сечении (рис. 2.6,*б*).

Разрядка напряжений, возникающая в тектоносфере при определенных значениях угла α_k , приводит к тому, что в точке *К* накопленные напряжения снимаются, а в остальных частях рассматриваемого квадранта тектоносферы – частично сохраняются и при

последующем увеличении угла α в определенных точках вновь достигают значений, равных пределу прочности пород тектоносферы. Так возникает серия широтных разломов тектоносферы, ориентированных в направлении перпендикулярном поступательному перемещению полюсов по поверхности Земли. Область возникновения этой серии разломов – центральная часть дуги рассматриваемого квадранта. Следует заметить, что в нижней половине дуги направления относительных перемещений блоков противоположны направлению их в верхней половине.

Подобный анализ распределения напряжений в сечении Земли, перпендикулярном рассмотренному выше, приводит к выводу о том, что в результате их разрядки возникает серия разломов тектоносферы, ориентированных в меридиональном направлении. Следовательно, результатом разрядки поля напряжений, обусловленных перемещением оси вращения Земли относительно ее поверхности, является система блоков тектоносферы, образованных разломами двух взаимно перпендикулярных направлений, отстоящих друг от друга на определенных, достаточно выдержанных расстояниях.

На рис. 2.7,*а* показана теоретическая модель блокировки одного из квадрантов гомогенной тектоносферы, находящегося в режиме растяжения. Условными знаками (плюс и минус) показано направление относительного вертикального перемещения блоков по разломам, а стрелками – перекос блоков относительно уровенной поверхности Земли. Нам представляется, что достаточно яркой иллюстрацией справедливости показанной на рис. 2.7,*а* закономерности относительных перемещений блоков по разломам могут служить результаты уровнемерных наблюдений на побережье полярных морей, приведенные на рис. 2.7,*б*.

Обращает на себя внимание четко выраженная дискретность и периодичность изменения скоростей v этих колебаний, которая имеет явно планетарный характер. Заметим попутно, что на рис. 2.7, б, описанное выше явление дифференциальных перемещений блоков в вертикальном направлении наблюдается на фоне глобального “перекоса” уровенной поверхности геоида.

Несмотря на некоторую теоретическую разновременность разрядки накопленных в тектоносфере напряжений в разных частях рассматриваемого квадранта Земли в масштабе геологической шкалы времени ее можно считать практически одновременной, т.е. относящейся к одной геологической эпохе. *Этот акт в дальнейшем будем называть тектонической активизацией Земли*.

Как следует из описанного выше, в основе тектонической активизаци Земли лежит разломообразование в тектоносфере, сопровождаемое сопутствующими геологическими явлениями типа перемещения образованных блоков тектоносферы по разломам и активизация

магматической деятельности тектоносферы, в связи с декомпрессией пород в глубинных ее частях в результате проникновения в них разломов.

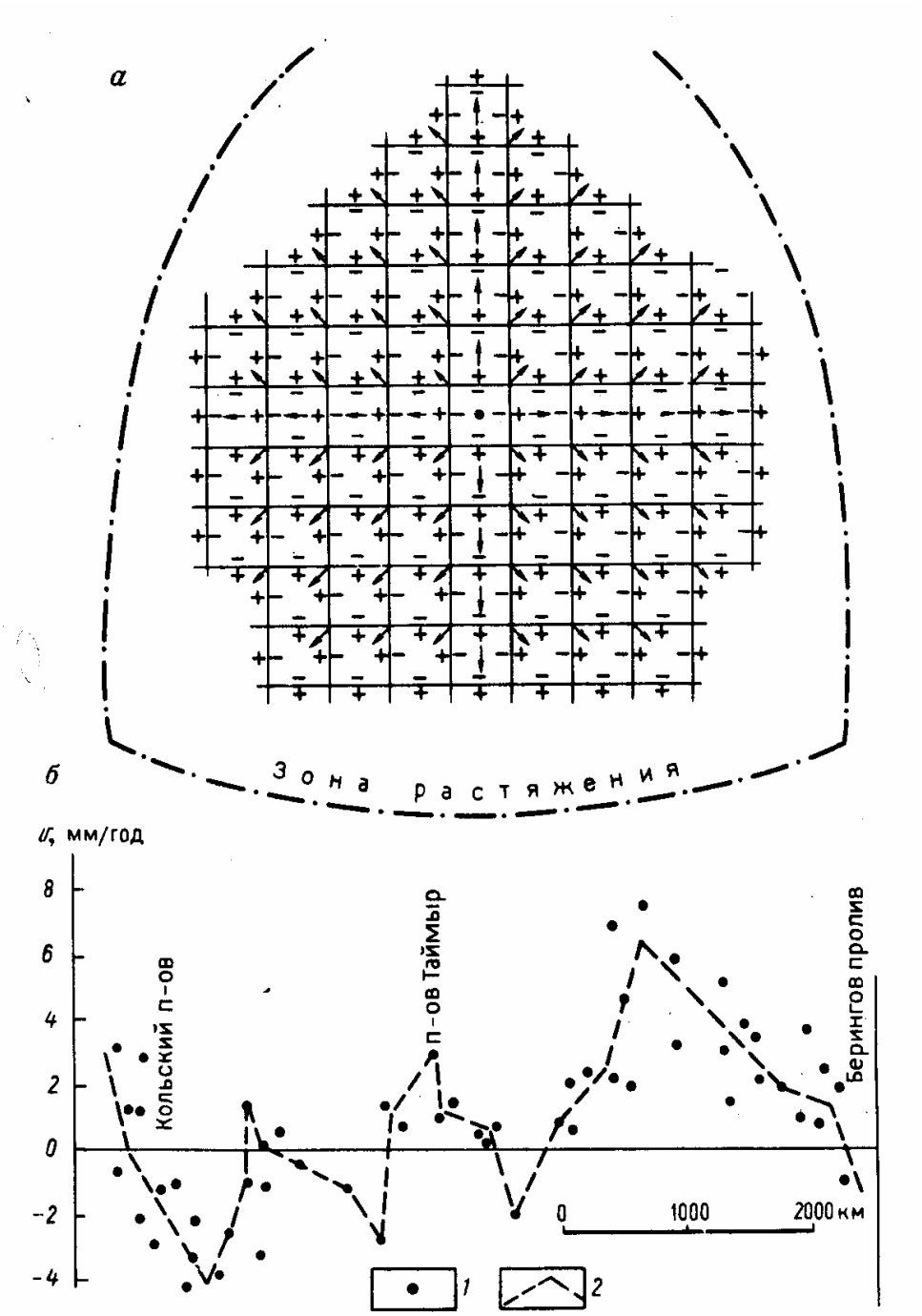


Рис. 2.7. Схема блокировки тектоносферы, обусловленной поступательным перемещением полюсов (*а*) и усредненный продольный профиль вертикальных движений побережья полярных морей по А.А. Никонову, 1976 (*б*): плюс – относительно приподнятый край блока, минус – опущенный край блока. 1 – скорость современных вертикальных движений; 2 – осредненная кривая современных вертикальных движений.

Поэтому вполне оправдано на ряду с термином тектоническая активизация пользоваться термином *тектоно-магматическая активизация Земли*.

За тектонической активизацией Земли следует период относительного покоя. Он характеризуется развитием денудационно-седиментационных процессов, приводящих к пенепленизации активизированных участков земной поверхности и формированием поверхностных структур. Одновременно происходит новое накопление напряжений в тектоносфере в результате продолжающегося перемещения оси вращения вплоть до достижения ими значений, равных пределу прочности пород тектоносферы, вновь приводящих к тектонической активизации. В результате новой активизации в рассмотренной выше зоне растяжения на возникшую ранее сетку разломов тектоносферы накладывается новая, подобная первой, но развернутая по отношению к ней на некоторый угол и смещенная по поверхности Земли на величину углового расстояния численно равное критическому углу α_k.

Угол разворота сеток разломов будет равен разности азимутов поступательных компонент перемещения полюса в соответствующие периоды накопления напряжений (рис. 2.8,*а*). Теоретическое значение угла разворота сеток нам неизвестно, а анализ практических данных по Украинскому щиту свидетельствует о том, что в докембрии он изменялся от 10 до 18°. Из этих же данных следует, что среднее значение критического угла α_k – угловое смещение областей с тектонической активизацией по поверхности Земли так же характеризуется величиной порядка 15°.

Приведем один практический пример, иллюстрирующий описанную выше схему последовательного образования систем разломов тектоносферы.

На рис. 2.8,*б* показаны семь систем разломов, восстановленных А.В. Долицким, В.Н. Луговенко и В.П. Портновой [9] путем интерпретации линейных магнитных аномалий на территории СССР. Каждой из них авторы приписывают определенный возраст, устанавливаемый по совпадению с соответствующим структурным планом тектонических эпох фанерозоя. Не касаясь проблемы достоверности определения возраста систем, отметим ряд важных для наших целей особенностей: 1) выявлено семь систем взаимноортогональных разломов; 2) каждая система, характеризующаяся определенной ориентировкой, имеет свой возраст; 3) области проявления различных систем разные, но перекрываются между собой. Нам представляется, что приведенный пример достаточно убедительно иллюстрирует реальность теоретической схемы, изображенной на рис. 2.8,*а*, особенно, если учесть, что результаты, изображенные на рис. 2.8,*б*, получены независимо и для других целей.

Интервалы времени между тектоническими активизациями достоверно известны только для фанерозоя. Так, например, периоды

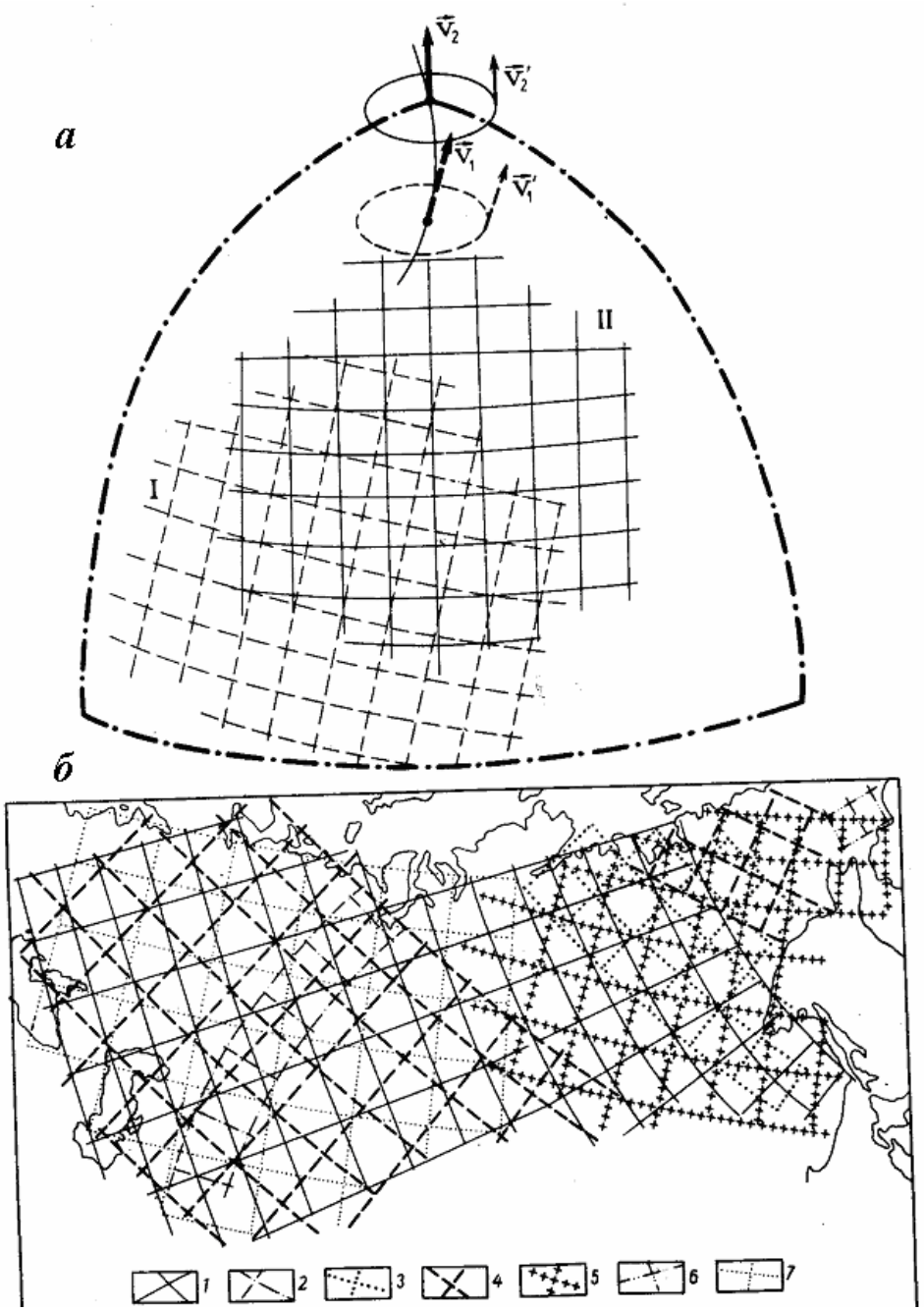


Рис. 2.8. Схема возникновения систем разломов в результате последовательного проявления двух активизаций (*а*) и системы разломов фанерозоя по А.В. Долицкому, В.Н. Луговенко и В.П. Портновой, 1973 (*б*): Системы разломов: 1 – силурийская и совпадающая с ней среднеюрская, 2 – премская, 3 – меловая, 4 – олигоценовая, 5 – средненеогеновая, 6 – верхненеогеновая. $\vec{V}_1, \vec{V}_2$ –поступательные компоненты скорости перемещения полюса; $\vec{V}_1', \vec{V}_2'$ – циклические компоненты скорости перемещения полюса; *I, II* – сетки разломов соответствующих активизаций Земли.

между альпийским и герцинским, герцинским и каледонским орегеническими активизациями соответствуют галактическому году. Интересная закономерность установлена Г.М. Стовас (1973), В.П. Апариным и В.С. Введенковым (1976) – эпохам названных выше тектонических активизаций по данным палеомагнитных определений на

Восточно-Европейской и Сибирской платформах, соответствуют максимальные скорости перемещения полюсов по поверхности Земли. Это очень важная закономерность, по-видимому, связанная с физическими особенностями Земли. Дело в том, что при рассмотрении качественной картины накопления напряжений в тектоносфере Земли за счет поступательного перемещения ее оси вращения Земли мы пользовались моделью упругой Земли. Ближе к реальным условиям модель упруго-вязкой Земли. Качественные картины распределения напряжений для обеих моделей подобны и отличаются между собой тем, что в модели упруго-вязкой Земли, часть возникающих напряжений релаксируется и реальным источником сил тектогенеза выступает оставшаяся разность этих напряжений. Естественно, она оказывается бóльшей при более высокой скорости накопления напряжений. Выше для объяснения физической природы тектогенеза была использована модель упругой Земли, как наиболее простая и не нарушающая существа проблемы. В разделе 4 приведено строгое решение задачи о возникновении напряжений распределений этих напряжений в тектоносфере и условиях их разрядки для модели упруго-вязкой Земли. В данном случае ограничимся приведением полученных в этом разделе выводов.

1. *Достижение величины напряжений в тектоносфере равной пределу прочности слагающих ее пород, зависит не только от углового расстояния перемещения оси вращения Земли, а и от скорости этого перемещения*.

2. *Поскольку одним из условий увеличения скорости перемещения оси вращения Земли может быть сложение компонент перемещения полюсов: поступательной и циклической первого порядка соответствующей периоду обращения Солнечной системы вокруг центра Галактики, то условия, благоприятные для достижения напряжений, превышающих предел прочности тектоносферы, могли иметь место каждый Галактический год*.

3. *Наложение влияний поступательного и циклического перемещений полюса более высоких порядков также может приводить к тектоническим активизациям, но по-видимому, менее интенсивным и более локализованным*.

Последний вывод вытекает из известных фактических данных по фанерозою.

Роль циклических компонент перемещения оси вращения Земли. Особенность циклических компонент состоит в том, что в течение цикла соответствующего порядка вектор скорости перемещения полюса изменяет свое направление в пределах определенных участков земной поверхности практически от 0 до 2π. Следствием этого изменения

являются: во-первых, смена режимов растяжения и сжатия, накладывающихся на режим, обусловленный поступательной компонентой траектории движения полюса, и во-вторых, смена направлений относительно перемещения блоков, также накладывающихся на перемещения, обусловленные поступательной компонентой траектории перемещения полюса. Проиллюстрируем эффект наложения относительных вертикальных перемещений блоков на теоретическом примере.

На рис. 2.9,*б* показан график колебаний глубины бассейна осадконакопления (z), расположенного в пределах опущенного блока. Он соответствует участку траектории движения полюса (рис. 2.9,*а*), состоящей из поступательной компоненты, осложненного петлями высокого порядка (годичными). Приведенный пример иллюстрирует принципиальную сторону проблемы взаимосвязи направленного геологического процесса (в данном случае осадконакопления) усложняющегося влиянием циклических компонент движения полюса. Принятый на рисунке за направленную компоненту участок траектории движения полюса практически является частью дуги траектории более крупного цикла. Она регулирует формирование следующего по порядку цикла или ритма осадконакопления.

Таким образом, цикличность осадконакопления, регулируемая относительными вертикальными перемещениями блоков тектоносферы, оказывается тесно связанной с петлеобразной траекторией движения полюса по поверхности Земли. Причем, так называемым, сезонным прослойкам в осадочной толще соответствуют годичные петли, более крупным ритмам осадконакопления – петли следующих порядков и так далее, вплоть до ярусов, систем и эратем.

В связи с тем, что петлеобразным участкам траектории движения полюса с направлением перемещения, обратным направлению поступательной компоненте движения полюса, соответствуют вертикальные перемещения блоков тектоносферы, противоположные тем, которые привели к образованию осадочного бассейна. Необходимо подчеркнуть два частных случая.

1. Смена направления вертикального перемещения блоков возвращает выступающий блок (источник терригенного материала) на уровень геоида. Такое положение блоков соответствует перерыву в осадконакоплении.

2. Смена направлений вертикального перемещения блоков меняет ролями выступающий относительно уровенной поверхности геоида блок и блок, в пределах которого происходит осадконакопление. Такое положение называют *инверсией тектонического режима*, приводящее к горообразованию и супутствующим ему явлениям.

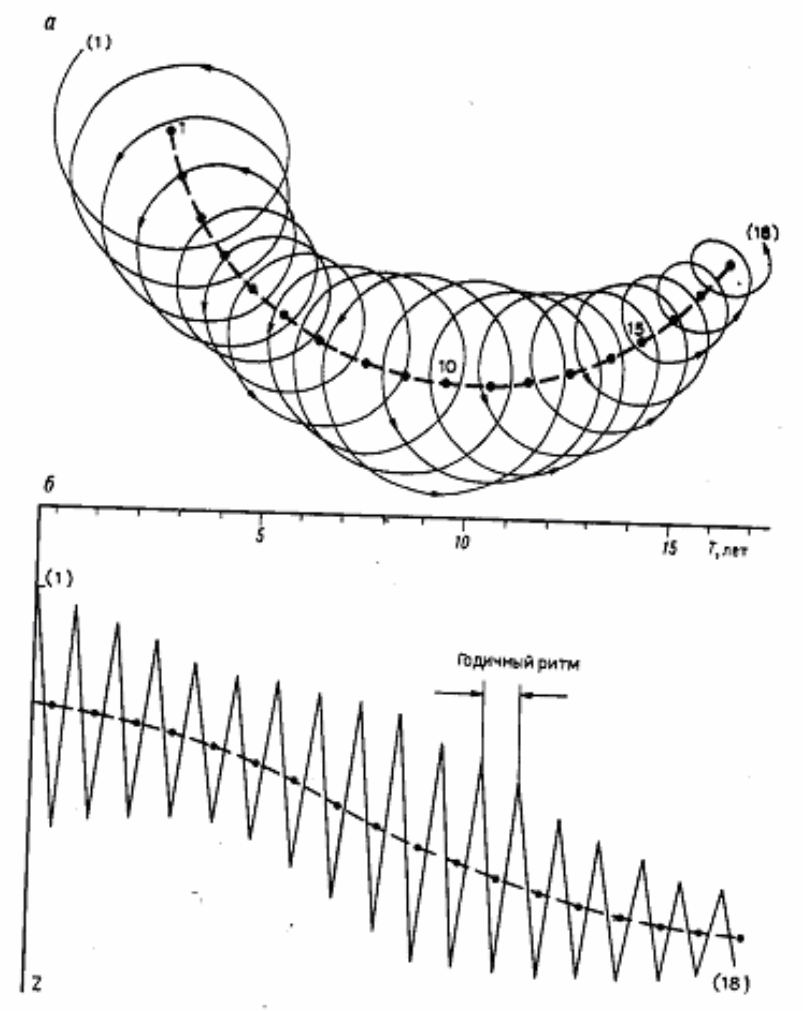


Рис. 2.9. Участок траектории движения полюса (*а*) и соответствующий ему график колебания глубины бассейна осадконакопления (*б*): Цифрами показаны условные годы.

Рассмотрим подробнее роль циклических компонент траектории перемещения полюса при формировании поверхностных структур в пределах двух крупных блоков тектоносферы, разделенных разломом (рис. 2.10).

На рис. 2.10, *а* и *б* изображены начальные стадии формирования структур типа геосинклиналей по схеме Дж. Муди и М. Хилла, отличающиеся друг от друга положением и направлением перемещения полюса вращения Земли. Рассмотрим поведение блоков при смене режима *растяжения* режимом *сжатия*. В зависимомсти от положения оси вращения по отношению к изучаемой структуре возможны два варианта. Первый из них (рис 2.10,*в*) соответствует случаю, когда положение оси вращения Земли остается неизменным по отношению к изучаемой структуре, а направление ее перемещения меняется на обратное, а второй (рис. 2.10,*г*) – когда положение оси вращения Земли и изучаемая структура меняются между собой местами, а направление перемещения

оси вращения Земли остается тем же самым, что и в начальную стадию образования структуры.

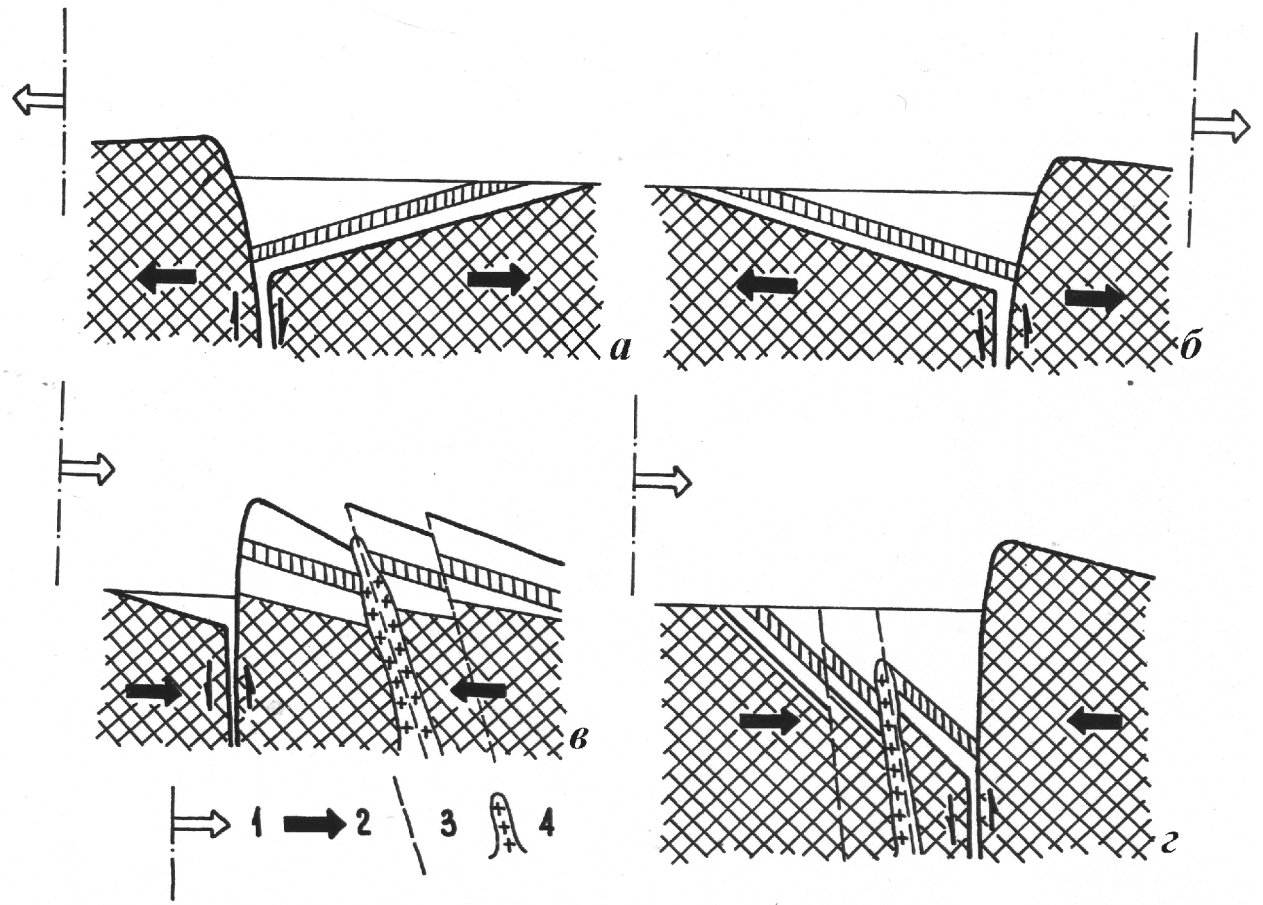


Рис. 2.10. Элементы формирования структур геосинклинального и орогенного типов в условиях последовательной смены режима растяжения на режим сжатия: 1 – положение и направление перещения оси вращения Земли по отношению к изучаемой структуре; 2 – горизонтальная составляющая вектора ротационных напряжений в тектоносфере; 3 – разрывные нарушения; 4 – полингенные гранитоиды

В первом варианте смена направления перемещений блоков тектоносферы приводит к инверсии тектонического режима, в результате которой осадочный бассейн превращается в ороген. Это превращение осуществляется на фоне горизонтальных сжимающих усилий, приводящих к формированию асимметричной чешуеобразной надвиговой структуры. Образованию отдельных чешуй способствует гетерогенное блоковое строение основания структуры, а их взаимному надвиганию – горизонтальная компонента ротационных напряжений. Кроме того, тепловая энергия трения при относительном перемещении отдельных частей структуры в режиме сжатия вызывает явление палингенеза поверхностных, преимущественно кислых образований. Достижению высоких температур способствует наличие хорошей теплоизоляционной

покрышки, состоящей из осадочных образований. Так возникает гранитоидный магматизм. Описанная выше схема свойственна всем структурам фанерозоя, претерпевшим инверсию тектонического режима. Типичным примером таких структур является Кавказ.

Во втором варианте под действием горизонтальной составляющей ротационных напряжений в тектоносфере формируются асимметричные структуры синклинорного типа с крутыми углами наклона осадочно-вулканогенных образований, характеризующиеся чешуйчатым строением и надвиговой тектоникой. По этой схеме формируется большая часть докембрийских структур, сложенных железорудными образованиями на Украинском щите. Типичным примером таких структур является известный Криворожский железорудный бассейн (см. рис. 2.3,*а*). К изложенному выше можно добавить: по-видимому, при формировании чешуйчато-надвиговой структуры криворожского типа, происходящей в режиме сжатия, наблюдаются явления палингенеза участвующих в этом пород, аналогичные наблюдаемым в орогенических структурах (первый вариант). Свидетельством этого могут служить гранитоиды, *неожиданно* (впервые за столетнюю историю изучения бассейна) встреченные сверхглубокой скважиной в цетре Кривбасса. Загадочное (?) появление этих гранитоидов вполне укладывается в изложенную выше схему формирования бассейна.

Роль горизонтальной составляющей ротационных напряжений в тектоносфере при формировании тектонических структур. Выше описано участие горизонтальной составляющей ротационных напряжений при формировании чешуйчато-надвиговых структур геосинклинально-орогенного типа. Этим далеко не ограничивается их роль. Под действием горизонтальной компоненты ротационных напряжений в тектоносфере образуются *сдвиги* вдоль крупных разломов и *трансформность* самих разломов. Рассмотрим это подробнее.

В настоящее время можно считать установленным наличие горизонтальных перемещений вдоль многих, преимущественно крупных глубинных разломов. Первоначально эти смещения определялись визуально геологическими методами. Позже для этих целей стали привлекать геодезические методы, позволяющие получать данные о направлениях и скорости этих смещений в современную эпоху. Наиболее изученным горизонтальным сдвигом в мировой практике считается разлом Сан-Андреас в Калифорнии, послуживших одним из примеров, на базе которого Дж. Муди и М. Хилл разработали теорию возникновения сдвиговых деформаций в условиях гомогенной тектоносферы [56].

В рамках рассматриваемой нами геотектонической концепции возникновение горизонтальных сдвигов можно представить следующим образом (рис. 2.11,*а*). Горизонтальные сдвиги вдоль разломов могут иметь

место в областях тектоносферы, находящихся в режиме сжатия. Сдвиг происходит под действием суммарной горизонтальной компоненты сжатия данного участка тектоносферы. Величина сдвига определяется проекцией суммарной компоненты на направление изучаемого разлома. Поле напряжений действует на всю серию ранее возникших разломов, но его разрядка (сдвиг) происходит по наиболее крупному из них, проникающему на бóльшую глубину в мантию. Вдоль такого рода разломов наблюдается минимальная механическая связь между разделяемыми ими блоками тектоносферы. Разрядка горизонтальных напряжений по разлому приводит к снятию или, во всяком случае, к значительному ослаблению напряжений в пределах соседних разломов этой серии. Вследствие этого, горизонтальные перемещения по ним происходить не будут или амплитуды их будут весьма малы. Так осуществляется обособление горизонтальных сдвигов вдоль крупных глубиных разломов.

В рассматриваемом процессе должны участвовать разломы всех систем, возникших ранее, но их роль в значительной мере определяется взаимоотношением порядков разломов. В частности, опыт изучения известных разломных структур свидетельствует о том, что сдвиговая компонента напряжений вдоль крупного разлома трансформируется в сдвиги по разломам с азимутами простирания ближайшими к основному и участвуют в формировании т.н. вторичных структур (на рис. 2.11,*а* это показано штриховыми линиями со стрелками). Этот процесс достаточно хорошо виден на примере современного сдвига вдоль Криворожского глубинного разлома, происходящего в режиме сжатия (рис. 2.11, *б*). Надо полагать, что аналогичная ситуация в распределении напряжений была в докембрии, в эпоху формирования Криворожской структурно-фациальной зоны. Под действием компоненты перпендикулярной к осевой линии этой зоны формировалась основная ее структура по схеме, изображенной на рис. 2.10,*г*, а под действием продольных компонент образовались кулисообразно расположенные по отношению к осевой линии вторичные структуры (см. рис. 2.11,*б*).

С процессом формирования латеральных сдвигов тесно связано образование т.н. *трансформных* разломов. Понятие о трансформных разломах, установленных в акваториях океанов, впервые ввел Дж. Уилсон [61]. Главными особенностями трансформных разломов считаются: 1) наличие вдоль них участков поперечного смещения; 2) эти смещения объясняются результатом неодинаковой скорости спрединга морского дна по разные стороны от основного разлома (рис. 2.12,*а*). Второе условие определяется не непосредственно, а является результатом интерпретации геофизических данных.

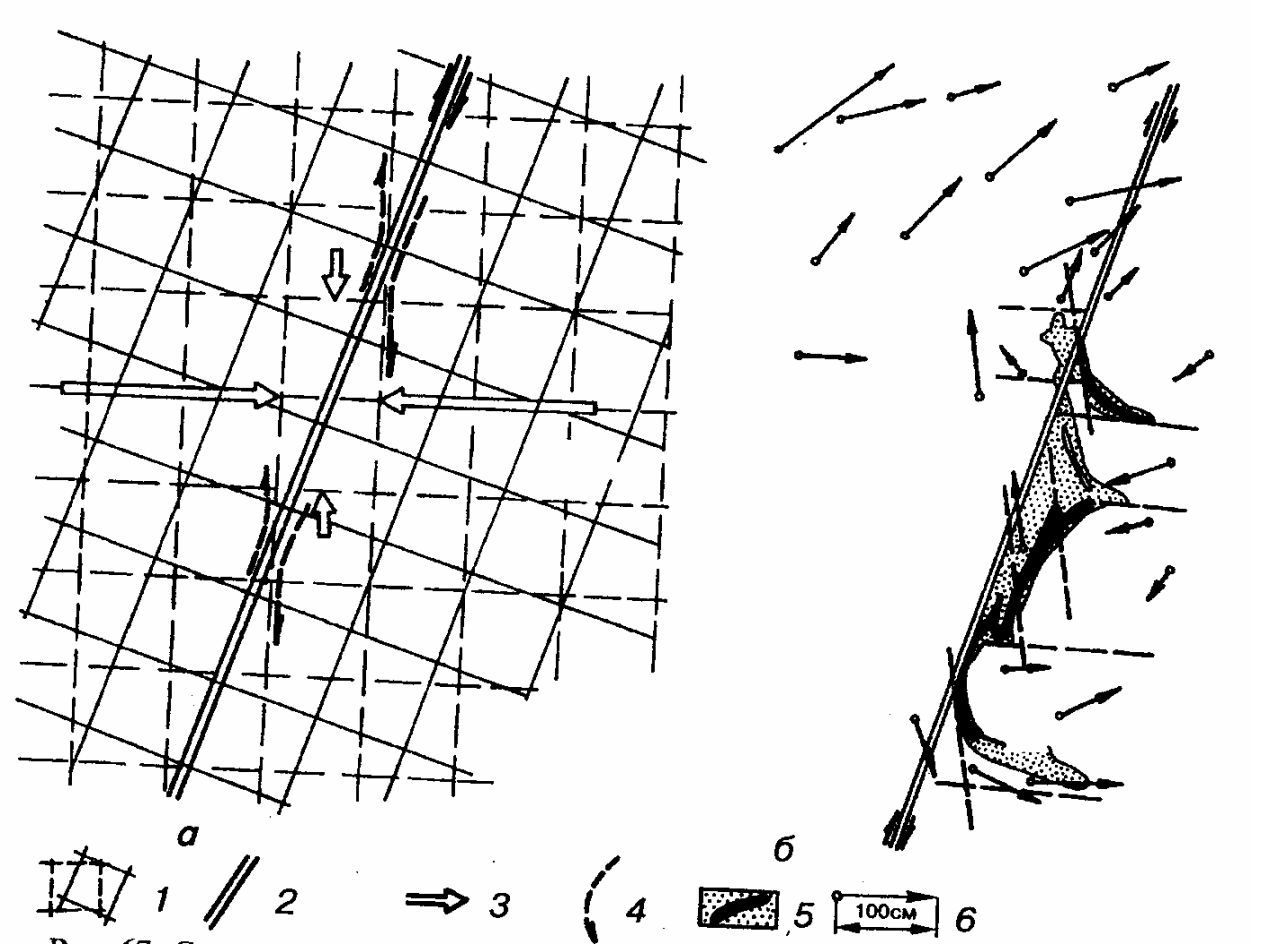


Рис. 2.11. Схема образования латеральных сдвигов (*а*) и современный сдвиг вдоль Криворожского глубинного разлома (*б*): 1 – разломы ранее возникших систем; 2 – крупный разлом, вдоль которого происходит сдвиг; 3 – горизонтальные составляющие (меридиональная и широтная) ротационных напряжений в тектоносфере; 4 – вторичные, кулисообразно расположенные структуры; 5 – породы Криворожской структурно-фациальной зоны; 6 – векторы современных горизонтальных смещений триангуляционных пунктов за 21 год (в масштабе).

Представляется, что трансформные разломы формируются также под действием поля ротационных напряжений, характеризующегося последовательной сменой режимов сжатия и растяжения. При этом в режиме сжатия происходят относительные поперечные смещения отдельных фрагментов изучаемого разлома вдоль сети ранее возникших разломов, а в режиме растяжения – раздвиг этого разлома и сопутствующие ему геологические явления. Следует отметить, что сторонники концепции тектоники литосферных плит считают трансформные разломы специфической особенностью срединно-океанических хребтов и используют их в качестве доказательства спрединга дна океанов и дифференциального перемещения литосферных плит. Большая часть изученных нами [41,42] глубинных разломов на Украинском щите – типично континентальной области – имеют черты, свойственные трансформным.

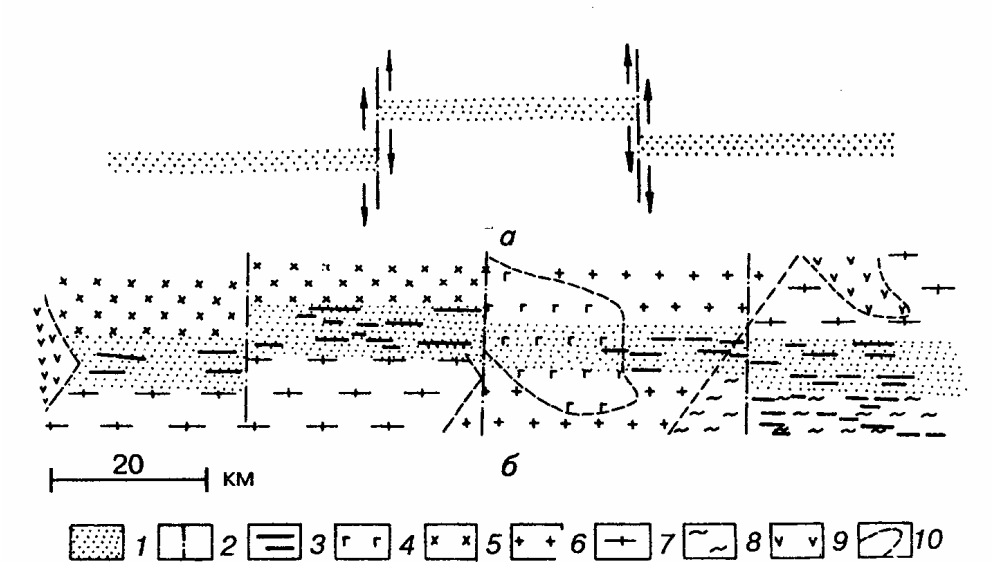


Рис. 2.12. Пример трансформного разлома: *а* – теоретическая модель, *б* – Девладовский разлом Украинского щита: 1 – след разлома на поверхности Земли; 2 – осевые линии поперечных разломов; 3 – порода дайкового комплекса; 4 – габбро-амфиболиты; 5 – мигматиты днепровские; 6 – граниты плагиоклазовые; 7 – мигматиты плагиоклазовые; 8 – мигматиты житомирские; 9 – породы криворожской и конкско-верховцевской серий; 10 – контуры различных комплексов пород.

В качестве примера рассмотрим известный Девладовский разлом. На рис. 2.12,*б* приведена схема проявления этого разлома от Криворожья на восток до излучины р. Днепр. Разлом имеет общее широтное простирание и состоит из серии фрагментов, смещенных относительно друг друга. Азимуты поперечных смещений, к сожалению, установить однозначно пока не удается. На рис. .2.12,*б* осевые линии поперечных смещений разломов приняты условно в направлении перпендикулярном простиранию основного разлома. Тем не менее, первая особенность трансформных разломов налицо. Наличие пород дайкового комплекса в пределах разлома свидетельствует о существовании на определенных этапах его формирования режима растяжения. Другими словами – проявляется вторая особенность, характерная для трансформных разломов. Практически во всех изученных нами на Украинском щите системах разломов [41] имеют место глубинные разломы, характеризующиеся как смещениями осевой линии, так и особенностями, связанными с растяжением тектоносферы. Представляется, что трансформные разломы свойственны не только океанам, но и типично континентальным областям, примером которых может служить Украинский щит.

Небезынтересен вопрос: почему такие разломы не выделялись ранее. Дело в том, что при изучении закрытых территорий геологическими методами практически не возможно установить все особенности пространственных закономерностей разломов. Геофизические методы имеют некоторое преимущество при решении таких вопросов. По-

видимому, не случайно трансформные разломы в океанах и подобные им на Украинском щите выявлены с помощью геофизических методов. Очевидно, в обсуждаемом случае речь идет не о новом классе разломов, а о новых свойствах разломов тектоносферы вообще, выявленные в процессе исследований геофизическими методами.

2.3. Геологический аспект Новой ротационной гипотезы структурообразования

В предыдущем разделе изложена физическая сущность развиваемой нами ротационной гипотезы структурообразования, в основе которой лежат представления о том, что тектонические активизации Земли являются результатом разрядки планетарных напряжений, накапливаемых в тектоносфере в процессе взаимодействия нашей планеты с окружающими ее физическими полями. Особенностью рассматриваемой концепции является известный реальный источник сил и энергии тектоногенеза, а главное, - представления о том, что положение основных структур в тектоносфере, таких как геосинклинали и платформы, материки и океаны определяются не физическими особенностями тектоносферы и тем более, земной коры, а законами распределения названных выше планетарных напряжений. В частности, геосинклинали должны возникать в зонах растяжения тектоносферы и соответствовать положению областей экстремальных значений этих напряжений, разрядка которых должна приводить к образованию глубинных разломов первого порядка. Возникновение разломов первого порядка и относительное перемещение по ним блоков, как показано на выносном сечении рис. 2.6, снимает значительную часть напряжений в окрестностях этого разлома (точка *К*) и хотя последующее накопление напряжений приводит к возникновению целой системы разломов (рис. 2.7), амплитуды перемещения блоков по ним значительно меньше, чем в точке К. Так обособляются геосинклинальные области.

Как уже отмечалось ранее, за время господства концепции геосинклиналей и платформ исследователями во всем мире накоплен огромный объем фактических данных об особенностях геологического строения геосинклинальных структур и истории их развития практически на всех материках. Цель настоящего раздела – воспользоваться накопленным мировым опытом изучения геосинклинальных структур для оценки реальности основных положений Новой ротационной гипотезы структурообразования. Мировой опыт изучения геосинклинальных структур наиболее полно изложен в общей геотектонике В.Е. Хаина [46], а в соответствии с Новой ротационной гипотезой структурообразования формирование геосинклиналей определяется особенностями траектории

перемещения полюса по поверхности Земли. Ниже приведены результаты сопоставления представлений об этапах развития геосинклинальных структур, вытекающих из особенностей поведения траектории движения Северного полюса по поверхности Земли, с результатами реального их развития, заимствованного из монографии В.Е. Хаина [46].

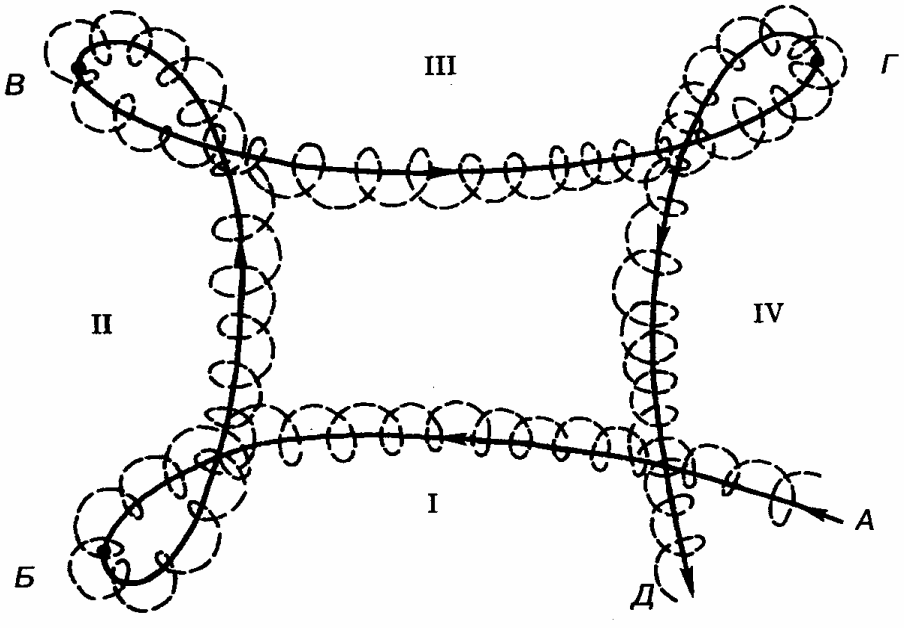
Геосинклинали платформы.

На рис. 2.13,*а* изображен общий вид траектории движения Северного полюса вращения по земной поверхности в течение галактического года какой она представляется в настоящее время по совокупности известных нам данных. Сплошной линией на рисунке показаны основные ветви поступательной компоненты траектории перемещения полюса, штриховой – результат осложнения ее циклическими компонентами. Поскольку в дальнейшем влияние циклических компонент разных порядков в деталях не рассматривается, на рис. 2.13,*а* их порядок не подчеркивается.

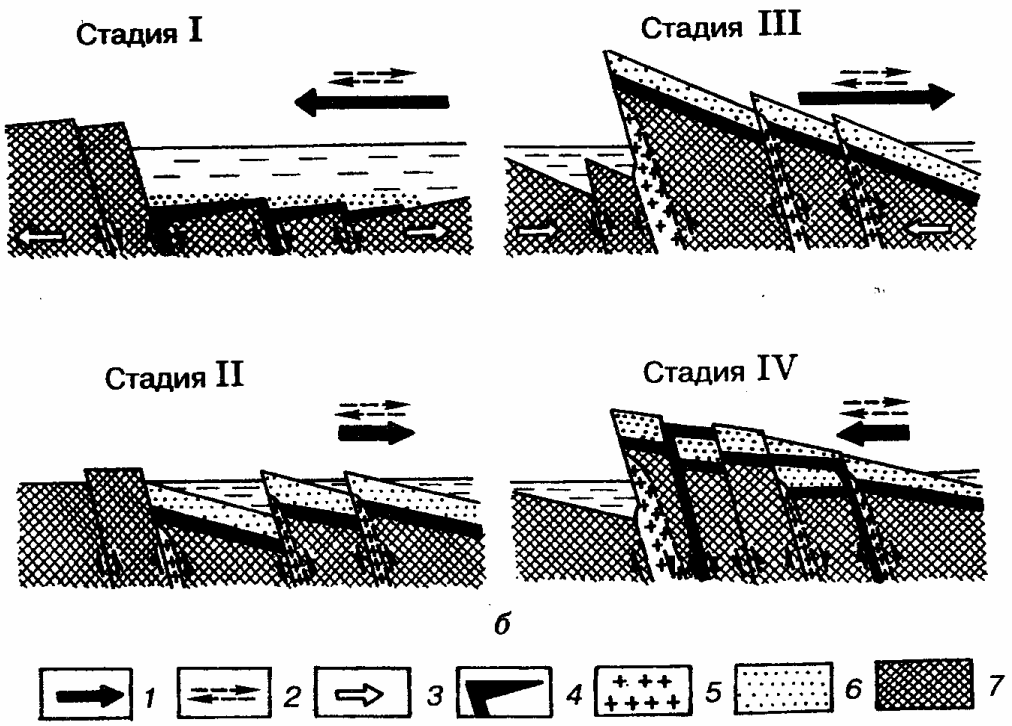
На рис. 2.13,*б* показаны поперечные разрезы геосинклинальных структур, соответствующие разным стадиям их развития. На нем отражены в основном закономерности перемещения блоков тектоносферы и сопутствующие им явления, обусловленные влиянием проекции поступательной компоненты траектории перемещения полюса на направление, перпендикулярное осевой линии формирующейся геосинклинали. Чтобы лучше подчеркнуть эти закономерности, контуры блоков приведены без учета влияния на них процессов денудации.

Стадия I – *ранняя* или стадия *начальных погружений* по В.Е. Хаину [9] соответствует участку АБ траектории движения полюса на рис. 2.13,*а*. Он характеризуется, во-первых, устойчивой по времени проекций поступательной компоненты на направление перпендикулярное осевой линии будущей геосинклинальной структуры, во-вторых тем, что проекции циклических компонент, осложняющих поступательную, периодически меняют свой знак.

Следствием влияния проекции поступательной компоненты является накопление напряжений в тектоносфере и последующая разрядка, приводящая к образованию глубинного разлома и относительного перемещения по нему соседних блоков по схеме, изображенной на рис. 2.2, происходящему в режиме растяжения. Возникновение разлома, проникающего в глубинные области тектоносферы, в результате декомпрессии приводит к частичному плавлению пород в этих областях тектоносферы, итогом которого является подводный вулканизм. Состав магм преимущественно осно́вный, но возможен и ультраóсновный. Он зависит от глубины проникновения разлома в тектоносферу и законов селективного выплавления слагающего ее вещества при высоких температурах и пониженных давлениях. Так образуется офиолитовая формация, встречающаяся в основании геосинклинальных структур.



а



б

Рис. 2.13. Вид траектории движения Северного полюса по поверхности Земли (*а*) и соответствующие ей схемы стадий формирования геосинклинальных структур (*б*): 1 – проекция поступательной компоненты перемещения полюса вращения Земли на направление, перпендикулярное осевой линии формирующейся геосинклинали; 2 – аналогические проекции циклических компонент; 3 – господствующее направление горизонтальных напряжений в тектоносфере; 4 – магматические образования основного или ультраосновного состава; 5 – магматические образования преимущественно кислого состава; 6 – терригенно-хемогенные осадочные образования; 7 – блоки основания.

Это ее иногда рассматривают как реликт бывшей “океанической” коры. В результате денудации соседних выступающих блоков происходит активное осадконакопление осадочных образований. Их минералогический состав зависит от состава денудируемых пород и физико-геологической обстановки в бассейне осадконакопления, формирующегося в пределах серии опущенных блоков. Разность отметок соприкасающихся блоков их отношения к уровенной поверхности геоида регулируется особенностями траектории движения полюса. В частности, устойчивая во времени поступательная компонента движения полюса обеспечивает устойчивое опускание серии блоков в основании бассейна осадконакопления. Циклические компоненты движения полюса приводят к частичной смене направлений относительного перемещения блоков и, таким образом, регулируют цикличность (ритмичность) осадконакопления. Кроме того, влияние циклических компонент траектории движения полюса приводит к нарушению общего режима растяжения, выражающегося в локальных сменах его режимом сжатия. Следствиями этих нарушений могут быть чередование вулканогенных и терригенных образований, а также частичный палингенез пород кислого состава в верхних частях соприкасающихся блоков основания бассейна за счет тепловой энергии, возникающей в процессе перемещения блоков в режиме сжатия.

К концу стадии I роль циклических компонент траектории движения полюса по сравнению с поступательной несколько увеличивается, тем не менее, на стадии I определяющим является процесс направленного опускания блоков основания. К концу стадии I глубинный разлом, с которым связано образование геосинклинали, должен достигнуть максимального проникновения в тектоносферу. По-видимому, с этим этапом связан наблюдающийся в геосинклиналях интрузивный магматизм ультраóсновного состава.

Стадия II – *зрелая* или *предорогенная* по В.Е. Хаину [46] соответствует участку БВ траектории движения полюса на рис. 2.13,*а*. Основной особенностью этого участка траектории является малая величина проекции компоненты поступательного движения полюса на направление перпендикулярное осевой линии формирующейся геосинклинали, на фоне которого приобретают существенное значение проекции циклических компонент траектории движения полюса. Кроме того, в поступательном перемещении полюса существенное значение приобретает проекция на направление осевой линии геосинклинали, по сравнению с ей ортогональной.

Следствием основной особенности траектории движения полюса является замена активного погружения дна бассейна относительными колебательными движениями блоков фундамента и уменьшением

разности отметок между выступающими блоками и уровнем геоида. В результате происходит образование флишевой формации, отличающейся равномерным чередованием тонких слоев. При резком сокращении зон размыва повышается роль карбонатных пород, образующих известковую формацию.

Вторая особенность траектории, соответствующая стадии II развития геосинклинали, обусловливает достаточно активное относительное перемещение блоков по разломам перпендикулярным осевой линии формируемой геосинклинали, что приводит к изменению литологического состава и мощности пород геосинклинали по ее простиранию. Эта же особенность может приводить к образованию магматических формаций, связанных с активизацией поперечных разломов.

Стадия III объединяет *раннеорогенную* и *собственно орогенную* стадии по В.Е. Хаину [46]. Объединенной стадии на рис. 2.13,*а* соответствует участок траектории движения полюса ВГ. Он характеризуется преобладающим влиянием поступательной компоненты движения полюса, определяющей относительные перемещения блоков. По направлению она противоположна проекции, определяющей режим стадии I (рис. 2.13,*б*). В связи с этим циклические компоненты имеют подчиненное значение. Следствием этой особенности является, во-первых, общая инверсия тектонического режима, протекающая в процессе всей стадии III. Начальный этап этой стадии характеризуется появлением выступов отдельных блоков в пределах бассейна осадконакопления, небольшими их отметками и относительно малой скоростью их воздымания, почти равной скорости денудации выступающих блоков. Этому этапу соответствует образование нижней молассовой формации, характеризующейся преобладанием тонкообломочных пород. Циклические компоненты регулируют ее ритмичность. Закладываются передовые и предгорные “прогибы”, в пределах которых образуются угле- и соленосные молассы. На этом этапе эффузивный вулканизм с образованием пород осно́вного состава заметно ослаблен. Начинается формирование плутонов гранитоидного состава, образующих батолитоподобные тела полингенно-анатектонического происхождения. Этот процесс длительный и многофазный. Он заканчивается ближе к концу стадии III.

Наиболее активное горообразование соответствует средней части стадии III. Оно характеризуется максимальной скоростью восходящих движений, опережающих скорость денудации и только частично тормозящихся влиянием циклических компонент траектории движения полюса. Подъем отдельных блоков фундамента и сформированных на них структур осадочной толщи происходит в режиме сжатия и сопровождается образованием надвиговых структур. Одновременно с

ростом горных сооружений идет углубление передовых и тыльных прогибов. Продукты размыва растущего горного сооружения образуют верхнюю молассовую формацию, характеризующуюся более грубообломочным материалом по сравнению с нижней. Магматические образования представлены уже упоминавшимися батолитами гранитоидов и, по-видимому, связанными с ними малыми итрузиями порфировой формации.

Стадия IV, по нашему мнению, включает заключительный этап четвертой стадии и *посторогенную* пятую стадию по В.Е. Хаину [46]. На траектории движения полюса ей соответствует фрагмент ГД (рис. 2.13,*а*), в начале которого расположен небольшой отрезок, характеризующийся наличием поступательной компоненты, приводящей к частичной смене направлений перемещения блоков и смене режима сжатия на режим растяжения. Ему соответствует формирование внутренних впадин и сопутствующий им финальный (по Г. Штилле) базальтовый магматизм. Основной особенностью траектории движения полюса на участке ГД является преобладающее значение поступательной компоненты на направление осевой линии формирующейся геосинклинали по сравнению с проекцией на ортогональное направление. Этой особенностью обусловлены малые относительные вертикальные движения блоков по продольным разломам, регулируемые, в основном, только циклическими компонентами, и более значительные перемещения блоков по поперечным разломам, приводящие к образованию новых наложенных структур типа грабенов. Вдоль разрывов, ограничивающих грабены могут происходить излияния базальтовой магмы. В заключительную стадию IV, иногда называемую *тафрогенной*, происходит активная денудация горных сооружений, а в конечном этоге – выравнивание рельефа и переход к *платформе*.

Приведенное выше сопоставление основных следствий развития структур типа геосинклиналей, вытекающих из особенностей поведения траектории движения полюса в течение одного тектонического цикла с результатами реального изучения этих структур по В.Е. Хаину [46], позволяет констатировать следующее:

1. Основные этапы развития геосинклиналей полностью объясняются с позиций Новой ротационной гипотезы структурообразования. Некоторые расхождения типа объединения и перераспределения стадий их развития носят субъективный характер и не имеют принципиального значения.

2. Траектория перемещения полюса вращения по поверхности Земли является в определенной мере гипотетической, но судя по приведенным выше данным, достаточно близка к реальной. Естественно, требуется ее детальное изучение.

В связи с изложенной выше схемой полного цикла развития геосинклинальных структур интересен ряд следующих вопросов.

1. Насколько геосинклинальные структуры однотипны и все ли они проходят описанные выше стадии?

2. Насколько синхронны тектонические циклы на Земле?

3. Какова роль предыдущих циклов в формировании геосинклинальных структур?

Отрицательный ответ на первый вопрос следует непосредственно из анализа известных синклинальных структур: одни из них проходили стадию инверсии (например, Кавказ), другие – не проходили (например, Кривбасс). Объяснение этого явления с позиций Новой ротационной гипотезы структурообразования приведено в предыдущем разделе.

Касаясь второго вопроса, следует отметить, что с позиций развиваемой концепции разрядка планетарных напряжений, возникающих в тектоносфере в результате изменения положения оси вращения Земли, в масштабе геологического времени происходит практически одновременно, но по разному в различных частях нашей планеты. Режиму растяжения в одних частях соответствует режим сжатия в других (см. рис. 2.6,*а*). Каждый из них в местах активной разрядки приводит к относительному смещению блоков тектоносферы. И, наконец, существуют области относительно спокойной тектонической обстановки, в пределах которых поле ротационных напряжений имеет место, но величина этих напряжений не достигает значений, приводящих к активной разрядке (на рис. 2.6,*а* – область ЛМН). В свете сказанного выше становится понятным кажущееся противоречие в представлениях Н.А. Штрейса [49], А.Л. Яншина [52] – отрицавших существование планетарных орогенических эпох, и справедливость позиции Г.Ф. Лунгерсгаузена [14], который, касаясь противоречий в оценке фаз тектогенеза, писал: *речь никак не идет о постоянстве и выдержанности масштаба явлений. Крупным фазам складчатости орогенных зон могут отвечать на платформах или складчатых областях другого типа и возраста лишь слабые тектонические подвижки, перерывы в накоплении осадков, размывы, наконец, быстрая трансгрессия или регрессия моря, вообще явления, которые при всем их своеобразии и отличительных особенностях нарушают установившийся ход геологической эволюции данной области и образуют по отношению к главным тектоническим фазам оротипических зон или оротипам, строго синхронный комплекс*.

Сложнее ответить на третий вопрос. Дело в том, что в настоящее время наиболее хорошо изучены фанерозойские геосинклинали, но детальный анализ их особенностей, как это будет показано в следующем разделе (2.4) на примере Урала и Кавказа, свидетельствует о том, что формирование герцинских и альпийских структур в ряде случаев

происходило на разломах тектоносферы, возникших еще в докембрии. Вместе с тем, оказалось, унаследование влияния предыдущих эпох тектогенеза, подчиняются единым законам тектогенеза. Они так же будут рассмотрены ниже.

Остановимся на определении и характеристике *континентальных платформ*. Платформы представляют собой крупные глыбы тектоносферы, в пределах которых отсутствуют явно выраженные геосинклинальные системы или их орогенические аналоги. Эти системы обрамляют платформы. С позиции рассматриваемой концепции платформы представляют собой сегменты тектоносферы, в пределах которых в процессе тектонических активизаций ротационные напряжения не превышают определенного предела (на рис. 2.6,*а* это области типа ЛМН). Они характеризуются слабыми относительными перемещениями блоков фундамента и преимущественно изометричной формой поверхностных структур. Поскольку контрастных перемещений блоков фундамента не происходит, складки в чехле платформы имеют пологие формы. Вместе с тем, известно, что в пределах современных платформ (древних и молодых) имел место геосинклинальный процесс, в ряде случаев заканчивавшийся образованием орогенов, впоследствии пенепленизированых. Все известные платформы нарушены серией более молодых грабенов, называемых иногда внутренними “прогибами”, впадинами, авлакогенами, областями автономной активизации и т.д. Их возникновение и пространственное положение также обусловлено разрядкой поля ротационных напряжений, а формирование происходит по тем же самым законам, что и рассмотренных выше геосинклинальных структур [38]. Развитие некоторых из них (например, северо-западная часть Днепровско-Донецкой впадины) заканчивается на стадии авлакогена, а другие (например, Донбасс) претерпевают инверсию тектонического режима. И, наконец, имеют место т.н. *сводово-глыбовые* поднятия, происходящие в режиме сжатия, без прохождения первых двух стадий тектонического цикла и приводящие к *аркогенезу* (по Е.В. Павловскому).

Отличительной особенностью образования всех перечисленных выше платформенных структур является меньшая интенсивность тектонических процессов, а, вследствие этого, несколько иные фациальные условия, слабая выраженность или выпадение отдельных стадий тектонического развития, меньшая глубина проникновения участвующих в формировании разломов и соответствующий этим глубинам магматизм.

Касаясь *платформенного магматизма*, отметим следующие его особенности. Природа возникновения платформенного магматизма аналогичная природе рассмотренного выше геосинклинального. Магмы

основного состава возникают в режиме растяжения тектоносферы в ее глубинных горизонтах в результате декомпрессии. При разрядке ротационных напряжений, а кислого состава – в режиме сжатия, вследствие палингенеза пород верхней части тектоносферы при преобразовании энергии трения блоков в теплоту. Характерный для платформенных областей *трапповый магматизм* аналогичен подводным излияниям базальтовых магм в начальные этапы формирования геосинклиналей. Особенностью платформенного магматизма является также *дайкообразные*. Природа его подобна описанной выше. На рис. 2.14 показано поле даек в пределах достаточно хорошо изученного Канадского щита. Обращаяет на себе внимание наличие нескольких упорядоченных серий даек на значительной части континента. Это свидетельствует о том, что в эпохи образования даек в этой части континента господствовали режимы растяжения. Кроме того, достаточно густая сеть даек иллюстрирует раздробленность верхней части тектоносферы и эта раздробленность носит упорядочный характер.

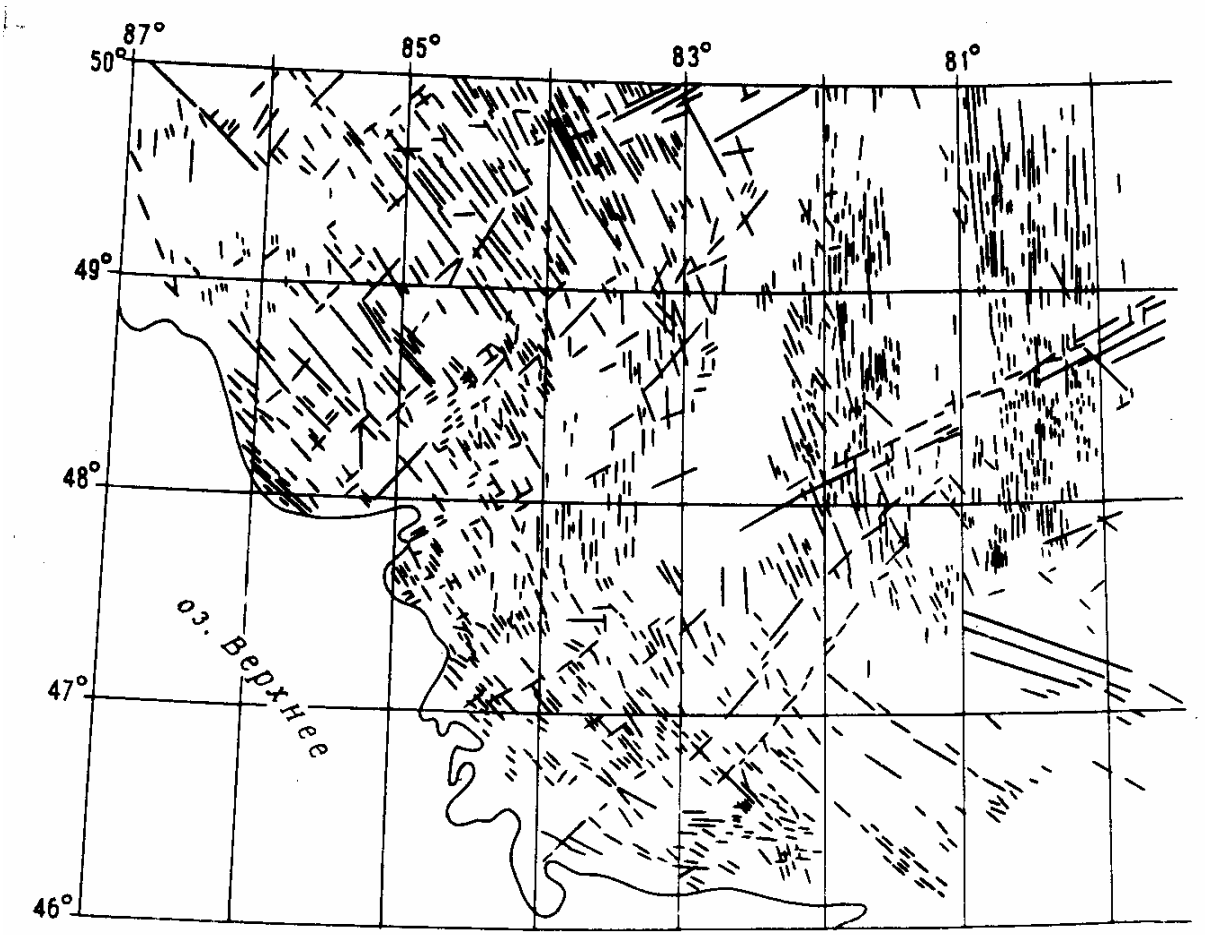


Рис. 2.14. Поле даек диабазов на одном из участков Канадского щита (выкопировка из геологической карты провинции Онтарио, 1971).

Континенты и океаны. Проблема происхождения континентов и океанов – одна из самых древних в науках о Земле. Причем основной загадкой является возникновение океанов, как наименее изученных глобальных структур нашей планеты. Существующие представления о их происхождении достаточно подробно изложены В.Е. Хаиным [46].

Для решения проблемы происхождения океанов необходимо получить ответы, по крайней мере, на приведенные ниже вопросы.

1. *Каков механизм образования океанических впадин*? 2. *Каков механизм образования структур второго порядка в пределах океанов*? 3. *Каковы возраст и возможные изменения океанов во времени*? 4. *Какова природа земной коры океанического типа*? 5. *Сходство и различия структурообразования на континентах и океанах*?

С позиций Новой ротационной гипотезы ответы на перечисленные выше вопросы выглядят следующим образом [39].

1. Схема образования океанических впадин на типичной континентальной коре во многом аналогична схеме формирования рассмотренных выше геосинклинальных впадин. Они возникают в зонах растяжения тектоносферы (рис. 2.6,*а*) вследствие опускания блоков по разломам. Разница заключается только в масштабе явления. Если геосинклинали представляют собой участки локальной разрядки напряжений, то океанические впадины – это результат глобального перекоса поверхности Земли, охватывающего ее значительную часть размером порядка 0,25…0,5π .На фоне этого перекоса, приводящего к опусканию крупных глыб тектоносферы в океанах, так же как и в пределах материков, проявляются локальные разрядки планетарных напряжений. Их следствием является возникновение океанических структур типа глубоководных желобов и сопутствующих им островных гряд, а также – срединно-океанических хребтов, осложняющих структуру океанических платформ. Местоположение океанических впадин определяется не физическими особенностями деформируемой части тектоносферы, а пространственными особенностями поля планетарных напряжений, которые являются функциями положения оси вращения Земли, направления и скорости ее перемещения.

Форма и размеры океанических впадин определяются тем же самым полем планетарных напряжений, но при этом существенную роль играют ранее возникшие системы разломов тектоносферы, направление простирания которых может не совпадать с ориентацией изолиний поля планетарных напряжений. Более подробно этот вопрос рассматривается в следующем разделе (2.4). В данном случае ограничимся только одним примером – подобием противоположных берегов Атлантического океана. Оно объясняется опусканием океанических блоков по разломам

определенных систем. Средняя глубина океанических бассейнов, в значительной мере, зависит от величины коэффициента сжатия Земли.

2. Образование глубоководных желобов с сопутствующими им островными или материковыми грядами и срединно-океанических хребтов в океанах так же как аналогичных структур на континентах, происходит в результате дискретной разрядки того же поля планетарных напряжений. Механизм формирования глубоководных желобов частично уже рассматривался. Особенности геологического строения срединно-океанических хребтов пока изучены недостаточно. Несомненно одно, что в их образовании существенную роль играют крупные глубинные разломы тектоносферы.

3. Данные о колебании отметок дна океана во времени [27], погружение континентальных частей под уровень моря, перемещение береговых склонов в результате откалывания блоков шельфа [1] свидетельствуют о непостоянстве как глубин океанов, так и их границ. Отсутствие корреляции высот геоида с современными структурными планами материков и океанов приводит к выводу о том, что в течение геологической истории эти планы неоднократно менялись. Начало формирования современного плана расположения материков и океанов, по-видимому, относится к концу палеозоя – началу мезозоя.

4. Образование земной коры океанического типа из обычной континентальной достаточно подробно рассмотрено ранее в разделе 1.

5. Касаясь сходства в различии тектонических процессов на материках и океанах, специально подчеркнем, что при изложении принципов структурообразования в тектоносфере нигде не использовались особенности, связанные с различием материков и океанов. Более того неоднократно отмечалось, что местоположение, форма и размеры структур любого порядка, формирующихся в тектоносфере, определяются не физико-геологическими особенностями деформируемой части тектоносферы, а особенностями поля ротационных напряжений в ней, разрядкой которых обусловлено образование этих структур. Другими словами, законы структурообразования в пределах всей нашей планеты во многом однотипны.

2.4. Основные следствия Новой ротационной гипотезы структурообразования

Тектонические структуры, возникающие в процессе разломообразования. Первым актом тектонической активизации Земли является *разломообразование* в тектоносфере и самой верхней ее части – земной коре, происходящее в результате разрядки поля планетарных напряжений ротационной природы в эпоху, когда их значения достигают

величин, превышающих предел прочности пород, слагающих эти оболочки. Возникающие при этом структуры принято называть *разломами тектоносферы*, а чаще – *разломами земной коры*, поскольку изучение этих структур, в основном, ограничивается земной корой.

В разделе 2.2. показано, что разломы располагаются не произвольно, а укладываются в определенные системы. Каждой тектонической активизации свойственна своя система, состоящая из совокупности иерархически соподчиненных разломов двух взаимноортогональных направлений. Пересечения однопорядковых разломов взаимноортогональных направлений образуют структуры, которые принято называть *блоками земной коры (тектоносферы)*. Следовательно, каждой тектонической активизации свойственна определенная система блоков.

Процесс ломки тектоносферы протекает следующим образом. Во-первых, в результате проникновения разломов в глубинные области тектоносферы, в них создается декомпрессия, приводящая к образованию магмы осно́вного или ультраóсновного состава и последующей ее транспортировке к земной поверхности. Во-вторых, относительные перемещения блоков по разломам приводят к образованию разности отметок этих блоков относительно уровенной поверхности геоида – условию, необходимому для осуществления денудационно-сидементационного процесса. Таким образом, разломы тектоносферы участвуют в формировании поверхностных структур земной коры. Следует специально подчеркнуть два важных положения: *1) синхронность процессов тектонической и магматической активизаций Земли в одних и тех же сегментах тектоносферы; 2) в процессе каждой тектонической активизации в бассейнах осадконакопления образуется определенная осадочно-магматическая толща, свойственная только этой активизации*. Второе положение имеет существенное значение при решении проблем стратиграфии в тектонически сложных регионах. Процесс формирования поверхностных структур начинается одновременно с началом тектонической активизации, а продолжается вплоть до новой тектонической активизации. Конечным его этапом является перерыв в осадконакоплении с образованием характерных поверхностей размыва.

Следующая тектоническая активизация, наступающая в результате нового накопления глобальных напряжений ротационной природы до значений превышающих предел прочности пород, слагающих тектоносферу, протекает аналогично предыдущей, но как уже указывалось выше, не повторяет ее полностью. Вновь возникающая система разломов, накладываясь на предыдущую, нарушает ее и приводит к усложнению ранее образованные блоки. Следовательно, *блоки земной коры*

(тектоносферы) – структуры, характеризующиеся не только пространственным положением, но и временем образования.

В излагаемом разделе приведены некоторые результаты изучения перечисленных выше структур геолого-геофизическими методами с целью сопоставления их с положениями, вытекающими из Новой ротационной гипотезы структурообразования, а так же – для оценки реальных параметров этих структур.

Существенный вклад в изучение закономерностей пространственного распределения и геологических особенностей разломных структур внесен результатами исследований планетарной трещиноватости, проводившихся на территории СССР, в конце шестидесятых – начале семидесятых годов предыдущего столетия. Инициатором и куратором этого проекта был С.С.Шульц. Оказалось, что породы различного вещественного состава и возраста, слагающие земную кору, повсеместно разбиты системой ортогоноальных трещин на блоки разного порядка, размерами от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков и даже сотен километров [51]. Исследователи планетарной трещиноватости пришли к ряду важнейших выводов:

1. Планетарная трещиноватость охватывает как платформенные, так и складчатые области, сохраняя характерные общие простирания в пространстве и длительное существование во времени [3].

2. Каждая система трещин представляет собой определенную закономерную совокупность, начиная от мелких трещин до глубинных разломов включительно [50]. В частности, этот вывод был проверен и подтвержден результатами изучения планетарной трещиноватости на Балтийском и Украинском щитах [29].

3. При изучении роли планетарной трещиноватости в процессе деформации грузинской глыбы Кавказа И.П.Гамкрелидзе установил, что *плоскости планетарных трещин являются механически активными и движения по ним играют значительную роль в деформациях горных пород. Эти признаки обнаружены по трещинам всех направлений [3]*.

Неоценимую помощь в осмыслении процессов разломообразования земной коры и определении конкретных параметров разломных структур оказало участие в работах по изучению разломных структур Украинского щита, проводившихся во второй половине предыдущего столетия геолого-геофизическими методами в масштабах 1:500.000. – 1:200.000. и крупнее [11,32,35,41и др.].

Кратко результаты этих работ сводятся к следующему:

1. В пределах Украинского щита установлено шесть иерархически соподчиненных систем докембрийских разломов земной коры, характеризующиеся азимутами простирания: 0 и 270°, 17 и 287°, 35 и 305°, 45 и 315°, 62 и 332°, 77 и 347° , определенных с точностью ± 2°.

2. Наиболее крупные блоки земной коры, образованные пересечением соответствующих разломов, во всех системах характеризуются размерами порядка 140×140 км, а более мелкие – размерами ½, ¼ и т.д. названной величины крупных блоков.

3. Разломные структуры, разделяющие блоки размерами 140×140 км, характеризуются шириной порядка 15 ± 5 км; ширина разломных структур, разделяющих блоки, размерами 70×70 км, составляет 10 ± 3 км, а блоки размерами 35×35 км – характеризуются величиной порядка 5 ± 3 км.

4. Путем сопоставления результатов изучения разломов земной коры в восточной части Украинского щита установлено, что абсолютное большинство крупных разломов всех систем, разделяющих блоки размерами 140, 70 и 35 км нарушают всю земную кору и уходят в верхнюю мантию [43,59].

В 1988 г в Днепропетровске на базе Днепропетровского горного института состоялась представительная Всесоюзная нучно-техническая конференция: *Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений*. Одной из целей этой конференции было подведение итогов начального этапа внедрения разработанной в Днепропетровском горном институте методики выявления трассирования систем разломов земной коры в разных регионах СССР [44]. В процессе работы конференции были рассмотрены результаты изучения систем разломов земной коры на территориях Украинского и Балтийского щитов, Воронежского и Беларусского кристаллических массивов, северной и северо-западной части Восточо-Европейской платформы, Печерской плиты, Приуралья и Урала, Западной части Сибирской платформы, Алтае-Саянской и Казахской складчатых областей, Предкавказья и Кавказа. Авторы докладов на фактическом материале демонстрировали, что в каждом из перечисленных регионов выявляется 6 ± 2 системы разломов земной коры. Причем параметры разломов систем, в основном, совпадают с параметрами разломов этих систем, установленных на Украинском щите, в частности, азимуты простирания разломов соответствующих систем совпадают между собой с точностью ± 2°, т.е. практически с точностью их определения [6].

Результаты работы конференции позволяют сделать следующий вывод: *установленные закономерности разломной тектоники на территории Евразии в совокупности с литературными данными об аналогичных закономерностях на других континентах свидетельствуют о том, что эти закономерности являются прямыми следствиями Новой ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере (земной коре), имеют глобальный характер; а это значит – Новая ротационная*

гипотеза структурообразования начинает приобретать реальное практическое значение.

Выше приведены данные о результатах изучения планетарной трещиноватости Земли, некоторые результаты изучения разломных структур на Украинском щите и обобщение этих результатов на территории Евразии. Ряд из них будет использован ниже для иллюстрации особенностей формирования разломных структур.

Разломы земной коры (тектоносферы). Первоначально термином *разлом* исследователи пользовались как обобщенным понятием разрывного нарушения сплошности пород при ограниченности фактического материала или недостаточной его изученности [17]. В период господства геотектонической концепции геосинклиналей и платформ в качестве разломов земной коры принимались разрывные нарушения, возникающие на заключительных этапах формирования складчатых структур земной коры, не участвующие в их образовании, а лишь нарушающие первоначальные формы складчатости. Существенная перестройка в представлениях исследователей о разломах земной коры произошла после опубликования серии замечательных работ А.В. Пейве [23, 24 и др.], выделившего из всей совокупности разломов особый класс *глубинных* и наделившего их новыми свойствами – возможностью участия в образовании поверхностных структур земной коры. К этому классу А.В. Пейве относит преимущественно крупные разломы, нарушающие, по крайней мере, всю земную кору и проникающие в верхнюю мантию, а за остальными, преимущественно мелкими, он оставляет традиционные свойства разрывных нарушений. Современные представления о разломах земной коры наглядно иллюстрируются на рис. 2.15.

На рис. 2.15, *а* показана схема расположения разломов одной тектонической активизации в вертикальной плоскости, пересекающей сегмент тектоносферы, находящийся в режиме растяжения.

В соответствии с современными представлениями часть крупных разломов нарушает всю земную кору и проникает в мантию, другая их часть не достигает границы Мохоровичича. Опыт изучения разломов земной коры Украинского щита свидетельствует о том, что мера участия разломов в формировании поверхностных структур определяется порядком разломов: чем крупнее разлом, тем глубже он проникает в мантию и тем активнее он участвует в формировании поверхностных структур. Так, например, при изучении Украинского щита и его обрамления самыми крупными разломами (условно I-го порядка) можно считать разломы, разделяющие блоки земной коры размерами 140х140 км, а меньшие по размерам блоки (70х70 км) – II-го порядка, (35х35) – III-го порядка и т.д.

При таком подходе к классификации разломов к классу *глубинных*

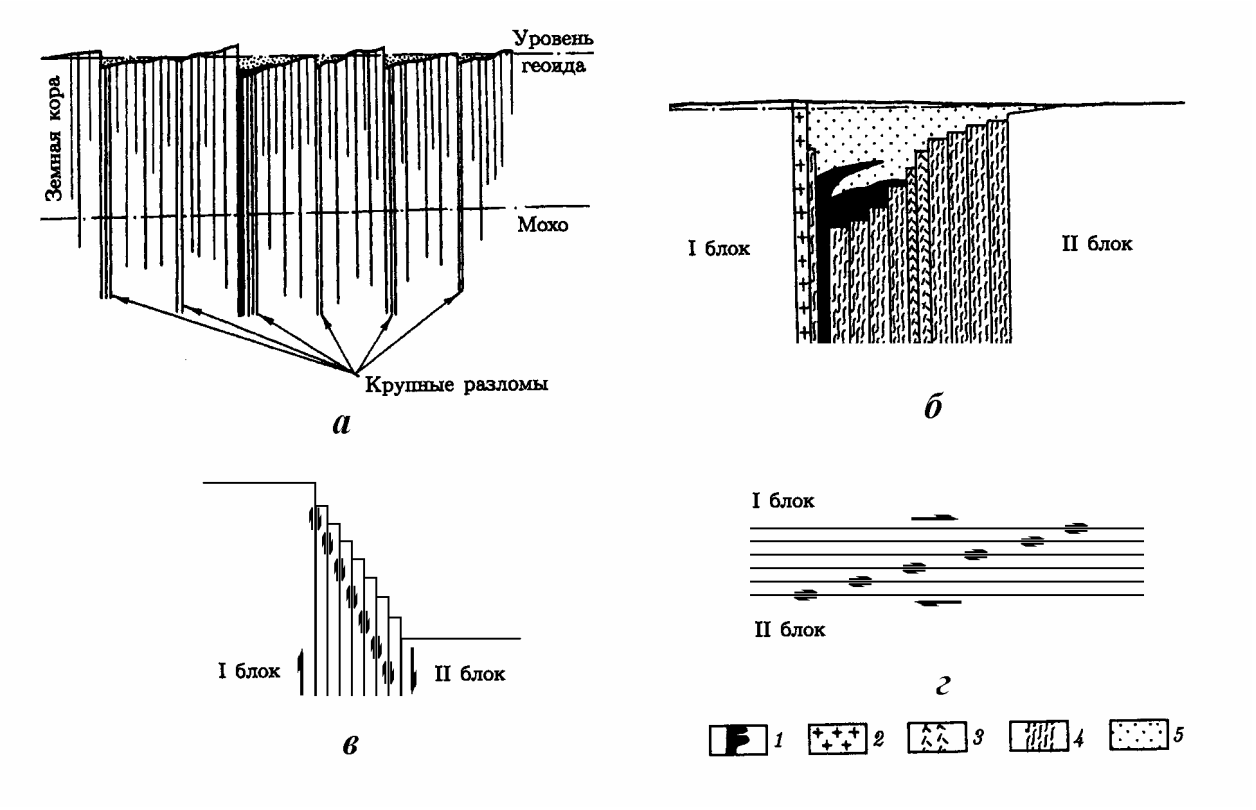


Рис. 2.15. Разломы земной коры: *а* – схема пространственного расположения разломов в вертикальном сечении земной коры; *б* – обобщенная модель разлома; *в* – перемещение блоков по разлому в вертикальном направлении; *г* – перемещение блоков по разлому в горизонтальнои направлении. Магматиты: 1 – основного состава; 2 – кислого состава; 3 – зона дробления; 4 – изоклинальная (разломная) складчатость; 5 – осадочные образования.

будут принадлежать все крупные разломы, начиная с условно I-го порядка и кончая – разломами i–порядка, нарушающими всю земную кору. Оставшуюся часть более мелких разломов можно называть разломами высших порядков они также могут принимать участие в формировании поверхностных структур, но в несколько иной форме.

Рассмотрим подробнее формирование крупных разломов земной коры. Разломы земной коры – это сложные тектонические структуры, возникающие в процессе ломки земной коры и последующей ее блокировки. Несмотря на то, что ломка земной коры представляет собой нарушение сплошности слагающих ее пород, не эти нарушения определяют конечный облик формирующейся разломной структуры. Они приводят к активизации процессов метаморфизма, метасоматоза и палингенеза пород в межблоковом пространстве, а также контоминации их магматическим расплавом основного или ультраосновного состава. Перечисленные выше процессы безусловно затушевывают первичные разрывы сплошности пород, заменяя их новообразованиями пород в межблоковом пространстве.

В процессе формирования разломных структур в периоды господства режима сжатия могут иметь место условия образования полосчатости ориентированной вдоль разлома. Такая полосчатость, часто наблюдающаяся в вертикальных разрезах докембрийских толщ, квалифицируется современными исследователями как изоклинальная складчатость. Нами установлено, что в пределах Украинского щита такая складчатость является характерной для разломных структур и поэтому названа *разломной.*

В периоды последующих тектонических активизаций в пределах ранее сформированых разломов возможны проявления смещения пород и образования зон дробления, катаклаза и милонитизации пород. Названные выше проявления возможны, но не обязательны.

И, наконец, одним из результатов возникновения разломов и относительного перемещения по ним блоков, является образование наложенной структуры, представленной осадочной или осадочно-вулканогенной толщей, т.е. эту структуру можно также рассматривать как элемемент разлома земной коры.

На рис. 2.15,*б* приведена модель описанного выше крупного разлома. Такого рода разломы характеризуются шириной от нескольких километров до нескольких десятков километров. С увеличением порядка разлома ширина его уменьшается частично за счет уменьшения зон влияния первоначальных разрывов, частично за счет выпадения некоторых из перечисленных выше признаков. На рис. 2.15,*в* и *г* показаны схемы перемещения соприкасающихся блоков по разлому в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Подводя итоги характеристики разломов земной коры можно констатировать следующее:

1. Называть разлом земной коры разрывным нарушением (как это довольно часто встречается в литературе), а тем более идентифицировать эти понятия между собой – неправомерно. С целью подчеркнуть различие этих структур в качестве наименования разрывных нарушений целесообразней пользоваться сокращенным термином “разрыв”.

2. Разлом земной коры – это межблоковая объемная структура, характеризующаяся следующими пространственными особенностями: линейным, точнее прямоленейным простиранием, определенной шириной и многократно ее превышающими значениями глубины проникновения в тектоносферу и протяженности по латерали; вещественный состав этих струтур представлен преимущественно новообразованиями типа: метаморфитов, метасоматитов и магматитов с крутыми углами наклона контактов между ними; в пределах разломов могут иметь место: специфическая линейная складчатость, проявление вторичных

процессов в виде зон дробления, катаклаза и милонитизации, а также – разрывные нарушения.

3. Разломы земной коры и перемещение по ним соприкасающихся блоков является основой формирования поверхностных структур в земной коре.

Системы разломов тектоносферы (земной коры). Блоки. Одним из следствий Новой ротационной гипотезы является обоснование системы разломов тектоносферы, свойственной каждой тектонической активизации Земли (рис. 2.7,*а*). Рассмотрим это несколько подробнее.

Анализ возникновения ротационных напряжений в тектоносфере свидетельствует о том, что накопление этих напряжений происходит *непрерывно*, а разрядка – *дискретно*. Следствием дискретной разрядки является наличие в каждом квадранте одной или двух областей, в которых возникают первые разломы тектоносферы. Они должны быть самыми крупными. Максимальные перемещения по ним блоков тектоносферы обусловлены наибольшим вкладом продолжающимся накоплением ротационных напряжений именно в этих областях. По-видимому, эти разломы, которые в режиме растяжения служат основой для формирования геосинклиналей, а в режиме сжатия – орогенов. Последующее накопление напряжений в соседних областях приводит к возникновению разломов тектоносферы следующих порядков, характаризующихся меньшей глубиной проникновения в тектоносферу и соответственно меньшими амплитудами перемещения по ним блоков. Заслуживают внимания представления В. Немеца и Р. Квета о пространственном взаимоотношении разломов разного порядка одной системы, к которым они пришли при изучении разломных структур на территории Чехословакии [19,55]. Эти представления графически изображены на рис. 2.16,*а*. На оси абсцисс цифрами показаны порядки разломов, а величина ординаты соответствует интенсивности проявления этих разломов.

На рис 2.16,*б* показана схема взаимоотношений разломов разных порядков одной системы на поверхности Земли. Интенсивность их проявления отображена толщиной линий.

Касаясь возможностей изучения разломов и их систем, отметим следующее. Изучение разломов (особенно крупных) геологическими методами оказывается сложным в связи с тем, что исследователь в большинстве случаев оказывается лишен полного обзора разломной структуры. В лучшем случае он может наблюдать отдельные ее элементы разлома в обнажениях и только в результате последующего анализа геологических особенностей этих элементов и закономерностей их пространственного расположения сделать заключение о наличии разлома и его природе. Это же замечание, по сути дела, относится к изучению всех

разломов системы. Геофизические методы в этом плане обладают некоторыми преимуществами, заключающимися в том, что на картах физических полей изучаемой площади исследователю представляется возможность анализа особенностей как отдельных структур так и их совокупности, проявляющихся в этих полях.

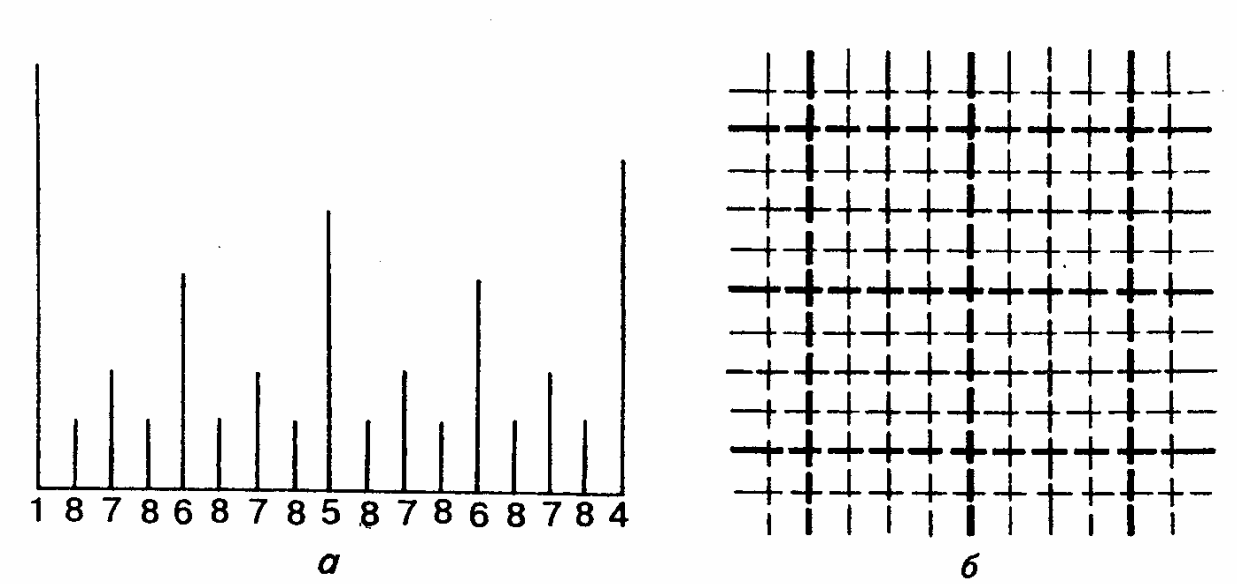


Рис. 2.16. Взаимоотношение разломов разных порядков одной системы (*а*) и иерархия образованных ими блоков (*б*).

Для изучения разломных структур в плане наиболее эффективно используется комплекс гравиразведки и магниторазведки. В настоящее время наибольшее распространение получили и эффективно используются три группы индикаторов разломов [35]:

1. Линейные ступени в уровнях гравитационного и магнитного полей.

2. Положительные и отрицательные линейные локальные аномалии гравитационного и магнитного полей.

3. Линейные нарушения регулярного поведения изоаномал гравитационного и магнитного полей или линейные границы областей с разным рисунком этих полей.

В литературе иногда встречаются сведения об использовании *геофизических* признаков разломов. Таких признаков нет. Приведенные выше индикаторы проявления разломов в гравитационном и магнитном полях соответствуют конкретным геологическим особенностям (признакам разломных структур).

1. Отрезки линейных гравитационных и магнитных ступеней соответствуют линейным тектоническим и стратиграфическим контактам комплексов пород с разными физическими свойствами.

2. Положительные и отрицательные линейные магнитные и гравитационные аномалии обусловлены линейными геологическими объектами, которые могут быть представлены новообразованиями в пределах разломных структур. Природа их называлась выше. В данном случае только подчеркнем, что образование любых прямолинейных геологических тел, ограниченных вертикальными контактами, связано с разломами земной коры, возникающими в результате разрядки поля глобальных напряжений (планетарная трещиноватость).

3. В третью группу индикаторов разломов объединен наиболее разнообразный набор нарушений поля, в связи с этим им соответствуют наиболее разнообразные геологические признаки разломов. Ими могут быть как стратиграфические контакты двух разнородных толщ, так и тектонические, приводящие к нарушению корреляции выходящих на поверхность линейных образований или нарушению структурных планов по разные стороны от этих контактов (см. подробнее [35]).

На рис. 2.17 приведен пример проявления в физических полях одной из систем разломов в пределах Украинского щита [33]. При этом, кроме индикаторов разломов в гравитационом и магнитном полях, использованы индикаторы разломов в рельефе кристаллического фундамента и дневном рельефе. В качестве последних принимались спрямленные участки рек. Все построения осуществлялись в масштабе 1: 200 000.

На рис 2.17 видно насколько четко прослеживаются следы докембрийских разломов на поверхности Земли: они представлены полосами индикаторов достаточно выдержанных двух взаимно-ортогональных направлений; ширина этих полос может служить характеристикой ширины разломов, а о геологических особенностях разломов некоторые представления могут дать индикаторы их проявления в полях и рельефе фундамента. Тем не менее, следует специально подчеркнуть, что геофизические методы позволяют получать, в основном, пространственные характеристики разломов: местоположение, простирание, ширину, а при благоприятных условиях – и глубину проникновения в тектоносферу. Полное представление о геологических особенностях разломов и, в частности, об их роли в формировании поверхностных структур земной коры, можно получить только комплексом геолого-геофизических методов [36].

Взаимное наложение систем разломов. Естественным следствием возникновения систем разломов в каждую эпоху тектонической активизации является блокировка тектоносферы (земной коры). Взаимное пересечение разломов разных порядков образует системы блоков соответствующих порядков (рис. 2.16,*б*). Представляется важным обсудить некоторые особенности формирования блоков тектоносферы при последовательном наложении разных систем разломов, изображенном на рис. 2.8, *а*.

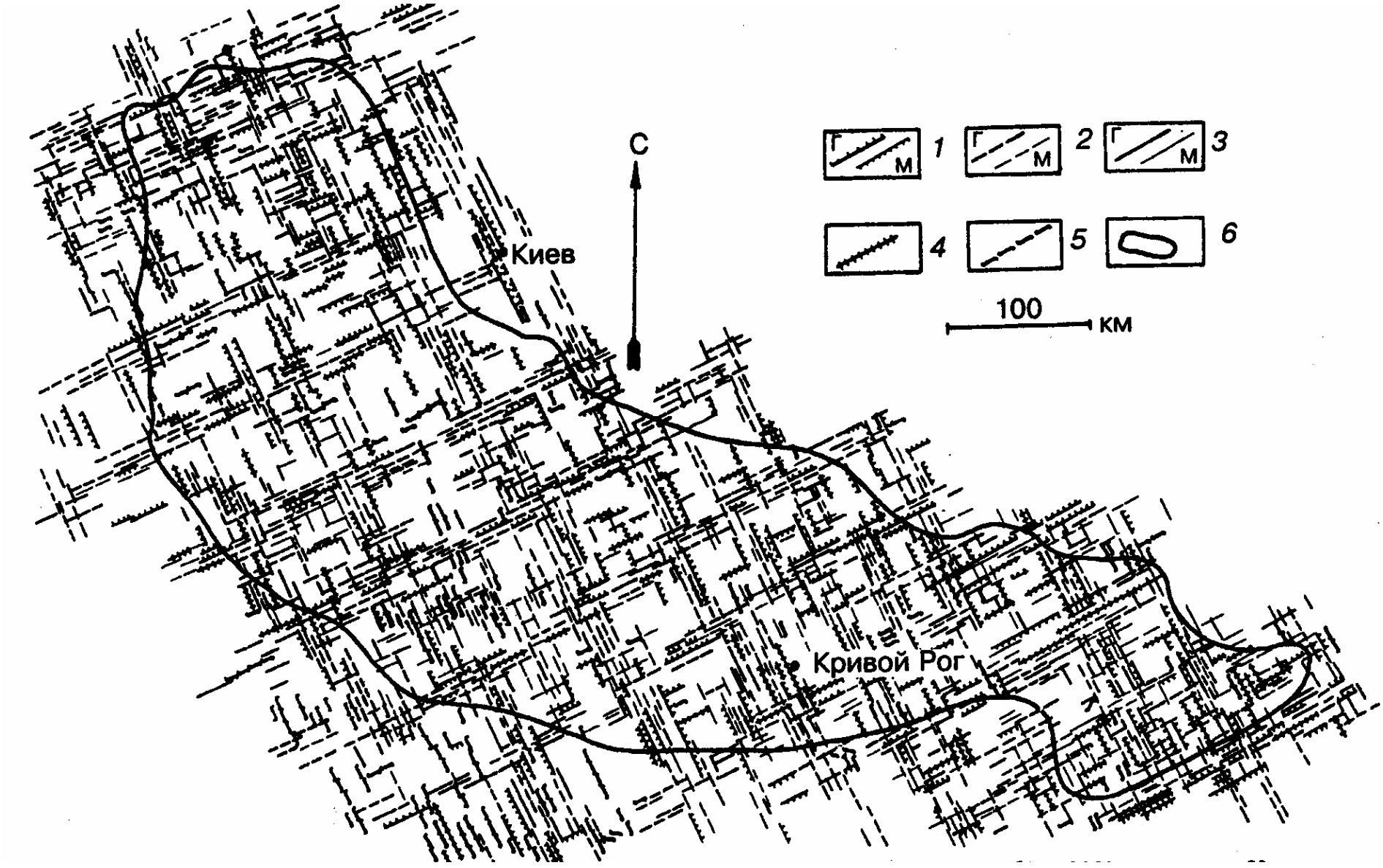


Рис.2.17. Схема расположения индикаторов разломов с азимутами простирания 62 и 332 ° в пределах Украинского щита.

Для упрощения примем, что рассматриваемые системы представлены разломами одного порядка. Под блоками обычно понимают участки тектоносферы, ограниченные разломами и характеризующиеся определенной общностью геологического строения, обусловленной единой историей формирования.

На рис. 2.18, *а* показана схема формирования блоков земной коры при двух последовательных тектонических активизациях. В результате каждой из них образуется своя система блоков. Следовательно, как указывалось выше, блок характеризуется не только пространственным положением, но и временем образования. Будем считать, что блоки, образованные разломами первой тектонической активизации, полностью удовлетворяют приведенному определению. Формирование блоков во вторую и последующие тектонические активизации происходит на разнородных участках земной коры. В пределы новых блоков попадают отдельные части ранее сформированных блоков со своими геологическими особенностями. Наряду с общностью, обусловленной единым актом формирования блоков, в нем обнаруживаются и различия, связанные с предысторией участка земной коры, в пределах которого он образовался. В процессе последовательного формирования блоковых структур в земной коре могут наблюдаться участки с практически одинаковой или очень сходной геологической обстановкой (на рис. 2.18, *а* – к, $б_2$, $в_1$, $г_1$).

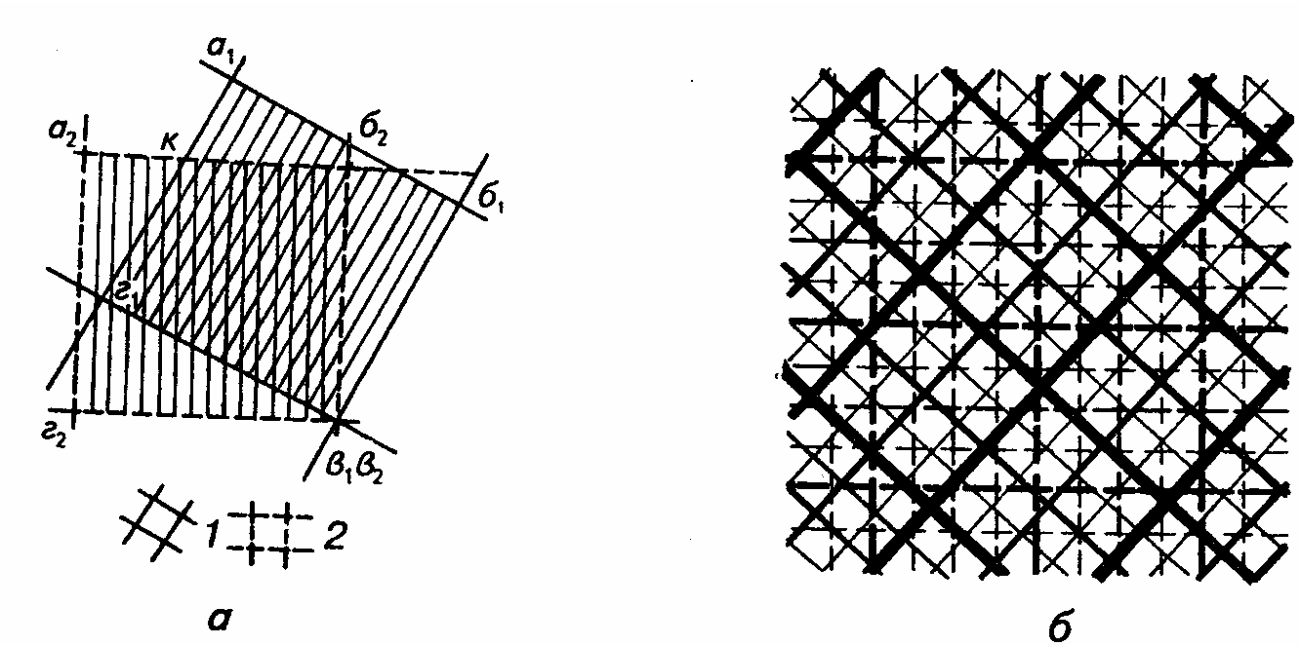


Рис. 2.18. Схемы формирования блоков земной коры разломами разных систем одного (*а*) и разных (*б*) порядков: 1, 2 – разломы соответственно первой и второй активизации.

Эти участки ограничены разломами, принадлежащими к разным системам, имеют форму неправильных многоугольников. Они характеризуются наибольшей общностью геологического строения и однообразным проявлением в физических полях. Их и принимают в настоящее время за блоки, являющиеся результатом суммарного воздействия всех прошедших активизаций. Выделение такого рода блоков наиболее просто, достаточно объективно и, наверное, поэтому получило широкое распространение в практике. Однако, если учесть, что конечной целью любых геологических исследований является прогнозирование месторождений полезных ископаемых, которое без восстановления истории формирования геологических структур невозможно, то возникает проблема изучения предыстории образования такого рода блоков. Другими словами, наибольший геологический интерес представляют не современные блоки, а, так называемые, *палеоблоки*, или точнее, системы разломов, вертикальными перемещениями, вдоль которых они формировались.

Актуальность названной выше проблемы не вызывает сомнений, но она не очень проста в реализации. Для оценки ее сложности напомним, что на рис. 2.18,*а* изображена весьма упрощенная схема взаимного наложения одноранговых разломов и всего только двух систем. Можно представить усложнение проблемы восстановления структурных планов при условии взаимного наложения не двух, а по крайней мере, шести последовательных блокировок земной коры. Кроме того, блоки, участвующие в формировании структурных планов, образованы не одноранговыми разломами, а серией иерархически соподчиненных разломов разных порядков. Некоторое, далеко неполное представление описываемой ситуации можно получить из схемы, приведенной на рис. 2.18,*б*, на которой изображено наложение только двух систем разломов, состоящих, в свою очередь, из серии блоков трех порядков.

Из рисунка 2.18,*б* следует вывод о *чрезмерной раздробленности земной коры*, что вполне подтверждается результатами изучения *планетарной трещиноватости* [50,51]. Как уже отмечалось выше, размеры наблюдаемых на практике блоков земной коры колеблятся в весьма широких пределах, начиная от десятков сантиметров до десятков километров и даже более [20]. Тем не менее, опыт наших исследований свидетельствует о том, что проблема восстановления систем разломов, участвующих в блокировке земной коры (тектоносферы) вполне реальна. Технология восстановления систем докембрийских разломов и соответствующих им блоков достаточно подробно описана в монографии [35].

Рассмотрим ряд других особенностей разломов, возникающих в результате взаимного наложения разных систем. Одно из основных

свойств разломов – выдержанность направлений их простираний (прямолинейность) обусловлено регулярностью поля планетарных напряжений ротационной природы и сравнительной однородностью тектоносферы, в которой происходит накопление и разрядка этих напряжений. Надо полагать, что второе условие лучше соблюдалось в начальные этапы геологического периода развития Земли. С течением времени эта однородность нарушалась ее тектоническими активизациями. В результате их воздействия изучаемые разломы приобрели ряд специфических свойств, в частности, *фрагментарность и трасформность.*

Фрагментарность разломов в настоящее время является общеизвестным фактом. Она связана с многоактностью тектонических активизаций.

Рассмотрим простейший случай образования новой системы разломов на фоне предыдущей блокировки верхней части тектоносферы (на рис. 2.19 показан один из них – АИ). Геологические характеристики фрагментов нового разлома и их проявления в физических полях в пределах разных блоков предыдущей системы (АБ, БВ, ВГ и др.), естественно, будут различаться. Эти различия обусловлены неодинаковой предысторией ранее возникших блоков.

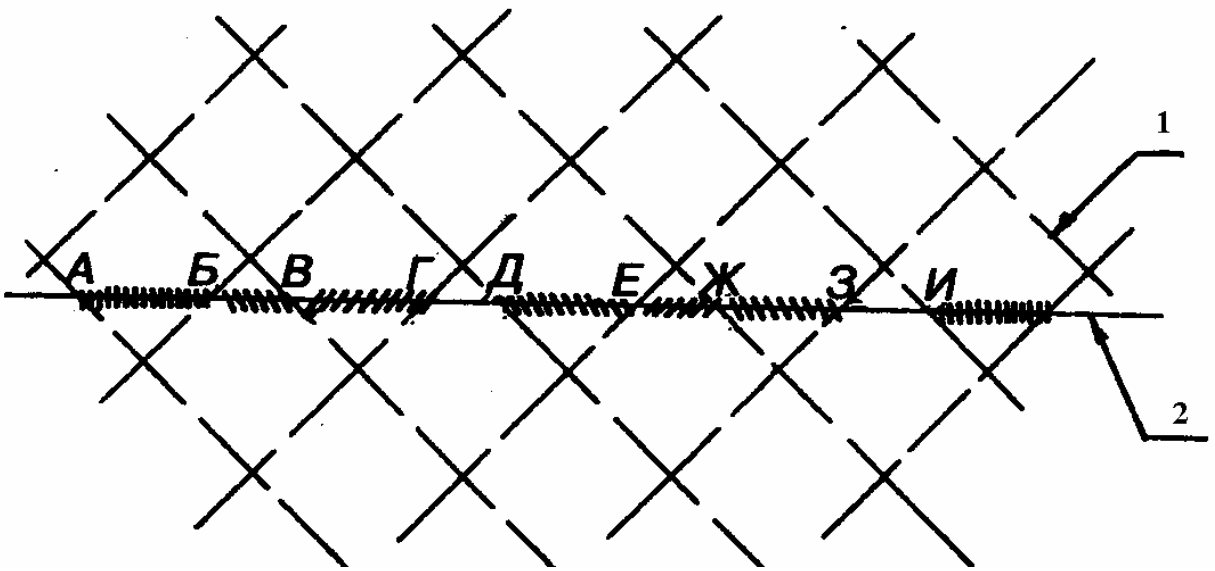


Рис. 2.19. Схема образования разломов земной коры на фоне предыдущей ее блокировки: 1 – сеть ранее возникших разломов; 2 – вновь формируемый разлом.

Некоторые фрагменты (ГД, ЗИ) могут вообще не проявляться геологическими особенностями. В этих условиях основным критерием, объединяющим разнородные фрагменты разлома в единиую структуру, будет выдержанность направления осевой линии разлома. Более того, в

результате смещения отдельных его фрагментов по поперечным разломам, он приобретает форму трансформного. При этом, все фрагменты рассматриваемого разлома направление простирания сохраняют, а амплитуды смещения обычно очень ограничены так, что трассирование разлома особых затруднений не вызывает. В этом можно легко убедиться на примере поведения разломов, изображенных на рис. 2.16. На рисунке довольно четко видна и фрагментарность разломов и их трансформность.

Одной из важных проблем многоактного розломообразования в тектоносфере является выяснение роли ранее возникших разломов при образовании новых, в частности, насколько отличаются между собой проявления разрядки напряжений в зоне ранее возникшего разлома и за его пределами. Априори ясно, что существующие в момент тектонической активизации разломы и разделяемые ими блоки, должны иметь разные физические параметры, а следовательно, должны по-разному реагировать на разрядку планетарных напряжений. Рассмотрим это на примере одного из участков Украинского щита в районе Южного Приингулья.

На рис. 2.20 показаны широтные разломы (Розановский (А) и Устиновский (Б), установленные Ю.Д. Шковырой [48] по геолого-геофизическим данным и материалам дешифрирования аэроснимков. Обращает на себя внимание их весьма специфическое проявление в докембрийском фундаменте. Широтные разломы представлены серией разрывов северо-западного направления. Разрывы, подобные изображенным на рис. 2.20 (при наличии продольных), принято называть *оперяющими*.

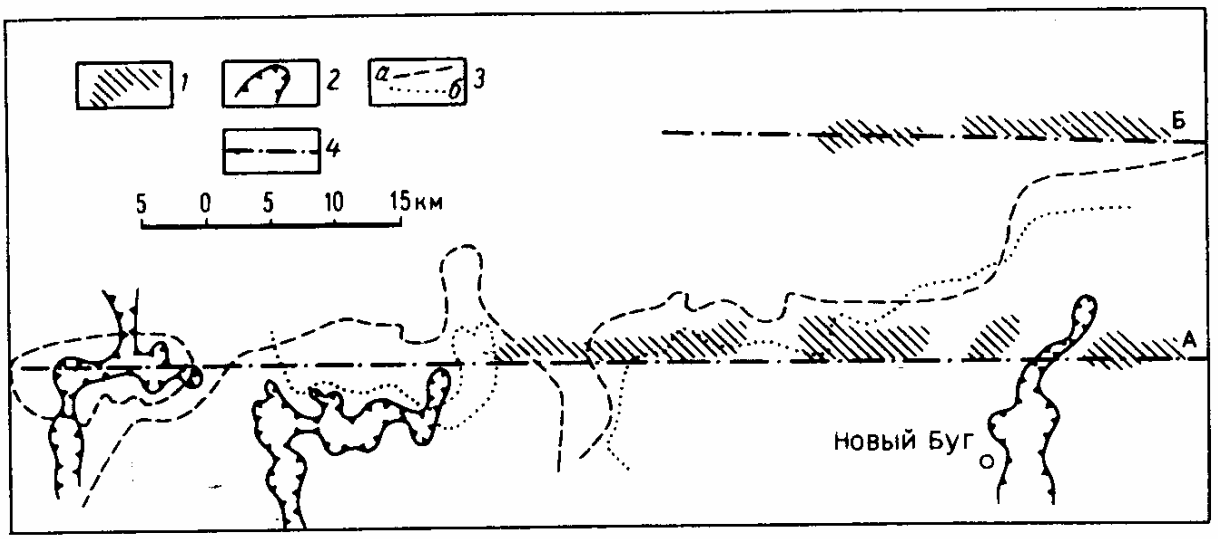


Рис. 2.20. Пример проявления широтных разломов в Южном Приингулье (по Ю.Д. Шковыре, 1976): 1 – разрывные нарушения северо-западного простирания в пределах широтных разломов; 2 – границы бучакских депрессий; 3 – северные границы распространения понтических (п) и сарматских (с) отложений; 4 – осевые линии широтных разломов.

Специфика приведенных на рисунке широтных разломов заключается в том, что “оперяющие” разрывы есть, а “оперяемых” – нет. Это не единичный случай. Известны подобные ситуации, выражающиеся специфическим проявлением пород дайкового комплекса. Например, дайки, не совпадающие по направлению с простиранием разлома, наблюдаются только в самом разломе, а за его пределами – отсутствуют.

Приведенные примеры позволяют сделать важные выводы:

1.Разрядка поля планетарных напряжений в верхней части тектоносферы (земной коре) проявляется по-разному: в зоне ранее возникшего разлома и за его пределами. В пределах разломов последующие разрывы проявляются и фиксируются современными методами исследований, как правило, более четко по сравнению с областями разделяемых ими блоков.

2. Распространение в литературе представления об одновременном возникновении продольных и “оперяющих” разрывов, по-видимому, не всегда соответствует действительности. Приведеный выше пример свидетельствует о самостоятельном (равноправном) возникновении систем разломов (планетарной трещиноватости) разной ориентировки.

Закон унаследованного формирования разломных и связанных с ними поверхностных структур. В середине прошлого столетия исследователи [25, 47 и др.] установили, что в изучаемых структурах определенного возраста в большинстве случаев встречаются элементы, унаследованные от ранее существовавших на этом месте более древних структур. Это явление они назвали *принципом унаследованности*.

Одним из следствий Новой ротационной гипотезы структурообразования является закон, определяющий взаимоотношения фрагментов разломов формируемой системы разломов фрагментами ранее возникших систем разломов, а следовательно, и их участие в формировании поверхностных структур земной коры. Закон унаследованной активизаци разломов формулируется следующим образом: *при очередном достижении критических напряжений в тектоносфере происходит образование новой системы разломов, частично в результате раскалывания старых блоков, а частично – за счет обновления (активизации) фрагментов ранее возникших систем, но так, что осевые линии формируемых разломов остаются неизменными, совпадающими с направлением разрядки поля планетарных напряжений.* Принципиальная схема образования одного из новых разломов с участием элементов ранее возникших систем показана на рис. 2.21, *а*. По-видимому, выбор участвующих фрагментов разломов “старых” систем (унаследованных элементов) должен регулироваться условием минимума затрачиваемой на перестройку энергии. Важно подчеркнуть, что этот закон соблюдается при формировании разломных структур разных масштабов и любого возраста. Рассмотрим это на примерах формирования известных структур.

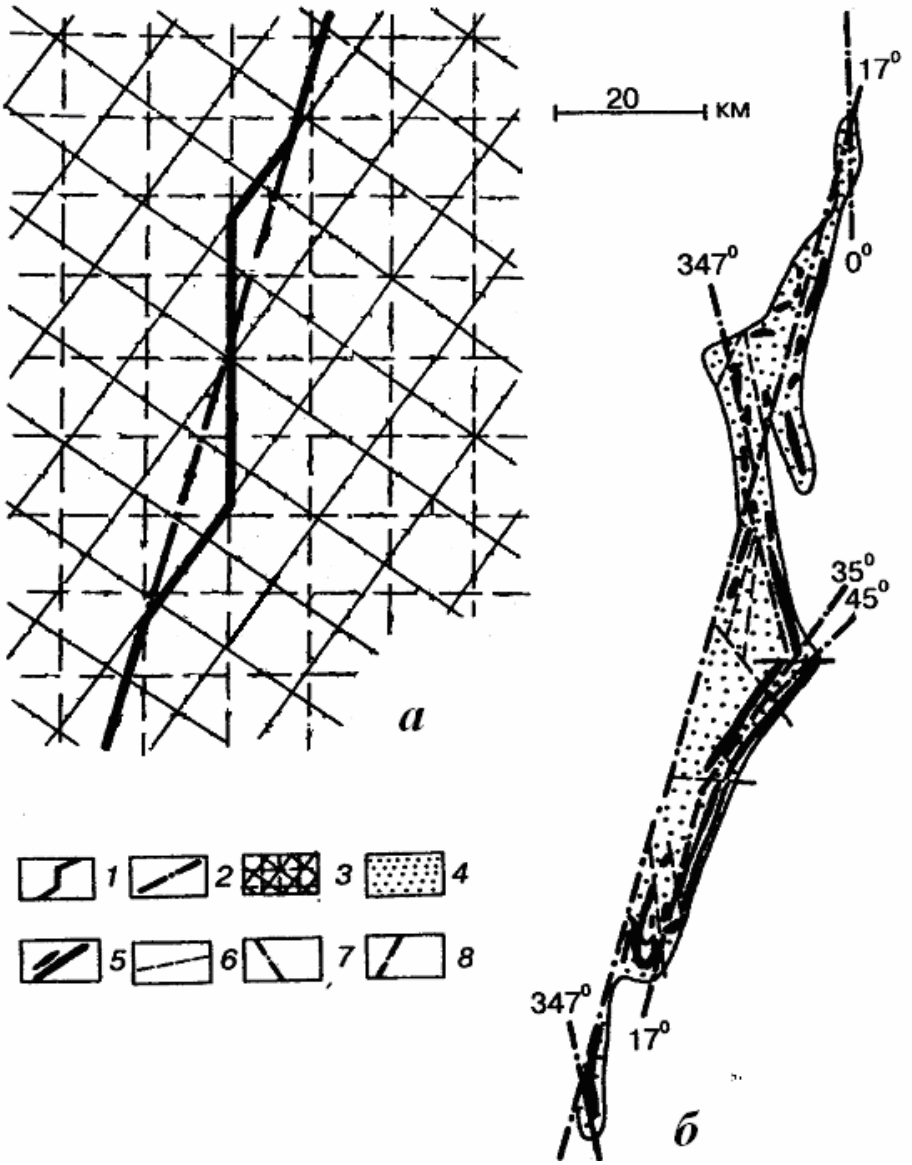


Рис. 2.21. Принципиальная схема унаследованного формирования разломных структур (*а*) и тектоническая схема Криворожской структурно-фациальной зоны (*б*): 1 – формируемый разлом; 2 – осевая линия формируемого разлома; 3 – сеть ранее возникших разломов; 4 – породы Криворожской структурно-фациальной зоны; 5 – железистые кварциты; 6 – разрывные нарушения; 7 – осевые линии фрагментов Криворожской структурно-фациальной зоны; 8 – осевая линия Криворожского разлома.

Пример 1. На рис. 2.21,б изображена тектоническая схема Криворожской структурно-фациальной зоны, сложенной породами *протерозойского* возраста. Выбор Криворожской структурно-фациальной зоны для иллюстрации обсуждаемого закона унаследованной активизации определен несколькими факторами: сравнительно хорошей изученностью, безусловной связью ее образования с Криворожским глубинным разломом [4] и отсутствием у исследователей разногласий в вопросе отнесения пород железорудной формации к одновозрастным образованиям. Последнее обстоятельство весьма важно для наших целей, поскольку подтверждает одновременное участие фрагментов разломов разных систем в формировании рассматриваемой структурно-фациальной зоны. Конкретная взаимосвязь образования Криворожской структурно-фациальной зоны с Криворожским глубинным разломом описана ранее [28].

Породы железорудной формации являются достаточно хорошими маркирующими горизонтами, позволяющие установить азимуты фрагментов разломов разных систем, участвующих в образовании железорудных толщ (рис. 2.21,*б*). Криворожский глубинный разлом имеет азимут простирания 17°. Из рис. 2.21,*б* следует, что наряду с фрагментами разломов с азимутами 17° принимают участие разломы с азимутами простирания 0, 35, 45 и 347°, но так, что осевая линия Криворожского разлома является одновременно и осевой линией сложной совокупности активизированных фрагментов разломов названных выше систем. Приведенный пример, с нашей точки зрения, является убедительной иллюстрацией обсуждаемого закона унаследованной активизации. Следует особо подчеркнуть, что этот закон достаточно универсален и проявляется при формировании разломных структур Украинского щита любого порядка [31,58].

Пример II. На рис. 2.22 приведена Уральская структурно-фациальная зона. По общепринятому мнению Урал является типичной внутренней геосинклинальной системой, сформированной в позднем протерозое и палеозое [29].

Обращает на себя внимание следующее:

1. При общем меридиональном простирании Уральской структурно-фациальной зоны наблюдаются отдельные ее фрагменты с четко выраженными простираниями, отличными от меридионального. Азимуты простираний этих фрагментов показаны на рис. 2.22.

2. Простирания линейных фрагментов Уральской структурно-фациальной зоны совпадают как с простираниями систем разломов в пределах примыкающих к Уралу частей Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской платформы [30], так и простираниями систем разломов, установленных на Украинском щите [36]. А это значит, что в формировании рассматриваемых фрагментов принимали участие блоки, образованные соответствующими системами *докембрийских* разломов.

3. Несмотря на многоактность формирования Уральской структурно-фациальной зоны, ей несомненно присущи некоторые общие особенности, по-видимому, связанные с общностью начального этапа ее образования. В частности, пространственное положение отдельных фрагментов таково, что выдерживается единая осевая линия меридионального простирания (точнее азимут ее простирания равен 2°). Представляется, что рассмотренный пример не менее убедительно, чем предыдущий, иллюстрирует закон унаследованного формирования разломных и связанных с ними поверхностных структур.

Пример III. На рис. 2.23. Приведена схема Кавказской структурно-фациальной зоны, которая является частью сложно построенной системы *альпийских* складчатых сооружений [57 и др.]. Она представляет собой простирающийся с запада-северо-запада на восток-юго-восток почти на 1300 км при ширине 100-200 км асимметричный альпийский мегаантиклинорий с отчетливым осевым поднятием, сложенным палеозоем и лейасом, с относительно широким просто построенным северным и более узким южным крылом, образованным сильно смятыми, как правило, запрокинутыми и надвинутыми к югу мезозойскими и отчасти палеозойскими толщами [16]. Обращает на себя внимание следующее:

1. При общем выдержанном, так называемом, Кавказском направлении рассматриваемой структурно-фациальной зоны, азимут простирания которой соответствует 295°, наблюдаются отчетливые фрагменты с азимутами простирания 270 и 305°. При этом пространственное положение таково, что выдерживается единая осевая линия с азимутами простирания 295°.

Рис. 2.22. Схема Уральской структурно-фациальной зоны (составлена по геологической карте СССР масштаба 1:10 000 000 М.Г. Николаевой, 1975 г.):
1 – интрузии основного и ультраосновного состава;
2 – интрузии кислого состава;
3-5 – образования Уральской структурно-фациальной зоны; (3 – верхнепалеозойские, 4 – нижнепалеозойские, 5 – протерозойские);
6 – восточный край Восточно-Европейской платформы;
7 – западный край Западно-Сибирской платформы;
8 – осевая линия сложной Уральской структурно-фациальной зоны;
9 – осевые линии фрагментов Уральской структурно фациальной зоны.

2. Данные, приведенные в предыдущем пункте, свидетельствуют о том, что в формировании отдельных фрагментов структурно-фациальной зоны Большого Кавказа участвовали докембрийские системы разломов, представителями которых являются разломы с азимутами простирания 270 и 305°. Другими словами, альпийскому орогеническому циклу предшествовал не только герцинский этап геосинклинального развития Большого Кавказа. По-видимому, начало его формирования относится к докембрию и связано с возникновением или активизацией названных выше систем разломов. Наличие комплекса кристаллических сланцев в основании палеозойской толши главного хребта и в зоне Северо-Кавказского краевого массива, относящихся предположительно к докембрию [5], свидетельствует в пользу сделанного выше вывода.

Детальный анализ линейных элементов гравитационного и магнитного полей свидетельствует о том, что в формировании поднятий Западного и Восточного Кавказа, наряду с разломами имеющими азимут простирания 305°, принимали участие разломы с азимутом простирания 315°. Пространственные и временные взаимоотношения этих систем разломов весьма важны для восстановления истории развития структурно-фациальной зоны в целом, но в данном случае ставится более простая задача: показать реализацию закона унаследованной активизации ранее возникших разломов при формировании фанерозойских структур. Иллюстрацией этого закона может служить также активизация фрагментов разломов на границе мела и палеогена, которая достаточно четко видна на рис. 2.23 по характерному поведению линейных участков контактов этих положений в северной части Кавказской структурно-фациальной зоны.

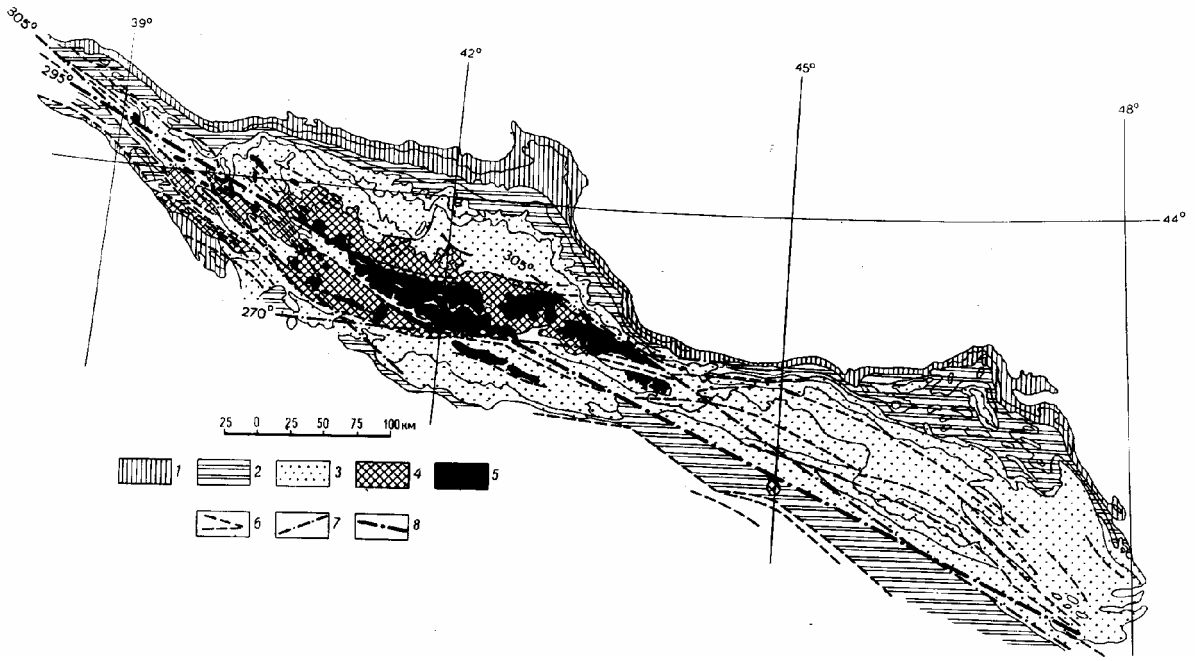


Рис. 2.23. Схема Кавказской структурно-фациальной зоны (составлена по геологической карте Северного Кавказа масштаба 1:2 500 000 А.Л. Луневым и Г.Л. Щербинской с добавлениями Т.А. Мащенко, 1975 г.): 1 – палеоген-неогеновые и более молодые образования Предкавказья; 2-4 – геологические образования Северного Кавказа (2 – палеоген, 3 – мел, 4 – триас и юра); 5 – осадочно-метаморфические образования палеозоя и протерозоя; 6 – гранитоиды палеозойские; 7 – разрывные нарушения; 8 – осевые линии фрагментов Кавказской структурно-фациальной зоны; 9 – осевая линия, соответствующая Кавказскому направлению (295°).

Пример IV. На рис. 2.24 приведена схема речной сети Украины, на которой тонкими сплошными линиями показаны спрямленные участки крупных рек, а цифрами - азимуты их простирания. Спрямление участков рек – операция довольно неоднозначная и, в значительной мере, зависит от масштаба изображения рек. В этой связи отметим следующее. При спрямлении рек были использованы направления, соответствующие азимутам простирания разломов, установленные нами ранее для докембрия Украинского щита. Правомерность такой операции наглядно видна на рис. 2.24,*а*. На рис. 2.24,б приведена роза-диаграмма распределения суммарной длины спрямленных участков рек в соответствующих направлениях.

Интересна еще одна не представленная на рисунке закономерность. Отдельные фрагменты спрямленных участков рек, не совпадающие по направлению со спрямляющими линиями, при исследовании в более крупном масштабе оказываются состоящими из генерализованных отрезков тех же азимутов. Следовательно, русла современных рек и их протоков, определенным образом, наследуют существующую на поверхности Земли сеть систем разломов (планетарной трещиноватости). К сожалению, конкретные закономерности формирования русел рек с этих позиций недостаточно изучены. Заслуживает внимание один из возможных механизмов унаследованности, предложенный В.А.Великановым [2]. Для наших целей важно подчеркнуть, что геометрические особенности пространственного расположения спрямленных участков русел рек во многом аналогичны закономерностям унаследованного образования разломных структур на фоне ранее возникших систем разломов. Эта особенность позволяет использовать спрямленные участки рек в качестве одного из индикаторов разломных структур [35].

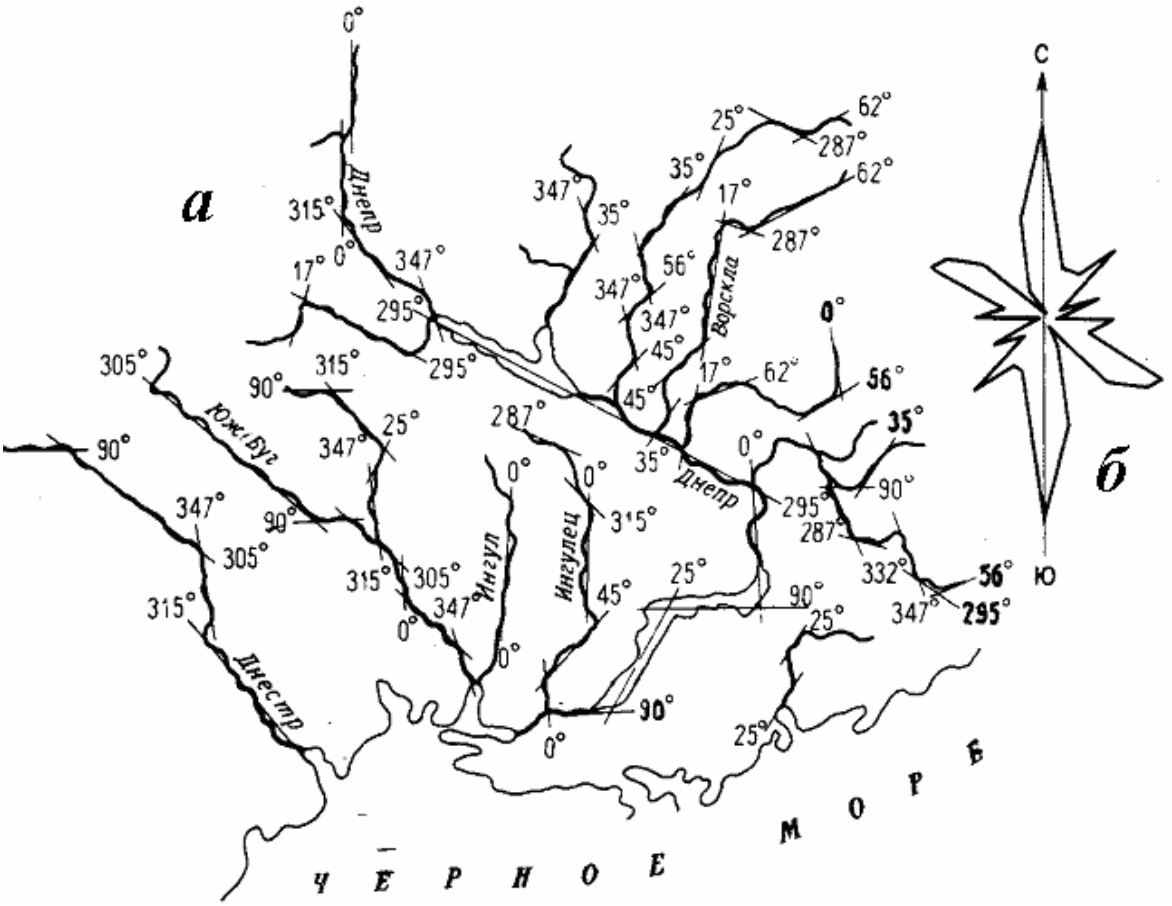


Рис. 2.24. Схема речной сети Украины (*а*) и роза-диаграмма распределения азимутов спрямленных участков крупных рек (б), составленные по карте Украины масштаба 1:4 000 000 [15].

Приведенные выше примеры являются свидетельством справедливости сформулированного выше закона активизации разломов ранее возникших систем и их роли в формировании поверхностных струкрур во все геологические эпохи. Это еще раз подчеркивает правомерность одного из постулатов Новой ротационной гипотезы структурообразования, согласно которому формирование структур тектоносферы в течение всей геологической истории Земли происходило по одним и тем же законам.

Вместе с тем, существующие в настоящее время некоторые различия в подходах к изучению докембрия и фанерозоя имеют определенные основания. Смысл их заключается в следующем. Поскольку геологическая история докембрия насчитывает более 3 млрд. лет, то за это время прошло столько тектонических активизаций, что они нарушили всю тектоносферу системами разломов, отличающимися друг от друга азимутами простирания. Абсолютное большинство структур, сформированных в фанерозое, должны унаследовать элементы докембрийских блокировок. Здесь нельзя не вспомнить вывод Н.С.Шатского, к которому он пришел эмпирическим путем. В частности, в работе о происхождении Пачелмского прогиба он писал [47]: *имеющиеся по этому поводу материалы не оставляют сомнений в том, что форма и соотношение синеклиз и прогибов при их оседании определяются глыбовой структурой земной коры, т.е. ранее существовавшей или потенциальной системой разломов и тектонических швов планетарного характера*. В свете приведенных выше данных можно считать в определенной мере оправданными представления некоторых тектонистов об “изначально существующей” регматической сетки Земли и активизации ее элементов в фанерозое.

При изучении докембрийских структур такие представления не годятся. Здесь важен учет последовательности возникновения систем разломов, поскольку такой подход открывает возможность восстановления истории формирования и возрастных взаимоотношений, связанных с ними структур. Пренебрежение последовательностью образования систем разломов равносильно отказу от исторического подхода к изучению докембрийских структур и сопоставимо, например, для фанерозоя с объединением всех известных тектонических эпох в одну. Другое дело, что эта проблема для докембрия несоизмеримо сложнее, чем для фанерозоя. Она не только не решена, но за редким исключением – даже не ставится. Некоторые предложения в этом направлении приведены ниже.

Последовательность возникновения систем разломов. Из Новой ротационной гипотезы следует, что каждой эпохе тектонической активизации Земли должна соответствовать своя система разломов,

ориентировка которых в пространстве определяется положением и направлением перемещения полюсов относительно поверхности Земли в эпоху ее активизации. Следовательно, наиболее простой путь – определение возраста систем разломов по траектории движения полюсов по поверхности Земли. К сожалению, имеющиеся палеомагнитные данные, в лучшем случае, позволяют надеяться на восстановление траекторий полюсов для фанерозоя. А в фанерозое простая зависимость между временем возникновения систем разломов и их ориентировкой, в значительной мере, нарушается вследствие влияния описанного выше закона унаследованной активизации разломных структур. Данных для получения траектории движения полюсов в докембрии в настоящее время недостаточно. Поэтому этот путь пока не осуществим.

Известные методы определения возрастных взаимоотношений разрывных нарушений, основанные на анализе взаимных перемещений, для разломных структур многоактного формирования не могут быть использованы из-за влияния последующих тектонических активизаций. Необходима разработка специальных приемов. Основываясь на предположении, что разломы одной системы образуются практически одновременно, а время образования разломов различных систем – разное, можно рекомендовать несколько таких приемов. Кратко они сводятся к следующему:

1. Первый прием определения последовательности образования систем разломов основан на использовании закона унаследованной активизации. Рассмотрим его сущность. Установив разлом сложной формы с выдержанной осью простирания, соответствующей направлению изучаемой системы разломов (см. рис. 2.21,*а*), определяют фрагменты, из которых он состоит, отличающиеся по направлению от его осевой линии. *Эти фрагменты принадлежат системам разломов, существовавших до начала формирования изучаемого разлома*. Главная трудность использования этого приема состоит в том, чтобы из всего многообразия проявления изучаемого разлома выбрать те, которые относятся к акту его образования.

Для иллюстрации этого приема обратимся к Криворожскому глубинному разлому (рис. 2.21,*б*), с образованием и последующим развитием которого связано формирование Криворожского железорудного бассейна. Фрагменты его структуры, достаточно четко подчеркиваемые простиранием железистых кварцитов, свидетельствуют об участии в формировании бассейна разломов с азимутами простираний: 17, 35, 45, 347 и 0°. Следовательно, система разломов в 17 и 287°, к которой принадлежит рассматриваемый Криворожский разлом по времени образования, по крайней мере, *пятая*. Дополнительные исследования, проведенные на других структурно-фациальных зонах Украинского щита,

одновозрастных с Криворожской, позволили установить, что в формировании разломов системы 17 и 287 участвуют разломы системы 62 и 332° [31]. Совокупность приведенных данных позволяет сделать вывод, что *система разломов с азимутами простирания 17 и 287° по времени образования последняя из известных шести докембрийских систем*. Отсюда становится ясным наиболее четкое ее геологическое проявление, а также – относительно хорошая сохранность структур, связанных с участием в их формировании разломов этой системы.

Из анализа геометрических особенностей фрагментов Уральской структурно-фациальной зоны (рис. 2.22) можно сделать вывод о том, что системы разломов, имеющие азимуты простирания 305 и 35, 332 и 62° должны были существовать до начала образования ортогональной системы разломов. Весьма интересны азимутальные характеристики разновозрастных элементов Уральской структурно-фациальной зоны в районах: Уральского выступа Восточно-Европейской платформы, Пайхоя и Северной Земли, детальный анализ которых мог бы дать дополнительные сведения о последовательности активизации рассматриваемых разломов во времени. Совокупность известных данных свидетельствует о том, что *первоначальное возникновение ортогональной системы разломов, к которой принадлежит меридиональный фрагмент Уральского разлома, относится безусловно к докембрийскому времени и является пятой по счету из неоднократно упоминавшихся шести систем разломов*. Это заключение имеет важное значение, но требует определенной проверки. Некоторые сомнения вызывают данные о роли системы разломов с азимутами простирания 332 и 62° в формировании Уральской структурно-фациальной зоны. Вполне возможно, что с этой системой связано образование наложенных структур и тогда они поменяются местами по времени образования с ортогональной системой. Нужны дополнительные детальные исследования этого вопроса, в частности, поиск других приемов определения последовательности возникновения систем разломов и их активизации.

2. Второй прием основан на представлении о том, что разломы вновь образующейся системы, пересекая ранее существующие блоки, как правило, имеют различные геологические характеристики, а, следовательно, разное отображение в физических полях (рис. 2.19). Объеденяющим их признаком в разных блоках будет выдержанная по направлению осевая линия, а смена геолого-геофизических характеристик должна происходить на границах блоков ранее возникшей системы. Пользуясь этими представлениями достаточно хорошо изученного Девладовского разлома широтного простирания установлено, что возникновение ортогональной системы докембрийских разломов

произошло позже диагональной (45 и 315°). Это заключение подтверждается и в других районах Украинского щита [31].

3. Наряду с описанными выше двумя приемами, по-видимому, можно пользоваться достаточно хорошо известным приемом анализа нарушенности структурно-фациальных зон известного возраста, разломами других систем. Если время образования структурно-фациальной зоны известно, то можно определить относительное время ее нарушения соответствующей системой разломов. Однако этот прием требует весьма деликатного обращения в связи с возможными ошибками из-за того, что за время образования разломов легко можно принять время их активизаций.

В заключение укажем, что совокупность известных данных, часть которых приведена выше, позволяет сделать вывод о наиболее вероятной последовательности возникновения шести известных систем докембрийских разломов. Эта последовательность (начиная от самых ранних) выглядит следующим образом: системы разломов с азимутами простирания 305 и 35°, 315 и 45°, 332 и 62°, 347 и 77°, 0 и 270°, 17 и 287°. Естественно, в связи с чрезвычайной важностью этого вывода для теоретической геотектоники, он требует тщательной и неоднократной проверки в различных регионах на примерах структур разного возраста и масштаба изучения.

2.5 Литература

1. Белоусов В.В. Происхождение и развитие тектоносферы океанов // Земная кора и верхняя мантия океанов. М.: Наука, 1968. – С. 190-226.
2. Великанов В.А. О механизме процесса унаследования древних разрывных структур современной долинной сетью в Среднем Приднестровье // Докл. АН УССР, сер. Б. 1977, № 9. – С. 781-783.
3. Гамкрелидзе И.П. Планетарная трещиноватость дислоцированных толщ и связанные с ней явления // Геотектоника, 1972, № 6. – С. 45-54.
4. Геология Криворожских железорудных месторождений / Колл.авт. под ред. Я.Н. Белевцева. К.: Изд-во АН УССР, 1962 – 480 с.
5. Геология СССР, т. IX. Северный Кавказ / Ред. В.Л.Андрущук. М.: Недра, 1968. – 760 с.
6. Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. Днепропетровск: 1988. – 107 с.
7. Грачев. А.С., Федоровский В.С. О единой природе рифтов, авлакогенов и геосинклинальных трогов // Советская геология, 1970, №12. – С. 121-122.
8. Движение полюса Земли с 1890.0 по 1969.0 / Е.П.Федоров, А.А.Корсунь, С.П.Майор и др. К.: Наукова думка, 1972. – 264 с.

9. Долицкий А.В., Луговенко В.Н., Портнова В.П. Осесимметричные системы линейных магнитных аномалий на территории СССР // Геомагнетизм и аэрономия. 1973, Т. XIII, вып.2 – С. 384-386.
10. Зоненшайн Л.П., Савостин Л.А. Введение в геодинамику. М.: Недра, 1979. – 311 с.
11. Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами / Колл. авторов под ред. К.Ф.Тяпкина. М.: Недра, 1972. – 260 с.
12. Кадик Л.А., Френкель М.Я. Декомпрессия пород коры и мантии как механизм образования магмы. М.: Наука, 1992.-120с.
13. Клушин И.Г. Взаимосвязь тектонических движений и магматизма Земли на основе вариационного принципа наименьшего действия // Записки ЛГИ, 1963, вып. 2. – с. 33-42.
14. Лунгерсгаузен Г.Ф. О периодичности геологических явлений и изменении климатов прошлых геологических эпох // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат. 1963. – С. 7 - 49.
15. Малая Советская энциклопедия. М.: Сов. Энцикл. 1960, т.9. – С. 1213.
16. Милоновский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968. - 83 с.
17. Михайлов А.Е. О термине “разлом” и о разрывах со смещением // Советская геология, 1960, № 10. – С. 129-132.
18. Михалев А.К., Бородулин М.И. О глубинной структуре Донецкого бассейна в свете современных геофизических данных // Геотектоника, 1976, №5. – С. 49-57.
19. Немец В., Квет Р. Проблемы применения математических методов для геологических исследований с учетом иерархий в планетарных равноудаленных разрывных систем // Методология геологических исследований. Владивосток, 1976. – С. 49-56.
20. Николаева Т.В. О некоторых общих (планетарных) закономерностях в направлении трещиноватости докембрийских пород Балтийского и Украинского щитов // Планетарная трещиноватость. Л.: Изд-во ЛГУ, 1973. – С. 78-88.
21. Новые данные о структуре Саксаганского и Южного районов Криворожского железорудного бассейна / И.К.Лейчинская, Л.А.Ступак, К.Ф.Тяпкин, В.Ю.Фоменко // Геол. Журн. 1966, вып. 6 – С. 16-26.
22. Обуэн Ж. Геосинклинали: проблемы происхождения и развития. М.: Мир, 1967. – 303 с.
23. Пейве А.В. Глубинные разломы в геосинклинальных областях // Изв. АН СССР, сер. геологическая, 1945, № 5. – С. 23-46.
24. Пейве А.В. Общая характеристика, классификация и пространственное расположение глубинных разломов // Изв. АН СССР, сер. геологич., 1956, № 1. – С. 90-105.
25. Пейве А.В. Принцип унаследованности в тектонике // Изв. АН СССР, сер. геол. 1956, № 6. – С. 11-19.
26. Плаксенко Н.А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии. Воронеж: Изд-во Воронеж. Ун-та, 1966. – 204 с.

27. Пронин А.А. Тектоническая история океанов и проблемы становления коры и литосферы. Л.: Недра, 1982. – 248 с.
28. Скаржинский В.И., Тяпкин К.Ф. О роли глубинных разломов в истории формирования структур Большого Кривого Рога // Докл. АН УССР, 1965, № 3. – С. 374-377.
29. Соболев И.Д. Основные черты глубинного строения Урала // Глубинное строение Урала. М.: 1968. – С. 28-37.
30. Строение Урала и его связь с сопредельными областями по геофизическим данным / Б.В.Дорофеев, Е.М.Ананьева, Н.П.Ермаков и др. // Разведочная геофизика СССР на рубеже 70-х годов. М.: 1974. – С. 183-197.
31. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза структурообразования и принцип унаследованности в геотектонике (на примерах Украины) // Геол. журн., 1979, № 3. – С. 49-60.
32. Тяпкин К.Ф. К проблеме создания физико-геологической модели разломов земной коры // Геофиз. журн., 1982, ч.I, № 5. – С. 16-26; ч II № 6. – С. 16-23.
33. Тяпкин К.Ф. Системы докембрийских разломов Украинского щита (по геофизическим данным) // Геол. журн., 1984, № 2. – С. 17-28.
34. Тяпкин К.Ф. Новая модель изостазии Земли // Сб. тезисов XXVII сессия. МГКМ.: 1984. – с. 438-439.
35. Тяпкин К.Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. К.: Наукова думка, 1986. – 168 с.
36. Тяпкин К.Ф. Особенности разломно-блоковой тектоники Украинского щита в сопоставлении с Уралом // Глубинное строение Урала и сопредельных регионов. Свердловск: 1988. – С. 40-54.
37. Тяпкин К.Ф. Вращение Земли – фактор, определяющий направленность геологических процессов и геофизические поля // Геофизика, 1994, №4. – С.8-14.
38. Тяпкин К.Ф. О единой природе геосинклиналей, геосинклинальных трогов, авлакогенов, рифтов и глубоководных желобов // Докл. НАН Украины, 1995, №10. – С. 106-108.
39. Тяпкин К.Ф.. Происхождение океанов с позиций Новой ротационнлй гипотезы структурообразования // Докл. НАН Украины, 1995, № 12. – С. 76 – 79.
40. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная модель магнитного поля Земли // Геофич. журн. 1996, № 1. – С. 30-37.
41. Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н. Системы разломов Украинского щита. К.: Наукова думка, 1990. – 184 с.
42. Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н., Кивелюк Т.Т. О трансформных разломах на Украинском щите // Докл. АН УССР, сер. Б. 1977, № 12. – С. 1084-1086.
43. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т., Гонтаренко В.Н. Сопоставление результатов изучения глубинных разломов восточной части Украинского щита геофизическими методами // Геофиз. сб., вып. 86. К.: Наукова думка, 1978. – С. 9-18.

44. Тяпкин К.Ф., Кучма В.Г. Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и приципы их использования для прогнозирования рудных месторождений // Геофиз. журн., 1989, № 6. – С. 91-93.
45. Тяпкин К.Ф., Фоменко В.Ю. К вопросу о генезисе железистых пород докембрия // Проблемы образования железистых пород докембрия. К.: Наукова думка. 1969. – С. 114-118.
46. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. – 512 с.
47. Шатский Н.С. О происхождении Пачелмского прогиба // Бюл. Моск. О-ва испытателей природы. Отд. Геологии, 1955, в.5. – С. 3-26.
48. Шковыра Ю.Д. Некоторые особенности разломной тектоники Южного Приингулья // Геол. журн., 1976, № 5. – С. 43-49.
49. Шрейс А. О биополярном развитии структуры земной коры // Тезисы докладов совещания по проблемам тектоники. М.: 1962. – С. 151-152.
50. Шульц С.С. О разных масштабах планетарной трещиноватости // Геотектоника, 1966, № 2. – С. 36-42.
51. Шульц С.С. Планетарная трещиноватость // Планетарная трещиноватость. Л.: Изд-во ЛГУ. 1973. – С. 5-37.
52. Яншин А.Л. Основные черты тектонического строения Евразии // Тезисы докладов совещания по проблемам тектоники. М.: 1962. – С. 140 – 149.
53. Cox A, Doell R. Rewiew paleomagnetism // Bull. Geol. Soc. Amer., 1960. – V. 71, №6. – P. 645-768.
54. Hospers I. Rock magnetism and polar wanderung // J. Geol., 1955, V 63. – P. 59-75.
55. Kvet R. Klufzonen uhd planetare Aquidistans – Storungs systeme // Z, geol. Wiss., 1974, Bd 2, № 5. – S. 561-587.
56. Moody J., Hill M. Wrenchfault tectonics // Bull. Geol. Soc. Amer. 1956. V. 67, №9. – P. 1207-1246.
57. Spall H. Paleomagnetism and Precambrian continental drift // 24-th International Geol. Congreses, Sec. tectonics. Montreal : 1972. – P. 172-179.
58. Tyapkin K.F. The heredity principle in geotectonics from view point of the new rotation hypothesis of structure formation // Geologica Balc., 1980, №10.2. – P.3-13.
59. Tyapkin K.F. A study abissal fractures in the Ukrainian Shild by geophysical methods// Geophysical prospecting. 1980, №28. – P.935-944/
60. Tyapkin K.F. A new isostatic model of the Earth/ Geophys. Trans. Hung. Geophys. Inst., 1984, № 30. – P.3-10.
61. Wilson G.T. A new class of faults and their bearing of continental drift // Nature. 1965, № 4995. – P. 343-347.

3. НАУКИ О ЗЕМЛЕ И РОЛЬ НОВОЙ РОТАЦИОННОЙ ГИПОТЕЗЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ИХ РАЗВИТИИ

3.1. Геотектоника

Общие сведения. Из раздела 2. следует, что использование Новой ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере Земли предоставляет исследователю ряд фундаментальных положений, открывающих возможность решать многие геотектонические проблемы по-новому, более рационально. Ниже приведены некоторые из них.

1. *В обсуждаемой концепции четко определены: природа тектонических (тектоно-магматических) активизаций Земли; источник сил и энергии, приводящий к этим активизациям, а так же механизм осуществления таких активизаций в пространстве и во времени. Источником сил тектонических активизаций Земли являются напряжения, возникающие в мантии, в результате изменения ротационного режима Земли. Последний обусловлен взаимодействием нашей планеты с окружающими ее космическими полями. Тектонические активизации представляют собой разрядку поля планетарных напряжений в эпохи, когда они достигают предела прочности пород мантии. Они выражаются в разломообразовании тектоносферы (ее блокировке), перемещении блоков тектоносферы по разломам и сопутствующих им геологических процессов: денудационно-седиментационного и деформации поверхностных структур*.

Возможность реализации перечисленных выше явлений количественно показана в разделе 4, а что касается их *целесообразности* – ограничимся замечанием по этому поводу известного тектониста Е.И. Паталахи [31]: *Сегодня уже более или менее очевидно, что учет влияния космической энергетики на геологический процесс эволюции тектоносферы столь же необходим, как и учет излюбленной нами, как бы “домашней”, эндогенной энергетики. Только симметричный учет обеих энергетик способен вывести нас на путь поиска новых, принципиально более плодотворных геотектонических (а точнее – космотектонических) концепций*.

Таким образом, можно констатировать, что *одно из основных положений, суть которого изложена в п.1, дает исследователю возможность отказаться от ряда неопределенностей, связанных с представлениями о “саморазвитии” Земли, заменив их представлениями формирования структур в тектоносфере под действием конкретных сил ротационной природы.* Практическая ценность такого подхода заключается в том, что он ограничивает фантазию исследователей рамками использования реальных физических сил в тектоносфере с учетом их достаточности.

Касаясь *своевременности* реализации обсуждаемых положений, сошлемся на такой любопытный факт. В московском госуниверситете в течение последних сорока лет проводятся ежегодные совещания «*Фундаментальные проблемы геотектоники*», участниками которых являются ведущие специалисты по геотектонике России и стран СНГ. На этих представительных совещаниях значительное внимание уделяется детальному рассмотрению «новых» проблем *плейт-тектоники*, *плюм-тектоники* и подобных им научных направлений, основанных на представлениях о саморазвитии Земли под действием внутриземных сил, возникающих в результате спонтанно протекающих в ней процессов. В последние годы на 40-м и 41-м совещаниях намечается интересная тенденция – увеличивается количество докладов, посвященных оценке роли космических факторов в тектогенезе Земли, а главное – повышается интерес к ним. Более того, организаторы совещаний для обсуждения этих вопросов выделяют специальную секцию: *проблемы энергетики тектонических процессов*. Названную выше тенденцию, ни в коей мере, нельзя считать отказом от бытующих представлений о саморазвитии Земли, но то, что она свидетельствует о возрастающем понимании существенной роли космических факторов в тектогенезе Земли – это очевидно. Другими словами, можно сказать, что современное сознание геологической общественности вполне созрело для восприятия обсуждаемых предложений.

2. При изучении земной коры у исследователей сложилось два не совсем удачных представления о природе и механизме ее деформации. Первое заключается в том, что особенности деформаций пород, слагающих земную кору, исследователи связывали с отличиями их физических свойств. Так, например, возникли представления об отличии режимов деформации в условиях геосинклиналей и платформ. В соответствии с Новой ротационной гипотезой структурообразования источником сил, приводящим к деформациям Земли и ее самой верхней оболочки – земной коры, является поле планетарных напряжений ротационной природы, возникающих в мантии и неотъемлемого ее элемента – консолидированной нижней части земной коры. Из рис. 3.1,*а*, на котором изображены элементы Земли в масштабе достаточно наглядно видно, что мощности земной коры и мантии несоизмеримы между собой: земная кора, по сравнению с мантией, представляет собой “тонкую пленку”. *Следовательно, законы деформации земной коры будут определяться законами деформации мантии или, во всяком случае, верхней ее части – тектоносферы, включающей консолидированную нижнюю земную кору. При этом основные особенности деформации будут регулироваться параметрами поля планетарных напряжений. Поскольку физические характеристики элементов тектоносферы более или менее выдержаны по латерали, их изменение будет иметь заведомо меньшее значение*. Другими словами,

пространственное положение областей с геосинклинальным или платформенным режимами деформации (в одну и ту же тектоническую эпоху) зависит не от физических свойств слагающих их пород, а от расстояния этих областей до полюсов вращения Земли. Продолжая эту мысль далее, подчеркнем, что имеющие место т.н. “сквозные структуры”, пересекающие как геосинклинальные, так и платформенные области, это не экзотическое, а по-видимому, рядовое явление, связанное с последующими тектоническими активизациями.

Второе, с нашей точки зрения, не совсем удачное представление касается т.н. “прогибов земной коры”. Исследователи планетарной трещиноватости (см. подробнее раздел 2) пришли к выводу о том, *что земная кора оказывается нарушенной системой разломов разных рангов – от микротрещин до глубинных разломов; при этом плоскости планетарных трещин являются механически активными, и движения по ним играют значительную роль в деформациях горных пород*. Основываясь на этом выводе в первом приближении можно принять модель деформации земной коры, изображенную на рис. 3.1, б, соответствующую ее “прогибу”.

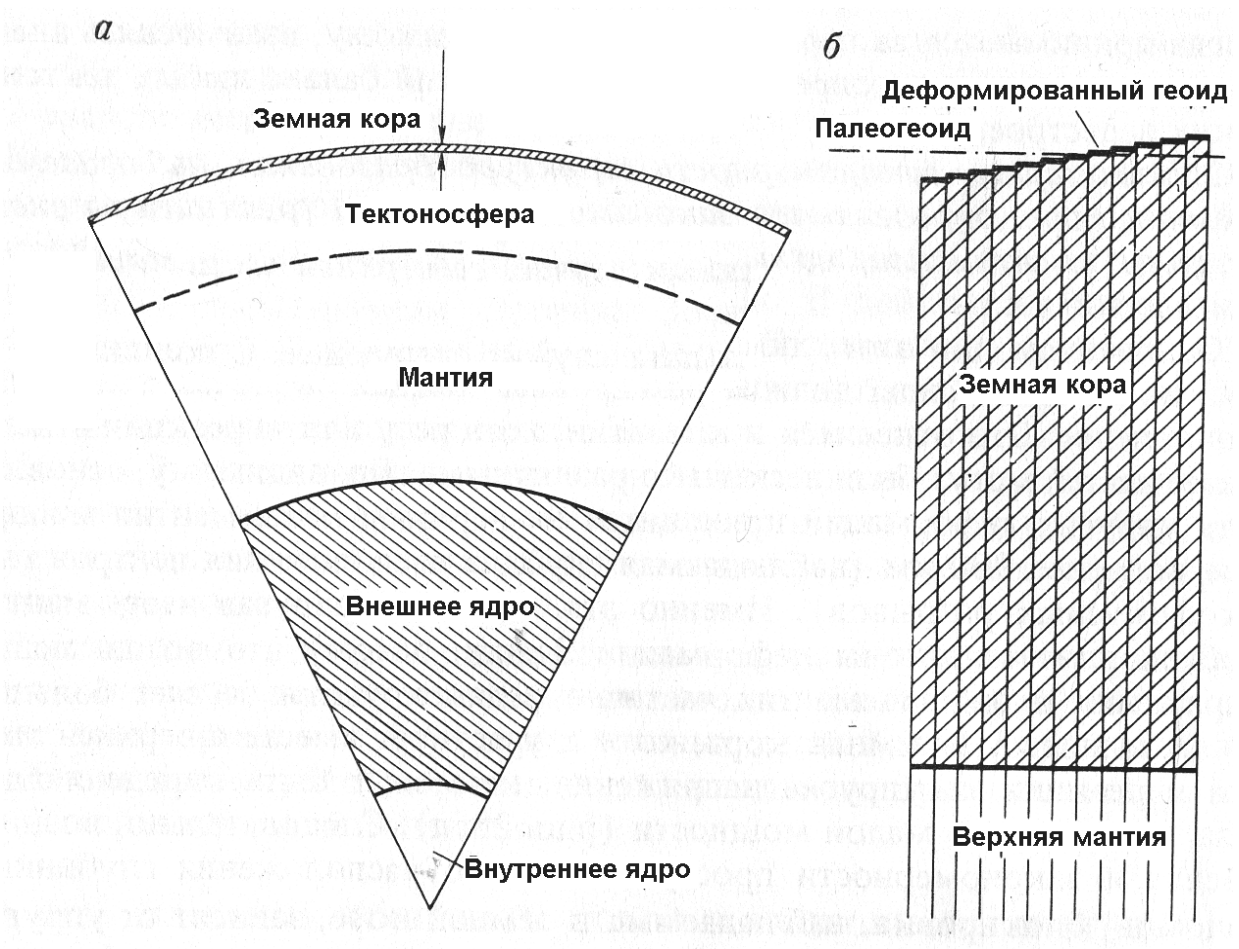


Рис. 3.1. Соотношение мощностей земной коры и мантии (*а*) и схема деформации земной коры в процессе тектонической активизации (б).

Более адекватная реальным условиям модель “прогиба” консолидированной части земной коры изображена на рисунке 3.2.

На рис. 3.2. показано участие в деформациях земной коры разломов разных рангов, в частности подчеркнуто, что амплитуды вертикальных смещений вдоль крупных разломов больше, чем вдоль мелких [63].

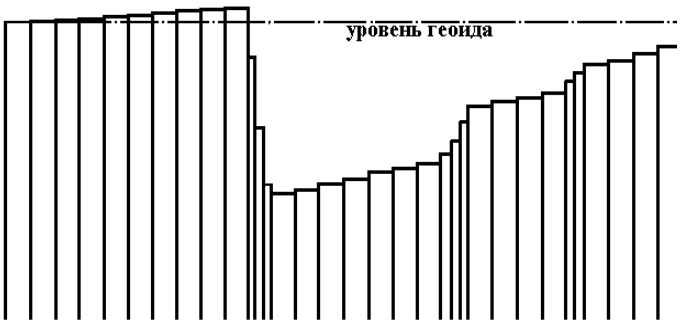


Рис. 3.2. Принципиальная схема деформаций консолидированной верхней части земной коры.

Практическая ценность положений, приведенных в п.2, заключается в следующем. Во-первых, они свидетельствуют о неоправданном преувеличении физических особенностей земной коры в ее тектогенезе, переадресовывая их роль полю планетарных напряжений ротационной природы. Во-вторых, приводят представления о деформациях хрупкой земной коры в соответствие с ее реальными физическими свойствами.

3. В разделе 2 монографии рассмотрены физическая и геологическая сущности Новой ротационной гипотезы структурообразования, а также ее следствия. При этом основное внимание уделено разломообразованию тектоносферы и только частично – проблеме формирования поверхностных структур типа геосинклиналей на основе двух жестких блоков, разделенных крупным разломом земной коры. Совершенно не рассматривались проблемы изучения *складчатости* в земной коре. В настоящем разделе сделана попытка восполнить этот пробел на основе тезиса, непосредственно вытекающего из Новой ротационной гипотезы структурообразования: *деформации пород, слагающих земную кору, как разломные, так и складчатые, происходят в результате разрядки одного и того же поля планетарных напряжений, а, следовательно, должны подчиняться единым законам*.

Складчатость. Если под складчатостью понимать результат одноактной деформации стратифицированной толщи, представленной в виде определенной совокупности складок, то примером одного из простейших видов складчатости должна быть складчатость в самых молодых фанерозойских пластообразных толщах, еще не подвергшихся последующим тектоническим воздействиям. В разделе 1 монографии указывалось, что от периода господства контракционной гипотезы нам в наследство достались представления о том, что складки в осадочной

толще формируются под действием продольного сжатия и поперечного изгиба. Ряд исследователей этими представлениями пользуются до сих пор.

В середине прошлого столетия М.П. Биллингс предложил механизм формирования складчатости в осадочной толще, который он назвал *складчатостью скалывания* [75]. Модель этого механизма приведена на рис. 3.3, *а*. С позиций Новой ротационной гипотезы структурообразования механизм складчатости скалывания, предложенный М.П. Биллингсом для объяснения складкообразования, представляется более привлекательным, по сравнению с механизмами продольного сжатия и поперечного изгиба слоистых толщ. В пользу использования механизма складчатости скалывания свидетельствуют уже упоминавшиеся фактические данные изучения планетарной трещиноватости. Возможность использования механизма складчатости скалывания рассмотрим на одном из конкретных разрезов юрской толщи Солончаковского участка Восточного Предкавказья (рис. 3.3,б). Этот разрез характерен тем, что позволяет сделать определенные выводы не только о реальной нарушенности пластообразного залегания пород в изучаемом районе, но и о современных возможностях выявления этих нарушений. Так, в самом большом интервале между скважинами авторы [29] вынуждены были изобразить на разрезе плавные формы складчатости, хотя несоответствия литологических колонок по этим скважинам не позволили им обойтись предполагаемого нарушения неопределенной природы в нижней части разреза. Казалось бы, что при уменьшении интервалов между скважинами такие несоответствия должны уменьшаться – разрез на близких расстояниях должен быть более выдержанным. На самом деле этого нет. На рис. 3.3,*б* видно, что как бы не уменьшились расстояния между скважинами, при построении разреза в интервалах между ними авторы не могли обойтись без разрывных нарушений.

Анализируя этот пример, можно прийти к следующим выводам: *1. Как и фундамент, перекрывающая его осадочная толща систематически нарушена большим количеством субвертикальных разрывов. 2. При изучении нарушенности осадочной толщи с помощью скважин из-за дискретности данных о серии малоамплитудных разрывных нарушений в ряде случаев они, по-видимому, принимаются за пликативные дислокации. 3. Для объяснения формирования складок в осадочной толще вполне может быть использован описанный выше механизм складчатости скалывания*. Последний вывод особенно важен потому, что может служить основой взаимосвязи формирования структур в осадочном чехле с дифференциальными перемещениями блоков фундамента. Следует специально подчеркнуть, что видимые на рис. 3.3,б разрывные нарушения являются следствием одной из последних тектонических

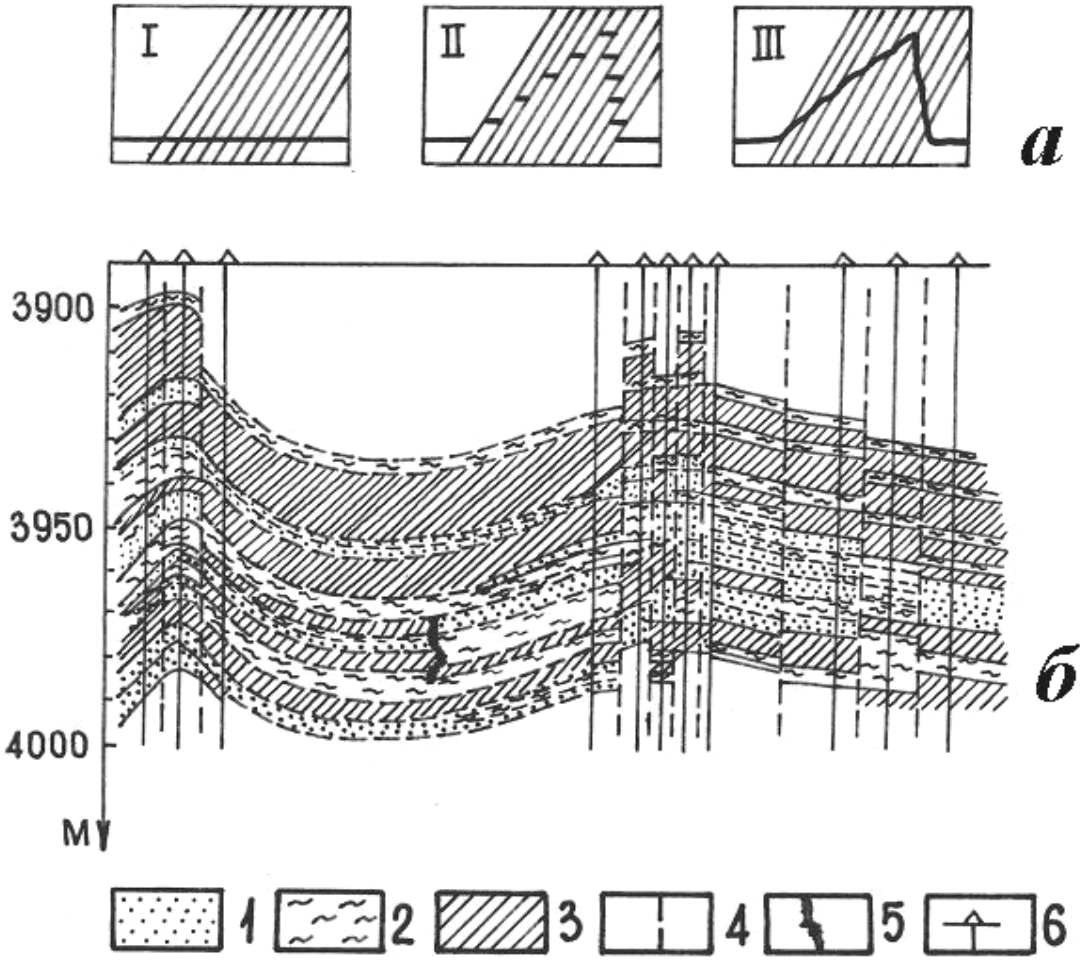


Рис. 3.3. Схема формирования складчатости скалывания (*а*) по М.П. Биллингсу [75] и литологический разрез юрской толщи Солончаковского участка Восточного Предкавказья (б) по Ю.А. Стерленко и др. [29]: 1 – песчаники; 2 – плотные алевролиты; 3 – аргиллиты; 4 – разрывные нарушения; 5 – предполагаемое тектоническое нарушение неопределенной природы; 6 – скважины.

активизаций. По-видимому, сходные с ними нарушения структуры осадочных образований происходили и в предыдущие тектонические активизации на протяжении всего времени существования осадочной толщи.

Докембрийская складчатость. В соответствии с Новой ротационной гипотезой структурообразования все тектонические процессы на Земле в течение истории ее геологического развития происходили однотипно. Формирование складчатости не может быть исключением. Исходя из того, что в докембрии имели место не менее шести тектонических активизаций, а следствием каждой из них было возникновение присущей только этой активизации осадочной толщи. Последующие тектонические активизации Земли участвовали в деформации первоначального залегания осадочных толщ и их усложнениях.

Попробуем выяснить основные закономерности этих деформаций в породах докембрийского возраста. Эти породы по сравнению с фанерозойскими образованиями обладают некоторыми отличиями. Основные из них сводятся к следующему:

1. В связи с более длительным временем существования докембрийских пород под действием протекавшим в них физико-геологических процессов изменились как состав пород, так и их агрегатное состояние. Они практически лишены фаунистической стратиграфической привязки, необходимой для изучения их структурных особенностей.

2. В результате деформаций докембрийских толщ в них затушевываются элементы первично осадочной структуры, типа слоистости, и возникают новые, иногда подобные первичным. Названные выше структурно-текстурные изменения докембрийских пород, устанавливаемые в обнажениях, можно использовать для изучения докембрийской складчатости.

3. Деформация докембрийских образований приводит к резкой анизотропии их магнитных свойств [20], что позволяет использовать магниторазведку для изучения их структурных особенностей. Изучением этой проблемы в 1937 г. занималась группа исследователей во главе с А.Д. Архангельским [47]. Ими было показано, что *в пределах Восточно-Европейской платформы простирание осей линейных магнитных аномалий соответствует простиранию метаморфических толщ на уровне докембрийского эрозионного среза*. Этот вывод нами был проверен для условий Украинского щита [7]. Результаты этих исследований приведены на рис. 3.4.

Анализ данных, изображенных на рис. 3.4. свидетельствует о том, что приведенный выше вывод А.Д. Архангельского и др. [47] полностью оправдывается в условиях Украинского щита. Обращает на себя внимание то, что на отдельных участках щита наблюдается не одно направление простирания в обнажениях, а минимум два и более. Им, как правило, соответствуют подобные простирания осей линейных магнитных аномалий. Более обстоятельное изучение этой закономерности привело нас к выводу о том, что *разные направления простираний пород являются индикаторами различных тектонических активизаций Земли*.

В качестве иллюстрации возможности использования геофизических методов для решения структурных вопросов рассмотрим пример выделения нижнепроторозойских геосинклинальных трогов на фоне архейских образований Украинского щита (рис. 3.5). На рис. 3.5,*а* приведена схема расположения участков с господствующим меридиональным простиранием осей линейных магнитных аномалий на Украинском щите. Эти участки имеют вид вытянутых в меридиональном направлении полос

шириной 35-70 км. Границы этих участков совпадают с разломами меридиональной ориентировки или параллельны им, что свидетельствует об определенной взаимосвязи их образования с возникновением или активизацией ортогональной системы разломов. На рис. 3.5,*б* дана выкопировка из геологической карты Украинского щита, составленной Я.Н. Белевцевым и А.К. Пруссом [5], на которой показано положение участков, образование которых эти авторы относят к нижнему протерозою. Для обоснования отнесения этих структур к нижнему протерозою Я.Н. Белевцев и А.К. Прусс использовали несколько геологических критериев.

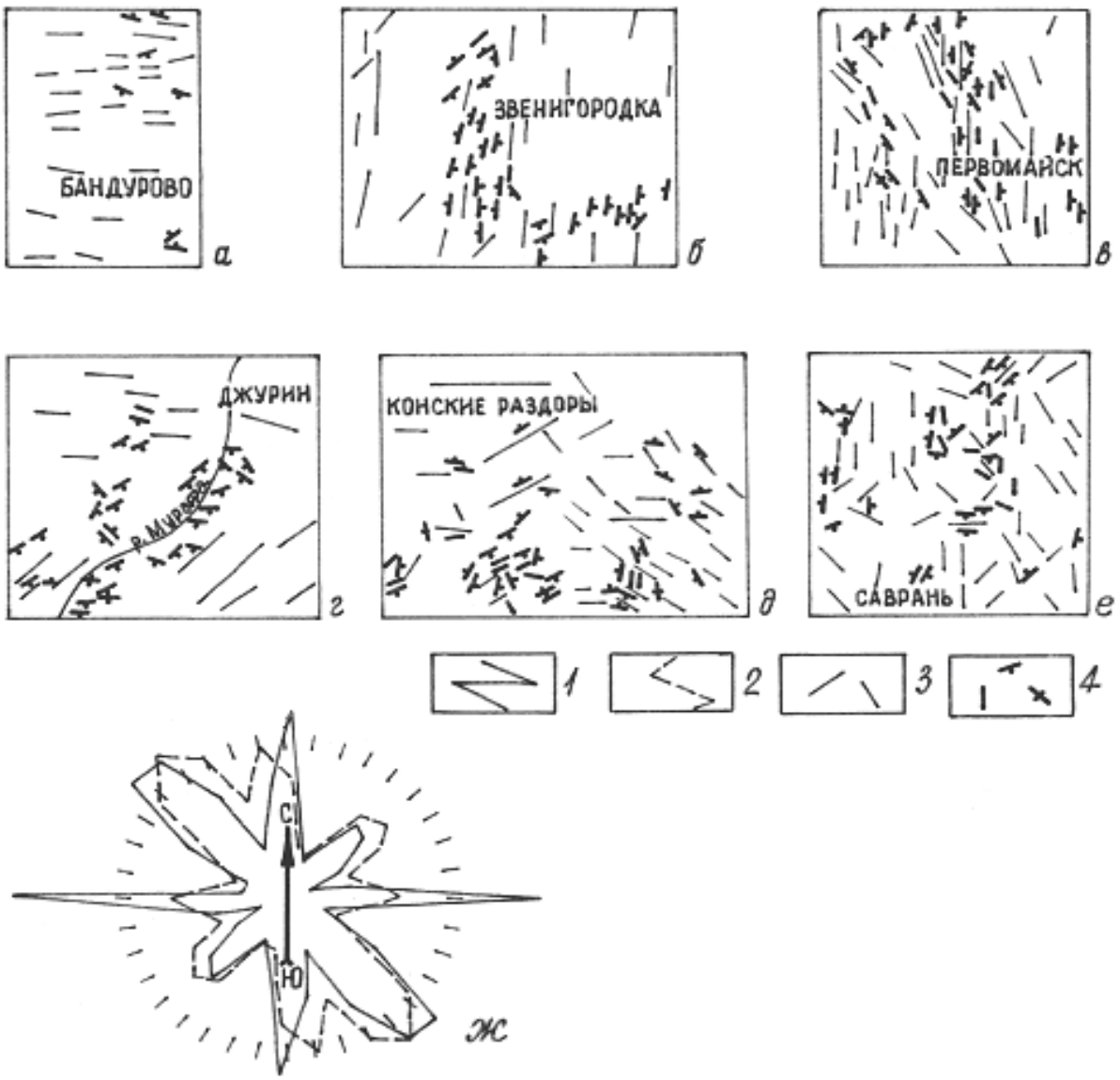


Рис. 3.4. Сопоставление направлений простирания осей линейных магнитных аномалий и элементов залегания пород на различных участках Украинского щита (*а*-*е*) и розы-диаграммы распределения этих направлений на Украинском щите (*ж*): 1 – распределение осей линейных магнитных аномалий; 2 – распределение направлений простираний пород в обнажениях; 3 – оси линейных магнитных аномалий; 4 – элементы залегания пород в обнажениях.

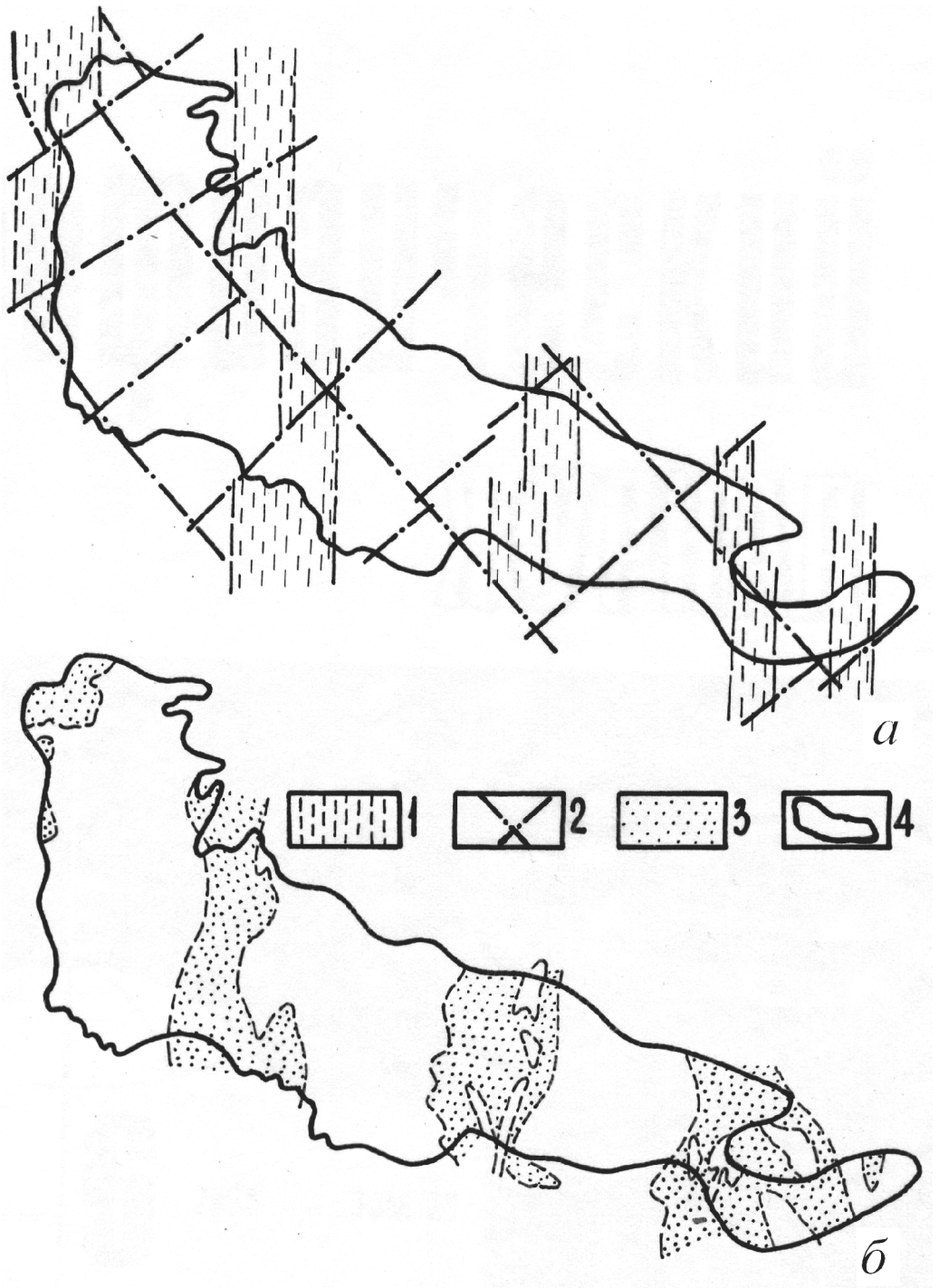


Рис 3.5. Схема сопоставления участков с господствующим меридиональным простиранием осей линейных магнитных аномалий (*а*) и положением нижнепротерозойских структур [5] (б) на Украинском щите: 1 – участки с меридиональным простиранием линейных магнитных аномалий; 2 – осевые линии крупных разломов диагональной системы; 3 – области нижнепротерозойской складчатости; 4 – условный контур Украинского щита.

Не обсуждая по-существу исчерпываемость приведенных обоснований отнесения рассматриваемых структур к нижнему протерозою, обращаем внимание на достаточно хорошее их совпадение с участками, в пределах которых наблюдается господствующее

меридиональное простирание осей линейных магнитных аномалий (рис. 3.5,*а*). Приведенный пример является наглядным доказательством использования господствующего простирания структур для отнесения их к определенному возрасту. Дополнительным свидетельством их более молодого возраста по сравнению с возрастом вмещающих пород является их взаимосвязь с разломами ортогональной системы, возникшей позже диагональной, блоки которой секутся рассматриваемыми структурами.

Межблоковая (разломная) складчатость в докембрии. На обнажениях и в горных выработках в докембрийском основании Украинского щита наблюдается специфическая изоклинальная, близкая к вертикальной, линейная складчатость, представленная чередованием полос близких по составу докембрийских пород. Долгое время природа этой складчатости была неясна. Сторонники контракционной геотектонической концепции представляли ее в виде “сильно сжатых” (раздавленных) складок. Выяснением тектонической природы этих складок занималась и наша группа [51]. В результате исследований было установлено следующее:

1. В пределах большинства крупных разломов Украинского щита фиксируется линейная изоклинальная складчатость, характеризующаяся очень крутыми, близкими к вертикальным углами наклона и простиранием, совпадающим с таковым осевых линий фрагментов крупных разломов. Эта складчатость была названа разломной.

2. Образование разломной складчатости связано с относительными перемещениями блоков фундамента вдоль разделяющего их разлома, происходящими в режиме сжатия. Механизм ее формирования представляется таким: перемещение блоков по разломам осуществляется путем дифференциальных смещений достаточно тонких “пластин”, из которых слагается разломная структура; на границах этих пластин в результате преобразования энергии трения в тепло возникают температуры, при которых вещество приобретает квазипластическое состояние.

Совокупность названных процессов приводит к образованию специфической внутренней структуре разлома, принимаемой нами за складчатость.

О правильности таких представлений свидетельствуют: ориентировка плоскостей полосчатости, ориентировка вытянутых минералов и др. (см. подробнее [51]).

На рис. 3.6 показано поведение осей линейных магнитных аномалий в районе фрагментов одного из разломов Украинского щита, в пределах которого наблюдается разломная складчатость.

В 1972 г. автор этих строк, будучи участником XXIV сессии МГК, имел возможность познакомиться с разломной складчатостью на Канадском щите.

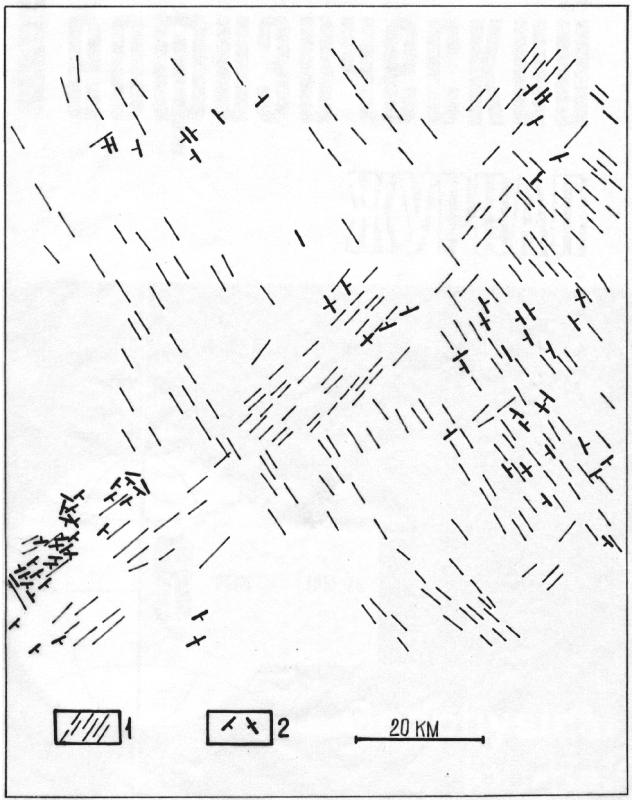


Рис. 3.6. Распределение осей линейных магнитных аномалий в районе фрагментов Белоцерковского разлома в сопоставлении с элементами залегания пород в обнажениях:
1 – оси линейных магнитных аномалий;
2 – элементы залегания пород в обнажениях.

На рис. 3.7 приведен вид обнажений разломной складчатости в районе Гренвильского глубинного разлома на Канадском щите. На рис. 3.7,*а* буквами d_1 и d_2 отмечены дайки диабазов двух генераций. Одна из них (d_1) совпадает с простиранием разломной складчатости, а вторая (d_2) сечет ее. Наличие первой дайки свидетельствует о том, что в процессе формирования разломной структуры, наряду с этапом сжатия имел место и этап растяжения. А по взаимному расположению даек наглядно видна горизонтальная компонента смещения вдоль простирания разломной складчатости за интервал времени между двумя генерациями дайкового комплекса.

На рис. 3.7,*б* показана деформированная дайка диабаза (*d*). На этом примере канадские геологи (д-р W. Young и W. Church) демонстрировали нам участие дайки в формировании последующей складчатости. Рисунок интересен тем, что на нем достаточно ярко виден механизм *складчатости скалывания*.

Классификация складчатости в докембрии и основные особенности ее формирования. В результате каждой тектонической активизации в докембрии в пределах опущенных блоков фундамента появляется осадочная толща, образуя наложенную поверхностную структуру. В процессе последующих активизаций в ней образуются разрывные и складчатые деформации. А в пределах субвертикальных разломных структур фундамента возникает описанная выше разломная складчатость.

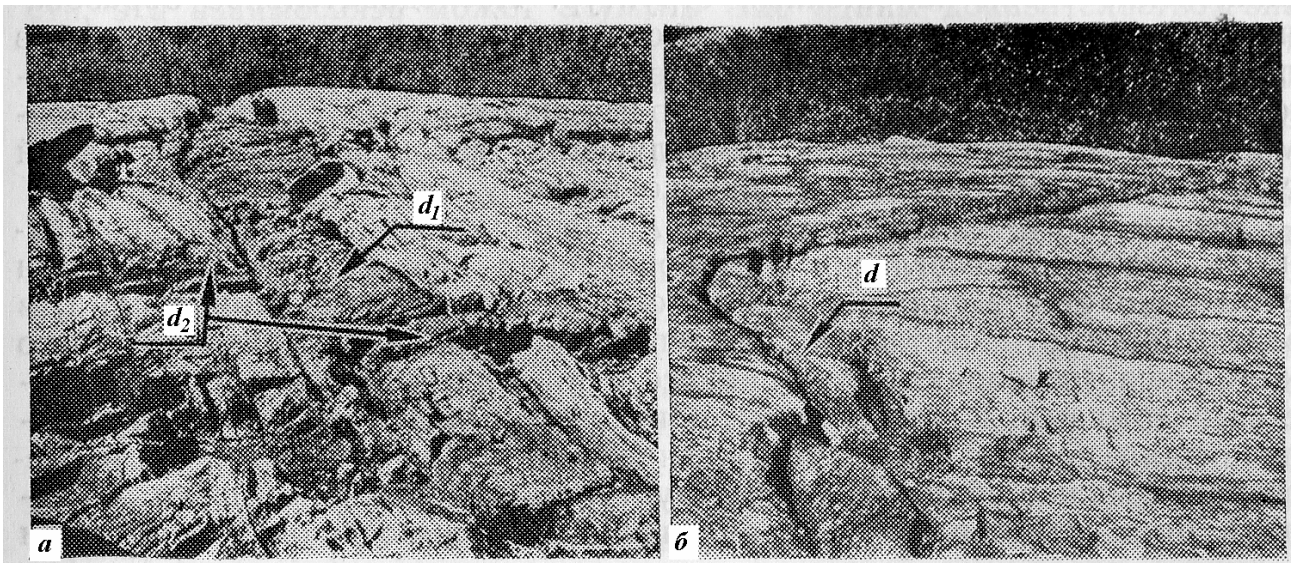


Рис. 3.7. Виды обнажений разломной складчатости в районе Гренвильского глубинного разлома на Канадском щите (фото автора).

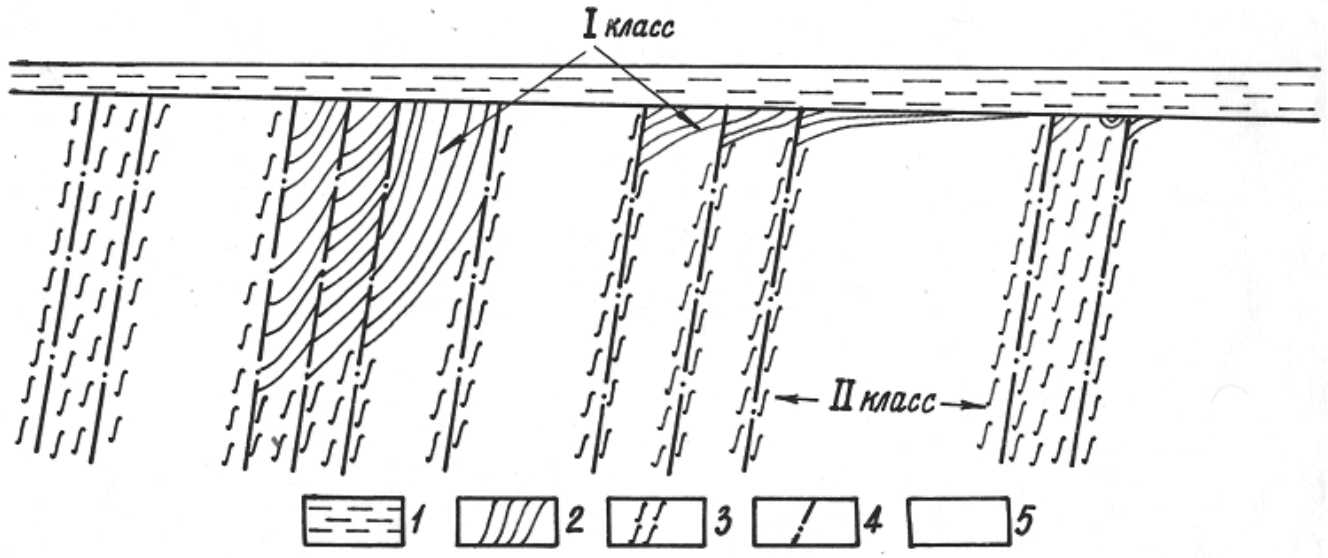


Рис. 3.8. К проблеме классификации складчатости в докембрии:
1 – фанерозойский осадочный чехол; 2 – складчатость в наложенных докембрийских структурах; 3 – разломная складчатость в фундаменте; 4 – осевые линии разломных структур; 5 – слабонарушенные участки фундамента.

Таким образом, складчатость в породах докембрийского фундамента можно условно разделить на два больших класса: *I – складчатость в наложенных структурах и II – разломная складчатость*. Схема их пространственного расположения показана на рис. 3.8. Рисунок отражает возникновение складчатостей обоих классов в одну тектоническую эпоху. На нем подчеркнута их генетическая взаимосвязь, являющаяся следствием разрядки одного и того же поля планетарных напряжений ротационной природы.

Ниже описаны некоторые особенности формирования складчатости в наложенных структурах в результате относительных вертикальных и горизонтальных перемещений блоков фундамента по разломам. Вследствие вертикальных перемещений блоков фундамента в начальные периоды формирования структур, проходящих обычно в режиме растяжения, происходит образование преимущественно пологих форм складчатости моноклинального типа (рис. 3.9,*а*). В последующие этапы происходит усложнение складчатости. Вследствие относительных вертикальных смещений блоков фундамента разного порядка по разломам в режиме сжатия возникают крутые формы складчатости, сопровождающиеся серией надвигов (рис. 3.9,*б*). В результате последующих относительных перемещений разнопорядковых блоков фундамента формируемая структура приобретает чешуйчатый вид. Заметим попутно, что в практике изучения докембрийских разрезов имеет место рисовка т.н. “воздушных складок”, типа изображенных на рис. 3.9,*в*. Из сопоставления рисунков *б* и *в* видно, что реальной необходимости в ней нет. Это просто дань представлениям контракционной гипотезы формирования структур.

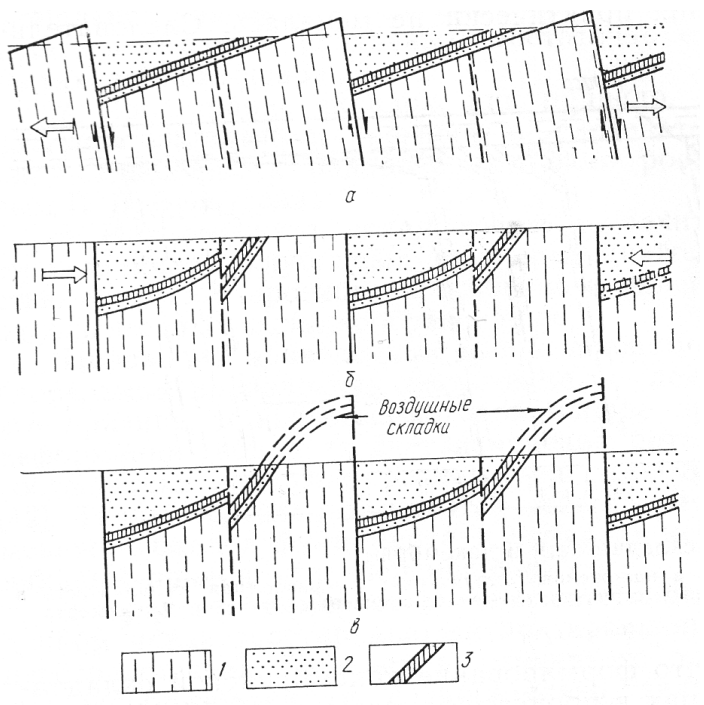


Рис. 3.9. Схемы формирования складчатости в наложенных структурах: *а* – начальный этап, протекающий в режиме растяжения; *б* – этап последующего усложнения структур, протекающий в режиме сжатия; *в* – то же в традиционном представлении. 1 – блоки фундамента; 2 – наложенная структура; 3 – маркирующий горизонт в наложенной структуре.

Вследствие относительного перемещения блоков фундамента в латеральном направлении в режиме сжатия в наложенной структуре, сформированной на границе этих блоков, возникают вторичные структуры в виде так называемых складок волочения (в понимании Дж. Муди и М. Хилла [81]), сопровождающихся надвигами (рис 3.10,*а*). Особенностями такого рода складок волочения являются их кулисообразное расположение под острыми углами (~15º) к осевой поверхности основного сдвига. На рис. 3.10,*б* приведена тектоническая схема Криворожской структурно-

фациальной зоны, построенная Я.Н. Белевцевым [12]. Она является достаточно убедительным доказательством справедливости схемы деформации пород, слагающих наложенную структуру, в результате относительных латеральных смещений блоков фундамента.

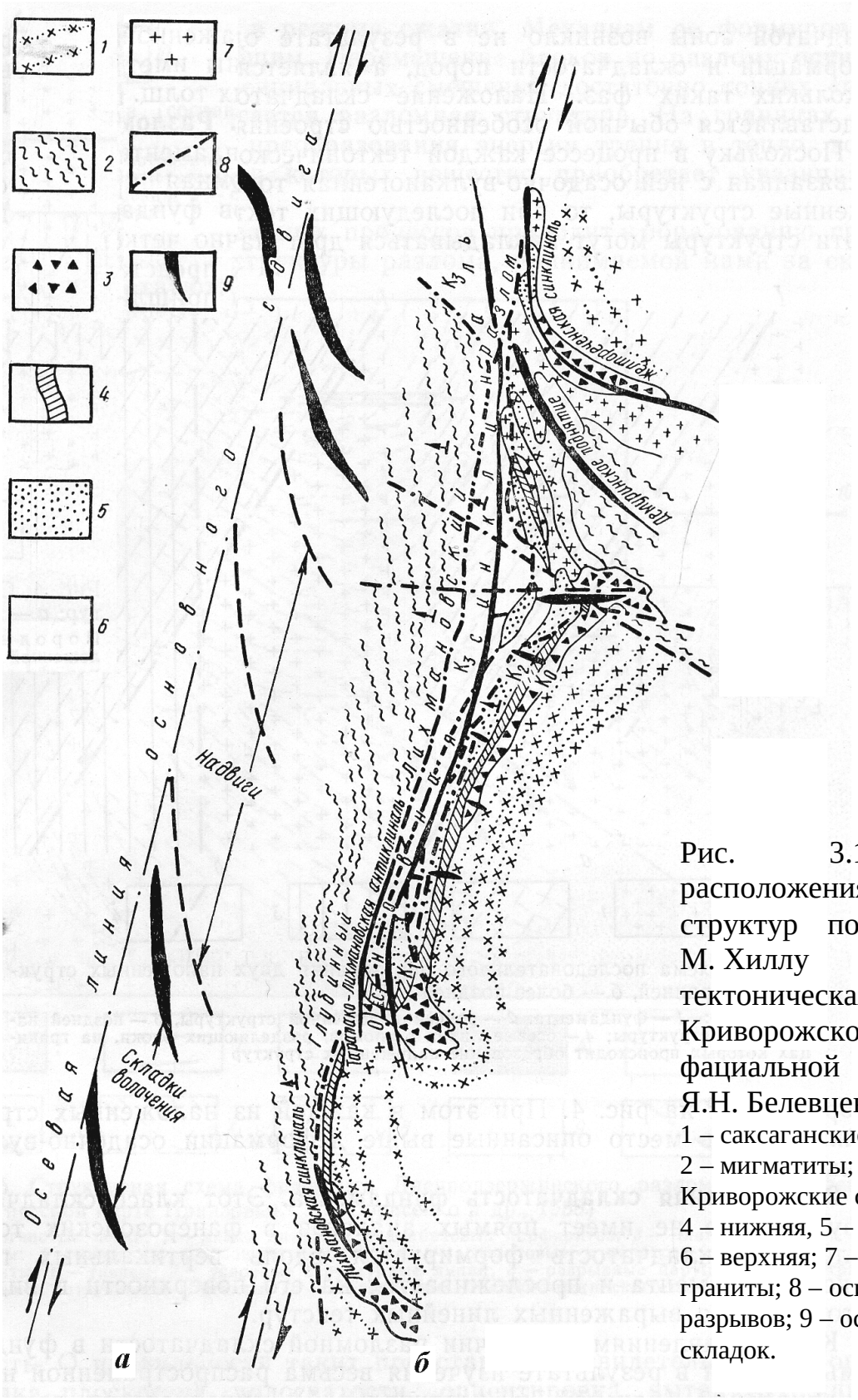


Рис. 3.10. Схема расположения вторичных структур по Дж. Муди и М. Хиллу (*а*) и тектоническая схема Криворожской структурно-фациальной зоны по Я.Н. Белевцеву (*б*):
1 – саксаганские плагиограниты; 2 – мигматиты; 3 – метабазиты; Криворожские свиты:
4 – нижняя, 5 – средняя,
6 – верхняя; 7 – микроклиновые граниты; 8 – оси тектонических разрывов; 9 – оси крупных складок.

О том, что Желтореченская, Восточно-Анновская, Ингулецкая и другие структуры являются складками волочения, в понимании Дж. Муди и М. Хилла свидетельствуют их пространственные особенности в виде “запрокидывания осевых поверхностей в сторону родоначального сдвига” (см. дополнительно [48]). Источник сил и механизм формирования сдвигов рассматривался нами в разделе 2 (см. рис. 2.11). Интересно отметить, что исследователи сдвигов [81] для объяснения наблюдаемых закономерностей расположения вторичных структур в пространстве предлагают теорию, в основе которой лежит модель однородной земной коры. Нам представляется, что в условиях “чрезмерной раздробленности земной коры и резкой ее анизотропии, ближе к действительной будет схема, изображенная на рис. 2.11,*а*, согласно которой горизонтальные перемещения вдоль основного сдвига частично трансформируются в движения по разломам другой, секущей системы разломов азимутами простираний, ближайшими к таковым основного надвига. Вследствие этого, в узлах пересечения осевые поверхности складок и надвигов меняют свое простирание, образуя кулисообразную систему.

Касаясь образования *разломной складчатости*, к приведенному выше добавим следующее. Разломная складчатость возникает на границах блоков метаморфического фундамента в результате их относительных перемещений как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях. В последнем случае так же как и в наложенных структурах в фундаменте возникают деформации, кулисообразно расположенные по отношению к родоначальному сдвигу. На Украинском щите это можно наблюдать на примере Тальновского разлома [51,52].

Особенности изучения складчатости в докембрии. В процессе каждой докембрийской тектонической активизации Земли возникала осадочная толща по своей природе и физическим свойствам, вполне аналогичная фанерозойским осадочным толщам. С течением времени в результате последующих тектонических активизаций эта толща деформировалась по законам, аналогичным законам деформации фанерозойских толщ, но одновременно под действием физико-геологических процессов и, в первую очередь, метаморфизма эта толща приобретала новое агрегатное состояние, приближаясь к агрегатному состоянию фундамента.

В конечном счете это привело к некоторому изменению условий ее деформации, а перед исследователями возник ряд проблем при изучении складчатости в ней. Так, например, в случае изображенном на рис. 3.8 необходимо, в первую очередь, разделить области с наличием наложенной структуры и ее отсутствием, а в общем случае – решить

проблему этажности структурных образований. В настоящее время в условиях Украинского щита в докембрийском фундаменте обычно выделяют два этажа: верхний – протерозойский и нижний – архейский. До более детального структурно-стратиграфического разделения дело, как правило, не доходит. Что касается разломной складчатости докембрийского фундамента, то в течение докембрия произошло более шести тектонических активизаций. Следовательно, фундамент щита пронизан ориентированной не менее чем в 12 направлениях разломной складчатостью. В разных районах щита эта складчатость проявляется неравномерно и интенсивность проявления отдельных ее направлений неодинаковая. Таким образом, можно констатировать, что *одной из наиболее сложных проблем изучения докембрийской складчатости являются особенности, связанные с многоактностью ее формирования*.

Взаимно пересекающаяся складчатость в метаморфических толщах докембрия, методика ее изучения и изображения. В качестве исходных данных для изучения многоактной взаимно пересекающейся складчатости в метаморфических толщах докембрийского фундамента можно принять результаты изучения метаморфических образований группой сотрудников ВСЕГЕИ, приведенные в методическом руководстве [11]. Основным результатом этого изучения можно считать утверждение: *многочисленными исследованиями последнего десятилетия в разных частях земного шара для самых различных метаморфических комплексов установлено, что наблюдаемое тектоническое строение от масштабов одного шлифа до целой складчатой зоны возникло не в результате одноактной, однофазной деформации и складчатости пород, а является сводным результатом нескольких таких фаз. Наложение складчатостей, таким образом, представляет собой обычную особенность строения районов развития метаморфических горных пород [11, стр. 166]*.

Ниже приведены выписки ряда положений, установленных преимущественно в условиях Балтийского щита, необходимые для дальнейшего изложения.

1. Тектоническая переработка деформирующихся пород приводит к образованию новых, ранее не существовавших текстур. К их числу относятся кливаж, сланцеватость ,вторичная полосчатость и различного рода линейные структуры. В свете последних исследований ясно ,что сланцеватость и кливаж представляют собой явления одного происхождения, отличаясь лишь характером выражения. Но сланцеватость и кливаж имеют совершенно одинаковое положение в геологической структуре, будучи всегда связанными со складчатостью: сланцеватость, как и кливаж, располагаются приблизительно параллельно осевым поверхностям складок, а вовсе не параллельно

слоистости. Такие же закономерности расположения свойственны обычно метаморфической полосчатости. Общность структурного положения и происхождения кливажа, сланцеватости и метаморфической полосчатости привела к тому, что в современной литературе эти понятия часто объединяются общим термином “плоскостная текстура” (foliation) [11, стр. 123].

2. В метаморфических толщах одновременное развитие складок нескольких порядков часто становится явлением, приобретающим принципиальное значение. Существуют определенные закономерности взаимоотношений одновозрастных мелких и крупных складок. Весьма обычным является подобие формы поперечного сечения крупных и мелких складок, соблюдавшееся в большей или меньшей степени. Одновременно образовавшиеся крупные и мелкие складки подобны не только по форме, но и по положению в пространстве. Осевые поверхности крупных и осложняющих их мелких складок располагаются в общем более или менее параллельно. Так же взаимно параллельны и шарниры одновременных крупных и мелких складок [11, стр. 129].

3. Осевые поверхности наложенных складок имеют секущее положение по отношению к осевым поверхностям ранних складок. При достаточной степени сжатия наложенных складок в них развивается новая сланцеватость (кливаж и метаморфическая полосчатость) как и в ранних складках приблизительно параллельно их осевым поверхностям. Один из простейших признаков – наличие плоскостных текстур не симметричных по отношению к осевым поверхностям складок [11, стр. 131].

4. Детальные наблюдения показывают, что разрывные нарушения являются очень существенной чертой структуры метаморфических комплексов. Тесная сжатость складок и соответственно близкое к параллельному расположение различных элементов структуры, в том числе и крыльев складок и поверхностей разрывов, отсутствие стратиграфических критериев, позволяющих обнаружить выпадение и повторение части разреза, делают многие разрывы трудно распознаваемыми. На самом деле почти нет геологических границ, по которым бы не происходили той или иной величины смещения, вследствие чего трудно провести грань между разрывными и нормальными контактами [11, стр. 136].

5. Во многих случаях значительные смещения происходили по системам сближенных поверхностей, ни чем не отличающихся от поверхностей в обоих крыльях разрыва и параллельным им. Это обычный вид дальнейшего развития складчатости, когда деформация без нарушения сплошности постепенно переходит в разрывное нарушение. Иногда образование разрывного нарушения сопровождается появлением новой сланцеватости,

которая параллельна поверхности разрыва и, которая может быть расположена под самыми различными углами по отношению к ранее существующим структурам [11 стр. 138].

Приведенные выше эмпирически установленные закономерности складчатых деформаций в метаморфических толщах имеют существенно важное, принципиальное значение, во-первых, потому, что они укладываются в закономерности, непосредственно вытекающие из Новой ротационной гипотезы структурообразования; во-вторых ,они подтверждают представления о природе складчатости, изложенные в начале раздела. Следовательно, их вполне можно использовать в качестве основы для разработки рациональной методики изучения многоактной, взаимно-пересекающейся складчатости в докембрийском фундаменте. Рассмотрим это несколько подробнее.

1. Многоактность формирования докембрийских тектонических структур является естественным следствием последовательно происходящих тектонических активизаций Земли. Под действием каждой из них, возникавших в результате разрядки поля планетарных напряжений, образовывались разломные и соответствующие им складчатые структуры одинаковых направлений. Поэтому разновозрастные элементы тектонических структур, и, в частности, складчатости оказываются разноориентированными в пространстве. Использование этой закономерности открывает перспективы не только для констатации факта наложения складчатостей, но и разработки методики определения последовательности их образования.

2. В метаморфических толщах наблюдается весьма тесная взаимосвязь между такими элементами складчатости, как осевые поверхности одновозрастных складок разного порядка, плоскостными текстурами и продольными разрывными нарушениями. Все эти элементы, возникшие в одну тектоническую активизацию, оказываются параллельными между собой. Эту закономерность легко объяснить, приняв за основу складкообразования механизм *складчатости скалывания*. Добавим к этому, что при таком подходе образование плоскостных текстур в метаморфических толщах оказывается подобным образованию разломной складчатости в породах фундамента. Представляется, что геологические различия плоскостных текстур в основном обязаны разным тектоническим режимам (сжатия и растяжения), в условиях которых они формируются.

3. Из изложенного выше можно сделать вывод, что в качестве основного элемента, характеризующего складчатость, следует принять следы плоскостных текстур на поверхности Земли и выносить их на карты. В пользу предлагаемого выбора изображения на картах именно этих элементов складчатости свидетельствует следующее. Во-первых, в

этом случае линии простирания следов плоскостных текстур, относящиеся к одному тектоническому циклу, будут соответствовать ориентировке глобальных напряжений, под действием которых происходили деформации верхних частей земной коры, как складчатые, так и разрывные. В частности, единым образом будут показаны складчатость в наложенных структурах и разломная складчатость в фундаменте, генетически связанные между собой относительными перемещениями одних и тех же блоков фундамента. Во-вторых, появляется возможность объективного изображения результатов наложенных деформаций изучаемых толщ вследствие многоактности их формирования.

И, наконец, выбор именно этих элементов для характеристики складчатости позволяет активно использовать магниторазведку. Особую актуальность использование магниторазведки приобретает при изучении складчатости в закрытых районах.

Наряду со следами плоскостных структур на тектоническую карту выносятся все маркирующие горизонты и, в частности, геологические границы различных метаморфических комплексов.

Пользуясь приведенными соображениями, можно наметить методику изучения взаимно пересекающейся складчатости в горизонтальной плоскости. Кратко она сводится к нескольким этапам.

1^{й} этап. Составляется стандартная геологическая карта изучаемого участка, на которую выносятся контуры различных метаморфических комплексов, а также контуры массивов ультраметаморфических и магматических пород, обычно, по геолого-геофизическим данным.

II^{й} этап. Параллельно и независимо восстанавливаются следы палеополей напряжений в земной коре, участвовавших в формировании ее разломов и складчатости. При этом либо используются известные азимуты их ориентировки, либо (если это новый район) предварительно определяются методом статистического анализа. В качестве геологических признаков следов палеополей напряжений используются результаты замеров элементов залегания пород в обнажениях, видимые выходы плоскостных текстур и разрывов. В качестве геофизических признаков следов палеополей напряжений используются оси линейных магнитных аномалий, наблюдаемых на поверхности Земли. Они соответствуют следам плоскостных текстур на дневной поверхности.

III^{й} этап. Проводится восстановление складчатостей разных тектонических фаз в пределах установленных в первом этапе докембрийских наложенных структур и в фундаменте. При этом исходят из следующих положений.

1. Простирания линейных магнитных аномалий соответствуют простираниям метаморфических толщ пород на уровне эрозионного среза или плоскостных текстур в этих толщах.

2. Ориентировки плоскостных текстур в деформированных толщах, слагающих наложенные структуры осевых поверхностей складок разных порядков в них, а также разломной складчатости в фундаменте, возникшие в одну тектоническую эпоху, совпадают между собой и соответствуют линиям поля планетарных напряжений, вследствие разрядки которого они образовались.

3. В пределах каждого участка должно быть столько устойчивых ориентировок линейных элементов физических полей и плоскостных геологических текстур, сколько тектонических активизаций испытали слагающие его комплексы пород.

4. В качестве характеристик складчатости каждого тектонического этапа наряду с линиями простирания следует использовать характерные маркирующие горизонты, относящие к этому этапу.

На рис. 3.11-3.13 приведен пример восстановления взаимно пересекающихся складчатостей на одном из участков Приазовской части Украинского щита [9]. Цель приведения настоящего примера – показать принципиальную возможность реализации предлагаемой методики восстановления многоактной складчатости в докембрийских образованиях и вид получаемых при этом карт.

На рис. 3.11 показана схема геологического строения участка исследований, составленная В.Н. Гонтаренко по геологической карте Центрального Приазовья, м-ба 1:50 000 Р.М. Полуновского и др., 1981

На рис. 3.12 изображены оси линейных магнитных аномалий, разделенные по направлениям. На этот же рисунок вынесены результаты замеров простираний пород в обнажениях. Обращает на себя внимание следующее. Во-первых, наблюдается систематическое наложение простираний осей линейных магнитных аномалий в одних и тех же участках, а также области, в пределах которых наблюдаются оси линейных магнитных аномалий только одного направления, однако их мало. На большей части площади имеет место наложение двух-трех направлений. Наиболее сложное соотношение наблюдается в северо-западной части изучаемой площади, в районе распространения гнейсовых толщ. Пользуясь данными, изображенными на рис. 3.12, можно выделить контуры метаморфических комплексов пород, характеризующиеся определенными направлениями в пределах контуров пород на геологической карте. При этом направления складчатости показаны условными линиями простирания пород. Так получается карта разновозрастных структур докембрия, схема которой приведена на рис. 3.13. На эту карту наряду с границами областей складчатостей определенных направлений вынесены участки, занятые гранитоидами и магматическими образованиями, в пределах которых складчатость (плоскостные текстуры) практически не проявляется или проявляется очень слабо. Полученная таким образом карта может служить основой для расшифровки геологической природы и последовательности возникновения складчатостей разных тектонических фаз геологическими методами. Интересное предложение для решения этой проблемы с помощью структурно-метаморфического анализа было сделано В.М. Венедиктовым [9,10]. К сожалению, ему не удалось довести его до конца.

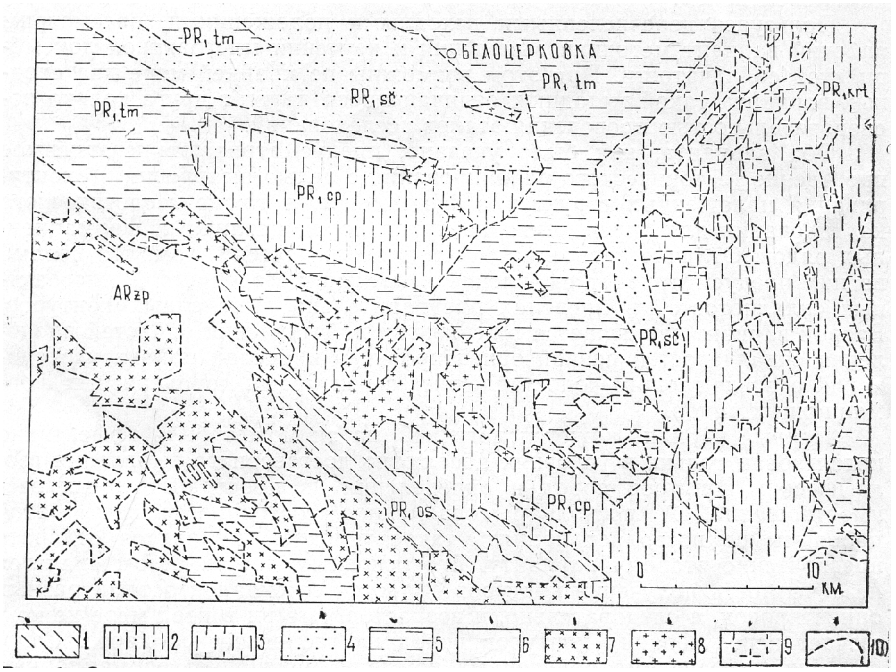


Рис. 3.11. Схема геологического строения Белоцерковской площади Центрального Приазовья. Метаморфизованные осадочные и вулканогенные породы центрально-приазовской серии и связанные с ними мигматиты: 1 – осипенковской свиты; 2 – нерасчлененные; 3 – каратышской свиты; 4 – сачкинской свиты; 5 – темрюкской свиты; 6 – метаморфические осадочные и вулканогенные породы западно-приазовской серии и связанные с ними мигматиты. Ультраметаморфические образования приазовского комплекса; 7 – диориты и гранодиориты; 8 – граниты анатектические и палингенные; 9 – плагиограниты; 10 – контуры пород разных свит.

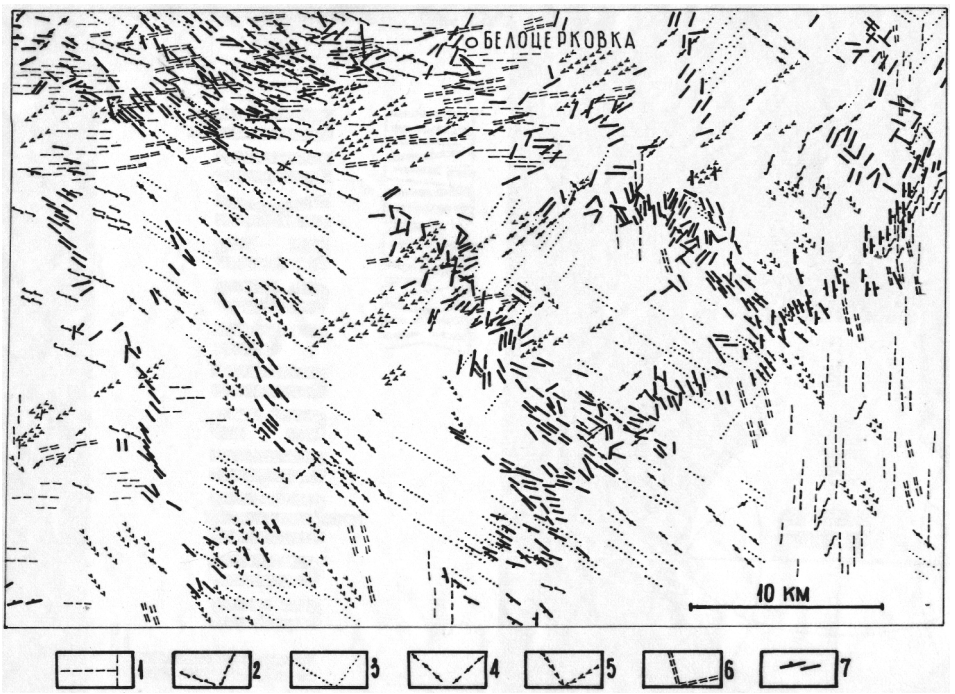


Рис. 3.12. Схема расположения осей линейных магнитных аномалий Белоцерковской площади Центрального Приазовья с вынесенными на нее результатами замеров элементов залегания пород в обнажениях: оси линейных магнитных аномалий с азимутами простираний: 1 – 0 и 270º, 2 – 17 и 287º, 3 – 35 и 305º, 4 – 45 и 315º, 5 – 62 и 332º, 6 – 77 и 347º; 7 – элементы залегания пород.

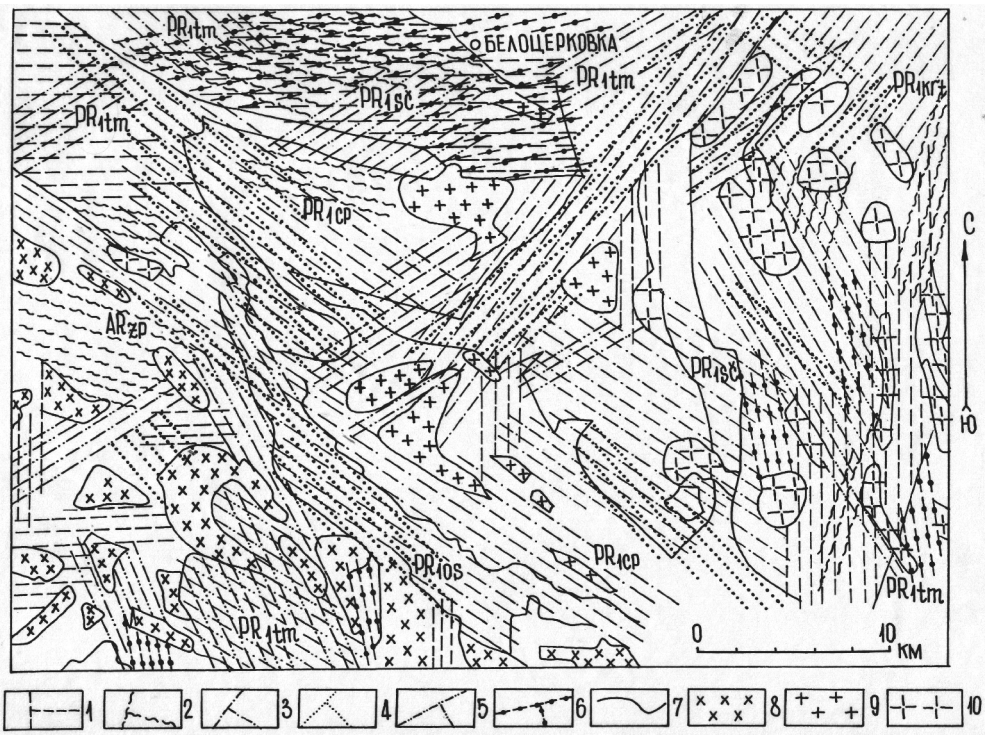


Рис. 3.13. Схема проявления разновозрастных складчатостей на Белоцерковской площади Центрального Приазовья (составлена В.Н. Гонтаренко): линии простирания складчатости, характеризующиеся азимутами: 1 – 0 и 270º, 2 – 17º и 287º, 3 – 35 и 305º, 4 – 45 и 315º, 5 – 62 и 332º , 6 – 77 и 347º; 7 – границы областей разной складчатости по геофизическим данным; 8 – диориты и гранодиориты; 9 – граниты анатектические и палингенные; 10 – плагиограниты.

Главными трудностями на пути решения этой задачи геологическими методами является ограниченный доступ к структуре в районах обнажений и дискретность сведений, получаемых в процессе исследований. С помощью геофизических методов, в частности, магниторазведки, восполняется этот пробел – непрерывно прослеживаются области складчатости определенных ориентировок в пространстве, но при этом можно получить данные только о геометрических особенностях разновозрастных складчатостей без установления их геологической природы. *Следовательно, проблема выявления и изучения разновозрастных складчатостей может и должна решаться только комплексом геолого-геофизических методов.*

Для получения более полного представления о многоактной складчатости кроме описанной выше карты изучаемой площади, нужны вертикальные разрезы вкрест изучаемой структуры. При условии достаточной обнаженности изучаемой площади и наличия профиля глубоких скважин, по линии перпендикулярной изучаемой структуре, построение такого разреза вполне возможно, но к сожалению, по экономическим соображениям не всегда целесообразно. Определенную помощь в решении этой проблемы могут оказать геофизические методы

при условии, если физические свойства пород наложенной структуры и фундамента, на котором она располагается, будут отличаться между собой. Так, например, при наличии разности упругих свойств слагающих их пород решение этой задачи вполне возможно методами современной 3D сейсморазведки. При наличии разницы плотности пород в изучаемых структурах разработана и опробована методика получения вертикальных разрезов наложенных протерозойских структур на фоне архейского фундамента в условиях Украинского щита с помощью гравиразведки [25,50]. И хотя, реально методика опробована только на двухактных структурах, она может быть использована при изучении многоактных структур.

Научное наследие Г. Штилле и необходимость его рационального использования. Н.М. Страхов в 1932 г. писал [46]: *я едва ли ошибусь, если скажу, что всякий, кто впервые познакомился с идеями Штилле о закономерностях орогенеза в оригинальных работах или хотя бы в изложениях, неизменно испытывает чувство облегчения, как будто темные, до сих пор, дали раздвинулись, и осветились, и недоступный прежде материал сделался хотя бы несколько доступным и понятным. Такое действие работ Штилле на читателя не случайно, оно имеет глубокие объективные причины…*

Автор настоящих строк оказался в роли такого читателя. Естественно, я был знаком с основными представлениями Г. Штилле и ранее, но занимаясь преимущественно тектоникой докембрийских образований, не придавал им должного значения, считая, что тектонические закономерности, установленные при изучении фанерозойских толщ, необходимы, в первую очередь, для анализа тектоники именно этих толщ. В процессе подготовки настоящей монографии пришлось детально познакомиться с работами Г. Штилле в русском переводе [67]. Меня поразила его огромная научная интуиция. Ничего подобного в геологической литературе я не встречал раньше.

Не касаясь всей научной деятельности Г. Штилле, ограничусь приведением только установленных им тектонических закономерностей, близких мне по направлению исследований и необходимых для дальнейшего изложения.

При изучении явления горообразования (орогенеза) и тесно связанного с ним процесса складкообразования методами сравнительной тектоники на территориях сначала Германии, затем ряда других Европейских государств, а позже и Америки, используя, преимущественно, *критерий угловых несогласий* в складчатых образованиях определенного возраста и усложнения складчатости разрывными нарушениями, Г. Штилле установил ряд нижеприведенных

закономерностей складкообразования во времени и пространстве, которые он назвал *законами орогенеза* [68].

1. Первый закон *времени орогенезов*, согласно которому все складчатости приурочены к относительно редким, кратким по времени фазам более или менее планетарного значения.

2. Исходя из одновременного проявления орогенеза в самых различных областях Земли, он сформировал второй *закон одновременности орогенеза*. Из этого закона следует, что в одну и ту же фазу могут иметь место все виды орогенных типов строения.

3. Взаимосвязь между разными типами орогенных форм строения выражается третим *законом связи орогенных форм*.

4. Четвертый *закон восходящего орогенического движения* гласит, что не только складчатость, но и любое горообразование происходит при восходящем движении относительно океанского уровня.

5. Пятый *закон единства орогенных сил* указывает, что все типы орогенеза, т. е. образование складчатых и глыбовых гор, вызваны одинаковыми силами.

6. Шестой закон обусловленности орогенных форм гласит, что тип складчатости определяется видом складчатого основания. При возникновении различных орогенных стилей строения *действовали не различные, а одни и те же силы, но по-разному, в соответствие с различным строением основания*.

7. Касаясь длительности процесса складкообразования Г. Штилле делает вывод, что *складчатость и аналогичные явления, которые соответствуют особенно большой производительности тектонических сил, происходили только в определенные, причем, короткие отрезки времени*. Так он пришел к представлению о чередовании длительных отрезков времени с малой тектонической производительностью и коротких с сильно возрастающей производительностью тектонических сил. В работе “Введение в строение Америки” [69]. Г. Штилле приводит обобщенную схему орогенических фаз в фанерозое (рис. 3.14).

На рис. 3.14. показаны три *тектонические эры* и соответствующие им *тектонические фазы*, общее количество которых близко к трем десяткам. Г. Штилле обращает внимание на то, что тектонические эры не обязательно начинаются орогеническими фазами, имея в виду ,что для их подготовки необходимо определенное время.

К изложенному выше добавим, что в ранее опубликованной работе Г. Штилле [70] приводятся данные об открытии им в пределах Европы *явления миграции складчатости*, заключающееся в том, что если где-нибудь в земной коре имеют место значительная складчатость или разрывы, то последующие складчатости следуют новым направлениям;

таким образом, перемещение складчатости выражается в последовательном вовлечении в процесс складкообразования продуктов денудации более древних горных сооружений. Аналогичный эффект миграции складчатости установлен и в пределах Америки [69].

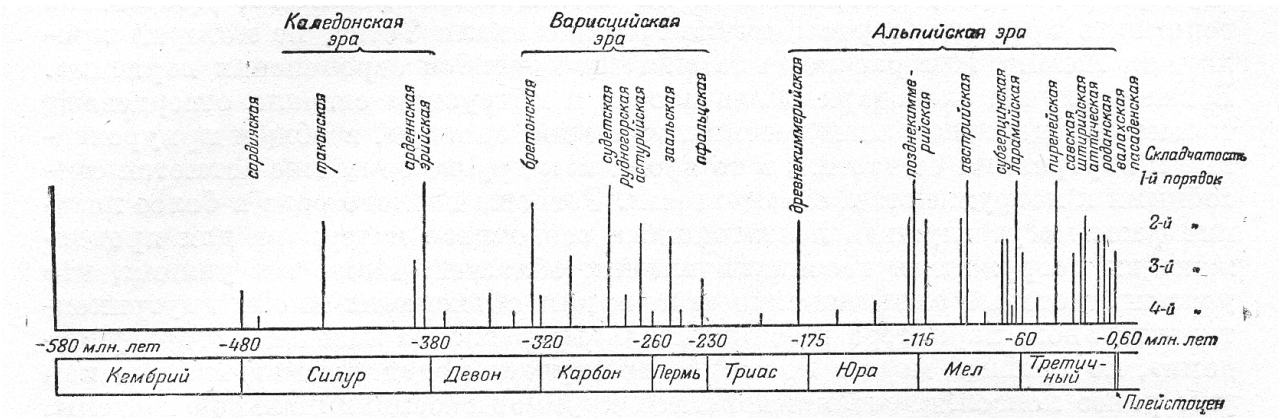


Рис. 3.14. Схема возрастной последовательности орогенических фаз в геологическом прошлом (Stille, 1935)

Анализируя приведенные выше, установленные Г. Штилле закономерности, можно констатировать, что *все они соответствуют Новой ротационной гипотезе структурообразования*. Рассмотрим это соответствие подробнее.

1. Г. Штилле утверждает, что складчатые и разрывные деформации толщ земной коры происходят под действием единого поля тектонических сил (3-й и 5-й законы орогенеза). Таким полем является планетарное поле напряжений, возникающее в Земле в результате изменения ее ротационного режима; другого - просто нет [61].

2. Накопление ротационных напряжений и последующая их разрядка обладают рядом особенностей, которые объясняют многие закономерности, установленные Г. Штилле по результатам полевых наблюдений. Первая особенность заключается в том, что накопление ротационных напряжений происходит непрерывно во времени, а разрядка – дискретно, в моменты, когда величина этих напряжений достигает значений, равных пределу прочности пород тектоносферы. Интервалы времени, необходимые для накопления критических напряжений несоизмеримо больше, чем на их разрядку, которой соответствуют тектонические активизации Земли (орогенезы – по Г. Штилле). Этим объясняется установленное Г. Штилле чередование периодов орогенеза и эпейрогенеза. Разрядка поля планетарных напряжений происходит практически одновременно, естественно в геологическом масштабе времени (второй закон орогенеза).

Вторая особенность накопления и последующей разрядки планетарных напряжений обусловлена их природой. Основные параметры поля планетарных напряжений (интенсивность и ориентировка в пространстве) являются функциями расстояния изучаемой точки от полюса вращения Земли направления его перемещения по ее поверхности. С течением времени направление перемещения полюса меняется, вследствие чего, должны меняться величина и пространственная ориентировка поля являющееся источником сил, под действием которых происходят разрывные и складчатые деформации пород земной коры. Схема изменения ориентировки разломов от одной тектонической активизации к другой достаточно наглядно видна на рис. 2.8. Аналогичная по форме, но меньшая по интенсивности переориентировка поля ротационных напряжений будет иметь место и между двумя фазами тектонических активизаций. Таким образом, *миграция складчатости* в земной коре, установленная Г. Штилле, это следствие миграции поля ротационных напряжений, разрядка которых и формирует складчатость.

Возникает естественный вопрос: *как удалось Г. Штилле установить эмпирическим путем все его законы орогенеза и даже открыть явление миграции складчатости в земной коре?* Ведь он не располагал приведенными выше теоретическими соображениями. Более того, во время проведения исследований Г. Штилле в теоретической геологии господствовали представления о направленном эволюционном развитии земной коры, основывавшиеся на идее ее “саморазвития”. В практике своих исследований Г. Штилле использовал путь: *от частного к общему – от локального к региональному, от регионального к планетарному*. Главная трудность такого подхода заключается в необходимости уметь совместить в голове одновременно невероятно большое количество фактических данных об особенностях складчатых деформаций в разных регионах Земли, для того, чтобы иметь возможность установить их глобальные закономерности. *Это чрезмерно трудно, ведь голова человека – не компьютер*! Г. Штилле все же удалось сделать невозможное – установить свои законы орогенеза и открыть явление миграции складчатости. Это свидетельствует о его колоссальной научной эрудиции и неимоверной целеустремленности в исследованиях.

Отдавая должное научной эрудиции Г. Штилле, хотелось бы специально подчеркнуть *соответствие основных представлений о деформациях земной коры, вытекающих из Новой ротационной гипотезы структурообразования с одной стороны и эмпирически установленных им законов орогенеза и складчатости, с другой стороны*. Надо полагать, что реальное значение этого соответствия особого комментария не требует.

Определенный интерес представляет реакция современников на открытие орогенических законов. Она оказалась далеко неоднозначной. Проиллюстрируем это на примере отношения к идеям Г. Штилле двух весьма уважаемых в научном мире академиков Н.М. Страхова и Н.С. Шатского. С благожелательного, весьма эмоционально выраженного отношения к идеям Г. Штилле [70] был начат настоящий подраздел. Совершенно другое отношение к идеям и закономерностям, установленным Г. Штилле, оказалось у Н.С. Шатского. Будучи активным сторонником господствующих в прошлом веке представлений о саморазвитии земной коры, он не смог по достоинству оценить законы орогенеза, открытые Г. Штилле – не принял их. Как следует из его статьи [66], посвященной этой проблеме, к *Штиллианству* и *Штиллианцам*, к которым Н.С. Шатский причисляет Н.М. Страхова, В.Е. Хаина и В.В. Белоусова, относится весьма негативно, называя их *неокатастрофистами*. Несмотря на такого рода разногласия, тектонические закономерности, установленные Г. Штилле, получили мировое признание.

В заключение краткого обзора научного наследия Г. Штилле отметим, что в настоящей монографии он приведен с целью *совершенствования в ближайшем будущем Новой ротационной гипотезы структурообразования*. Для достижения этой цели предполагается воспользоваться следующими положениями, связывающие между собой Новую ротационную гипотезу структурообразования и тектонические закономерности, установленные Г. Штилле, для фанерозойского этапа развития Земли.

1. В основе Новой ротационной гипотезы структурообразования лежат представления о том, что в результате изменения ротационного режима Земли в ее тектоносфере накапливаются напряжения. При достижении ими величины, равной пределу прочности пород тектоносферы, начинается их разрядка, приводящая к тектонической активизации Земли. В результате каждой тектонической активизации возникает система иерархически соподчиненных разломов тектоносферы и соответствующая им система разломов земной коры, со всеми сопутствующими им геологическими явлениями: денудационно-седиментационным процессом, складчатостью и др. Главной отличительной особенностью каждой тектонической активизации является ориентировка систем разломов и связанных с ними линейных структур земной коры в пространстве, т.е. критерием отнесения тектонической активизации к определенной эпохе развития Земли может служить ориентировка возникающих в эту эпоху линейных тектонических структур и, в первую очередь, разломов. При этом следует иметь в виду, что ориентировка систем разломов земной коры определяется направлением перемещения полюса вращения Земли в эпоху ее активизации. В процессе разработки Новой ротационной гипотезы

структурообразования установлено, что в течение геологической истории развития Земли имели место не менее шести ее активизаций. Азимуты простираний соответствующих им систем разломов земной коры приведены в разделе 2. Средний интервал между ориентировкой разломных структур в разных системах характеризуется величиной порядка 15º. Расчеты полей ротационных напряжений при ныне известных параметрах тектоносферы Земли (см. подробнее раздел 4) свидетельствуют о том, что эти напряжения могут достигать критической величины при перемещении полюса на 1º - 1,5º, т.е. в интервале между двумя крупными тектоническими активизациями могут иметь место 10 – 15 более мелких активизаций или, выражаясь языком Г. Штилле, фаз активизаций.

2. Установленные Г. Штилле орогенические законы относятся к фанерозойскому времени геологической истории развития Земли, но как уже отмечалось, их содержание полностью соответствует Новой ротационной гипотезе структурообразования, относящейся ко всей истории геологического развития Земли. Отличительная их особенность состоит в том, что в качестве основного критерия эпох орогенеза (в нашем представлении – эпох тектонических активизаций) и их отдельных фаз Г. Штилле использовал угловые несогласия в складчатых толщах земной коры, а их временну́ю привязку он осуществлял по стратиграфическому возрасту поверхности углового несогласия соприкасающихся комплексов пород. Явление миграции складчатостей во времени установлено им с учетом их простираний, что сближает оценку эпох деформаций осадочной толщи, используемую Г. Штилле, с нашей – по ориентировке линейных тектонических структур.

Главное достоинство установленных Г. Штилле, эпох орогенеза и их фаз заключается в их детальности и конкретной временно́й привязке. В связи с этим, возникает естественное желание: воспользоваться детально изученными Г. Штилле законами распределения тектонических активизаций Земли в фанерозое для того, чтобы установить подобные закономерности в течение всей геологической истории развития Земли.

Для реализации сформулированного выше предложения потребуется решение, по крайней мере, двух задач.

1. Установить взаимосвязь между критериями проявления фаз тектонических активизаций в структурах земной коры: *угловыми несогласиями в разрезе деформируемых толщ и пространственной ориентировкой линейных структур (складчатости), возникших в результате изучаемой фазы тектонической активизации*.

2. Найти взаимосвязь между *ориентировкой разломных и связанных с ними складчатых структур в каждую фазу тектонической активизации и временем свершения этой фазы*.

Рассмотрим возможные пути решения этих задач.

Для начала подчеркнем, что отличие от канона тектонических фаз, установленных Г. Штилле для фанерозоя, в процессе развития Новой ротационной гипотезы пока по результатам изучения глобальных систем разломов в течение всей геологической истории развития Земли четко фиксируются только шесть, по-видимому, крупных тектонических активизаций (раздел 2).

Появление в разных районах Земли систем разломов, характеризующихся азимутами простирания, отличными от основных шести, свидетельствуют о существовании других, возможно менее интенсивных активизаций (фаз). В качестве примеров таких систем могут служить упоминавшиеся системы разломов с азимутами простирания (25º и 295º), (56º и 326º), установленные нами на Украинском щите. В.В. Самков [39] в пределах Алтае-Саянской складчатой зоны кроме двух выше названных систем установил достаточно четкое проявление систем разломов с азимутами простирания (52º и 222º), (70º и 340º). Характерной особенностью всех названных систем разломов является их пространственная ориентировка: азимуты простирания разломов этих систем оказываются промежуточными между азимутами простирания разломов, соответствующих основным тектоническим активизациям.

Добавим еще один пример, подчеркивающий эту закономерность.

На рис. 3.15 приведена карта одного из районов Тихого океана у восточного побережья Северной Америки, которой обычно пользуются сторонники тектоники литосферных плит для иллюстрации спрединга морского дна. В нашей интерпретации положительные линейные аномалии (на рис. изображены темным цветом) соответствуют дайкоподобным образованиям единого, вероятнее всего, фанерозойского возраста, возникшие в результате активизации разломных структур докембрийского возраста, проходившей в режиме растяжения. На материках подобные явления можно наблюдать в виде дайковых полей, типа изображенного на рис. 2.14. Обращает на себя внимание следующее: линейные магнитные аномалии не параллельны между собой, а характеризуются несколькими дискретными направлениями, имеющими место и в других районах Мира: это общеизвестные направления 0º и 17º, присущие крупным тектоническим активизациям. Кроме них, на рисунке довольно четко проявляются линейные магнитные аномалии с азимутами простирания промежуточными между названными выше.

Из анализа приведенных примеров можно сделать вывод, что *в интервалы времени между основными тектоническими активизациями имели место и другие, возможно менее интенсивные*. Как уже указывалось выше, теоретические расчеты подтверждают этот вывод. Сдерживающим фактором для полного их выявления является пока ограниченная точность определения азимутов простирания линейных

тектонических структур геолого-геофизическими методами (±2º). Если удастся довести точность этих определений, хотя бы до 0,5º, то можно надеяться на восстановление если не всех фаз тектонических активизаций Земли, то, по крайней мере, наиболее крупных из них.

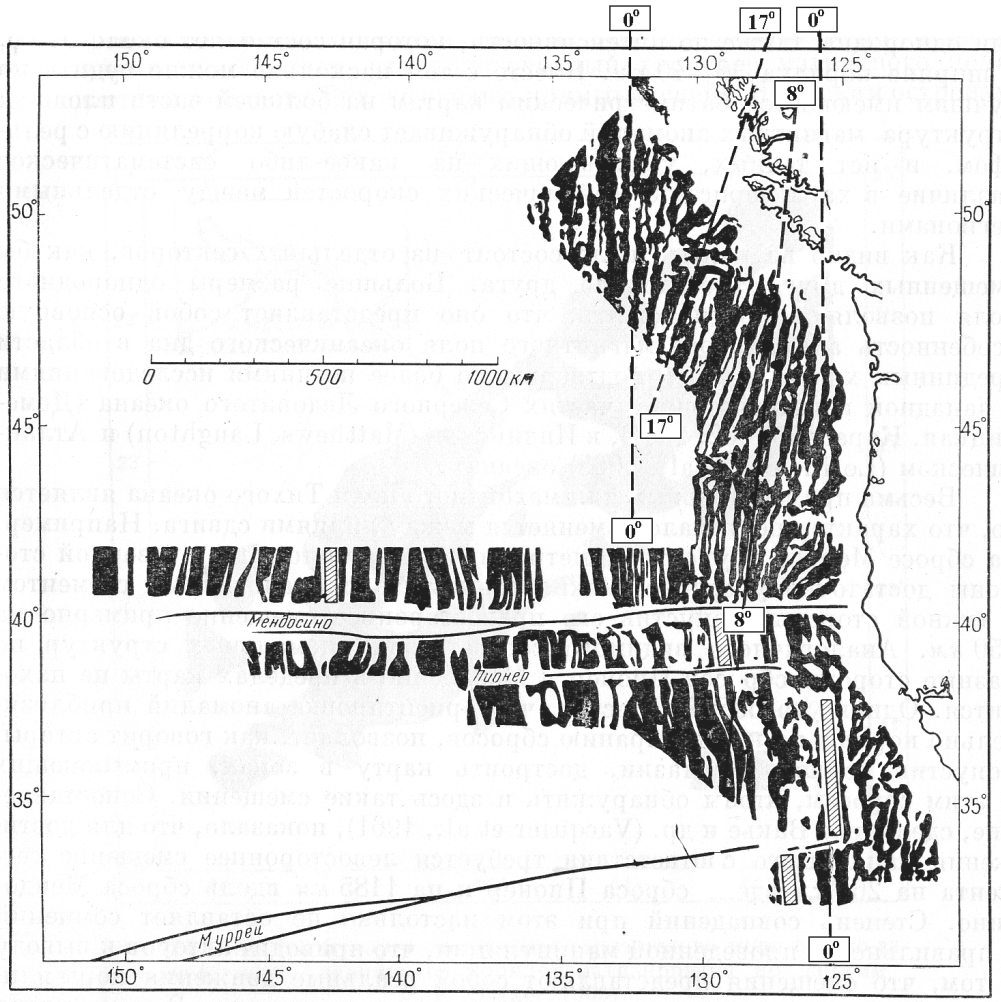


Рис. 3.15. Карта магнитного поля района Тихого океана (по Вакье и др., 1961)

Для решения этой проблемы необходимо располагать траекторией движения полюса вращения по земной поверхности, как функции времени, в течение всей геологической истории развития Земли. Пока известна единственно реальная возможность получения – путем проведения специальных целенаправленных палеомагнитных исследований, в которых временная привязка может быть осуществлена методами радиогеохронологии. Это весьма сложная проблема, к которой вернемся еще раз в заключительном разделе монографии.

В данном случае отметим, что в качестве первого этапа решения обсуждаемой проблемы должа быть разработка методики ее решения. Этот этап удобнее всего осуществить на материалах фанерозоя. Основное

удобство заключается, во-первых, в возможности использования достаточно детальных и четко привязанных ко времени закономерностей тектонических активизаций, установленных Г. Штилле и, во-вторых, в настоящее время для фанерозоя имеются все исходные материалы, необходимые для восстановления траектории движения полюса. Естественно, это не менее трудная задача, чем вся обсуждаемая проблема. Для ее решения исследователям потребуется целеустремленность в достижении цели достойная той, которой обладал Г. Штилле.

3.2. Металлогения

Общие сведения. Металлогения – это отрасль геологической науки, занимающаяся изучением закономерностей формирования и размещения рудных месторождений во времени и пространстве. Ее возникновение и становление как самостоятельной науки происходило во время безраздельного господства в мире геотектонической концепции геосинклиналей и платформ [30 и др]. Одним из основоположников металлогении считают Ю.А. Билибина, определившего основные направления этого учения. Им установлена взаимосвязь между этапами развития геосинклинальных структур и проявлением различных эндогенных месторождений [6]. В дальнейшем, трудами большого коллектива исследователей, металлогения выделена в самостоятельную отрасль геологической науки со своими предметами и методами исследований. Содержание этой науки, история ее развития и методы исследований весьма обстоятельно изложены в монографии А.Д. Щеглова [72]. Не касаясь всех особенностей металлогении, приведем ряд ее положений, необходимых для дальнейшего изложения.

В современной металлогении считаются установленными следующие закономерности, которые А.Д. Щеглов называет законами [72].

1. *Определенные типы полезных ископаемых проявляются в определенных типах поверхностных структур*. При этом, в качестве главных структурных элементов земной коры используются *геосинклинально-складчатые зоны, срединные массивы, платформы и их области автономной тектонической активизации*.

2. *Линейное, поясовое размещение рудных месторождений, находящее свое выражение в региональной металлогенической зональности, является законом пространственного размещения рудных месторождений в земной коре*. В рамках этого закона, в зависимости от масштабов рудных площадей, используются следующие их градации: *планетарный металлогенический пояс; металлогеническая провинция (область); рудоносный (металлогенический) пояс; металлогеническая зона (район); рудная зона (район)*.

Успехи современной металлогении в области изучения закономерностей размещения рудных месторождений в пространстве и во времени, которые способствовали открытию новых крупных месторождений различных полезных ископаемых, общеизвестны. Вместе с тем, в настоящее время стали очевидными и ряд ее недостатков. Одним из них является недооценка роли *разломных структур земной коры* в современном их понимании, которая сдерживает дальнейшее развитие металлогении. Этот недостаток напрямую связан с “пробелами” в концепции геосинклиналей и платформ. Второй недостаток заключается в неоправданном отведении решающей роли идее о т.н. “саморазвития” земной коры. Он так же унаследован из представлений прошлого века.

Новая ротационная гипотеза структурообразования позволяет избежать этих недостатков и открывает ряд перспектив дальнейшего развития металлогении. Это оказывается возможным благодаря использованию преимущественно тектонических закономерностей, являющихся следствиями Новой ротационной гипотезы структурообразования. Названные закономерности детально рассмотрены в разделе 2 и в сжатом виде перечислены в разделе 3.1. В данном случае считаем уместным подчеркнуть те из них, использование которых в металлогении, позволит ей выйти на качественно новый уровень.

Особое место в этих закономерностях занимают представления о тектонических активизациях Земли. Наиболее существенным для металлогении является взаимосвязь тектонических активизаций Земли с активизацией магматической деятельности. Другими словами – *природа и закономерности тектоно-магматических активизаций Земли во времени и пространстве могут быть использованы в качестве теоретической основы формирования рудных месторождений в земной коре*.

В разделе 2 показано, что результатом каждой тектонической активизации в тектоносфере Земли возникает определенная сеть разломов, образующая соответствующую систему блоков. Этот процесс сопровождается сопутствующими геологическими явлениями, имеющими непосредственное отношение к металлогении.

1. *Наиболее важной особенностью для металлогении является природа активизации магматической деятельности в процессе тектонических активизаций Земли. Необходимо иметь представления о причине магматических расплавов пород тектоносферы, составе магм и механизме транспортировки этих расплавов в земную кору. Ответы на все эти вопросы дает Новая ротационная гипотеза структурообразования (см. раздел 2)*.

2. Один из постулатов Новой ротационной гипотезы структурообразования гласит: *крупные разломы одного порядка в каждой системе должы иметь определенную металлогеническую специализацию,*

которая может усложняться в процессе участия разломов или их отдельных фрагментов последующих активизаций, а также – в результате взаимного пересечения разломами других систем. Этот постулат получил эмпирическое подтверждение на фактических материалах изучения систем разломов геолого-геофизическими методами в различных регионах СССР [13].

3. *Поскольку в каждую тектоническую активизацию возникает система разломов тектоносферы, характеризующаяся определенными азимутами простирания и известна последовательность возникновения систем разломов, то открывается принципиальная возможность оценки временной последовательности образования рудных месторождений, связанных с разломами определенных систем*. К сожалению, абсолютный возраст систем докембрийских разломов пока неизвестен: во-первых, потому, что этой проблемой исследователи до сих пор, практически, не занимались; во-вторых, это очень не простая проблема – она усложняется тем, что фрагменты разломов, ранее возникших систем, участвуют в последующих активизациях. Так, например, большинство разломов земной коры, проявляющиеся в фанерозойское время, в основном, унаследованы с докембрия. В частности, Уральская структурно-фациальная зона, сформирована преимущественно в герцинское время, но на основе докембрийского меридионального глубинного разлома. Несмотря на сложность рассматриваемой проблемы, непреодолимых препятствий для ее решения, нет. Потребуются специальные целенаправленные исследования.

4. *Еще одной важной для металлогении особенностью тектоно-магматических активизаций является взаимосвязь между разломами земной коры и геосинклиналями. Эта взаимосвязь* сравнительно просто объясняется с позиций Новой ротационной гипотезы структурообразования. При этом в качестве исходной модели геосинклинали принимается не классический вариант “прогибания” земной коры, а более адекватная ее физическим свойствам модель, предложенная Дж. Муди и М. Хиллом. Она приведена на рис. 2.2. Таким образом, в определеной мере оправдываются представления о природе геосинклиналей известного тектониста Г.Д. Ажгирея, который формулировал их так [1]: *проводящие каналы (глубинные тектонические зоны), по которым поднимаются дифференциаты, выходят на поверхность Земли в форме гигантских линейно-вытянутых разломных поясов, являющихся геосинклиналями на определенных этапах геологического развития.*

Если учесть, что геосинклинали, геосинклинальные троги, авлакогены, рифты и глубоководные желобы формировались по единой модели, аналогичной изображенной на рис. 2.2., то использование этой

модели в современной металлогении позволяет не только сохранить, но и рационально использовать ранее установленные закономерности, характеризующие взаимосвязь между этапами развития геосинклинальных областей и последовательным проявлением различных эндогенных месторождений в рамках одного тектоно-магматического цикла.

5. В заключение краткого обзора особенностей тектоно-магматических активизаций Земли, являющихся следствиями Новой ротационной гипотезы структурообразования и имеющих существенное значение для металлогении, обратим внимание еще на одну особенность, с нашей точки зрения, главную. Она состоит в том, что в процессе каждой тектоно-магматической активизации родоначальными струкутрами, определяющими формирование структурного плана и формационных особенностей толщи пород, участвующей в этой активизации, является система разломов тектоносферы земной коры. Разломы земной коры инициируют активизацию магматической деятельности; перемещение блоков по разделяющим их разломам приводит к возникновению новых осадочных толщ и формированию любых поверхностных структур. Отсюда следует вывод: *при выборе главных структурных элементов для металлогенических исследований предпочтение, перед любыми другими, следует отдать разломам земной коры*.

Выбор разломов земной коры в качестве главных структурных элементов соответствует одному из основных законов металлогении – *линейному, поясовому размещению рудных месторождений.* Об этом же свидетельствует и закономерность, установленная Ю.А. Косыгиным. Он утверждает, что *84% всех известных постмагматических месторождений мира выявлено вдоль разломов земной коры или на их пересечениях [26]*.

Ниже приведены примеры, иллюстрирующие взаимосвязь между металлогеническими подразделениями разного порядка и соответствующими им рангами разломов. В качестве примера *планетарного металлогенического пояса* можно назвать уже упоминавшуюся Уральскую структурно-фациальную зону (рис. 3.16).

На рис. 3.16 видно, что максимальная концентрация рудных месторождений наблюдается в пределах Уральской структурно-фациальной зоны, сформированной на основе Уральского меридионального разлома земной коры 1 порядка, имеющего общую протяженность порядка тысячи километров. В пределах этой зоны известны весьма разнообразные меторождения: хрома, платины, ванадия, железа, меди, золота и ряда других элементов. Их совокупность представляет собой *Уральский планетарный металлогенический пояс*. Характерной особенностью Уральской структурно-фациальной зоны

является наличие линейного интрузивного пояса пород габбро-пироксенит-дунитовой формации, с которой связаны месторождения платины, хрома и сопутствующих им элементов. Эта формация, по-видимому, и определяет металлогеническую специализацию Уральского глубинного разлома. Образование других групп месторождений может быть связано либо также с активизацией Уральского глубинного разлома, но в другие этапы, либо с узлами пересечения Уральской разломной структуры разломами других систем. Отметим еще одну ее особенность. Линейный габбро-перидотитово-дунитовый пояс, приуроченный к центальной части Уральского глубинного разлома, благодаря достаточно четким линейным формам и значительному простиранию позволяет довольно точно (±1°) определить пространственную ориентировку разлома по геологическим данным. Азимут его простирания оказывается равным 2°.

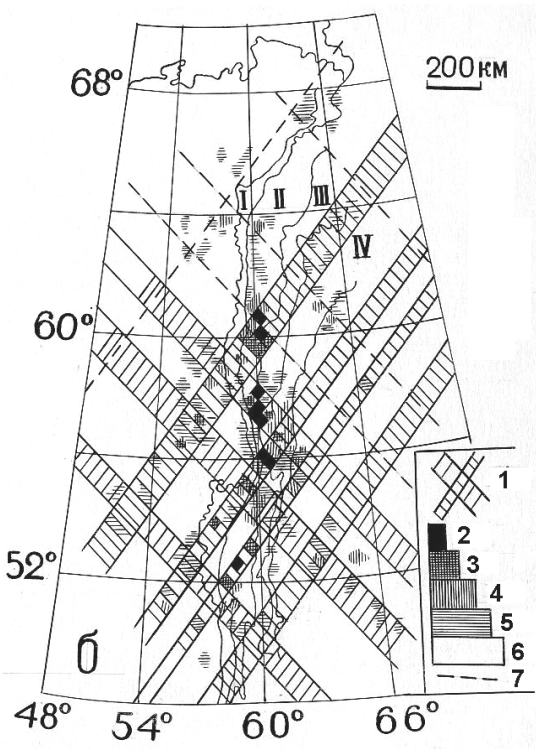


Рис. 3.16. Схема размещения поясов концентрации полезных ископаемых в пределах Урала (по А.Л. Алейникову и др. [2]): I – Центрально-Уральское поднятие; II – Тагило-Магнитогорское погружение; III – Восточно-Уральское поднятие; IV – Восточно-Уральское погружение. 1 – пояса концентрации месторожений полезных ископаемых ; 2 – 6 – шкала относительной плотности размещения полезных ископаемых (2 – максимальная концентрация, 6 – минимальная); 7 – осевые линии прогнозных поясов.

Роль разломов при формировании более мелких металлогенических подразделений покажем на примере Украинской железорудной провинции (рис.3.17). На рис. 3.17 видно, что расположенная в пределах Украинского щита, Украинская железорудная провинция представлена, по классификации Я.Н. Белевцева [19], тремя железисто-кремнистыми формациями: вулканогенной, вулканогенно-осадочной и осадочной.

Вулканогенная и вулканогенно-осадочная формации располагаются в отдельных блоках, границами которых являются региональные разломы с азимутами простирания 332 и 347°. Породы осадочной группы железисто-

кремнистых формаций располагаются в пределах тех же самых блоков, но имеют отличное простирание. Они обособлены в виде линейных структурно-фациальных зон, сформированных на основе разломов с азимутами простирания 17°. Так в пределах Среднего Приднепровья наиболее четко проявляются структурно-фациальные зоны: Криворожско-Кременчугская, Белозерско-Конкская, Орехово-Павлоградская, сформированные на основе одноименных разломов. Значительный объем слагающих их пород, представлен железистыми кварцитами, чередующимися с различного рода сланцами или гнейсами. Эти образования можно рассматривать как *металлогенические (железорудные) зоны* слагающие Украинскую *железорудную провинцию*. Названные выше металлогенические зоны характеризуются протяженностью в несколько сотен километров и шириной, не превышающей первых десятков километров. В свою очередь, каждая из них состоит из отдельных *рудных районов.* Так, например, Криворожско-Кременчугская зона – из Криворожского (Саксаганского) и Кременчугского, Белозерско-Конкская – из Белозерского и Конкского и т.д. *рудных районов.* В пределах каждого такого района можно выделить отдельные *рудные участки*.

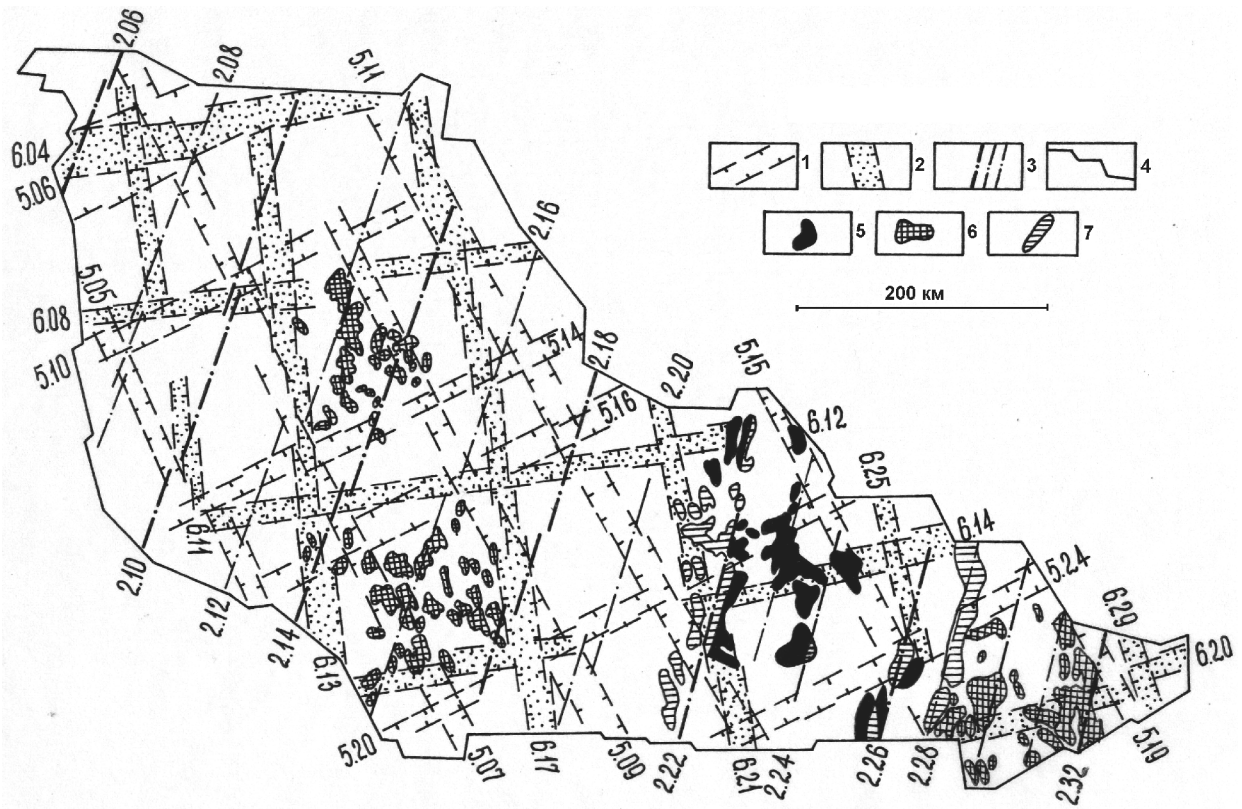


Рис. 3.17. Схема распространения железисто-кремнистых формаций докембрия в пределах Украинской железорудной провинции и систем разломов земной коры [36]. Условные границы крупных разломов с азимутами простирания: 1 – 332 и 62°, 2 – 347 и 77°; 3 – осевые линии разломов с азимутами простираний 17°; 4 – условный контур Украинского щита; железистые формации; 5 – вулканогенная, 6 – вулканогенно-осадочная, 7 – осадочная.

Рассмотрим это на примере Саксаганского рудного района (рис. 3.18). примерами рудных участков в Саксаганском рудном районе могут быть рудники, в которых осуществляется добыча железных руд. На рис. 3.18 видно, что они располагаются в узлах пересечения разломов высших порядков ортогональной системы.

Таким образом, на примере Украинской железорудной провинции была показана иерархическая соподчиненность металлогенических подразделений разного порядка в пределах *металлогенической провинции*. Все они оказываются тесно связанными с разломами земной коры разных порядков.

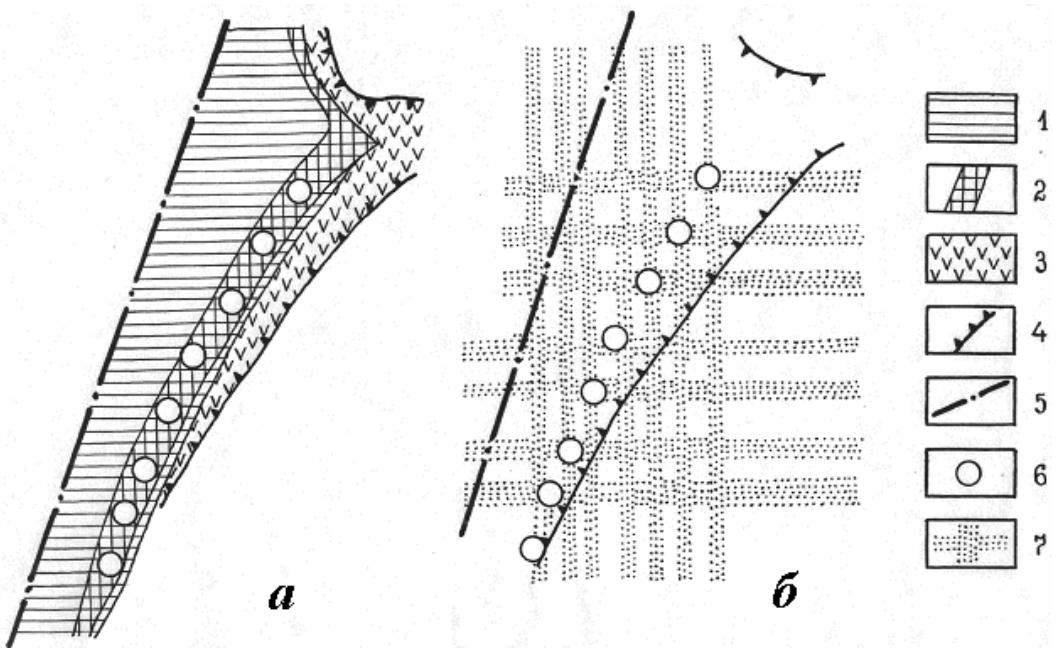


Рис. 3.18. Структуно-тектоническая схема (*а*) и план расположения разломов высших порядков в Саксаганском рудном районе (*б*) по О.В. Орлинской. Породы: 1 – криворожской серии (K_1 - K_3), 2 – Средней (железорудный) свиты (K_2), 3 – амфиболиты (K_0); 4 – граница Криворожской структурно-фациальной зоны; 5 – осевая линия Криворожско-Кременчугского глубинного разлома; 6 – расположение рудников, в которых производится добыча богатых железных руд; 7 – разломы земной коры с азимутами простирания 0º и 270º.

На территории Восточно-Европейской платформы севернее Украинской находится Курская железорудная провинция (более известная как Курская магнитная аномалия). Еще далее на север, аналогичные Украинским и Курским, комплексы железорудных образований известны на территории Балтийского щита. Перечисленные железорудные провинции, по-видимому, являются звеньями единого *планетарного железорудного пояса*, сформированного на базе планетарной сетки разломов.

Из приведенных выше сведений о взаимосвязи металлогении с соответствующими положениями Новой ротационной гипотезы структурообразования можно сделать вывод: *при изучении закономерностей размещения рудных месторождений целесообразно перейти от использования ставших традиционными представлений о связи месторождений с этапами развития геосинклинальных структур к более прямой связи с разломными структурами земной коры*.

Целесообразность этого предложения вытекает не только из того, что разломы земной коры являются непосредственными путями транспортировки рудного вещества из недр Земли к ее поверхности практически всех эндогенных месторождений, а из весьма тесной взаимосвязи обоих типов этих структур между собой. Ниже приведены некоторые сведения о попытках реализации этой проблемы на практике.

Тенденции развития в современной металлогении.

А. В 1960 г. я имел честь участвовать во второй Всесоюзной сессии “Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон”, проходившей в Киеве. На этой сессии меня поразили два доклада своим нетрадиционным содержанием: Ю.Ир. Половинкиной “Структурное районирование Украинского кристаллического массива, как основа поисков полезных ископаемых” [34] и М.Н. Ивантишина “Металлогения докембрийских щитов Мира” [21].

В своем докладе Ю.Ир. Половинкина (признанный знаток геологии Украинского щита, автор одного из вариантов его геологической карты) все перспективы поисков рудных месторождений на щите связала не с известными геосинклинальными структурами щита, а с его блоковой тектоникой, *сформированной разломами четырех направлений: меридионального, широтного, северо-западного и северо-восточного*. Такой подход был весьма необычным для шестидесятых годов прошлого столетия. Он не укладывался в рамки традиционных представлений того времени.

М.Н. Ивантишин демонстрировал три трансконтинентальных глобальных линейных металлогенических пояса диагонального простирания (рис.3.19). В пределах названных выше линейных поясов известен ряд крупных докембрийских месторождений [21]: урана, золота, меди, никеля, кобальта, хрома, платины, редкоземельных элементов, тория, титана, ванадия, и ряда других элементов. По ведущей эндогенной минерализации центральный пояс назван автором *урановым*, а два сопутствующих ему (с северо-запада и юго-востока) – *редкоземельно-ториевыми*.

Эмпирическое выделение глобальных металлогенических поясов автор, со ссылкой на идеи А. Вероне, М.В. Стоваса и Б.Л. Личкова, попытался увязать с изменением ротационного режима Земли во времени.

Доклад Н.М. Ивантишина вызвал определенный интерес у участников сессии, но как мне показалось, не был ими до конца понят. По-видимому, это была одна из первых попыток в металлогении *заменить представления о саморазвитии земной коры представлениями о том, что закономерности протекающих в земной коре геологических процессов определяются возникающими в тектоносфере Земли ротационными силами*.

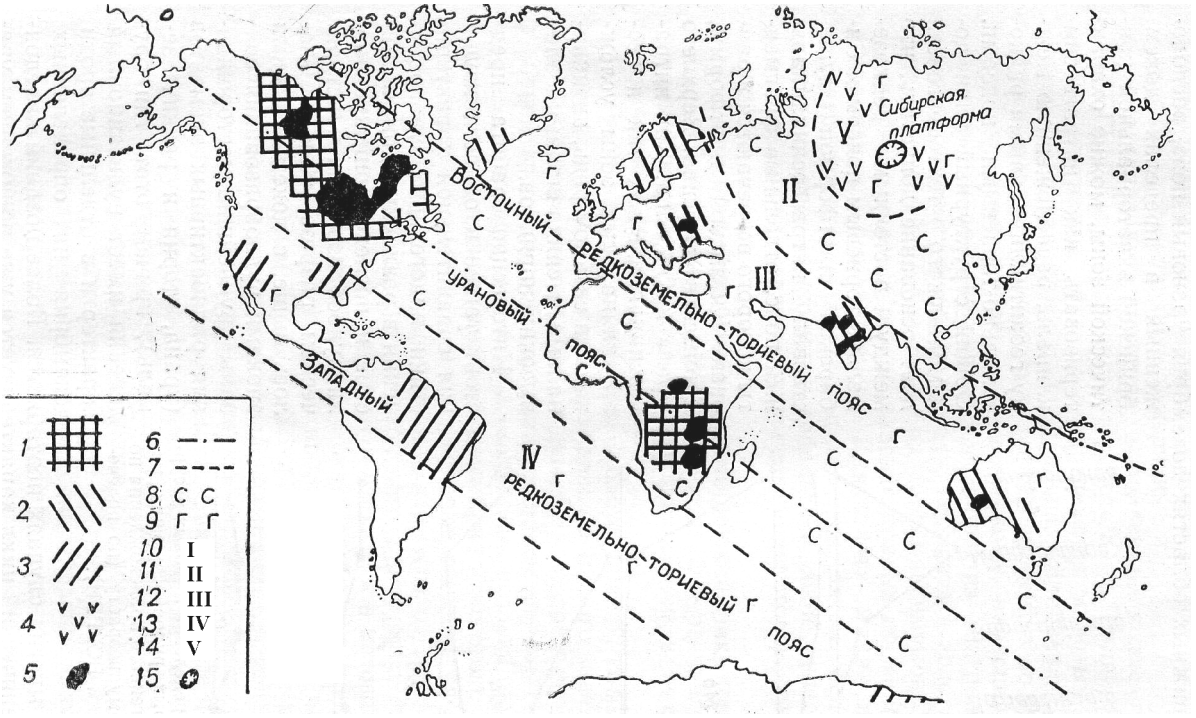


Рис. 3.19. Схематическая карта докембрийских рудных поясов (по М.Н. Ивантишину [21]). Участки докембрийских поясов с поверхностным залеганием складчатого фундамента в пределах: 1 – уранового пояса, 2 – восточного редкоземельного ториевого пояса, 3 – западного редкоземельно-ториевого пояса, 4 – Сибирской платформы; 5 – выступы архейских пород, возрастом более 2000 млн. лет; 6 – архейская экваториальная параллель; 7 – контуры докембрийских тектонических зон и рудных поясов; 8 – архейские интрагеосинклинальные зоны; 9 – архейские интрагеоантиклинальные зоны; 10 – экваториальная интрагеосинклинальная критическая зона: 0º – (25 – 35º); 11 – восточная интрагеосинклинальная критическая (Таймыр-Таримская) зона; 12, 13 – интрагеосинклинальные критические зоны: (25 – 35º) и (50 – 60º); 14 – интрагеосинклинальный приполюсный участок архея; 15 – вероятное географическое положение полюса в архее на поверхности земного шара.

Б. В семидесятых годах прошлого столетия в разных научных центрах СССР исследователи металлогенических закономерностей в различных регионах предпринимают для этих целей попытки введения понятий новых структур, непосредственно не связанных с геосинклиналями или связанных с ними косвенно. Рассмотрим несколько примеров. В ДО ИМР Украины Г.И. Князев [24] при изучении металлогении Украинского щита вводит понятие *замкнутые рудные*

пояса, под которыми он понимает *линейные области, окаймляющие жесткие массивы пород*; в пределах этих областей наблюдается максимальное количество рудного материала. Сопоставление замкнутых рудных поясов, выделенных Г.И.Князевым на территории Среднего Приднепровья Украинского щита, с результатами наших исследований тектоники этого региона [62] свидетельствуют о том, что фрагменты так называемых замкнутых рудных поясов являются фрагментами разломов земной коры разных систем. Надо полагать, что введение понятия замкнутых рудных поясов можно оправдать, если при этом использовать металлогенические особенности систем разломов, из фрагментов которых они состоят.

В Геологическом институте АН КазССР Г.Н. Щерба [61] при изучении металлогении Казахстана использует структуры, названные им *геотектоногенами*, формирующимися на основе т.н. *глубинных подвижных зон, которые разделяют жесткие блоки земной коры*. Анализ характеристики геотектоногенов свидетельствует о том, что они полностью соответствуют современным представлениям о глубинных разломах тектоносферы (земной коры) [41].

Со времени введения А.В. Пейве понятия *глубинных разломов*, они прочно вошли в практику как *рудоконтролирующие структуры.* В ИГЕМ АН СССР М.А. Фаворская, И.Н. Томсон и др. [14, 40 и др.] на основе результатов детального изучения металлогении Восточного Забайкалья и Дальнего Востока пришли к выводу о необходимости выделения новых металлогенических структур глобального типа, которые они назвали *рудоконцентрирующими*. Под этим названием они понимают *обычно линейные сквозные структуры значительной протяженности и шириной до первых десятков километров. Эти структуры не обуславливают тип минерализации, а определяют лишь мощные вспышки оруденения при пересечении ими различных металлогенических зон [40]*. По-видимому, наиболее целесообразно будет показать характеристику *сквозных рудоконцентрирующих структур* на примере одной из них, достаточно хорошо изученных в Восточном Забайкалье [14] – *Кличкинско-Дарасунской* (рис. 3.20).

С этой целью воспользуемся авторским описанием [14].

Кличкинско-Дарасунская сквозная структура ограничивается серией параллельных разломов фундамента. Последние выделяют линейный блок шириной до 50-90 км, который прослеживается от пограничных районов Южного Приаргунья до районов Акатуевского месторождения. Внутри блока расположены известные свинцово-цинковые рудные узлы Кличкинский, Алгаченский, Акатуевский, а в южной его части – эпитермальные, флюоритовые и др. месторождения. Эта рудоносная серия разломов пересекает границы крупных структурно-формационных зон: Аргунской и Агинской, и далее на северо-запад проникает в пределы Становой зоны. Таким образом, вырисовывается огромная по протяженности (более 400 км)

диагонально-лестничная серия разломов фундамента, прослеживающаяся от Южного Приаргунья до Усуглинского и Дарасунского месторождений, пересекающая все металлогенические и структурно-формационные зоны Восточного Забайкалья и вмещающая основные месторождения этой части рассматриваемого региона. Она характеризуется независимым поведением по отношению к разновозрастным складчатым областям, а также и “Краевым” глубинным разломам, которые пересекает в поперечном направлении.

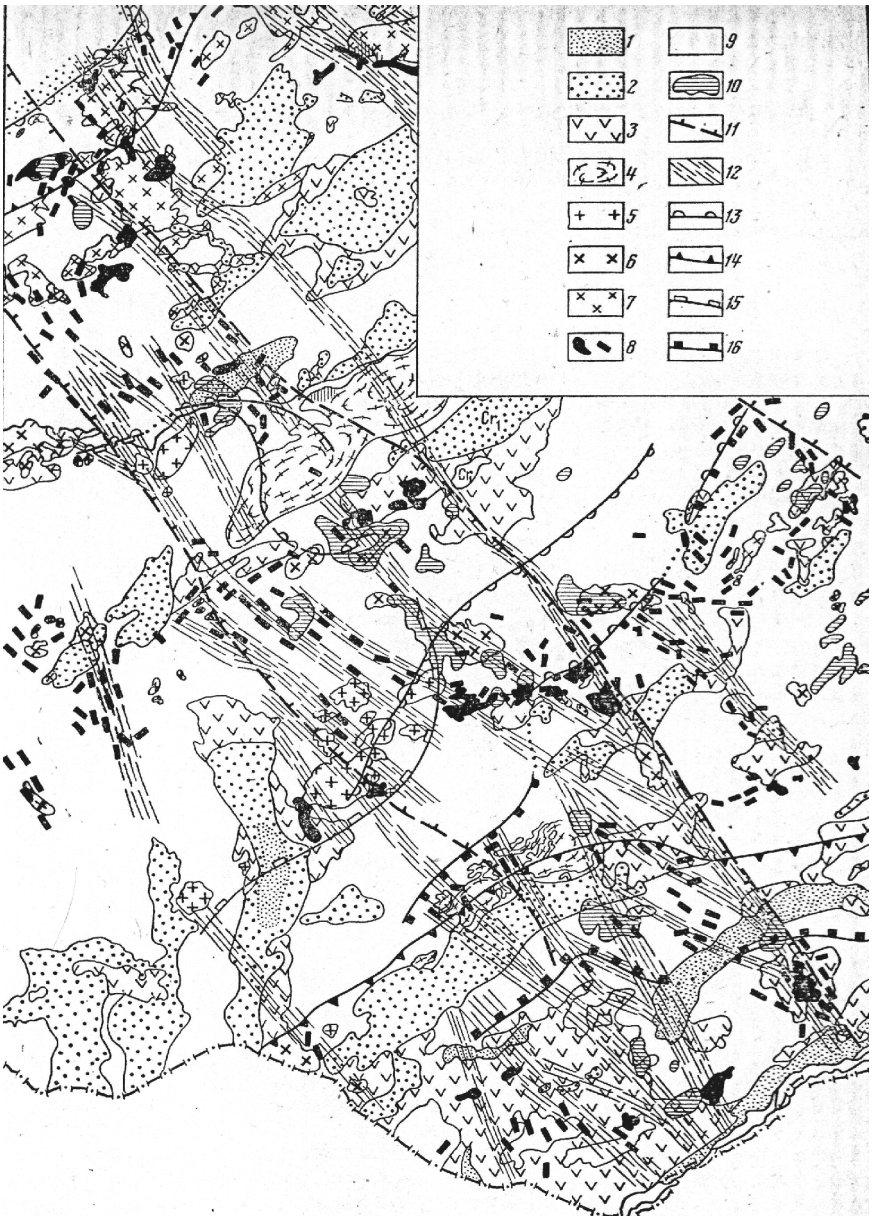


Рис. 3.20. Кличкинско-Дарасунская рудоконцентрирующая зона Восточного Забайкалья (по И. Томсону [14]): 1 – нижнемеловые отложения Кутинской свиты; 2 – нижнемеловые отложения Тургинской и Усть-Карской свит; 3 – вулканогенные толщи средней и верхней юры; 4 – анатектические гранитоиды борщовочного комплекса; 5 – граниты кукльбейского комплекса; 6 – гранитоиды шахтаминского комплекса; 7 – гранитоиды амананского комплекса; 8 – малые интрузивы средней и верхней юры; 9 – домезозойские образования; 10 – площади турмалинизации; 11 – контуры рудоконцентрирующих структур; 12 – зоны разломов фундамента. Металлогенические зоны: 13 – золото-молибденовые; 14 – флюоритовые; 15 – оловянно-вольфрамовые; 16 – свинцово-цинковые

Кличинско-Дарасунская зона является главнейшей рудоконцентрирующей структурой Восточного Забайкалья. Интенсивность оруденения в ней в 5-10 раз выше, чем в среднем по Забайкалью. В качестве общих особенностей, присущих только этой сквозной структуре, авторы отмечают характерные проявления дорудной скарновой, а также грейзеновой минерализации и наличие метасоматитов определенного состава.

Из приведенного выше описания следует, что в качестве рудоконцентрирующей структуры авторы принимают область пересечения крупного разлома земной коры северо-западного простирания (в современном понимании разломных структур [62]) с разломами других направлений (других систем). При этом узлы пересечения разломов соответствуют образованию рудных узлов, а разный тип минерализаций этих узлов объясняется различной металлогенической специализацией разломов разных систем, участвующих во взаимном пересечении в пределах изучаемой структуры.

В. В дальнем зарубежье Ян Кутина [79, 80 и др.] развивает металлогению линеаментных поясов. Линеаментами на Западе называют крупные разломы земной коры. Сущность решения металлогенических проблем Я. Кутиной рассмотрим на примере одной из его работ: «Палеолинеамент Гудзонова Залива и аномальные концентрации металлов вдоль него» [80].

На рис.3.21 показано положение палеолинеамента Гудзонова залива, а на рис.3.22 – проявление одного из его фрагментов в магнитном поле ΔT. Рассматриваемый палеолинеамент прослеживается по дну Гудзонова Залива и залива Джеймса (в меридиональном направлении в районе 80° з.д.) и уходит далее в южном направлении, по крайней мере, на 200 миль. Он состоит из отдельных фрагментов, смещенных относительно друг друга по разломам диагонального направления. На рис. 3.21 эти фрагменты показаны осевыми линиями.

О ширине палеолинеамента можно судить по фрагменту, представленному магнитным полем на рис. 3.22. Из этого рисунка следует, что этот фрагмент состоит из серии меридиональных нарушений, расположенных в полосе шириной ≈ 10 миль. Приставкой палео автор подчеркивает докембрийский возраст рассматриваемого линеамента.

По данным Я.Кутины вдоль палеолинеамента Гудзонова залива в районах его пересечения с разломами других направлений расположен ряд крупных рудных узлов (Норанда, Кобальт и др.). Наиболее крупный из них (Норанда) расположен в районе пересечения рассматриваемого линеамента с серией широтных разломов (Кодиллак- Пордер лейк и Дестор Поркюпайн), расположенных в известной рудной провинции Абитиби. Этот рудный узел характеризуется огромной концентрацией месторождений различных металлов. Одних только медных месторождений насчитывается более тысячи; часть из них соответствуют золоторудным.

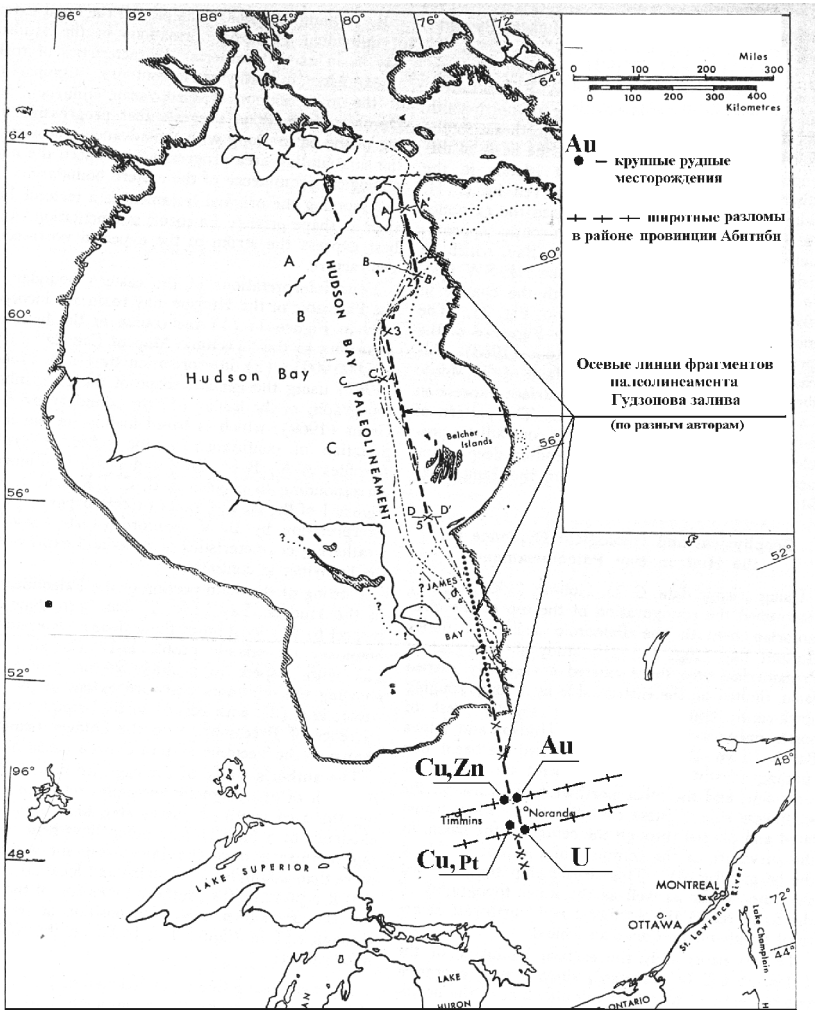


Рис. 3.21 Положение палеолинеамента Гудзонова Залива – одного из главных меридиональных разломов Канадского щита (по Я. Кутине [80])

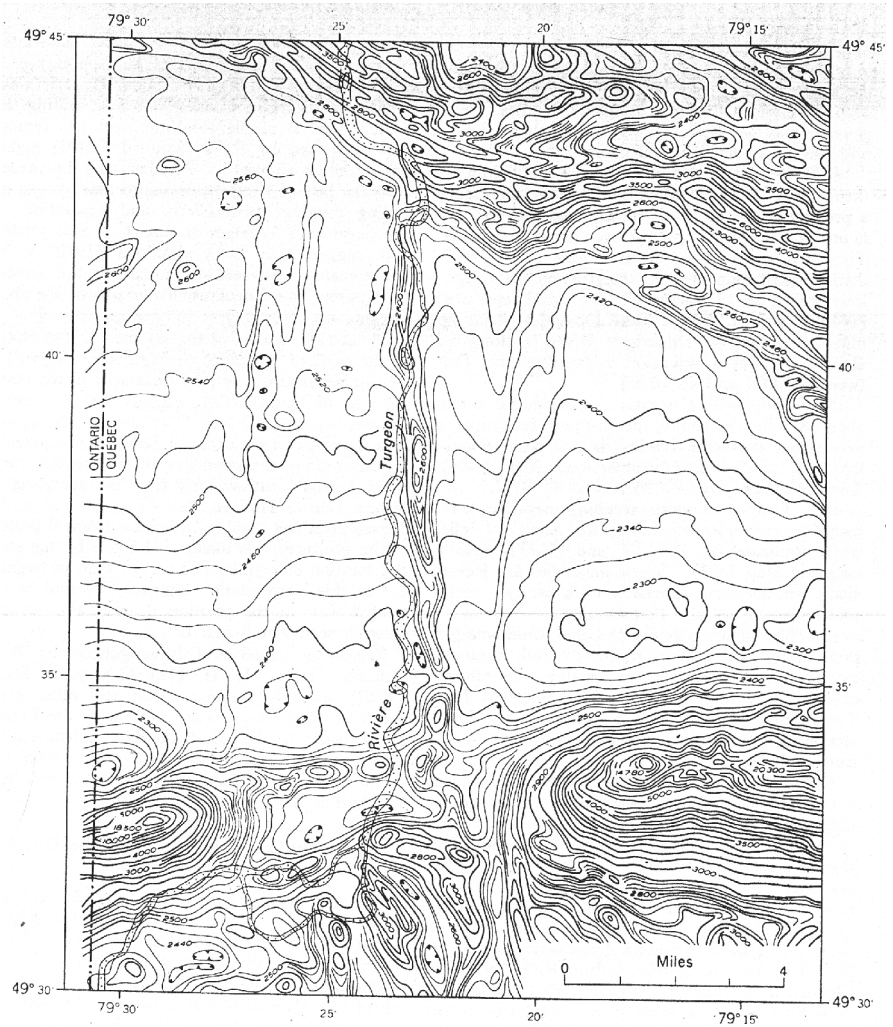


Рис. 3.22 Проявление одного из фрагментов палеолинеамента Гудзонова Залива в магнитном поле (по по Я. Кутине [80])

На рис. 3.21 показано положение наиболее крупных рудных месторождений [14]. На территории самого Гудзонова залива Я. Кутина отмечает медное месторождение на острове Белгар. Для наших целей важно подчеркнуть следующее:

1. Я. Кутина, отмечая приуроченность аномальных концентраций рудных месторождений к линеаментам, точнее, к узлам их пересечений, никак не связывает положение этих месторождений с этапами геосинклинального развития изучаемых территорий.

2. В качестве основной пространственной закономерности он использует эквидистантность (равноудалённость) одноранговых разломов одного направления.

Насколько нам известно, эта закономерность впервые была эмпирически установлена в Европе на территории Чехословакии В. Немецом и Р. Кветом (см. [19, 55] в разделе 2), а судя по результатам исследований Я. Кутины [79 и др.] – оправдывается в условиях северо-американского континента. Этот факт лишний раз подчеркивает, что законы деформации тектоносферы очень мало зависят от особенностей строения земной коры, а по-существу, определяются упругими свойствами верхней мантии.

Подводя итоги описания приведенных выше примеров, можно констатировать следующее. *В современной металлогении наблюдается ярко выраженная тенденция использования разломов земной коры в качестве основных структур для выявления закономерностей размещения рудных месторождений. При чем на практике эта тенденция осуществляется путем введения “Новых структур” типа: геотектоногенов, замкнутых рудных поясов, рудоконцентрирующих структур или линеаментов, которые оказываются типичными разломами земной коры в современном их понимании (рис. 2.15, б).*

Представляется, что одной из причин использования разломов земной коры в качестве *основных металлогенических структур* является стремление избавиться от традиционных представлений о взаимосвязи образования рудных месторождений с этапами развития геосинклинальных структур. Но поскольку геосинклинальные структуры формируются на основе глубинных разломов, то эта тенденция соответствует стремлению отказаться от “посредников”, которыми являются геосинклинальные структуры, а использовать непосредственно родоначальные структуры земной коры, возникающих в процессе тектонических активизаций Земли.

Заключение. Результаты анализа взаимосвязи между основными положениями Новой ротационной гипотезы структурообразования и закономерностями размещения рудных месторождений, установленных в

металлогении, с учетом современных тенденций ее развития, позволяют сделать следующие выводы.

1. Металлогения формируется на основе комплексного использования ряда наук о Земле, в котором существенное место занимает геотектоника. Поскольку становление металлогении как самостоятельной науки состоялось в период господства геотектонической концепции геосинклиналей и платформ, то и основные металлогенические закономерности оказались связанными с этапами развития геосинклинальных структур. Этому периоду были присущи представления о направленном эволюционном развитии земной коры, в основе которого лежит идея ее «саморазвития». Надо полагать, что в предстоящий период господства новой геотектонической концепции, в основе которой должны быть представления о тектоническом развитии Земли (земной коры) под действием поля сил ротационной природы (наступление такого периода сомнений не вызывает, т.к. другого пути просто нет), металлогению необходимо привести в соответствие с новыми тектоническими представлениями. В теоретическом плане это должно избавить исследователя металлогении от ложно понятой идеи «саморазвития» земной коры без участия определенных сил, заменив ее идеей развития земной коры, непременным участником которого является глобальное поле напряжений, возникающее в тектоносфере Земли в результате ее взаимодействия с окружающими космическими полями. В плане практической реализации нового подхода целесообразно в качестве основных металлогенических структур принять родоначальные тектонические структуры – разломы земной коры.

2. Использование взаимосвязи между ориентировкой систем разломов земной коры и последовательностью возникновения систем разломов или их активизацией, с учетом обсуждавшегося выше постулата Новой ротационной гипотезы структурообразования о металлогенической специализации одноранговых разломов разных систем, открывает возможность разработки эффективной методики локального прогноза рудных месторождений на пространственно-временнóй основе. Простейший вариант такой методики для условий Украинского щита реализованный на примере правобережной части Среднего Приднепровья детально описан в ранее опубликованной монографии [41].

3.3 Прогнозная оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов

Общие сведения. Основной объем мировой добычи нефти и газа производится из осадочных бассейнов, сложенных терригенно-

хемогенными образованиями. Скопления нефти и газа – резервуары, иногда называемые месторождениями, представляют собой локальные тектонические структуры, обладающие возможностями накапливать углеводороды в поровом или трещиноватом пространстве, слагающих их осадочных пород, и определенное время сохранять их в замкнутом пространстве этих структур. Для реализации второй особенности они должны иметь нефтегазонепроницаемую покрышку. О происхождении природных углеводородов до сих пор существует две группы разных представлений: одни исследователи их происхождение считают *органическим*, другие – не органическим, а результатом химического синтеза. Хотя первых больше, общепринятого мнения пока нет. На современной методике поисков нефтегазоносных залежей эта неопределенность мало сказывается в связи с тем, что обычно поиск ориентирован не на прямое обнаружение залежей, а на локальные структуры, благоприятные для накопления этих залежей (ловушки углеводородов). Усилиями исследователей разных стран сложилась определенная рациональная методика изучения осадочных бассейнов с целью поиска и изучения такого рода локальных структур геолого-геофизическими методами. Эта методика основана на преимущественном использовании сейсморазведки, опирающейся на данные глубоких скважин.

Оказывается, образование локальных нефтегазоносных структур в осадочной толще бассейнов весьма тесно связано с движениями блоков кристаллического фундамента вдоль разделяющих их разломов. В связи с тем, что разломы фундамента достаточно надежно определяются геофизическими методами, в частности, путем интерпретации гравитационных и магнитных аномалий, то открывается реальная возможность использования геофизических методов (гравиразведки и магниторазведки) для прогнозирования пространственного положения интересующих нас локальных структур в осадочном чехле. Образно говоря, *возникает возможность заглянуть в осадочный чехол через фундамент* [59,82]. Такая попытка была предпринята нашей научной группой. В качестве полигона исследований выбрана Днепровско-Донецкая впадина – один из известных нефтегазоносных регионов Украины. Результаты исследований детально изложены в разделе: «Нефтегазоносные структуры Днепровско-Донецкой впадины» учебного пособия [43], авторами которого являются: В.П. Солдатенко, М.М. Довбнич и Я.В. Мендрий. Эти результаты использованы в качестве основы при составлении раздела настоящей монографии. Главное внимание уделялось тектоническим особенностям, вытекающим из Новой ротационной гипотезы структурообразования.

Исходные данные. В качестве исходных данных о Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ) были общие сведения о пространственном положении и основных ее особенностях из литературных источников и, в частности, международной карты Европы, выкопировка из которой приведена на рис. 3.23. Сведения о стратиграфии и нефтегазоносности ДДВ заимствованы из давно опубликованного атласа месторождений нефти и газа Украины [4]. Для изучения тектонических особенностей докембрийского кристаллического основания использовалась карта гравитационного поля Δg масштаба 1:200 000, схема которой приведена на рис.3.25.

Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ) представляет собой крупную грабенообразную структуру в докембрийском кристаллическом основании, заполненную преимущественно осадочными образованиями. На рис.3.23 приведена выкопировка из Международной тектонической карты Европы, на которой показано положение и общий вид Днепровско-Донецкой впадины. Как большинство внутриплатформенных осадочных бассейнов она сформирована путем активизации фрагментов докембрийских систем разломов в фанерозойское время. ДДВ представлена серией линейных фрагментов, образующих единую структуру, вытянутую, в целом, в северо-западном направлении. Ориентировка отдельных фрагментов структуры показана на рисунке их осевыми линиями. Самый северо-западный фрагмент структуры, имеющий широтное простирание, носит наименование Припятской впадины. Он расположен преимущественно на территории Беларуси. Рассматриваемая часть ДДВ простирается от Припятской впадины на юго-восток и в своей самой юго-восточной части плавно переходит в Донецкий каменноугольный бассейн.

О времени образования ДДВ можно судить по возрасту базальных отложений. Самые древние осадочные породы ДДВ, известные по геологическим данным, имеют девонский возраст, а в результате геофизических исследований методом ГСЗ на профиле Синельниково-Чугуев, расположенном в зоне перехода от ДДВ к Донбассу, обнаружены отложения мощностью порядка 6 км, предположительно рифейского возраста. Следовательно, надо полагать, что начало образования ДДВ соответствует рифейскому времени, а дальнейшее формирование связано с последующими тектоническими активизациями Земли.

Мощность осадочных образований, в разных частях ДДВ не одинаковая. В ее северо-западной части, в районе г. Чернигова она не превышает 5 км; к юго-востоку – увеличивается и в районе профиля Синельниково-Чугуев достигает величины, порядка 18 км, а в Донбассе, по-видимому, еще больше. Бортовые части ДДВ представляют собой пологие моноклинальные структуры, с мощностью осадочного чехла, изменяющегося от 0 до 4-5 км у границ центрального грабена.

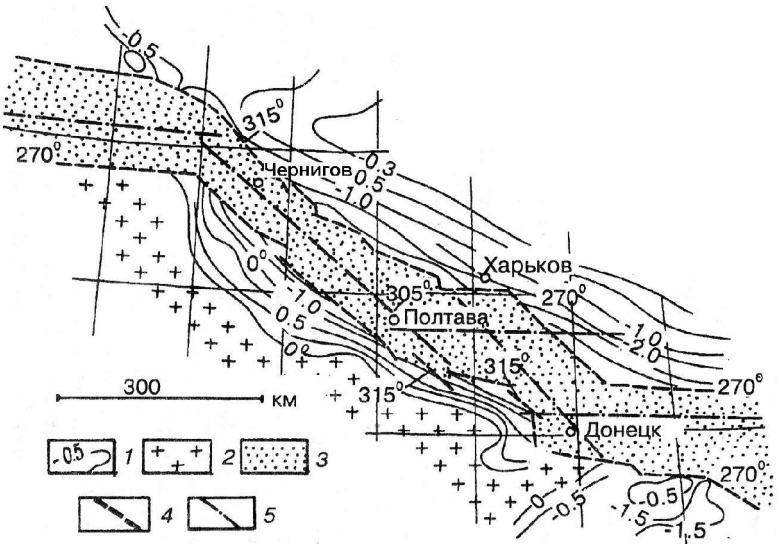


Рис. 3.23. Тектоническая схема Днепровско-Донецкой впадины; составлена по Международной тектонической карте Европы масштаба 1:2500 000 (под ред. Н.С. Шатского, Г. Штилле, А.А. Богданова, Ф. Блонделя, 1962) 1 – изогипсы докембрийского фундамента (км); 2 – выходы докембрийских кристаллических пород в пределах Украинского щита, 3 – центральный грабен Днепровско-Донецкой впадины; 4 – докембрийские разломы, участвовавшие в формировании Днепровско-Донецкой впадины; 5 – осевые линии фрагментов центрального грабена.

Стратиграфия и нефтегазоносность осадочного комплекса ДДВ. Для характеристики стратиграфии ДДВ ограничимся приведением ее стратиграфической колонки (рис. 3.24), там же показаны и некоторые данные о нефтегазоносности ДДВ. За более подробными сведениями отсылаем читателя к первоисточнику [4].

Промышленная продуктивность ДДВ установлена в широком стратиграфическом диапазоне: от юрских до архей-протерозойских образований. Подавляющее большинство месторождений обнаружено в породах визейского и серпуховского ярусов нижнего карбона, башкирского и московского ярусов среднего карбона, касимовского и гжельского ярусов верхнего карбона, нижней перми.

Тектоника фундамента ДДВ. Основные сведения о тектонике фундамента получены в результате геофизических исследований. Источником сведений для наших целей, как уже указывалось, служит карта гравитационного поля, схема которой приведена на рис.3.25.

Результаты детального анализа аномалий гравитационного поля, изображенных на рис. 3.25, свидетельствуют о том, что эти аномалии, в основном, обусловлены плотностными неоднородностями фундамента и в значительно меньшей мере – влиянием неоднородностей в осадочном чехле. На этом основании нами сделан вывод: *наблюдаемые в пределах ДДВ гравитационные аномалии вполне могут быть использованы для изучения тектоники ее фундамента, естественно, с учетом влияния осадочного чехла*.

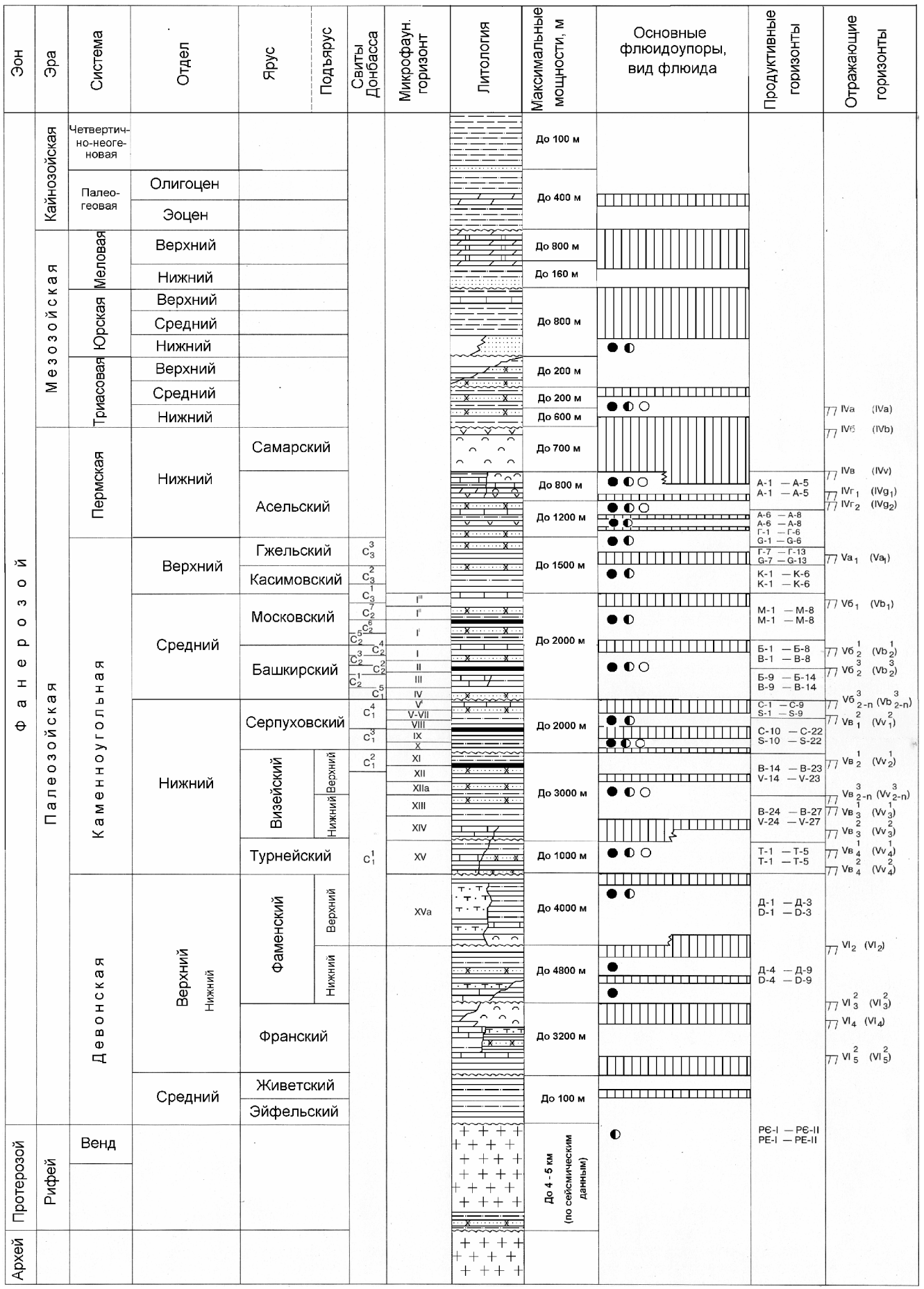
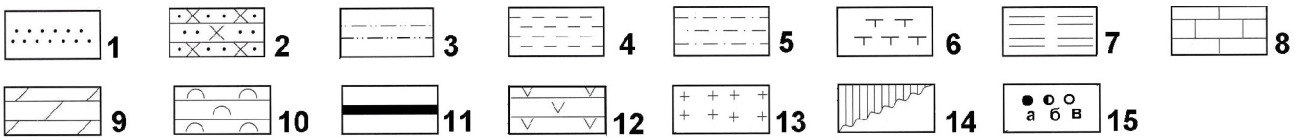


Рис. 3.24. Сводная стратиграфическая колонка ДДВ (по А.Е. Лукину [4]).



Условные обозначения к рис. 3.24: 1 – пески; 2 – песчаники; 3 – алевролиты; 4 – глины песчано-алевролитистые; 6 – глины карбонатные; 7 – аргиллиты; 8 – известняки, 9 – мергели; 10 - ангидриты, гипс, каменная соль; 11 – каменный уголь; 12 – туфы и туфопесчаники; 13 – породы фундамента; 14 – отсутствующие отложения; 15 – залежи (а – нефтяные, б – газовые, в – газоконденсатные).

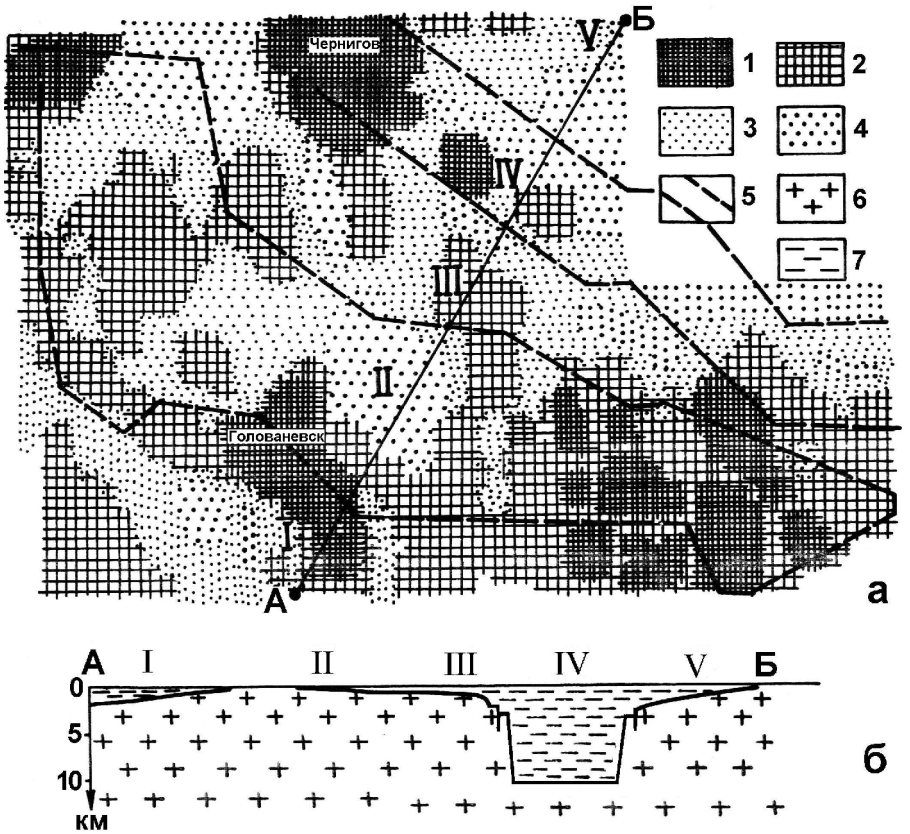


Рис. 3.25. Схема аномалий гравитационного поля и положение основных тектонических структур на территории Украины (а) и вертикальный разрез по линии АБ (б): I – Причерноморская впадина; II – Украинский щит; III – северо-восточый клон Украинского щита (юго-западный борт ДДВ); IV – Центральный грабен ДДВ; V – северо-восточый борт ДДВ (юго-западный склон Воронежского кристаллического массива). Аномалии гравитационного поля: 1 – высокой интенсивности , 2 – повышенной интенсивности, 3 – пониженной интенсивности, 4 – отрицательные; 5 – условные границы региональных структур; породы: 6 – кристаллического основания, 7 – осадочного чехла.

Пользуясь случаем, обращаем внимание на серию интенсивных гравитационных аномалий в северо-западной части ДДВ (Черниговской, Лохвицкой и Лютеньской), которые могут служить иллюстрацией проявления в гравитационном поле явления базификации земной коры, природа которой рассматривалась в разделе 1.2. (см. рис.1.7.).

Системы разломов кристаллического фундамента ДДВ. Специальными исследованиями [44] установлено, что в пределах фундамента ДДВ имеют место шесть систем разломов, характеризующиеся теми же самыми азимутами простирания, что и на Украинском щите: 0 и 270º, 17 и 287º, 35 и 305º, 45 и 315º, 62 и 332º, 77 и 347º. Авторами этих исследований разработана специальная методика восстановления этих систем разломов по гравитационному полю в условиях ДДВ с учетом значительной мощности осадочного комплекса и составлены карты систем разломов кристаллического фундамента ДДВ. На рис.3.26 приведен вид таких карт систем разломов с азимутами простирания: 0 и 270˚; 62 и 332˚; 77 и 347˚.

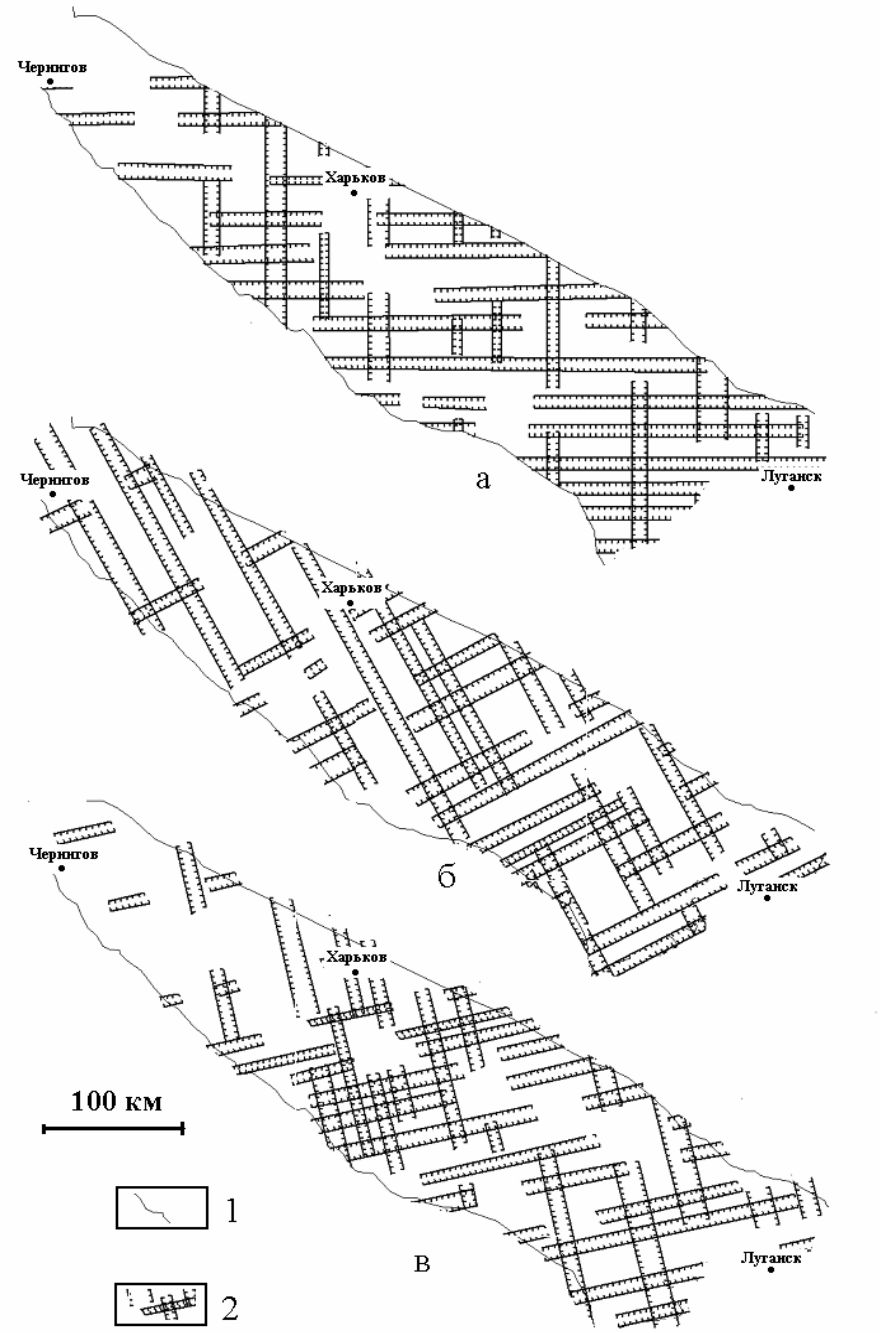


Рис. 3.26. Системы разломов фундамента ДДВ с азимутами простирания: 0 и 270˚(а); 62 и 332 ˚(б); 77 и 347˚(в) [43]: 1 – условные границы ДДВ; 2 – фрагменты разломов.

Карта всех шести систем разломов не приводится, т.к. из-за сложности она теряет свою наглядность. Следует специально подчеркнуть, что в связи с достаточно большой глубиной до кристаллического фундамента ширина разломных структур определяется не уверенно. На картах систем разломов она условно принята равной ширине аналогичных структур на Украинском щите – порядка 10 км.

Блоковая структура фундамента. На рис. 3.27 приведен вид разломно-блоковой структуры фундамента ДДВ. За границы блоков приняты осевые линии фрагментов разломов, установленных по результатам интерпретации гравитационных аномалий [43]. Распределение блоков по глубине принималось по имеющимся данным региональных сейсмических исследований. К сожалению, ограниченный объем этих данных позволяет восстановить картину блоковой поверхности фундамента с определенной долей приближения. Поэтому в данном случае она приводится в качестве иллюстрации ее общего вида.

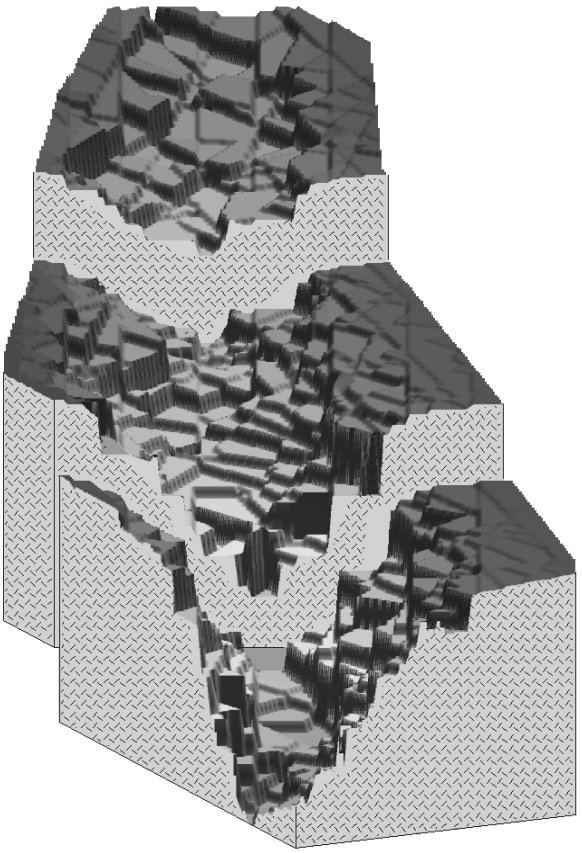
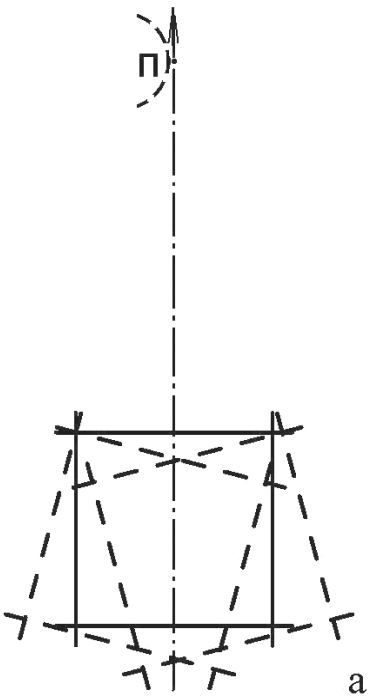


Рис. 3.27. Блок-схема поверхности фундамента ДДВ (вид с юго-востока) [43].

Роль разломов земной коры в формировании структур ДДВ. Основные закономерности активизации разломов земной коры непосредственно вытекают из Новой ротационной гипотезы структурообразования. Кратко они сводятся к следующему.

1. *Закономерности активизации систем докембрийских разломов в более поздние геологические эпохи во многом аналогичны закономерностям их образования в докембрии. В частности, из всей совокупности докембрийских разломов фундамента активизируется одна из систем, состоящая из разломов, ориентировка которых совпадает (в пределах нескольких первых градусов) или является ортогональной направлению перемещения полюса вращения Земли по ее поверхности в эпоху*

рассматриваемой активизации (рис.3.28,а). Эта достаточно простая закономерность активизации разломов осложняется другой формой, суть которой представляет одновременная активизация фрагментов разломов разных систем, определенным образом расположенных в пространстве. При такой активизации можно сказать, что возникает новый сложный по форме разлом, состоящий из отдельных фрагментов существующих, но так, что *осевая линия нового разлома выдерживается* (рис.3.28,б). *При этом ориентировка осевой линии нового разлома совпадает направлением перемещения полюса вращения Земли по ее поверхности.* Примером такой формы активизации докембрийских разломов может служить образование центрального грабена ДДВ (см.подробнее [62]).



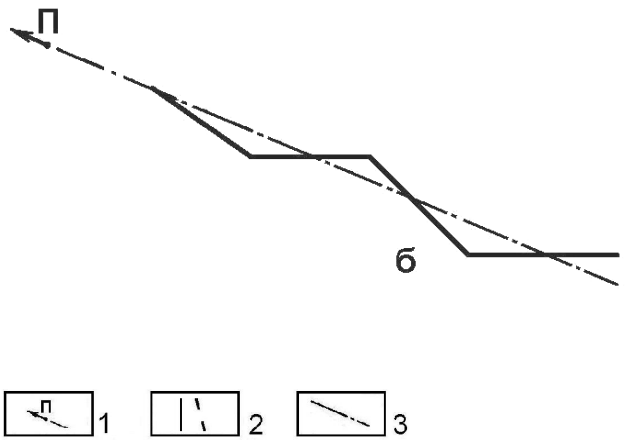


Рис. 3.28. Схема активизации систем докембрийских разломов в фанерозое:
1 – направление перемещения полюса (П) по поверхности Земли, 2 – разломы разных систем, 3 – осевая линия сложного разлома

2. Модель активизации фрагмента разлома выглядит следующим образом. Во-первых, происходит относительное вертикальное смещение двух соприкасающих блоков по разлому, инициирующее денудационно-седиментационный процесс: выступающий блок денудируется, а опущенный - служит бассейном для осадконакопления. При этом амплитуда вертикального смещения блоков вдоль разделяющего их разлома является функцией углового расстояния рассматриваемого фрагмента разлома от полюса вращения Земли. На рис.3.29,*а* приведена схема простейшей модели образования базальных горизонтов осадочного чехла. В случае если активизация разлома происходит в режиме растяжения, то он может быть источником магматических излияний в бассейн осадконакопления. В

процессе последующих тектонических активизаций этого фрагмента разлома будут происходить аналогичные явления *с той только разницей, что денудационно-седиментационный процесс происходит в блоках, представленных ранее образованными осадочными или осадочно-магматическими образованиями (рис.3.29, б)*. В этом случае будут иметь место две группы явлений: формируются новые осадочные образования и деформируются ранее возникшие. Следовательно, наиболее ранние горизонты осадочного чехла должны быть представлены более сложными тектоническими структурами.

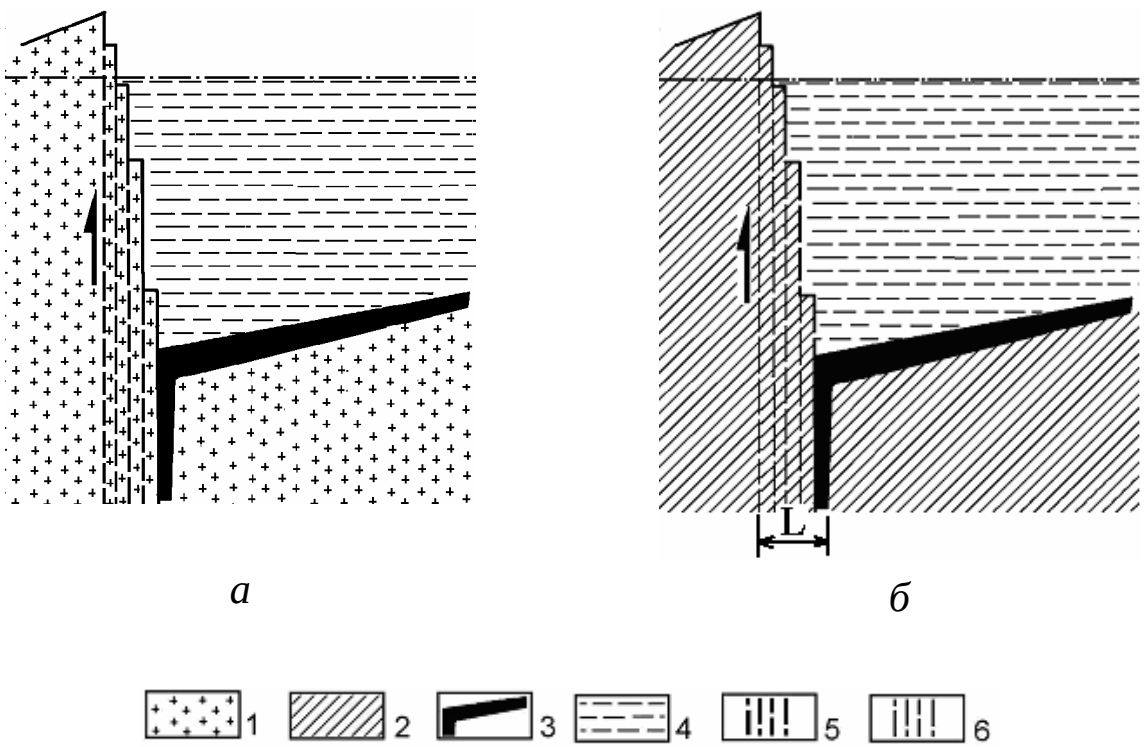


Рис.3.29. Модель активизации фрагмента разлома. Породы: 1 – кристаллического фундамента, 2 – осадочные; 3 – магматические образования; 4 – водный бассейн; разломы: 5 – в кристаллическом фундаменте, 6 – в осадочной толще; L – ширина разломной структуры.

Нефтегазоносные структуры в осадочном комплексе ДДВ. Известны, по крайней мере, три типа локальных структур в осадочном комплексе ДДВ, с которыми могут быть связаны скопления нефти или газа: 1) пологие структуры антиклинального и родственного им типа; 2) локальные структуры, осложненные соляными штоками; 3) рифогенные структуры. Названные выше структуры представляют промышленный интерес при условии, если они содержат скопления нефти или газа, т.е. являются своеобразными ловушками углеводородов. Условия, необходимые для образования ловушки, заключаются в следующем: наличие проницаемых пород (коллекторов углеводородов) и слабо проницаемых пород, препятствующих рассеиванию углеводородов

(флюидоупоров). На рис.3.30 приведены схемы ловушек углеводородов, связанных с пологими платформенными структурами.

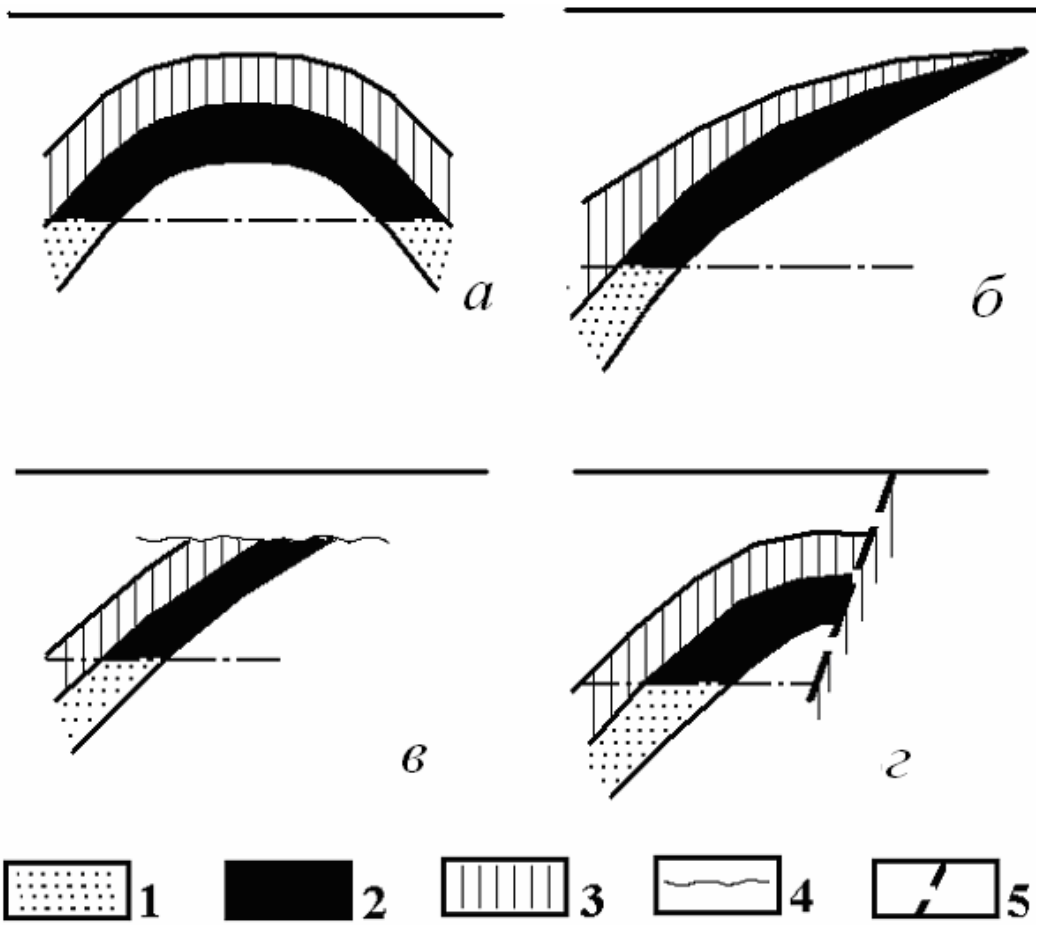


Рис.3.30 Схемы типичных ловушек углеводородов, приуроченных к локальным платформенным структурам: 1 – коллекторы; 2 – залежи углеводородов; 3 – флюидоупор; 4 – поверхность несогласия; 5 – разрывное нарушение.

Наибольшим распространением пользуются антиклинальные ловушки, в сводовых частях которых происходит накопление углеводородов (рис.3.30,*а*). Это оказывается возможным при наличии плохо проницаемой для них покрышки (экрана). Довольно распространены ловушки, обусловленные выклиниванием пластов-коллекторов, экранированные непроницаемыми одновозрастными образованиями (рис.3.30, *б*), а так же – возникшие в результате экранирования пластов-коллекторов поверхностями несогласия (рис.3.30, *в*) или разрывными нарушениями (рис.3.30, *г*). Кроме того, запечатывание резервуаров углеводородов может происходить битумами или образующимися аутогенными минералами.

Антиклинальные ловушки углеводородов приурочены к локальным структурам типа брахиантиклиналей, которые являются осложнениями более крупных тектонических образований типа валов или флексур или

образуют цепочки структур, ориентированных в определенных направлениях. Брахиантиклинальные структуры обычно имеют слегка вытянутую форму, но иногда отношение их горизонтальных параметров достигает нескольких единиц. Размеры структур колеблются от нескольких километров до нескольких десятков километров, а амплитуды поднятий – от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Углы наклона крыльев обычно пологие, характеризующиеся несколькими градусами, реже – больше.

На рис. 3.31 приведены схемы типичных локальных нефтегазоносных структур ДДВ, осложненных солью. Такими структурами могут быть: куполовидные поднятия (*а*); соляные диапиры, с характерными для них кепроками (*б*); тела грибообразной формы (*в*), возникающие в районах распространения двух соленосных горизонтов, девонского и пермского возрастов. Грибообразная форма образуется в результате объединения девонского соляного диапира с пластом пермской соли. На этом же рисунке показано возможное расположение коллекторов углеводородов в этих структурах, а так же – флюидоупоров, одним из которых является соль.

Касаясь рифогенных структур, отметим следующее. Погребенные рифовые массивы, как и современные, располагались на границе шельфовых зон и глубоководных частей древних морей. Это обусловлено условиями жизни коралловых организмов. Погребенные рифогенные массивы представлены довольно пористыми известняками органогенной природы, служащие хорошими коллекторами углеводородов. Флюидоупорами для них служат перекрывающие их глинисто-мергелистые образования или соленосная толща, а иногда – массивные известняки абиогенного происхождения.

К изложенному выше можно добавить, что в последнее время в бортовых частях ДДВ встречен еще один тип коллекторов нефти – трещиноватые породы коры выветривания фундамента. Это весьма примечательный факт, т.к. сторонники неорганического происхождения нефти увидели в нем прямое подтверждение своей идеи поступления углеводородов из глубинных оболочек Земли к разломам [42]. Другими словами, этот факт вновь напомнил исследователям *о нерешенности проблемы происхождения природных углеводородов.*

Взаимосвязь нефтегазоносных структур в осадочном чехле с разломами фундамента. Оказывается, все рассмотренные выше нефтегазоносные структуры тесным образом связаны с разломами фундамента. Рассмотрим это более подробно.

Начнем с формирования локальных структур *антиклинального типа* в осадочном чехле возникающих в процессе активизации разломов фундамента (см.рис. 3.32).

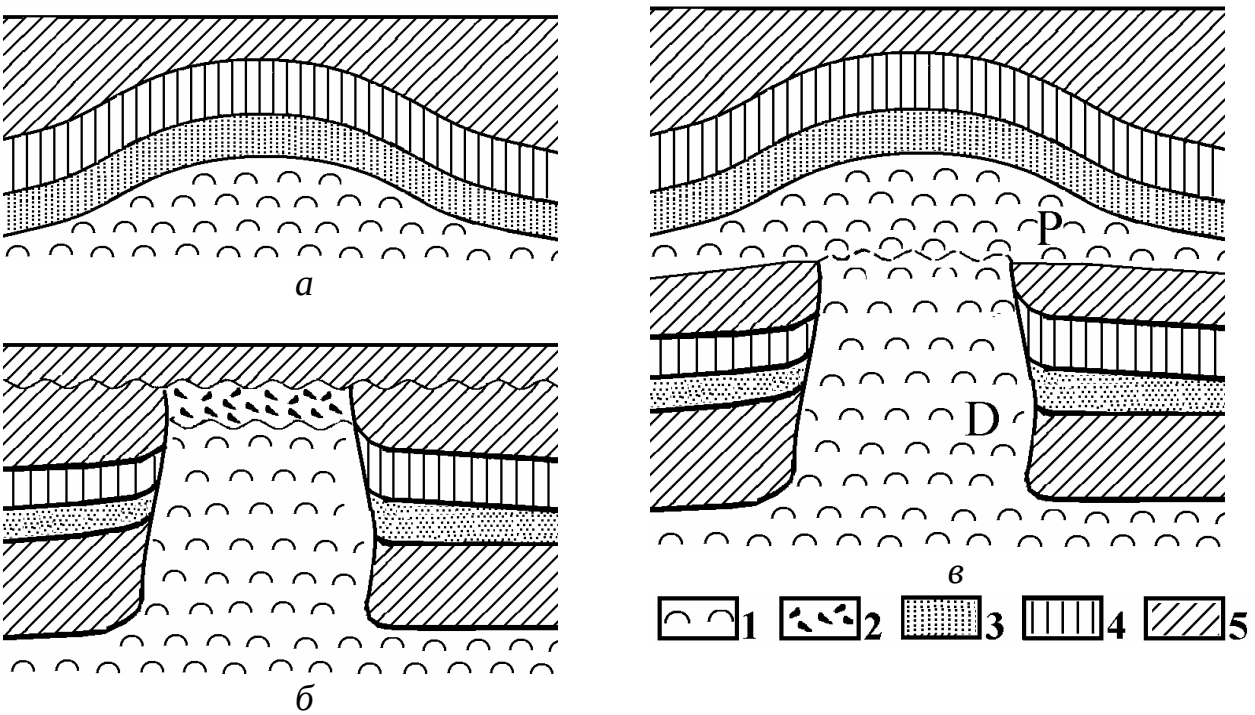


Рис. 3.31. Типичные нефтегазоносные структуры, осложненные солью: 1 – соль; 2 – породы кепрока; 3 – коллектор углеводородов; 4 – флюидоупор (экран); 5 – породы вмещающей толщи.

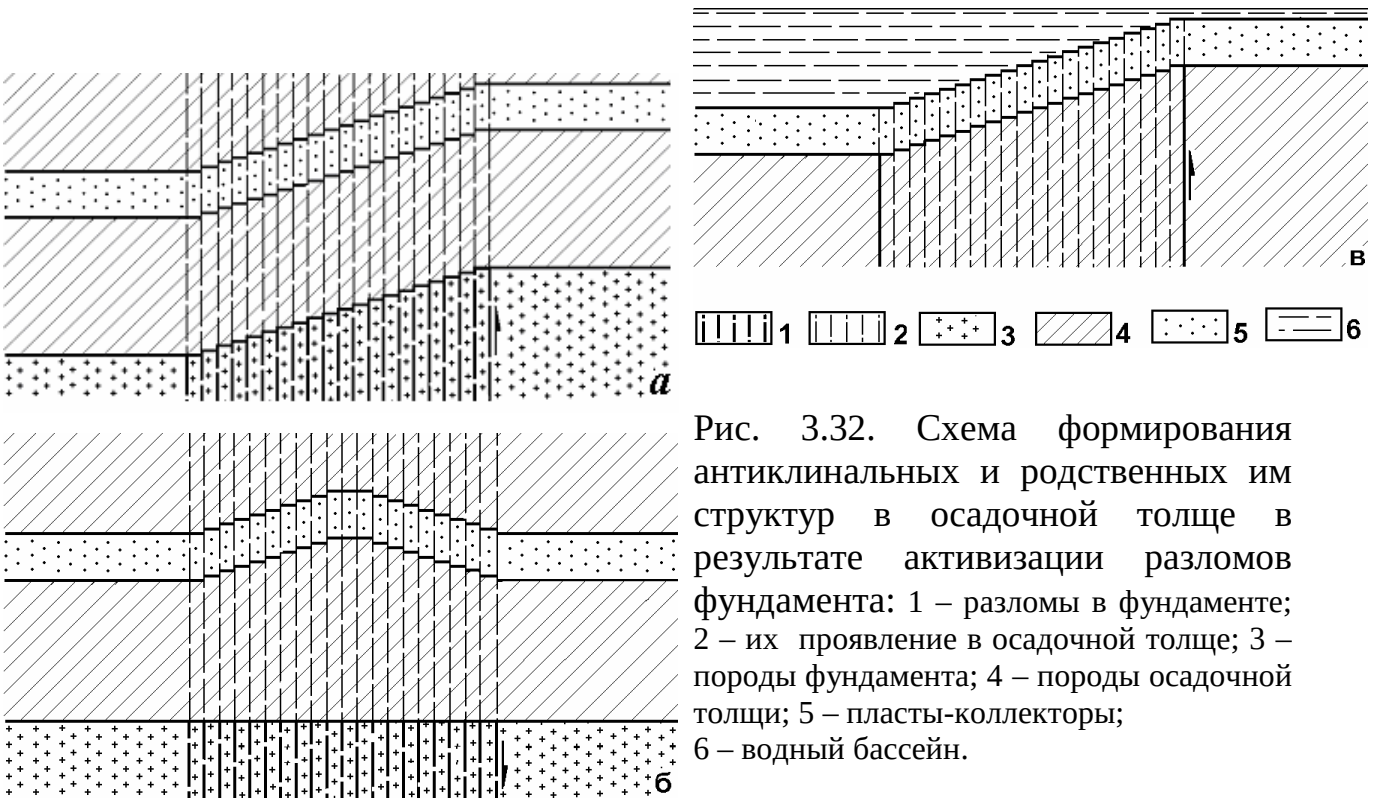


Рис. 3.32. Схема формирования антиклинальных и родственных им структур в осадочной толще в результате активизации разломов фундамента: 1 – разломы в фундаменте; 2 – их проявление в осадочной толще; 3 – породы фундамента; 4 – породы осадочной толщи; 5 – пласты-коллекторы; 6 – водный бассейн.

При этом, в качестве модели складкообразования принят механизм *складчатости скалывания*. На рис.3.32, *а* видно, что в процессе первого акта, соответствующего подъему правого блока фундамента по разлому, деформируется пласт-коллектор, принимая флексурообразную форму. В процессе второго акта (рис.3.32, *б*), соответствующего смене тектонического режима, приводящего к изменению направления перемещения блоков фундамента по разлому, пласт-коллектор вновь подвергается деформации противоположного характера, но в итоге он не возвращается к первоначальной (горизонтальной) форме. Под влиянием остаточной деформации он приобретет форму пологой антиклинали с амплитудой поднятия, значительно меньшей, чем амплитуда первоначальной флексуры, но достаточной для накопления углеводородов. При наличии экрана такая структура представляет собой типичную нефтегазоносную ловушку антиклинального типа.

К изложенному выше следует добавить, что вышележащие слои при активизации рассматриваемого разлома фундамента деформируются аналогичным образом, т.е. образуется единый структурный план. Вместе с тем, нередки случаи, в которых структурные планы на разных горизонтах не совпадают между собой: центральные части структур оказываются смещенными, а сами структуры несколько развернутыми в пространстве друг относительно друга. Такая картина обусловлена тем, что деформация разновозрастных толщ происходит вследствие активизации разломов разных систем (обычно близких по направлению простирания).

В последнее время определенный интерес исследователей вызывают структурные ловушки неантиклинального типа: чаще всего это выклинивание пластов-коллекторов или фациальные замещения в пластах-коллекторах, играющие роль экранов. Оба эти явления обусловлены условиями осадконакопления в связи с активизацией разломов земной коры (рис.3.32, в). В районе активизации разлома происходит изменение глубины бассейна осадконакопления. В зависимости от величины амплитуды этого изменения могут иметь место либо выклинивание формируемых пластов, либо изменение их фациального состава.

Следующий тип нефтегазоносных ловушек связан с соляными диапирами, которые, как правило, служат экранами для прорываемых ими пластов-коллекторов (рис.3.33, *а*). Роль разломов в преобразовании соляных диапиров сводится к следующему. Разломы земной коры являются своеобразными тепловодами. По ним тепло из более глубоких горизонтов подводится к соленосным отложениям, нагревая их в местах соприкосновения. Нагретая соль становится более пластичной, способной перемещаться. Кроме того, активизированные разломы фундамента дезинтегрируют вышележащие породы осадочной толщи на своем

продолжении, формируя канал для перемещения соли. Этому явлению способствует статическое давление осадочных пород, перекрывающих соленосные образования.

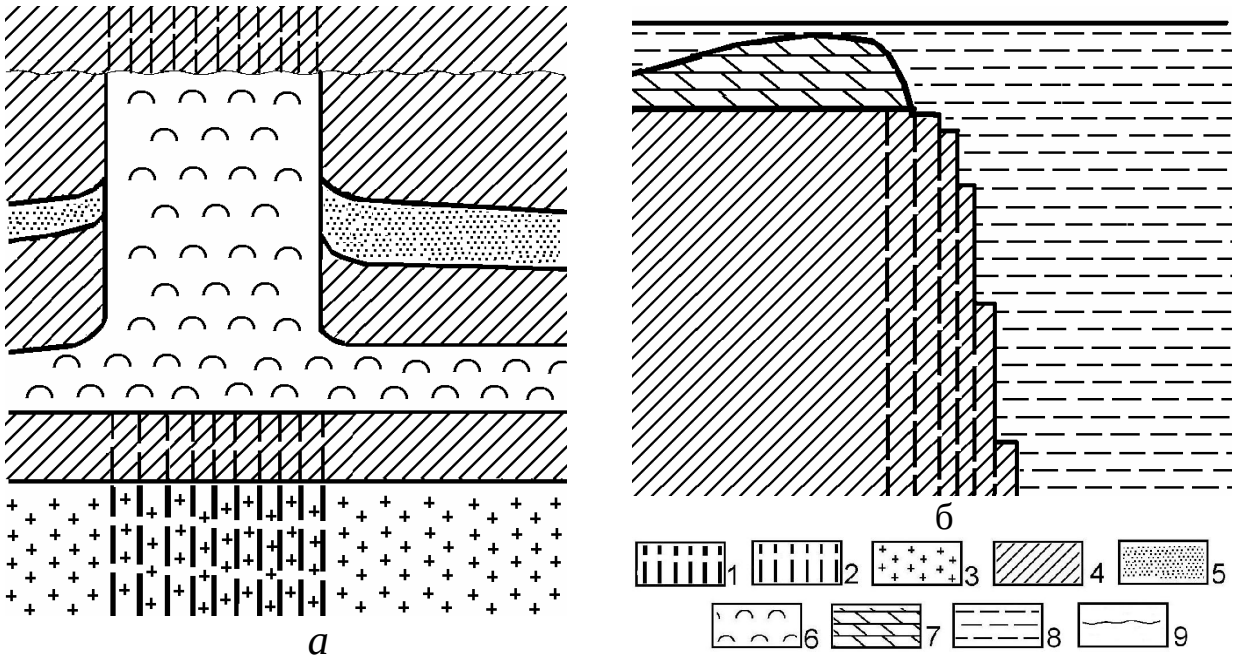


Рис.3.33. Схема образования соляных диапиров (*а*) и рифовых массивов (*б*):
1 – разломы в фундаменте; 2 – их проявление в осадочном чехле, 3 – породы фундамента; 4 – породы осадочной толщи; 5 – коллекторы углеводородов; 6 – соль; 7 – рифовые известняки; 8 – водный бассейн: 9 – поверхность несогласия

Третий тип нефтегазоносных залежей связан с пористыми известняками *древних рифов* (рис.3.33, *б*). Область возможного существования коралловых рифов – граница шельфовой и глубоководной части в древних морях, так же , как и в современных, соответствует разломам земной коры.

Таким образом, *все известные в осадочном чехле ДДВ типы локальных нефтегазоносных структур оказываются пространственно и генетически связанными с разломами фундамента;* вероятнее всего – с узлами их пересечения.

Количественная характеристика взаимосвязи нефтегазоносных структур с разломами фундамента. В качестве исходных данных для получения такой характеристики использованы: а) описанные выше карты шести систем разломов с азимутами простирания 0 и 270˚, 17 и 287˚, 35 и 305˚, 45 и 315˚, 62 и 332˚, 77 и 347˚; б) атлас месторождений нефти и газа Украины [4], включающий сведения о 205 нефтегазовых месторождениях ДДВ. Из этого атласа заимствованы основные показатели нефтегазовых структур; местоположение, стратиграфическая привязка и тип ловушки. Поскольку большинство месторождений ДДВ представлены разными

типами ловушек, все изучаемые месторождения были разделены на три обобщенные группы, преимущественно по составу углеводородов: газовые, нефтяные и комплексные. Данные о стратиграфической привязке месторождений так же обобщались путем сведения их к геологическому периоду стратиграфической шкалы.

Оценка взаимосвязи нефтегазоносных структур в осадочном чехле с разломами фундамента осуществлялась путем наложения карт пространственного расположения нефтегазоносных структур на карты систем разломов. Целью исследований была оценка вероятности попадания нефтегазоносных структур в пределы зон влияния разломов разных систем. В результате анализа установлено следующее.

1. *Нефтегазоносные структуры в значительно большей мере тяготеют не к разломам вообще, а к узлам их пересечений в каждой системе. Узлы пересечения всех шести взаимноортогональных систем разломов контролируют подавляющее большинство всех известных месторождений. Наибольшей частотой попадания характеризуются узлы пересечения разломов системы 62 и 332˚ - 44%. Вклад еще двух систем довольно существенен: 77 и 347˚ - 23%; 45 и 315˚ - 12% (рис.3. 34). Таким образом, узлы пересечения разломов этих трех систем практически полностью контролируют закономерность распределения месторождений нефти и газа в пределах ДДВ.*

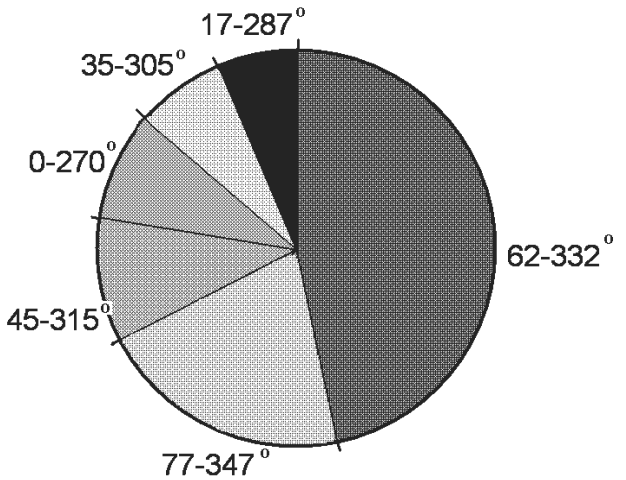


Рис. 3.34. Диаграмма распределения приуроченности нефтегазоносных структур ДДВ к узлам пересечения взаимно ортогональных разломов разных систем.

2. Использование более детальных характеристик нефтегазоносных структур в осадочном чехле при изучении их взаимосвязи с разломами фундамента приводит к следующим результатам. *Антиклинальные ловушки тяготеют к узлам пересечения разломов 62 и 332˚ (частота попадания ≈ 45˚), 77 и 347˚ (частота попадания ≈ 21˚). Тектонически экранированные ловушки тяготеют к узлам пересечения разломов систем 77 и 347˚, 62 и 332˚ (частота попадания, соответственно, 48 и 20%), а литологические – к узлам пересечения разломов систем 77 и 347˚, 77 и 287˚ (частота попадания 46 и 23%).*

Месторождения, приуроченные к пермским отложениям, контролируются системами разломов 77 и 347˚ (частота встречаемости – 57%) и 62 и 332˚ (частота встречаемости 20%). Залежи углеводородов в отложениях карбона на 47% с узлами пересечения разломов системы 62 и 332˚ и на 23% - с узлами пересечения разломов системы 77 и 347˚.

Приведенные выше данные могут быть использованы для прогнозной оценки перспектив нефтегазоносности ДДВ.

Методика и результаты оценки перспектив нефтегазоносности ДДВ. Рассматриваемая методика оценки перспектив нефтегазоносности ДДВ основана на представлениях о формировании структур в осадочном чехле, в результате перемещения блоков фундамента по разломам в периоды тектонических активизаций Земли. Ее условно можно разделить на четыре этапа.

Этап I – составление карты расположения всех известных нефтегазоносных структур осадочного бассейна. В данном случае основу такой карты составляет атлас месторождений нефти и газа Украины [4] по району ДДВ.

Этап II - составление карт систем разломов фундамента осадочного бассейна. Исходным материалом для составления этих карт может служить карта гравитационного поля Δg соответствующего масштаба. В данном случае была использована карта Δg в масштабе 1 : 200 000. Методика выявления и трассирования разломов стандартная. См.подробнее [44].

Этап III - количественная оценка роли разломов фундамента на формирование локальных нефтегазоносных структур в осадочном чехле путем анализа частоты попадания этих структур в пределы зон влияния соответствующих систем разломов, вынесенных на карты в процессе I-го и II этапов. Для этих целей может быть использован любой метод статистического анализа.

Этап IV - составление прогнозной карты участков, перспективных на поиски нефтегазоносных месторождений (рис.3.35)

Прогнозная карта перспектив нефтегазоносности ДДВ, схема которой изображена на рис.3.35, составлена следующим образом.

Вся территория ДДВ представлена равномерной прямоугольной сетью точек с ячейками 2×2 км. Оценка вероятности встречи нефтегазоносных месторождений в окрестности каждой изучаемой точки определялась, исходя из того, в узлы пересечения какой из систем она попадет (см. рис. 3.34). При этом был принят упрощенный вариант - использовались узлы пересечения только трех, наиболее значимых, систем разломов фундамента.

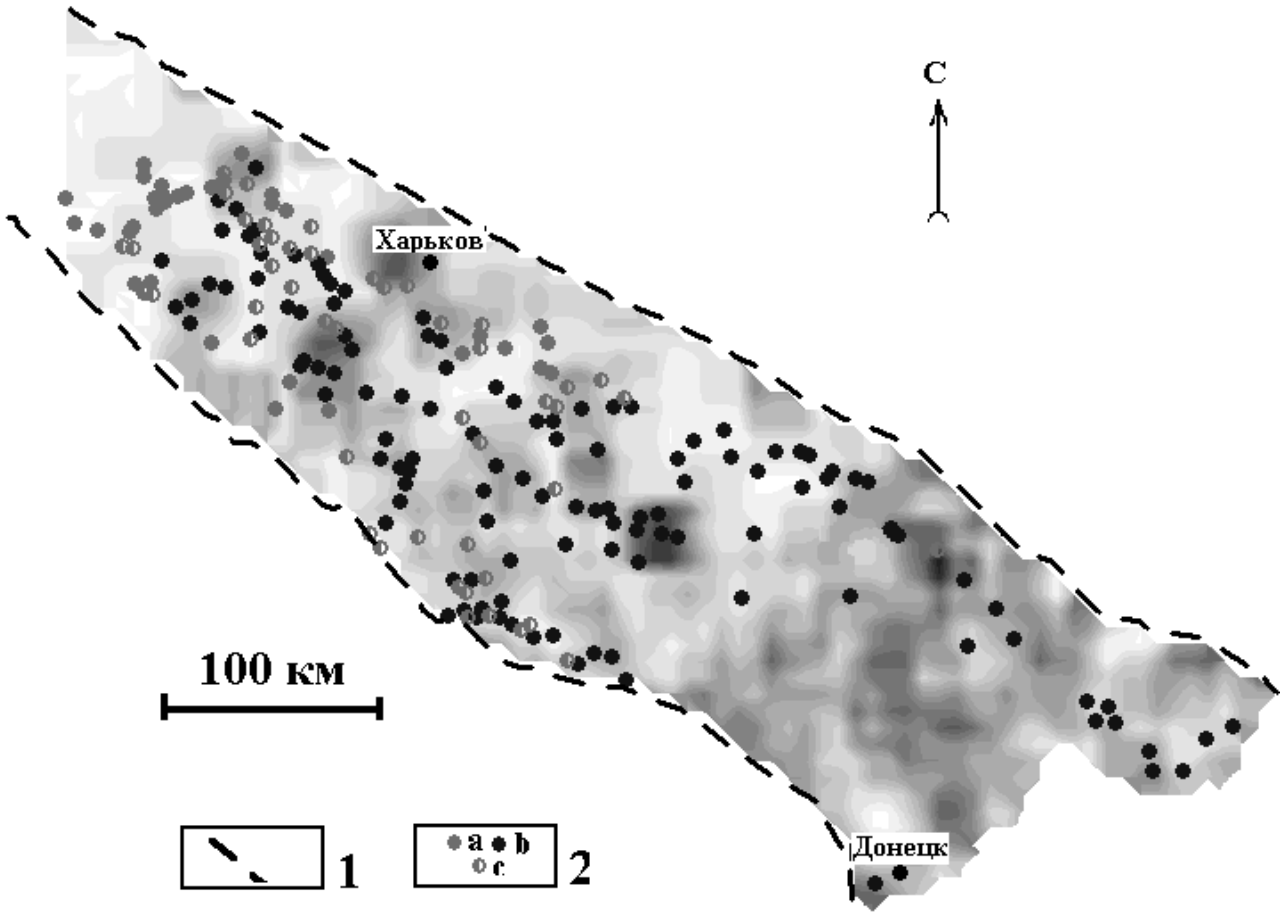


Рис. 3.35. Прогнозная схема перспективности нефтегазоносности ДДВ:
1 – условные границы ДДВ; 2 – типы месторождений (а – нефтяные, б – газовые, в – комплексные). Более темный цвет отражает более перспективные участки.

На итоговой карте (рис. 3.35) результат изображен в виде карты-мозаики вероятности встречи нефтегазоносных структур на территории ДДВ. Градация вероятности встречи принята такой: 0 % - в точках, расположенных вне узлов пересечения разломов; 12 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 45 и 315º; 23 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 77 и 347º; 35 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 45 и 315º, 77 и 347º; 44 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 62 и 332º; 56 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 62 и 332º, 45 и 315º; 67 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 62 и 332º, 77 и 347º; 12 % - в точках, расположенных в узлах пересечения разломов с азимутами простирания 45 и 315º, 62 и 332º, 77 и 347º. Области максимальной вероятности встречи нефтегазоносных месторождений изображены на рис. 3.35 наиболее темным цветом, с постепенным ослаблением густоты окраски до бесцветной, которой соответствуют области с 0 % вероятности.

Построенная, таким образом, прогнозная карта может служить основой для определения перспективных участков поиска новых нефтегазоносных месторождений ДДВ.

Одним из достоинств рассматриваемой методики прогнозирования является ее *инвариантность по отношению к еще окончательно не решенной проблеме органического или неорганического прохождения природных углеводородов*. В случае органического происхождения углеводородов разломам кристаллического фундамента отводится роль формирователя структур-ловушек углеводородов, а в случае неорганического - разломы играют дополнительную роль каналов для поступления углеводородов из недр Земли в сформированные ими ловушки, хотя даже в первом случае не исключается роль разломов в осадочной толще как проводников углеводородов из мест их образования в структуры-ловушки.

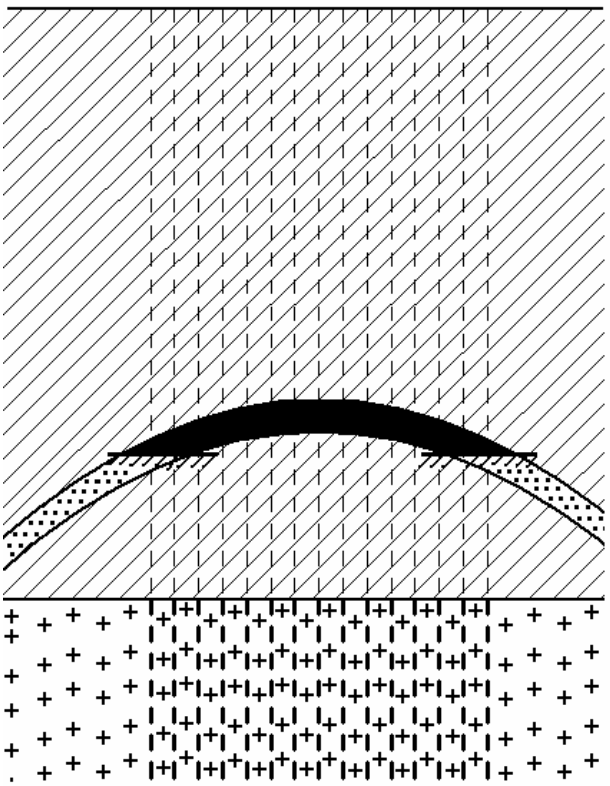
В нашем случае для построения прогнозной карты использован простейший вариант методики, основанный на использовании обобщенных параметров нефтегазоносных структур и отсутствии временной привязки систем разломов. Эти обстоятельства предопределяют возможности совершенствования рассматриваемой методики прогнозирования нефтегазоносных структур при выполнении указанных выше пробелов, даже в представленном виде методика может и должна быть использована для прогнозирования нефтегазоносных месторождений.

Следует специально подчеркнуть общеизвестную, но не всегда принимаемую во внимание, истину. *Прогнозирование любых месторождений в земной коре – это сложный творческий процесс. Успех его во многом зависит от опыта и интуиции исследователя, от его возможности привлечения и осмысливания всех имеющихся формальных и не формальных сведений о генезисе изучаемых месторождений в конкретных геологических условиях.* Другими словами – в руках эрудированного исследователя формализованные данные прогнозирования нефтегазоносносных месторождений, полученные предлагаемым способом, могут иметь решающее значение.

Практическая реализация прогнозной карты. Заключительным этапом прогнозирования новых нефтегазоносных месторождений является оценка реальности наличия этих месторождений в пределах рекомендованных перспективных участков. Наилучшей формой подтверждения нефтегазоносного месторождения могла бы быть глубокая разведочная скважина. Но, в связи со значительной дороговизной этой операции, ей должен предшествовать этап геофизических исследований структурных особенностей перспективного участка. Современная сейсморазведка позволяет определять наличие локальной структуры и ее

особенности, необходимые для выбора места заложения разведочной скважины. Вопрос о продуктивности выявленной структуры может быть решен комплексом сейсморазведки и электроразведки. При этом используется физико-геологическая модель нефтегазовой залежи, изображенная на рис. 3.36. Эта модель построена на основе ранее предложенной А.Е. Лукиным геохимической модели аномалии типа залежь [28].

Основными элементами физико-геологической модели нефтегазовой залежи являются: нефтегазовый резервуар и его ограничения; столб разуплотненных вмещающих пород (ЗДОП), частью которого является резервуар; водо-нефтегазовый контакт, расположенный в основании залежи. Краткая характеристика их сводится к следующему.



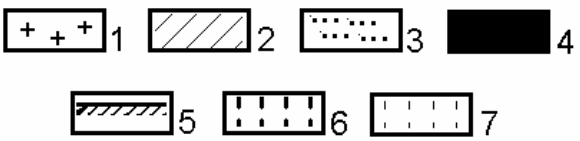


Рис.3.36 Физико-геологическая модель нефтегазовой залежи. Породы: 1 – кристаллического фундамента; 2 – осадочного комплекса; 3 – коллекторы; 4 – нефтегазовая залежь; 5 – водо-нефтегазовый контакт; 6 – разлом земной коры в фундаменте; 7 – зона дезинтеграции осадочных пород (ЗДОП), возникшая в результате активизации разлома фундамента.

1. Наиболее распространенные резервуары представляют собой замкнутые объекты в ядрах антиклинальных структур осадочной толщи, ограниченные тектоническими или литологическими экранами. Достаточно распространены резервуары, представляющие собой рифогенные массивы, палео-русла рек и подобные им образования. Как следует из вышеизложенного основной особенностью абсолютного большинства нефтегазовых резервуаров является тесная взаимосвязь их пространственного положения с узлами пересечения разломов земной коры.

2. Столб разуплотненных осадочных пород повышенной трещиноватости, частью которого является нефтегазовый резервуар, представляет собой область пересечения взаимно ортогональных разломов земной коры. Этот структурный элемент модели возникает в процессе активизации докембрийских разломов фундамента. Обсуждаемый процесс активизации разломов заключается в систематическом воздействии приливных волн в земной коре лунно-солнечной природы. Такого рода волны дважды в сутки вызывают относительные вертикальные смещения блоков фундамента, разделенных разломом. Эти смещения (своего рода «вибрации») приводят к дезинтеграции осадочных пород в зоне, расположенной на продолжении разлома фундамента. Дезинтеграция осадочных пород проявляется в виде повышенной трещиноватости (см. подробнее раздел 4).

Автор этих строк с подобным явлением дезинтеграции пород осадочного чехла впервые встретился в конце шестидесятых годов прошлого столетия при изучении Лиговского фрагмента известного Криворожского разлома на Украинском щите методом электроразведки [22, рис.131]. Там зона трещиноватости в осадочном чехле, возникшая при активизации Криворожского разлома, в результате повышенной обводненности, проявлялась в электрическом поле пониженными значениями удельного электрического сопротивления слагающих ее пород. В данном случае, наличие столба пород повышенной трещиноватости облегчает миграцию флюидов углеводородов вдоль него в направлении земной поверхности. Поскольку углеводороды обладают достаточно высоким удельным электрическим сопротивлением, то насыщенные ими породы также приобретают высокое удельное электрическое сопротивление. Изучение этой закономерности в условиях ДДВ свидетельствует о том, что изменения удельного сопротивления пород в результате их насыщения углеводородами характеризуются значениями от нескольких десятков процентов до практически удвоения, по сравнению с аналогичными «сухими» породами, и в несколько раз – по сравнению с аналогичными водонасыщенными породами. Поэтому электроразведка является ведущим геофизическим методом для прямого определения наличия углеводородов в осадочных породах. Более того, некоторые модификации электроразведки, как, например, зондирование становлением поля в ближайшей зоне (ЗСБ) или варианты магнитотеллурических зондирований (МТЗ) обладают возможностью изучения изменения удельного сопротивления пород с глубиной, т.е. в нашем случае оценивать пространственное положение зон дезинтеграции осадочных пород, насыщенных углеводородами. Таким образом, комплексом сейсморазведки и электроразведки можно оценить наличие

локальной структуры, ее возможную продуктивность и определить место заложения контрольной разведочной скважины.

На рис. 3.37 приведены результаты изучения комплексом электроразведки и сейсморазведки в плане одной из площадей ДДВ, перспективных на поиски залежей газоконденсата.

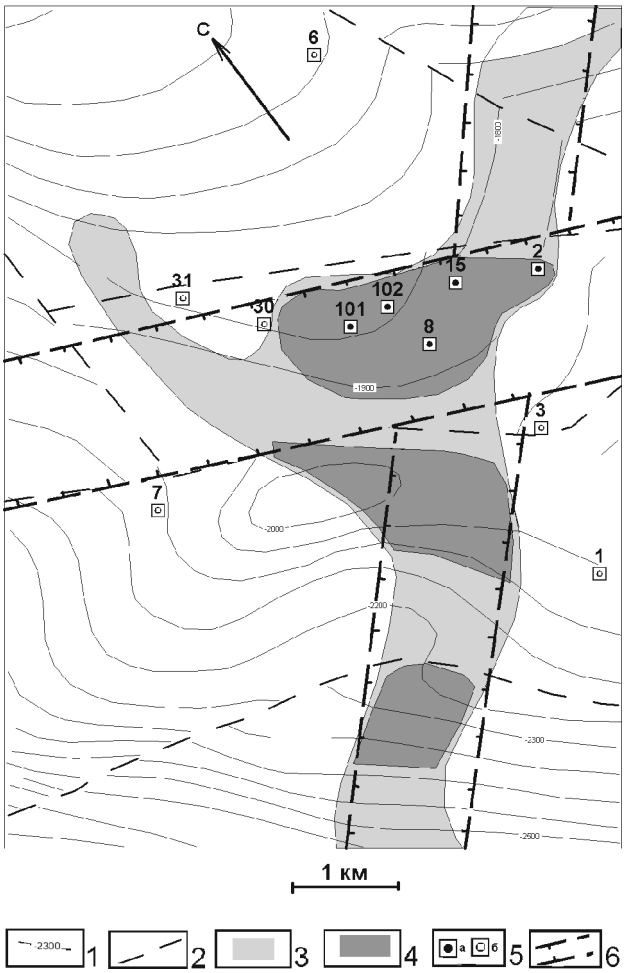


Рис. 3.37. Результаты изучения Максальской площади ДДВ комплексом электроразведки в модификации ЗСБ и сейсморазведки МОВ (по А.Н. Алилуеву [3]). 1 – изогипсы отражающего горизонта $V_{б2}$; 2 – разрывные нарушения в осадочной толще; 3 – область аномальных значений ρ_l стратиграфического комплекса C_3; 4 – области выявленной и предполагаемой залежи газоконденсата; 5 - скважины: а – пересекшие залежь газоконденсата; б – «пустые»; 6 - условные границы разломов фундамента.

На приведенном выше рисунке обращает на себя внимание следующее: довольно четко прослеживаются две линейные полосы повышенных значений удельного электрического сопротивления (ρ_l) пород верхнего карбона. Судя по гравитационному полю, они соответствуют двум разломам фундамента. Скважины, пробуренные на изучаемой площади, подтверждают продуктивность пород, имеющих повышенное удельное электрическое сопротивление. Этот пример интересен еще и тем, что он иллюстрирует возможность миграции флюидов углеводородов в осадочной толще не только в вертикальном, но и в латеральном направлениях. Примеры детального изучения разных типов нефтегазоносных структур комплексом геолого-геофизических методов в условиях ДДВ можно найти в учебном пособии [43].

Заключение. Подводя итоги изложенного выше, можно сделать следующие выводы.

1. *Все типы известных нефтегазоносных месторождений в осадочной толще ДДВ пространственно и генетически связаны с разломами фундамента, точнее - с узлами их пересечений. При этом фигурируют шесть основных систем разломов земной коры, тех же самых, что и в остальных регионах Евразии [13]. В рудных районах они контролируют распределение рудных месторождений (см. раздел 3.2), а в осадочных бассейнах – нефтегазоносных.*

2. *На основе тесной взаимосвязи образования нефтегазоносных структур в осадочном чехле с разломами фундамента предложена оригинальная методика прогнозирования новых месторождений углеводородов и пути ее реализации геолого-геофизическими методами в условиях ДДВ. Одним из достоинств предлагаемой методики является инвариантность ее отношения к до сих пор не решенной проблеме происхождения природных углеводородов*. Эта методика вошла в учебное пособие для студентов геологических специальностей ВУЗов Украины [25].

3. *Днепровско-Донецкую впадину вряд ли можно считать единственным уникальным регионом, в пределах которого наблюдается описанная выше взаимосвязь между образованием локальных (нефтегазоносных) структур в осадочном чехле и разломами фундамента. По-видимому, это глобальная тектоническая закономерность, присущая и другим осадочным бассейнам*. Последний вывод, в частности, основывается на имеющихся в нашем распоряжении данных.

Во-первых, на результатах исследований, проводившихся в середине 90-х годов прошлого столетия в Национальном горном университете с целью изучения роли разломов земной коры при образовании локальных структур в осадочной толще Азово-Черноморского региона. В связи с кратковременностью этих исследований (они длились один год) их результаты можно считать только предварительными. Тем не менее, эти результаты оказались достаточно впечатляющими.

В процессе исследований удалось восстановить системы разломов фундамента путем интерпретации локальных гравитационных аномалий по карте масштаба 1:500000, любезно предоставленной Днепропетровской геофизической экспедицией. Оказалось, что в поле остаточных гравитационных аномалий в пределах изучаемого региона, наиболее четко проявляются пять систем разломов, характеризующиеся азимутами простирания: 0 и 270º, 17 и 287º, 35 и 305º, 45 и 315º, 56 и 326º. Полученная таким образом карта систем разломов совмещена с картой размещения известных локальных структур в осадочном чехле изучаемого

региона. Результаты этого совмещения изображены в виде схемы, приведенной на рис. 3.38. На схему вынесены не все разломы фундамента, а в основном, те из них, в пределы которых попали локальные структуры.

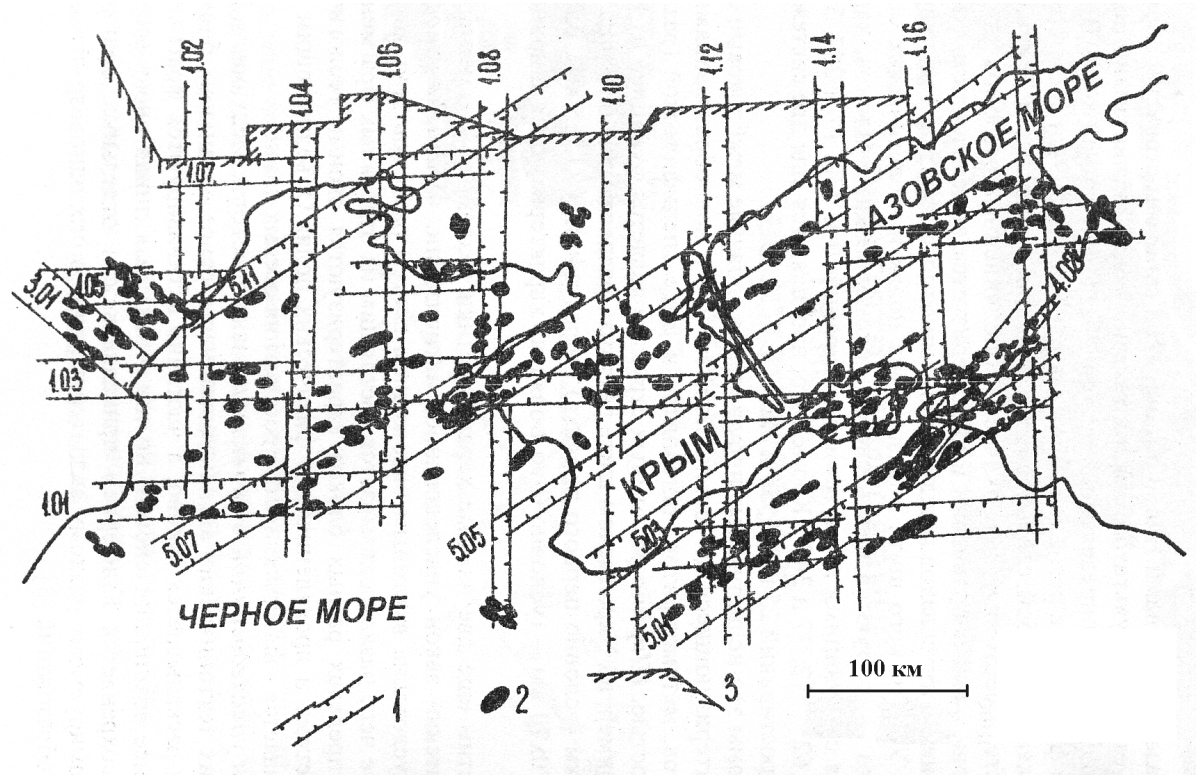


Рис. 3.38. Схема расположения систем разломов фундамента в Азово-Черноморском регионе и известных локальных структур в осадочной толще [59, 82]: 1 – условные границы разломов; 2 – локальные структуры в осадочной толще; 3 – северная граница региона.

На приведенной схеме обращает на себя внимание следующее.

1. Наиболее насыщенные локальными структурами оказались разломы с азимутами простирания 270 и 56º. Кроме того, примерно также насыщены локальными структурами оказались два фрагмента разломов с азимутами простирания 305º (разлом 3. 01) и азимутом простирания 45º (разлом 4.08).

2. В каждой из установленных систем разломов фундамента в формировании структур осадочного чехла активно участвуют разломы только одного направления, а одновременно активизирующиеся разломы ортогонального направления практически не участвуют в этом процессе.

3. Несмотря на некондиционный для этих целей масштаб исследований и некоторые неувязки, наблюдаемые на рис. 3.38, отражаемая на нем закономерность свидетельствует об устойчивой пространственной взаимосвязи положения локальных структур в

осадочном чехле с определенными системами разломов фундамента. Результаты исследований, изображенные на рис 3.38, демонстрировались на Международных форумах: в Лейпциге [86], Москве [56], Стамбуле [85], Бухаресте [84], Каире [87] и вызвали неподдельный интерес у участников.

Во-вторых, в 2002 г. один из аспирантов Национального горного университета (НГУ) гражданин Сирии Джохар Кейс имел возможность опробовать описанную выше методику прогнозной оценки нефтегазоносности ДДВ для определения перспектив нефтегазоности внешней зоны Месапотамского передового прогиба, расположенного в северо-восточной части Сирии [23]. В установленные им по аномалиям гравитационного поля разломы фундамента попали известные, открытые зарубежными компаниями, нефтегазоносные месторождения. Этот факт послужил ему основанием для выделения участков, перспективных на поиски новых месторождений в северо-восточной части Сирии.

3.4 Геофизика (магнитное поле Земли)

Одна из главных проблем физики Земли это проблема генерации ее магнитного поля. Очевидно, что если эта задача будет понята, то все остальные вопросы должны быть решены автоматически.

В.В. Кузнецов

Общие сведения. Появление Новой ротационной гипотезы структурообразования существенным образом отразилась на представлениях о механизме возникновения земного магнитного поля. Природу магнитного поля Земли в настоящее время исследователи связывают с *гидромагнитным динамо* Э. Булларда [8,78 и др.], в основе которого лежит модель “неподвижной Земли”, со всеми присущими ей недостатками (см. раздел 1). Поскольку *Земля все-таки вертится*, предлагается ротационная модель земного магнитного поля [55,83], главной особенностью которой является *единство природы механизмов возбуждения магнитного поля Земли и ее тектогенеза*. Некоторые элементы предлагаемой модели заимствованы у В.В. Кузнецова [27]. Исходными данными для составления ротационной модели служат результаты изучения особенностей магнитного поля на поверхности Земли.

Наблюдаемое магнитное поле на поверхности Земли *T* является суммой полей, имеющих различные причины возникновения

$$T = T_0 + T_m + T_a + T_e + \delta T\ , \qquad (3.1)$$

где T_0 – поле, создаваемое однородной намагниченностью земного шара, называемое дипольным; T_m – недипольное поле, называемое полем мировых магнитных аномалий; T_a – поле региональных и локальных аномалий, обусловленных неоднородной намагниченностью верхних слоев земной коры; T_e – поле, обусловленное внешними причинами; δT – вариации магнитного поле во времени.

Сумма полей $T_0 + T_m$ – образует главное поле, а сумму полей $T_0 + T_m + T_e$ – часто называют нормальным полем Земли. Такое подразделение во многом условно, но оно удобно для характеристики магнитного поля Земли. Ниже сформулированы основные требования, которым должна удовлетворять модель магнитного поля Земли, основанные на результатах изучения особенностей земного магнитного поля. Кратко они сводятся к следующему [55].

1. *Источник магнитного поля должен находиться внутри Земли и быть тесно связан с ее ротационным режимом.* Это требование вытекает из известных представлений о том, что доля внешнего магнитного поля не превышает 1% от наблюдаемого на поверхности Земли [73]. Взаимосвязь магнитного поля с ротационным режимом Земли является следствием определенных закономерностей взаимного расположения магнитных полюсов Земли и полюсов ее вращения. Известно, что они не просто близки между собой, а среднее положение магнитных полюсов за интервал времени порядка 10^4 лет соответствует среднему положению полюсов вращения за этот же промежуток времени [77]. Естественно, модель должна допускать возможность объяснения и разницы в их положении.

2. *Источником главного магнитного поля Земли может быть система электрических токов, протекающих во внутренних частях Земли.* Логика этого требования основана на том, что температура внутренних оболочек Земли практически исключает ферромагнитную природу поля. В лучшем случае железоникелевое ядро Земли может служить магнитным проводником. Следовательно, остается единственная возможность возникновения магнитного поля – в результате направленного перемещения электрических зарядов (электрических токов).

3. *Система электрических токов должна быть такой, чтобы в первом приближении она соответствовала магнитному полю центрального диполя.* Вместе с тем должна находить объяснение природа мировых магнитных аномалий. Это требование вытекает из основных свойств главного магнитного поля. Магнитное поле, наблюдаемое на

поверхности Земли, в первом приближении соответствует полю магнитного диполя, находящегося в центре Земли, и осложняется полем мировых магнитных аномалий (T_m), интенсивность которых достигает четверти интенсивности максимальных значений дипольного поля.

4. *Модель магнитного поля должна объяснять инверсии поля и его вариации во времени.* Инверсии магнитного поля Земли − это экспериментально установленный факт [15]. Поэтому нельзя признать модель правомерной, если с ее помощью невозможно будет объяснить это явление.

Известно, что магнитное поле Земли испытывает периодические вариации со спектром периодов, начиная от суточных, годичных, 11 и 22-х летних и кончая многомиллионными [33 и др.]. Более того, периоды вариаций земного магнитного поля совпадают с периодами многих астрономических явлений. Магнитный момент Земли также не остается постоянным. Все эти особенности должны найти свое объяснение.

5. *Для поддержания магнитного поля Земли необходим постоянный источник энергии.* Это стандартное требование для любой энергетической системы. Важно, чтобы этот источник имел реальную физическую природу и его энергии было бы достаточно для поддержания процесса генерации магнитного поля Земли.

Физическая сущность предлагаемой модели.

В качестве источников электрических токов принимаются электрические заряды, возникающие на двух внутренних границах Земли (рис. 3.39,*а*):

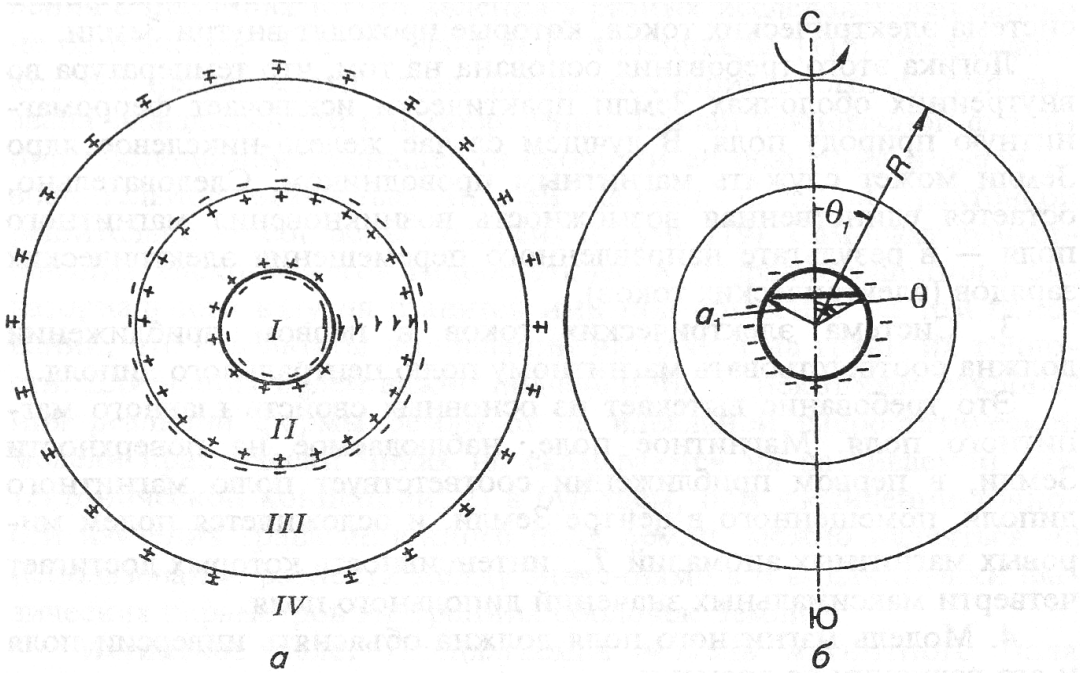


Рис. 3.39 Физическая модель Земли (*а*) и ее параметры, используемые для расчетов (б): I – внутреннее ядро; II – внешнее ядро; III – мантия; IV – атмосфера.

1) на границе внутреннего ядра с внешним (слой F в модели Буллена);

2) на границе внешнего ядра с мантией. Эти границы (тонкие слои) являются зонами соприкосновения твердой и жидкой фаз внутреннего вещества Земли. Разделение зарядов на них возможно за счет любого процесса диффузии или тепломассопереноса [27]. Не останавливаясь на этом подробно, отметим, что такое разделение зарядов приводит к образованию двойного электрического слоя. Если будет наблюдаться перемещение обкладок такого двойного слоя друг относительно друга − возникает система двух разнонаправленных электрических токов. При постоянной плотности зарядов на поверхности двойного электрического слоя сила тока будет пропорциональна скорости относительного проворота его обкладок.

Кроме того, возможно возникновение электрических зарядов на определенных границах в атмосфере, в частности, в ионосфере. Судя по тому, что на соседних планетах земной группы наблюдаются глобальные перемещения атмосферных слоев, не исключена возможность относительного проворота ионосферы Земли, в результате которого возникают токи − источники магнитного поля. Вместе с тем ясно, что вклад ионосферы в формирование магнитного поля Земли не может быть больше компоненты внешнего поля, которое, как уже указывалось, оценивается величиной порядка 1% [73]. На таком основании в дальнейшем этим элементом магнитной модели Земли в первом приближении можно пренебречь.

Рассмотрим, в первую очередь, модель генерации современного магнитного поля Земли. Поскольку Земля представляет собой магнит, то, перемещаясь в переменном магнитном поле Галактики, она должна испытывать определенный вращательный момент. Вместе с тем, в соответствии с законами механики, ее момент количества движения в пространстве должен сохраняться. Как уже указывалось ранее, удовлетворить обоим этим положениям одновременно можно только при условии перемещения разных частей Земли друг относительно друга. Об этом, в частности, свидетельствует инструментально фиксируемое перемещение полюсов вращения по поверхности Земли, которое возможно только при указанном условии.

Исходя из современных представлений о строении Земли, можно назвать несколько горизонтов внутри Земли, вдоль которых возможны относительные перемещения (см. рис. 3.39,*а*): а) граница внутреннего ядра с внешним (в пределах слоя *F);* б) весь интервал внешнего ядра; в) граница ядро-мантия; г) определенные границы в атмосфере, в частности, ионосфере. По-видимому, перемещения могут происходить на всех названных границах, но их роль в образовании магнитного поля Земли

неодинакова. Рассмотрим это подробнее. Для получения представлений о возможном порядке относительных перемещений запишем выражение момента количества движения M_0 в виде суммы моментов для внутреннего ядра, внешнего ядра совместно с мантией и атмосферы

$$M_0 = I_1\omega_1 + I_{2+3}\omega_{2+3} + I_4\omega_4 \tag{3.2}$$

где I_1 – момент инерции внутреннего ядра, I_{2+3} – момент инерции внешнего ядра и мантии, I_4 – момент инерции атмосферы, ω_1 – угловая скорость вращения внутреннего ядра, ω_{2+3} – угловая скорость вращения внешнего ядра и мантии, ω_4 – угловая скорость вращения атмосферы.

Пренебрегая, в виду относительной малости, третьим членом правой части выражения (3.2), запишем его для наших целей в таком виде

$$M_0 = I_1\omega_1 + I_{2+3}\omega_{2+3} \to const \tag{3.3}$$

Стремление к сохранению в пространстве суммарного момента количества движения M_0 приводит к относительному перемещению оболочек Земли. Если одна часть Земли, например, внутреннее ядро, под влиянием внешнего магнитного поля изменит свою угловую скорость на величину $\Delta\omega_1$ то другая ее часть должна изменить свою угловую скорость на величину $\Delta\omega_{2+3}$, но в противоположном направлении

$$\left.\begin{aligned} \omega_1 &= \omega_0 + \Delta\omega_1 \\ \omega_{2+3} &= \omega_0 - \Delta\omega_{2+3} \end{aligned}\right\} \tag{3.4}$$

Из выражения (3.4) следует, что для сохранения M_0 постоянным, необходимо

$$\frac{\Delta\omega_1}{\Delta\omega_{2+3}} \to \frac{I_1}{I_{2+3}} = 1333 \tag{3.5}$$

Другими словами, внутреннее ядро должно вращаться относительно внешнего и мантии со скоростью на три порядка превышающей величину изменения угловой скорости внешней оболочки.

За величину $\Delta\omega_1$ можно принять угловую скорость "западного дрейфа" магнитного поля, значение которой у разных исследователей колеблется от 0,05 до 0,3°/год. В качестве наиболее вероятного значения обычно принимают 0,18°/год. Величина $\Delta\omega_{2+3}$, по-видимому, более сложной природы. В частности, она переменна. Это связано с возможным проскальзыванием слоев в пределах квазижидкого внешнего ядра (см. рис.1,*а*). Закон изменения угловой скорости в пределах внешнего ядра

неизвестен. Наиболее вероятно монотонное ее уменьшение от $0{,}13 \cdot 10^{-3}$°/год на границе внутреннего ядра до какой-то величины $\Delta\omega_{1+2}$ на границе внешнего ядра и мантии. Минимальное значение $\Delta\omega_{1+2}$ — это фиксируемое ныне замедление вращения Земли (порядка $1 \cdot 10^{-7}$ °/год), а максимальное можно получить, если считать, что проворот ядра относительно мантии происходит именно на этой границе. И, хотя это предположение далеко от реальности, тем не менее, даже в этом случае скорость проворота ядра относительно мантии $\Delta\omega_{1+2}$ будет превышать величину изменения угловой скорости внешней оболочки (поверхности Земли) всего в 8,4 раза. В этой связи возможное предельное значение силы тока на границе ядра и мантии (в предположении одинаковой плотности возникающих электрических зарядов на поверхности внешнего и внутреннего ядра и учета разности радиусов) не может превышать 1% от тока на границе внутреннего ядра (слоя *F).* Следовательно, в первом приближении им можно пренебречь.

Таким образом, намечается простейший генератор магнитного поля, состоящий из ротора (внутреннее ядро) и статора (совокупность внешнего ядра и мантии). В качестве поверхности, по которой течет ток, принимается слой *F,* на границах которого возникает двойной электрический слой. Причем обе разно заряженные обкладки двойного электрического слоя движутся навстречу друг другу (см. рис.3.39,*а*), но с разной угловой скоростью: внутренняя с $\Delta\omega_1$ =0,18°/год, а внешняя – с угловой скоростью приблизительно на три порядка меньшей и весьма мало отличающейся от углового замедления вращения Земли. Следовательно, магнитное поле на поверхности Земли создается, в основном, электрическим током, обусловленным перемещением зарядов, связанных с внутренней обкладкой двойного электрического слоя. Вклад электрического тока зарядов, связанных с внешней обкладкой двойного электрического слоя, менее 1% и в данном случае не учитывается.

Выше была рассмотрена модель генерации существующего современного магнитного поля. А каков же механизм *возникновения* магнитного поля Земли в начальный этап ее развития? В рамках предлагаемой модели это можно представить так. Магнитное поле Земли могло возникнуть только с момента образования в ней ядра, способного проворачиваться относительно мантии. Необходимая первоначальная намагниченность железоникелевого ядра могла быть весьма незначительной и для ее появления, по-видимому, достаточно было индукции магнитного поля Галактики. Последующее взаимодействие Земли с магнитным полем Галактики в соответствие с описанной выше моделью довели магнитное поле Земли до величины, соизмеримой с современной.

Обоснование предлагаемой модели. Энергетический баланс. Известно, что энергия современного магнитного поля Земли оценивается величиной порядка $3 \cdot 10^{19}$ Дж. Рассмотрим параметры предлагаемой модели, которые соответствовали бы названной энергии. Энергию W вращающегося тела можно вычислить по формуле

$$W = \frac{1}{2} I\omega^2, \tag{3.6}$$

где I – момент инерции тела, ω – его угловая скорость.

Принимая для внутреннего ядра $\omega = \Delta\omega_1 = 0{,}18°$/год, с учетом его момента инерции, из выражения (3.6) найдем кинетическую энергию вращения. Она оказывается равной $4{,}2 \cdot 10^{19}$ Дж. Другими словами, кинетическая энергия вращения внутреннего ядра не только совпадает по порядку величин с энергией магнитного поля Земли, а оказывается даже несколько больше ее. Важность этого результата трудно переоценить, так как удовлетворительное соотношение энергетических балансов проворота внутреннего ядра Земли и земного магнитного поля является необходимым условием справедливости предлагаемой модели. Следовательно, с энергетических позиций предлагаемую модель можно считать обоснованной.

Поле предлагаемой модели и поле центрального диполя. Пользуясь известной формулой Лоренца для вычисления напряженности магнитного поля, обусловленного вращающимися зарядами, запишем выражения его радиальной (H_R) и тангенциальной (H_θ) компонент в сферических координатах *(R,θ,λ)* с началом в центре Земли и полюсом на оси вращения. В точках на поверхности Земли, с координатами (*R, θ ,λ)* выражения компонент напряженности магнитного поля, обусловленной внутренней обкладкой двойного электрического слоя, будут выглядеть так (см. рис. 3.39,б)

$$\left.\begin{aligned} H_R &= \frac{2\pi\sigma a_1^4\omega}{c}\int_0^\pi \frac{\sin^3\theta_1\left(R\cos\theta_1 - a_1\cos\theta_1\right)\left(R - a_1\cos\theta\cos\theta_1\right)d\theta}{\left(R^2 + a_1^2\cos^2\theta - 2Ra_1\cos\theta_1\cos\theta\right)^{\frac{5}{2}}} \\ H_\theta &= \frac{\pi\sigma R a_1^4\omega\sin\theta}{c}\int_0^\pi \frac{\left(R - a_1\cos\theta\cos\theta_1\right)d\theta}{\left(R^2 + a_1^2\cos^2\theta - 2Ra_1\cos\theta_1\cos\theta\right)^{\frac{5}{2}}} \end{aligned}\right\}, \tag{3.7}$$

где ω – угловая скорость проворота внутреннего ядра, принимаемая нами равной $\Delta\omega_1$, σ – поверхностная плотность зарядов обкладок двойного электрического слоя, а остальные обозначения видны на рис. 3.39,*б*.

Оба выражения (3.7) представляют собой интегралы эллиптического типа и в общем случае в конечном виде не берутся. Точные значения H_R и

H_θ можно получить только в двух случаях: на полюсе (θ=0°) и на экваторе (θ=90°)

$$\left.\begin{aligned} H_R(\theta=0^\circ)&=\frac{2\pi\sigma a_1\omega}{c}\left(\frac{2Ra_1}{R^2-a_1^2}-\ln\frac{R+a_1}{R-a_1}\right);\\ H_R(\theta=90^\circ)&=0; H_R(\theta=0^\circ)=0;\\ H_\Theta(\theta=90^\circ)&=\frac{4\pi\sigma a_1^4R^5\omega}{3c\left(R^2-a_1^2\right)^4}. \end{aligned}\right\} \qquad (3.8)$$

Компоненты напряженности центрального диполя с магнитным моментом M в выбранной системе координат имеют вид

$$H_R=\frac{2M}{cR^3}\cos\theta_1; \quad H_\theta=\frac{M}{cR^3}\sin\theta_1. \qquad (3.9)$$

Результаты сопоставления компонент напряженности магнитного поля предлагаемой модели и осевого диполя показаны на рис.3.40. Для удобства сравнения и те, и другие изображены в одном относительном масштабе – в единицах $H_R(\theta=0°)$; Значения H_R и H_θ модели в произвольных точках вычислялись приближенно. Из сравнения результатов вычислений по формулам (3.7) и (3.8) в точках на полюсе и экваторе видно, что относительная точность приближенных вычислений не грубее 1%.

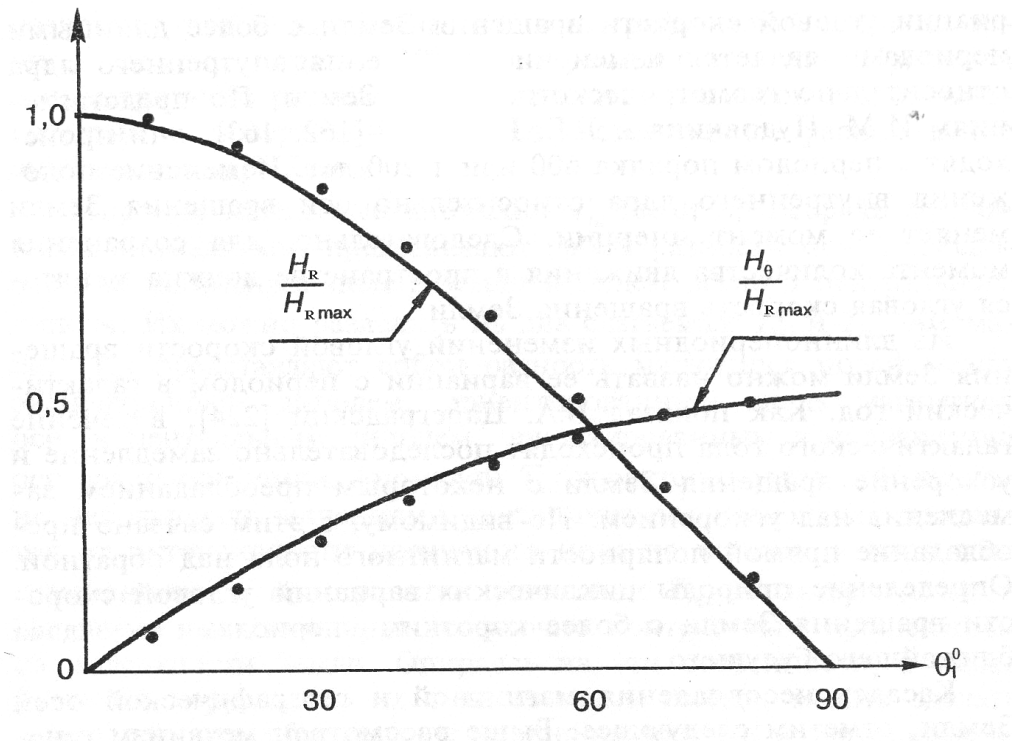


Рис.3.40. Графики изменения компонент напряженности магнитного поля Земли, соответствующие принятой модели. Точками показаны значения этих же компонент для центрального осевого диполя.

Из рис. 3.40 следует, что оба сравниваемых поля (модели и диполя) практически идентичны. Максимальное относительное расхождение компоненты H_R не превышает 4%, а H_θ – 2%. Таким образом, магнитное поле предлагаемой модели удовлетворяет и этому требованию.

Плотность электрических зарядов в слое F. Правомерность предлагаемой модели в определенной мере можно оценить и по тому, насколько допустимой потребуется плотность зарядов, возникающая в слое *F*, необходимая для генерации современного магнитного поля Земли. Принимая в полюсе вращения $H_R = \frac{0,6}{4\pi} \cdot 10^{-8} A/м$ из первого выражения (3.8) получим значение $\sigma = 1 \times 10^3$ *Кл/м*^{2} . При толщине слоя *F* порядка 100 км средняя плотность электрических зарядов в каждой его половине получается порядка 2×10^{-2} *Кл/м*^{3} . Это – вполне достижимая величина.

Инверсии магнитного поля. Для объяснения инверсий магнитного поля обратимся вновь к соотношениям (3.4). Они записаны для случая торможения внешних оболочек Земли (II и III) и соответствующего ему ускорению внутреннего ядра (I). Если замедление внешних оболочек сменится ускорением, то изменение знака перед $\Delta\omega_{2+3}$ автоматически приведет к изменению знака перед значением $\Delta\omega_1$, т.е. меняется направление электрического тока на обратное. Следовательно, изменится полярность магнитного поля. В процессе перехода от замедления к ускорению (или наоборот) угловые скорости внутреннего ядра и внешних оболочек будут проходить через значения ω_0. В это время проскальзывания внутреннего ядра не будет и магнитное поле исчезнет. Судя по результатам изучения инверсий магнитного поля, это явление занимает интервал времени порядка 10^5 лет, а сам процесс инверсии осуществляется в течение 10^4 лет.

Естественно возникают вопросы: имеют ли место такие изменения в угловых скоростях вращения Земли и отдельных оболочек, и какова их природа? Положительный ответ на первый вопрос дают современные инструментальные измерения угловой скорости вращения Земли, проводящиеся в течение последних 200 лет. Наблюдаются колебания длины суток с периодом порядка 70 лет, на которые накладываются их изменения с годичным периодом. В качестве одного из источников вариаций угловой скорости вращения Земли с более длинными периодами можно назвать изменение положения внутреннего ядра относительно геометрического центра Земли. По представлениям И.М.Пудовкина и Г.Е.Валуевой [36,37] они происходят с периодом порядка 600 или 1200 лет. Изменение положения внутреннего ядра относительно оси вращения Земли меняет ее момент инерции. Следовательно, для сохранения момента количества движения в пространстве должна меняться угловая скорость вращения Земли.

Из длиннопериодных изменений угловой скорости вращения Земли можно назвать ее вариации с периодом в галактический год. Как показал В.А.Цареградский [65], в течение галактического года происходят последовательно замедление и ускорение вращения Земли с некоторым преобладанием замедления над ускорением. По-видимому, с этим связано преобладание прямой полярности магнитного поля Земли над обратной.

Определение природы циклических вариаций угловой скорости вращения Земли с более короткими периодами - задача ближайшего будущего.

Отклонение магнитной оси от географической. Выше рассмотрен механизм генерации магнитного поля Земли за счет ее взаимодействия с компонентой поля космического пространства, ориентированной в направлении, перпендикулярном оси вращения Земли. В результате влияния компонент космического поля, отличающихся по направлению от рассмотренного, возможен проворот внутреннего ядра и в этих направлениях, вследствие чего образуются дополнительные компоненты магнитного поля Земли, характеризующиеся магнитными моментами, ориентировки которых отличны от направления оси вращения Земли. Суммарный вектор магнитного момента Земли, обусловленный совокупным проворотом внутреннего ядра, определяет направление магнитной оси Земли. Отличительная особенность дополнительных компонент магнитного поля Земли заключается в их малой величине, по сравнению с главной, так как на проворот внутреннего ядра в направлениях, отличных от направления вращения, требуются дополнительные усилия на преодоление кориолисовых сил. Следствием этого являются относительно малые углы между магнитной и географической осями. В настоящее время этот угол составляет ≈11,5°. В связи со спонтанностью направлений дополнительных компонент магнитного поля Земли среднее значение разности между магнитной и географической осями за период времени порядка 10^4 лет стремится к нулю [77 и др.].

Причиной асимметричного расположения магнитных полюсов является эксцентричное расположение внутреннего ядра Земли [74 и др.].

Мировые магнитные аномалии (без учета локальных аномалий) представляют собой разность между наблюдаемым магнитным полем Земли и полем осевого центрального диполя. В рамках предлагаемой модели их можно разделить на два слагаемых T_{m1} и T_{m2},. Аномалии T_{m1} представляют собой разность магнитных полей между эксцентричным диполем, ориентированным вдоль магнитной оси, и центральным диполем, ориентированным в направлении оси вращения Земли. Аномалии характеризуются относительно небольшими значениями,

достигающими нескольких первых процентов от интенсивности магнитного поля на полюсе, и плавными изменениями в пространстве.

Аномалии T_{m2} характеризуются и бóльшими значениями, и достаточно контрастным проявлением на поверхности Земли. Опираясь на эти особенности, а также корреляцию их с аномалиями геоида [35], можно сделать вывод, что они обусловлены неоднородностями в тектоносфере. Этот вывод не только не противоречит основным особенностям предлагаемой модели магнитного поля Земли, а, по-видимому, единственно возможен.

Вековые вариации магнитного поля. В рамках предлагаемой модели рассмотрим два известных явления вековых вариаций магнитного поля Земли: 1) вековые изменения магнитного момента Земли, устанавливаемые по палеомагнитным данным (м); 2) аномалии векового хода напряженности современного магнитного поля Земли.

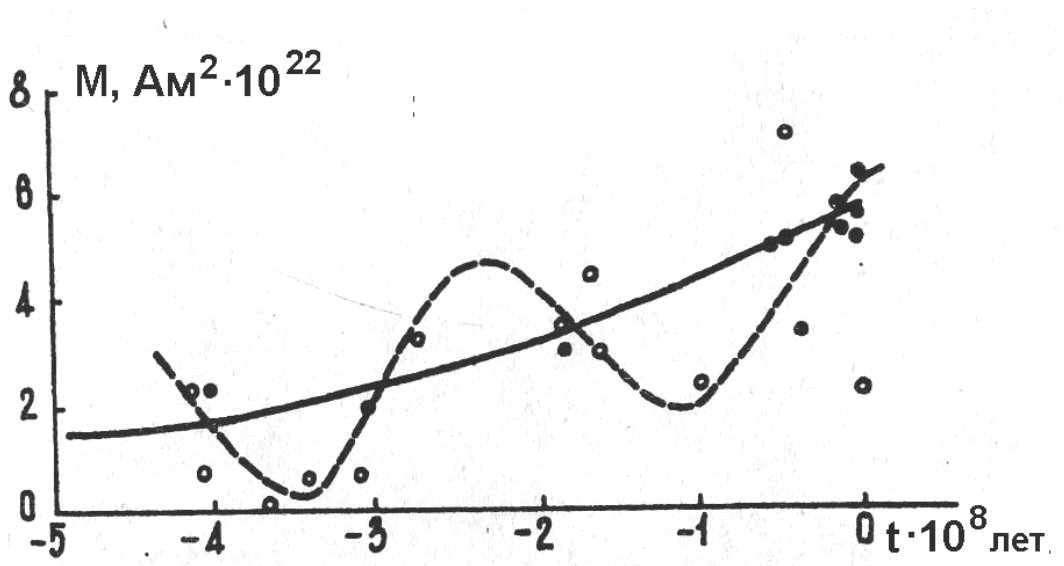


Рис. 3.41 Изменение магнитного момента земного диполя за последние 400 млн.лет.

1. Из предлагаемой модели следует, что при изменении ротационного режима внутреннего ядра (ускорения или замедления) пропорционально должен меняться магнитный момент Земли, что и наблюдается на самом деле. На рис.3.41 заимствованным здесь из работы [45], приведены данные П. Смита (черные точки) и Дж. Брайдена (кружки) о значениях дипольного момента за последние 400 10^6 лет. Ф. Стейси [45], обращая внимание на "разброс" точек по данным Дж. Брайдена, отдает предпочтение более плавно меняющимся значениям П. Смита, хорошо ложащимся на сплошную кривую, из поведения которой он делает вывод о том, что, начиная с силура, дипольный момент возрастал. Представляется более вероятным закон этого возрастания, осложненный

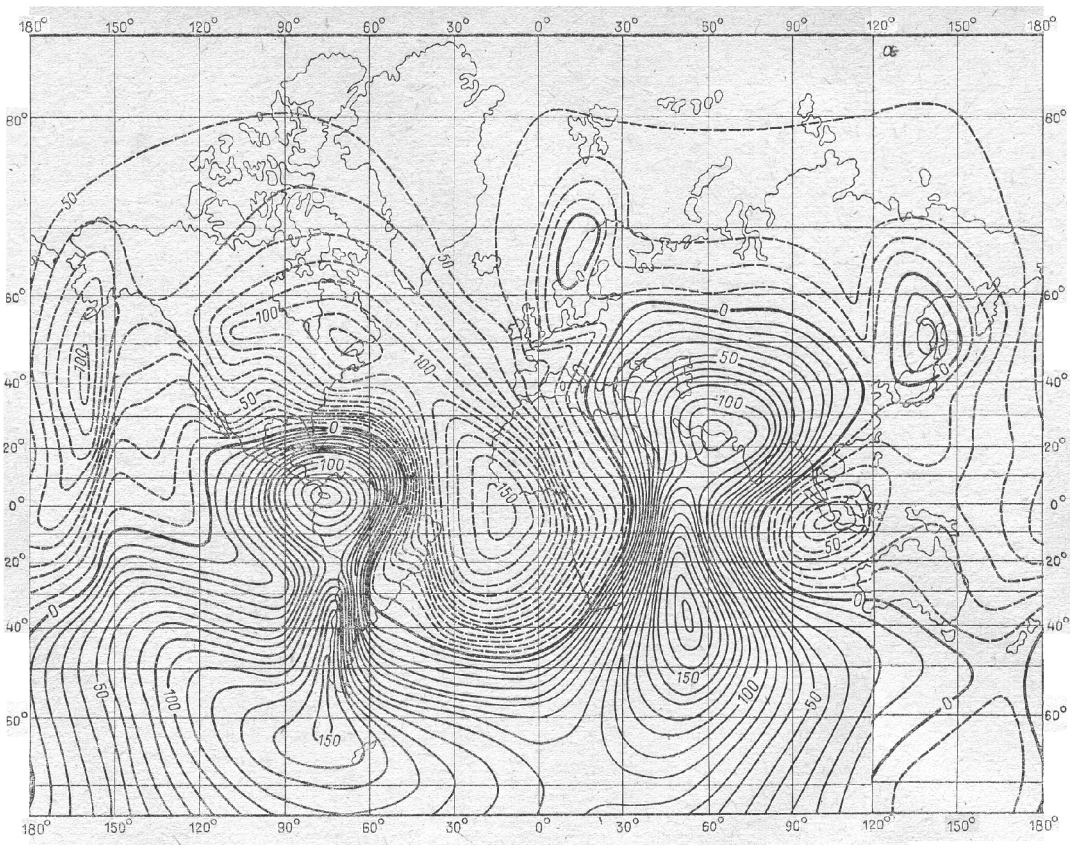
периодическими изменениями, показанными на рис.3.41 штриховой линией. Он удовлетворяет обеим группам данных. Период колебания осложнений получается порядка $200 \cdot 10^6$ лет. Недавно к сходным выводам пришли А.С. Большаков и Г.М. Солодовников [7].

Тенденция к постепенному увеличению магнитного момента Земли может служить одним из подтверждений вывода о том, что в начальный период возникновения магнитного поля Земли ее магнитный момент был минимальным, а его циклические изменения с периодом в галактический год являются прямым доказательством функциональной зависимости магнитного момента от ротационного режима Земли.

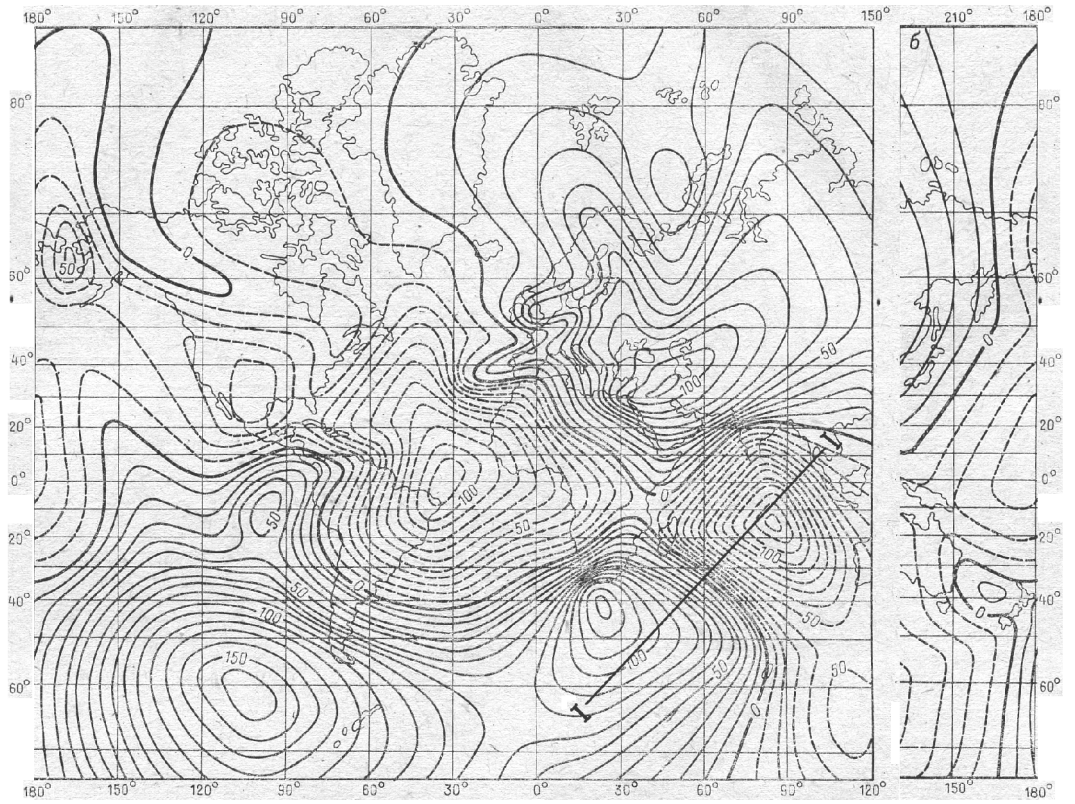
Аномалии векового хода современного магнитного поля. Выше рассмотрен вопрос о природе длиннопериодных вариаций магнитного поля Земли, устанавливаемых по палеомагнитным данным. Результаты изучения современного земного магнитного поля свидетельствует о том, что оно также варьирует во времени. Вариации поля характеризуются сложным сочетанием компонент с разными периодами их изменения во времени [33]. При этом разнопериодные вариации могут иметь и разную природу. Рассмотрим вековые вариации магнитного поля с периодами, не превышающими первые десятки лет. Для выяснения природы этих вариаций воспользуемся имеющимися картами изопор вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли для эпох 1912 и 1942 годов [73].

Попытки связать природу этих вариаций с неоднородностями на границе ядро-мантия [32 и др.] вряд ли можно считать удачными. На картах изопор (рис.3.42) наблюдаются резкие “изломы” изолиний, вплоть до наличия взаимно ортогональных участков (рис.3.42 *б*). Такое поведение изопор практически исключает положение источников их возникновения на глубине границы ядро-мантия. Кроме того, корреляция аномалий векового хода геомагнитного поля с аномалиями высот геоида свидетельствует о том, что источниками как тех, так и других являются неоднородности, расположенные или, по крайней мере, начинающиеся в верхней части тектоносферы. Для выявления природы короткопериодных вариаций магнитного поля воспользуемся представлениями А.С. Семенова о наличии в Земле т.н. *магнитной оболочки* [41] и перемещении блоков тектоносферы по разломам, вытекающими из Новой ротационной гипотезы.

Известно, что магнитная восприимчивость ферромагнетиков с увеличением температуры возрастает, достигая максимума при температуре Кюри (t_k°). При температуре $t° > t_k°$ ферромагнетик ведет себя как парамагнетик – его магнитная восприимчивость резко падает. Следовательно, магнитная восприимчивость горных пород тектоносферы, в состав которых входят ферромагнитные минералы (магнетит, пирротин



а



б

Рис. 3.42. Карта изопор вертикальной составляющей напряженности магнитного поля Земли для эпохи 1912г. (*а*) и 1942г. (б) [73]. Значения изолиний приведены в нТл/год.

титаномагнетит и др.), должна увеличиваться с глубиной до тех пор, пока температура пород, слагающих тектоносферу, не достигнет значений $t_k°$ для входящих в их состав ферромагнетиков. Максимальное значение $t_k°$ у наиболее распространенного природного ферромагнетика – магнетита. Оно равно 580°С. Определенные области глубин, в пределах которой находится слой повышенной магнитной восприимчивости пород, возможно при условии известной зависимости изменения температуры с глубиной в тектоносфере Земли, которая является сложной функцией: геотермического градиента, зависящего от теплопроводности горных пород; формы передачи тепла и распределения источников тепловой энергии. В настоящее время оценку искомых глубин можно осуществить только приближенно на основании лишь косвенных данных и более или менее обоснованных предположений. В данном случае воспользуемся результатами исследований этого вопроса А.С. Семеновым, который считает, что близкой к оптимальной оценке глубины, соответствующей температуре Кюри магнетита, будет глубина порядка 200 км. В этом случае мощность слоя с повышенной магнитной восприимчивостью можно принять равной около 100 км. (см. подробнее [41]).

Касаясь оценки предположения А.С. Семенова о наличии в Земле магнитной оболочки, то ее существование вряд ли можно подвергнуть сомнению. К сожалению, в настоящее время нет достаточно достоверных данных для определения ее параметров. Признание наличия магнитной оболочки Земли открывает ряд перспектив для изучения магнитной модели тектоносферы. В частности, появляется возможность объяснения природы аномалий типа ступеней в уровнях вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, на границах блоках тектоносферы, подобно тому как это делается при объяснении аномалий типа гравитационных ступеней [49]. Рассмотрим это подробнее.

В процессе тектонических активизаций происходят относительные перемещения блоков тектоносферы вдоль разделяющих их разломов, сопровождающиеся определенными физико-геологическими явлениями. В частности, в магнитной оболочке границы смещения становятся магнитоактивными. Если принять нарастание намагниченности в этой оболочке линейным, то при относительном вертикальном смещении блоков на величину ΔH, возникающие при этом приращение магнитной восприимчивости $\Delta\mathcal{H}$ на границе смещения определяется соотношением

$$\Delta\mathcal{H} = \Delta H grad_z \mathcal{H} \qquad (3.10)$$

На рис. 3.43,*а* приведен вид вертикальной составляющей напряженности магнитного поля, соответствующей простейшему нарушению магнитной оболочки тектоносферы, обусловленным ее

смещением по разлому. Более реальная модель смещения соприкасающихся блоков тектоносферы по разлому показана на рис. 3.43,б. Там же показан вид соответствующей ей вертикальной составляющей напряженности магнитного поля. Исходя из приведенных выше положений, попробуем выяснить природу вековых вариаций магнитного поля с периодами, не превышающими несколько десятилетий. С этой целью воспользуемся картами изопор, приведенными на рис.3.42. Пользуясь стандартной методикой интерпретации магнитных аномалий, восстановим системы разломов тектоносферы, проявляющиеся на этих картах. Результаты интерпретации изображены на рис.3.44,*а*.

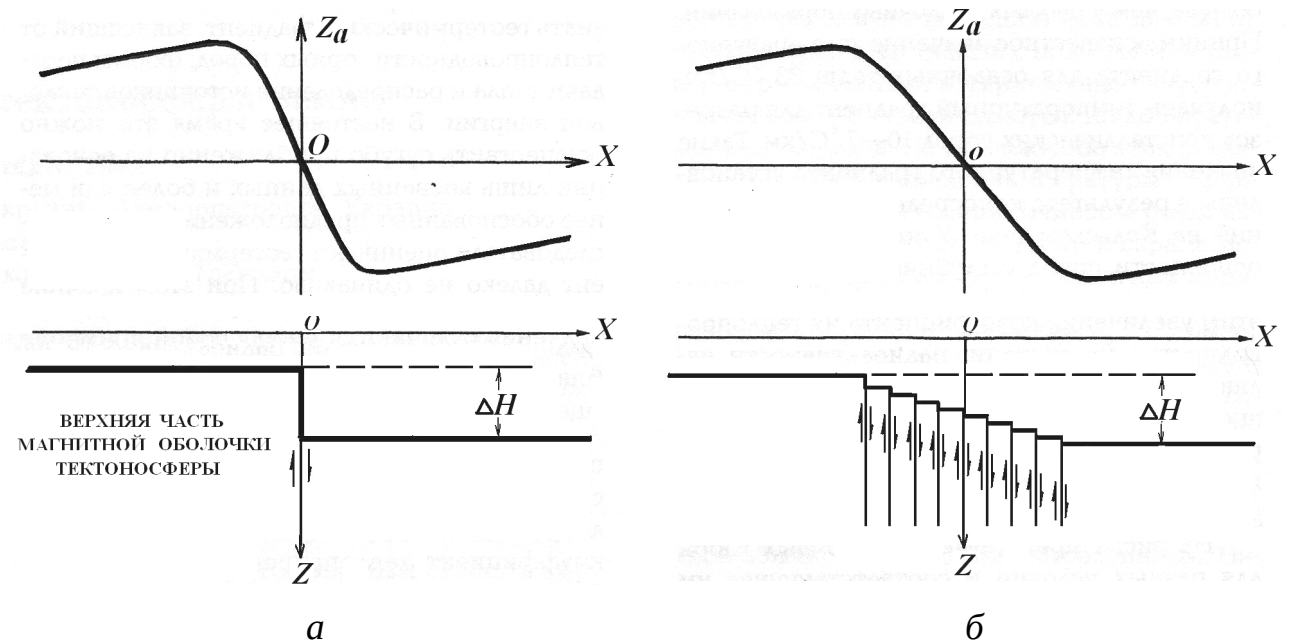


Рис. 3.43. Аномальные значения вертикальной составляющей напряженности магнитного поля (Z_a), возникающего при относительном перемещении магнитной оболочки: *а* – простейшем; *б* – близкой к реальному.

Обращает на себя внимание следующее. На карте изопор эпохи 1912 г. наиболее четко проявляются системы разломов с азимутами простирания 0 и 270°, 17 и 287°, а на карте изопор эпохи 1942 г. – разломы систем, характеризующиеся азимутами простирания: 35 и 305°, 45 и 315°, 62 и 332°. На обеих картах проявляются разломы и других систем, но менее четко. Эта закономерность не случайна. Она отражает одно из положений Новой ротационной гипотезы, согласно которому активируются те разломы, азимуты простирания которых совпадают с направлением перемещения полюсов вращения по поверхности Земли или близки к нему, а также ортогональные названным направлениям. Направление перемещения северного полюса показано на рис.3.44,б. И хотя на картах изопор, в связи относительно редким расположением

станций наблюдений, выделяются только крупные разломы, все они проявляются на более детальной карте аномалий высот геоида [54], что свидетельствует об определенной достоверности их выявления.

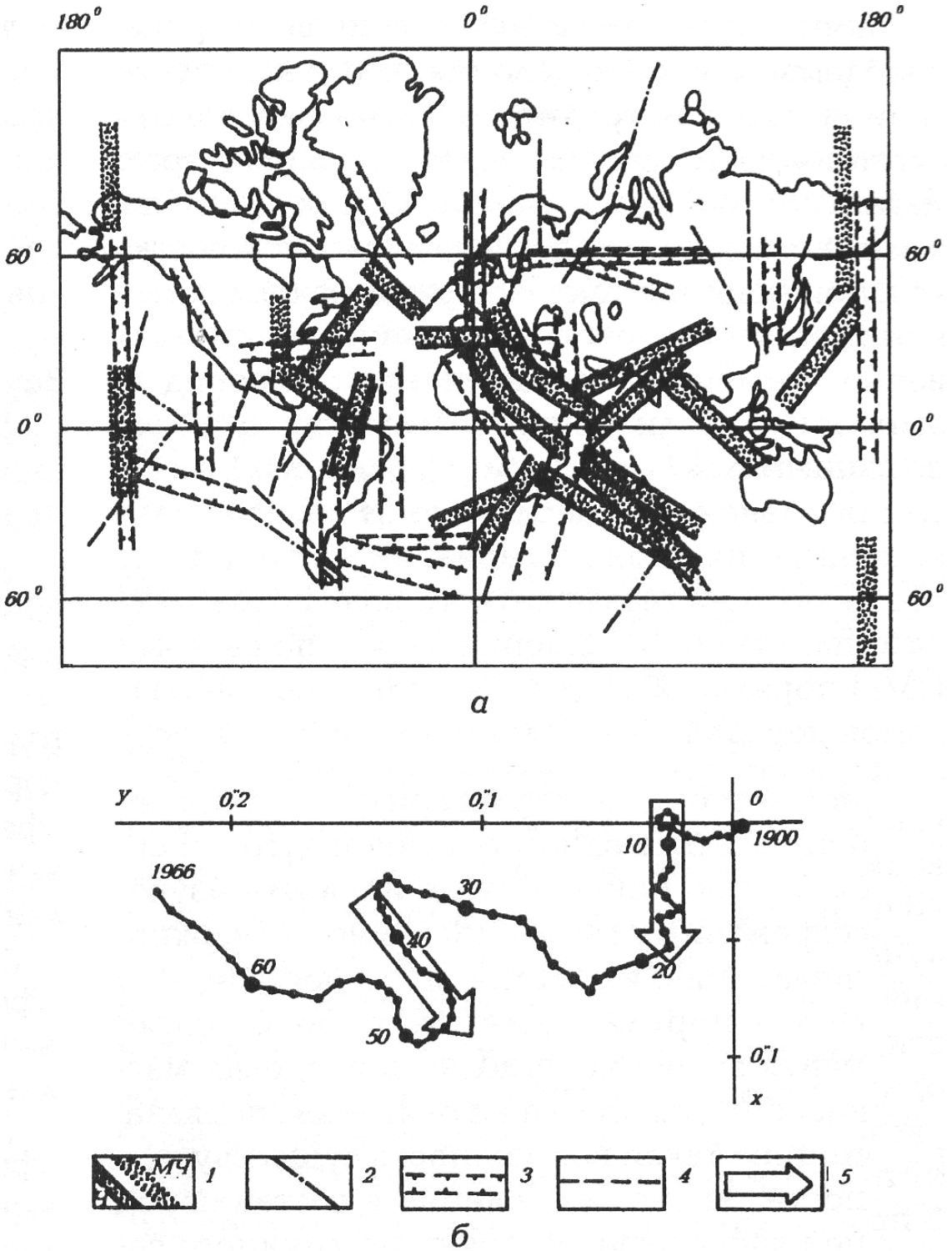


Рис.3.44. Разломы, проявляющиеся на картах изопор (*а*) и траектория движения полюса с 1900 по 1960 год (б) по Е.П. Федорову и др. [17]: 1 – разломы, установленные по карте изопор 1942г. (четко проявляющиеся (Ч), менее четко (МЧ); 2 – осевые лини разломов, установленные по той же карте; 3 – разломы, установленные по карте изопор 1912г.; 4 – осевые линии разломов, установленные по той же карте; 5 – направление перемещения полюса в соответствующие эпохи.

Важность приведенных выше данных трудно переоценить. Они свидетельствуют о том, что вполне оправдывается принятая модель возникновения магнитоактивного слоя на границе двух смещающихся блоков тектоносферы при наличии в ней магнитной оболочки. Следовательно, вековые вариации геомагнитного поля с периодами, не превышающими первые десятки лет, обусловлены относительными перемещениями блоков тектоносферы по разломам, нарушающим нормальное положение магнитной оболочки Земли.

Выше рассмотрена качественная сторона проблемы. Сложнее дело обстоит с количественной. Главная трудность заключается в отсутствии достоверных сведений о параметрах магнитной оболочки Земли. Если воспользоваться данными о параметрах магнитной оболочки Земли, принятыми А.С. Семеновым [41], то для объяснения значений вариаций магнитного поля на линии I-I (рис.3.44,б) потребуется довольно значительная амплитуда перемещения блоков ΔH порядка 50м/год. И хотя особо необычного в этом нет, т.к. при ширине крупных разломных структур, достигающей нескольких сотен километров, смещение по ним приведет к перекосу поверхности Земли, характеризующейся величиной порядка одной тысячной дуговой секунды. Тем не менее, исходя из опыта изучения современных движений земной поверхности, желательно величину ΔH уменьшить на один-два порядка. Для этого необходимо увеличить значение $grad_z \mathcal{H}$ в пределах магнитной оболочки Земли на один-два порядка. В принципе такая возможность существует, в частности, за счет включения в состав пород нижней части этой оболочки рассеянного самородного железа, величина $\mathcal{H}$ которого вблизи точки Кюри (780°) на несколько порядков выше величины $\mathcal{H}$ магнетита. О возможности такого включения свидетельствует систематически появляющиеся в литературе сведения о наличии самородного железа в интрузиях глубинных пород [16, 38 и др.]

Заключение. Подводя итоги изложенному в разделе 3.4 можно констатировать следующее.

1. Предложена и обоснована новая модель магнитного поля Земли, позволяющая относительно просто объяснить все известные его особенности. В основе предлагаемой модели магнитного поля лежит реальная модель вращающейся Земли и не используется гипотетическая конвекция вещества в ядре Земли. Весьма существенной особенностью предлагаемой модели является единство механизмов возбуждения магнитного поля Земли и ее тектогенеза. Рассматриваемая особенность в значительной мере повышает вероятность выбора именно этой модели.

2. Неоценимое значение для теоретической геотектоники имеет закономерность активизации разломов тектоносферы, вскрытая при анализе природы малопериодных вековых вариаций современного

магнитного поля. Эта закономерность вполне аналогична описанной ранее (см. раздел 3.1 и 3.3), отличаясь от нее только временем проявления. По-видимому, наблюдаемое явление обусловлено циклическими компонентами траектории движения полюса очень высоких порядков, накладывающихся на основную ее часть.

3.5 Литература

1. Ажгирей Г.Д. Происхождение и развитие материков и океанических впадин // Изв. АН СССР. Сер.геол.,1971, № 3. – С. 20-33.
2. Алейников А.Л., Беллавин О.В., Халевин Н.И. Система линеаментов и особенности размещения полезных ископаемых в Уральском регионе // Упругие волны промышленных взрывов и исследование земной коры Урала. Свердловск, 1973. – С. 30-36.
3. Алилуев А.Н. Опыт применения электроразведки методом становления поля при поисках нефтегазоносных залежей в Депровско-Донецкой впадины// Вісник НГУ. 2007, №4. – С. 29-33.
4. Атлас родовищ нафти і газу України/ кол. авт. під ред. М.М. Іванюти. Львів: 1998. – 494 с.
5. Белевцев Я.Н., Прус А.К. Основные этапы геологического развития Украинского щита // Геол. журн. 1962, том XII, вып. 5. – С. 3-18.
6. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. М.: Госгеолтехиздат, 1955. – 88 с.
7. Большаков А.С., Солодовников Г.М. Напряженность геомагнитного поля в последние 400 млн. лет // Докл. АН СССР. – 1981. – 80,№6. – С. 13-10.
8. Брагинский С.И. Геомагнитное динамо // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1978. –№9. – С.74- 90.
9. Венедиктов В.М. Эволюция метаморфизма в юго-западной части Украинского
щита // Изв. АН СССР, серия геол., 1979, № 6. - С. 243-250.
10. Венедиктов В.М. Использование структурно-метаморфического анализа при изучении метаморфизма // Метаморфизм Украинского щита. Киев: Наукова думка, 1982. – С.243-250.
11. Геологическая съемка в областях метаморфических образований/ Колл. авт. под ред. К.О.Кратца и М.А.Черноморского. Л.: Недра, 1972, вып. 4. – 376 с.
12. Геология Криворожских железорудных месторождений/ Колл.авт. под. ред. Я.Н.Белевцева. К.: Изд-во АН УССР. 1962, т.1. – 448 с.
13. Геофизические методы изучения систем разломов земной коры и принципы их использования для прогнозирования рудных месторождений. Тезисы докл. Всесоюзной науч.-техн.конф. Днепропетровск, ДГИ, 1988. – 107 с.
14. Глобальные закономерности размещения крупных рудных месторождений/ колл. авт. под ред. М.А.Фаворской и И.Н. Томсона. М.: Недра, 1974. – 193 с.
15. Гурарий Г.З. Некоторые данные о характере магнитного поля во время инверсий //ДАН СССР, 1968, т.178, №5. – С.1065-1068.

16. Данилова М.А., Свяжена Н.А. Карбиды железа в олигоценовой лаве и их диагностика магнитными методами // ДАН СССР, 1984, т.260, №2. – С.452-455.
17. Движение полюса Земли с 1880 по 1969г. /Федоров Е.П., Корсунь А.А., Майор С.П. и др. Киев: Наукова думка, 1972. – 264с.
18. Деменицкая Р.М. Кора и мантия Земли. М.: Недра, 1967. - 280 с.
19. Железорудные месторождения докембрия Украины и их прогнозная оценка / Колл.авт. под ред. Я.Н. Белевцева. К.: Наукова думка, 1981. - 132 с.
20. Завойский В.М. Зв'язок між деформацієй і магнітною анізотропіею в породах залізокремнистої формациї// ДАН УРСР, сер. Б, 1980, № 7. – С. 9-12.
21. Ивантишин М.Н. Металлогения докембрийских щитов Мира// Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон. К.: Изд-во АН УССР, 1960. – С. 30-42.
22.Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами/ колл. авт. под ред. К.Ф.Тяпкина. М.: Недра, 1972, 260 с.
23. Кейс Дж., Солдатенко В.П., Довбнич М.М. Изучение систем разломов фундамента северо-востока Сирии с целью прогноза нефтеперспективности// Сб.трудов НГАУ, том 4, № 13. – С. 150-155.
24. Князев Г.И. Замкнутые и фрагментарные рудные пояса. К.: Наукова думка, 1973. –258 с.
25. Комплексирование геофизических методов/ кол. авт. под ред. К.Ф.Тяпкина. Донецк – Днепропетровск: 2008. – 336 с.
26. Косыгин Ю.А. Основы тектоники. М., 1974. – 215 с.
27. Кузнецов В.В. Магнитное поле // Тр. ин-та геологии и геофизики АН СССР. –Новосибирск: Наука, 1989. – С.20-32.
28. Лукин А.Е. Литолого-геодинамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах. К.: Наукова думка, 1997. – 224 с.
29. Новые данные о геологическом строении тектонических поднятий Восточного Предкавказья/ Ю.Я.Стерленко, В.В.Стерленко, Ф.Я.Колчев и др.// Советская геология, 1977, № 9. – С. 93-101.
30. Обуэн Ж. Геосинклинали: проблемы происхождения развития. М.: Мир, 1967. – 302 с.
31. Паталаха Е.И. Космический фактор и тектогенез// Геодинамика, 2000, № 1(3). – С.142-143.
32. Петрова Г.Н. Вековые вариации и граница ядро-мантия// Геомагнитные исследования. 1976, №17. – С. 15-21.
33. Петрова Г.Н., Бурлацкая СП. Современные представления о вековых вариациях // Проблемы изучения вековых вариаций магнитного поля Земли. Владивосток: Изд. АН СССР, 1979. – С.5-15.
34. Половинкина Ю.Ир. Структурное районирование Украинского кристаллического массива // Металлогения докембрийских щитов и древних подвижных зон. К.: Изд-во АН УССР, I960. – С.71-79.

35. Почтарев В.И. Магнитное поле Земли в связи с другими геофизическими явлениями и геологическим строением земной коры// Тр. ИЗМИРАН. – Вып. 14. – С.3-93.
36. Пудовкин И.М., Валуева Г.Е. Об определении параметров эксцентричного диполя//Магнетизм и аэрономия, 1972 – №1. – С. 161-164.
37. Пудовкин ИМ., Валуева Г.Е. О характере дрейфа главного эксцентричного диполя // Геомагнетизм и аэрономия. – 1972. – 22, № 3. – С. 513- 518.
38. Рябов В.В., Павлов А.А., Лопатин Г.Г. Самородное железо Сибирских трапов // Новосибирск: Наука, 1985. – 169 с.
39. Самков В.В. Системы линеаментов в Центральной Сибири. Красноярск: КНИИГ и МС, 2005. – 68 с.
40. Связь магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой / колл. авт. под ред. М.А. Фаворской и И.Н. Томсона. М.: Недра, 1969 – 264 с.
41. Семенов А.С. Магнитная оболочка Земли // Вестн. Ленинград, ун-та. Геология и география. - 1974. - Вып.3, № 18. – С. 40-43.
42. Созанский В.Н. Теория и практика нефти с позиций абиогенного синтеза углеводородов. К.: Наукова думка, 1990. – 80 с.
43. Солдатенко В.П., Довбнич М.М., Мендрий Я.В. Нефтегазоносные структуры в условиях Днепровско-Донецкой впадины // Комплексирование геофизических методов. Днепропетровск - Донецк: 2008. – С. 189-279.
44. Солдатенко В.П., Довбнич М.М, Мендрий Я.В. Результаты применения новой методики оценки перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов в условиях Днепровско-Донецкой впадины. //Доповіді НАНУ, 2006, № 12. – С. 108-111.
45. Стейси Ф. Физика Земли. – М.: Мир, 1972. – 342 с.
46. Страхов Н.М. Закономерности орогенеза в освещении Г. Штилле // Бюлл. МОИП, отд.геологии,1932, том X (3-4). – С. 382-412.
47. Тектоника докембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы по данным магнитной съемки СССР / А.Д.Архангельский, Т.Н.Розе, В.В.Колюбакин и др. // Изв. АН СССР, серия географ. и геофиз., 1937, № 2. – С. 36-37.
48. Тяпкін К.Ф. Про сдвигову тектоніку в межах Криворіжжя // ДАН УРСР, 1965, №1. – С. 96-99.
49. Тяпкин К.Ф. Об интерпретации гравитационных аномалий типа ступени на щите// ДАН УРСР, 1966, №5. – С. 611-614.
50. Тяпкин К.Ф. Методика изучения глубинного строения структур типа Криворожской с помощью гравиразведки // Геофиз.сб. АН УССР, 1967, вып. 19. – С. 56-69.
51. Тяпкин К.Ф. Изучение природы разломной складчатости // Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1972. – С. 212-232.
52. Тяпкин К.Ф. Современные проблемы изучения докембрийской складчатости // Геол.журн., 1983, № 5. – С. 1-13.
53. Тяпкин К.Ф. Роль геофизических методов при изучении докембрийской складчатости I и II // Геофиз.журн., 1984, № 1. – С.14-23; № 2. – С. 3-12.

54. Тяпкин К.Ф. Глобольные системы разломов и их отражение в земном геоиде // Геофиз. журн. 1987,№3. – С. 3-11.
55. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная модель магнитного поля Земли // Геофиз. журн. 1996, №1. – С. 30-37.
56. Тяпкин К.Ф. Роль систем разломов фундамента при оценке перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов// Тезисы докладов Международной конференции EAGE-EAГО. Москва, 1997.
57. Тяпкин К.Ф. Магнитная модель тектоносферы Земли // Геофиз. журн. 1997, №3. –С. 16-24.
58. Тяпкин К.Ф. Природа вековых вариаций магнитного поля Земли // Доповіді НАН України. 1998. №2. – С. 152-155.
59. Тяпкин К.Ф. Системы разломов кристаллического фундамента и принципы их использования для прогнозной оценки рудоносности и нефтегазоносности регионов//Сб. научных трудов НГАУ. Днепропетровск: 2003, т.4, №13. – С. 5-8.
60. Тяпкин К.Ф., Гонтаренко В.Н. Системы разломов Украинского щита. К.: Наукова думка, 1990. – 184 с.
61. Тяпкин К.Ф., Довбич М.М. Вращение Земли – единственный реальный источник тектогенеза // Геофизика, 2007, № 1. – С. 59-64.
62. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра ,1982. - 239 с.
63.Тяпкин К.Ф., Стовас Г.М. О некоторых особенностях деформации верхних частей земной коры // Геол.журн., 1982, № 3, – С. 1-13.
64. Тяпкин К.Ф., Солдатенко В.П. Роль разломов земной коры в формировании осадочных пород Днепровско-Донецкой впадины и взаимосвязь нефтегазоносных структур в осадочной толще с разломами фундамента // Науковий вісник НГУ. 2007, №4. – С. 19-24.
65. Цареградский В. А. К вопросу о деформациях земной коры // Проблемы планетарной геологии. М: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 149-221.
66. Шатский Н.С. О длительности складкообразования и о фазах складчатости // Изв.АН СССР, серия геол., 1951, № 1, – С. 15
67. Штилле Г. Избранные труды. Перевод с немецкого. М: Мир, 1964. – 88 с.
68. Штилле Г. Основные вопросы сравнительной тектоники // Избранные труды. М.: Мир, 1964. –С. 90-98.
69. Штилле Г. Введение в строение Америки // Избранные труды. М.: Мир, 1964. – С. 202-273.
70. Штилле Г. Зональное перемещение складчатости // Избранные труды. М.: Мир, 1964. – С. 15-24.
71. Шерба Г.Н. Геотектоногены и рудные пояса. Алма-Ата: Наука, 1970. –183с.
72. Щеглов А.Д. Основы металлогенического анализа М.: Недра, 1976. – 295 с.
73. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л.: Изд-во Ленингр.ун-та, 1963. – 723 с.
74. Barta G. Demonstration and physical dackground of the asimmetrical structure of the Earth // 17-th Geophysical simposium contributions. – Karlovy Vary, 1972. – P.3/1-3/10.
75. Billings M.P. Structural geology. – W.Y. Prentice – Hall, 1954. – 514 p.

76. Cox F., Doel L. Rewiew pale magnetism // Bull. Geol. Soc. Amer. 1960. V.71, N6 – P. 645-768.
77. Hospers I. Rock magnetism and polar Wanderung // J.Geol. – 1965. – №63. – P. 59-75.
78. Krause K, Redler KH. Mean-Fuld Magnetohydrodi-namics and Dynamo Theory. –Berlin: Academie Verlag, 1980. – 271 p.
79. Kutina Jan. Hydrothermal ore deposits in the western united states: The new Concept structural control of distribution // Science, 1969, Vol. 165, № 3. – P. 1112-1119.
80. Kutina Jan. The Hudson bay paleolineament and anomalous concentration of metals alongist // Econ. Geology, 1971, vol, 66, №3. – P. 314-325.
81. Moody I., Hill M. Wrench fault tectonics // Bull. Geol. Soc. Amer., 1956, vol. 67, № 9. –P. 1207-1246.
82. Tyapkin K.F. Anew technologies in assessment out loks on search for ore and hydrocarbon deposit // Earch Science frontiers. 1998, V.5, № 1-2. – P. 41-48.
83. Tyapkin K.F. New model of the Earth's magnetic field // Earth Science Frontiers. Beijing, 1999, V.6, N 3. – P. 75-84.
84. Tyapkin K.F., Gontarenko V.H., Gotynyan V.S. A new technology of oil and gas bearing of the Bleck sea region // International geophysical symposium. Bucharest, 1995.
85. Tyapkin K.F. Gotynyan V.S. A new technology for the appreciation of oil and gas bearing of the Bleck sea region // International geophysical conference. Istambul 97.
86. Tyapkin Yu. K., Tyapkin K.F. Influence of the basemet faults on for mins the hydrocarbon traps - cace histories // Goth EAGE conference Lipzing 98.
87. Tyapkin K.F., Vlasov Yu.T., Ingerov A.I. System of faults in the basement of sedimentary basins and the principles of their use for hydrorbon prospecting in the cover by a complex of geophysical methods // Second international geophysical conference Cairo 98.

Часть II. ДЕФОРМАЦИЯ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ СИЛАМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНЕТЫ С КОСМИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

Part II. THE DEFORMATION OF THE EARTH PRODUCED BY THE FORCES OF INTERACTION WITH THE SPACE FIELD

Залогом прогресса геологии является такое положение, при котором гипотезы, даже наиболее популярные, постоянно подвергаются критическому рассмотрению и их выводы ставятся под сомнение; гораздо хуже дать какому-нибудь явлению ложное объяснение, не позволяющее искать других объяснений и заводящее нас в тупик, чем отвергнуть это объяснение и признать свое незнание.

Ж. Гогель, 1969

4. НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ КОСМОГОНИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ: РАСЧЕТ ПОЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЙ, ИХ АНАЛИЗ И ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

4.1. Общие сведения

В предыдущих разделах было показано, что в результате вариаций ротационного режима Земли в ее тектоносфере возникают механические напряжения. Если бы ротационный режим Земли был неизменным, то каждая точка тектоносферы находилась бы под действием поля литостатических сил, определяемых весом вышележащих пород. Возникновение и накопление тектонических напряжений в тектоносфере Земли связано с изменениями ее угловой скорости и положения оси вращения по отношению к геоиду. Разрядка этих напряжений, происходящая при достижении ими критических значений, равных пределу прочности пород тектоносферы, приводит к тектоническим активизациям Земли. В первых двух разделах рассматривалась качественная картина возникновения тектонических активизаций и основные геологические следствия таких активизаций.

Цель настоящего раздела – количественное определение поля планетарных напряжений ротационной природы, необходимое для оценки роли этих напряжений в тектогенезе Земли и геодинамических явлений, протекающих в ней.

Для реализации этой цели в данном разделе рассмотрим четыре фактора, являющихся источником полей напряжений в тектоносфере вращающейся Земли:

а) изменение угловой скорости вращения Земли (рис. 4.1, *а*);

б) изменение положения оси вращения Земли относительно геоида (рис. 4.1, *б*);

в) наличие локальных неоднородностей в тектоносфере Земли, фиксируемых аномалиями геоида (рис. 4.1, *в*);

г) влияние лунно-солнечных приливов, деформирующих поверхность геоида (рис. 4.1, *г*).

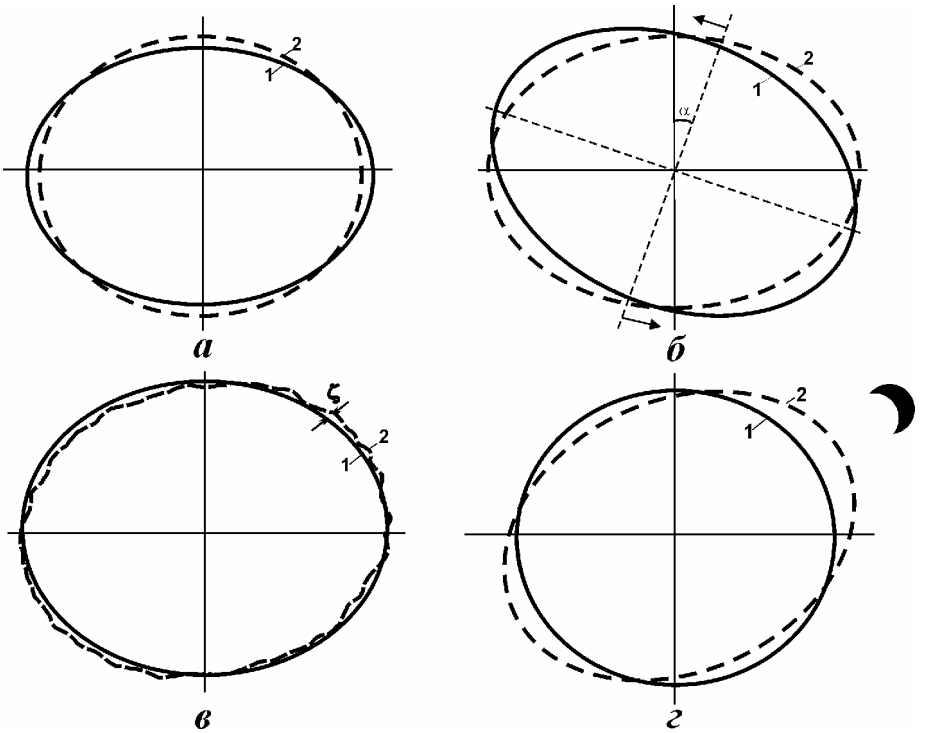


Рис. 4.1. Схемы деформации Земли под действием различных факторов:
а – изменения угловой скорости вращения Земли; *б* – изменения положения оси вращения Земли по отношению к геоиду; *в* – плотностных неоднородностей в тектоносфере; *г* – лунно-солнечных приливов.
1 – исходный контур Земли; 2 – деформированный контур Земли.

Ниже приведен перечень исходных данных, необходимых для расчета искомых полей напряжений и краткая характеристика используемых для этих целей физических моделей.

В качестве исходного положения для определения поля напряжений в тектоносфере Земли, обусловленного каждым из перечисленных выше факторов деформации геоида, использовался фундаментальный принцип – стремление нашей планеты к достижению равновесного состояния (геоизостазии). Понятие геоизостазии и условия достижения его состояния впервые было введено на XXVII сессии МГК [30, 48]. Оно детально рассмотрено в разделе 2.1.

Для определения численных значений искомых полей напряжений в тектоносфере Земли использовались два варианта физических моделей: 1) в виде однородной тонкой эллипсоидальной вязко-упругой оболочки; 2) в виде толстостенной однородной эллипсоидальной упругой оболочки. При этом параметры обеих моделей принимались соответствующими известной оболочечной модели Земли Е. Буллена [2]. Методика

вычисления напряжений в рамках этих моделей подробно описана в разделе 4.3.

Первая модель позволяет вычислять преимущественно напряжения сжатия-растяжения тектоносферы, обусловленные вариациями ротационного режима Земли с учетом явлений релаксации напряжений и ползучести вещества, слагающего тектоносферу. Но с помощью этой модели нельзя получить представление о величине и пространственном распределении компонент скалывающих напряжений ротационной природы, ориентированных в направлении, ортогональном к поверхности тонкой эллипсоидальной оболочки. Вторая модель представляет такую возможность, но ей присущ другой недостаток – полученные с ее помощью результаты расчетов напряжений не учитывают процессы релаксации напряжений и ползучести вещества, слагающего тектоносферу. При этом качественное распределение одинаковых компонент напряжений в тектоносфере, вычисленных с помощью обеих моделей – подобны, но их численные значения несколько разнятся между собой. Причем эта разница возрастает с увеличением интервала времени накопления изучаемых напряжений. Конкретная оценка общности и различия рассматриваемых полей напряжений, и возможности их использования для объяснения геотектонических явлений будет рассмотрена ниже.

Условимся о наименовании рассчитываемых полей напряжений в тектоносфере, необходимых для дальнейшего изложения. Поля напряжений, обусловленные вариациями ротационного режима однородного земного эллипсоида будем называть *нормальными ротационными*. Поля напряжений, обусловленные локальными неоднородностями в тектоносфере вращающейся Земли, проявляющимися в виде аномалий геоида, будем называть *аномальными ротационными*. За полями напряжений, обусловленными лунно-солнечными приливами, сохраним название, связанное с источником их возбуждения.

Важно понимать, что рассматриваемые поля напряжений являются переменными во времени. Причем периоды их изменения могут быть от полусуток, в случае лунно-солнечных приливов, до галактического года ($\approx$200 млн. лет), для нормальных ротационных полей.

При расчетах полей ротационных напряжений использовались следующие численные значения физико-механических свойств тектоносферы: модуль Юнга $E=10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0{,}25$. При использовании упруго-вязкой модели полагалось, что механическое поведение тектоносферы описывается телом Максвелла с вязкостью $\eta=10^{24}$ Па·с. Если оценка первых двух характеристик может быть достаточно просто осуществлена на основе анализа скоростей

распространения упругих волн в тектоносфере и плотности (V_p=8000 м/с, V_s=4500 м/с, ρ=3.3 г/см^3), то определение вязкости представляет собой весьма не простую проблему и требует специального обсуждения, к которому мы вынуждены будем вернуться ниже.

Начнем с нормальных ротационных полей напряжений, обусловленных вариацией угловой скорости вращения Земли и изменением пространственного положения оси ее вращения, выраженного в виде перемещения полюсов по поверхности геоида. Исходными данными для вычисления нормальных полей ротационных напряжений в тектоносфере являются закономерности вариаций угловой скорости вращения Земли во времени и изменения положения оси вращения Земли по отношению к геоиду. В общих чертах эти закономерности известны, но для использования их в количественных расчетах нужны более детальные представления об их природе и точности их получения. В частности, изменение положения оси вращения характеризуется траекторией перемещения полюсов вращения по поверхности геоида как функция времени. К сожалению, как уже отмечалось в I части монографии, реальной траектории, необходимой для наших целей, пока нет. Вместо нее используются т.н. кривые миграции полюса на геоиде. Сложность заключается еще и в том, что в связи с перемещением полюса меняется форма геоида, по поверхности которого он перемещается. Следовательно, нужны целенаправленные исследования для решения этой проблемы. Тем не менее, для вычисления нормальных ротационных полей напряжений воспользуемся имеющимися в настоящее время фактическими данными о ротационном режиме Земли. Часть из них была приведена в I части монографии, т.к. они были нужны для формулировки Новой ротационной гипотезы структурообразования. В следующем разделе 4.2 они пополнены данными с целью, во-первых, показать, что рассматриваемые закономерности изменений ротационного режима Земли определяются сложной совокупностью циклических компонент с разными периодами, а во-вторых, оценить численные значения изменения параметров ротационного режима Земли, необходимые для расчетов. Результаты оценки возникающих при этом деформаций земного эллипсоида и напряжений в тектоносфере описаны в разделе 4.4. Роль полученных результатов в выяснении механизмов геологических явлений описана в разделе 4.5.

Нормальное ротационное поле напряжений в тектоносфере осложняется аномальным полем напряжений, вызванным плотностными неоднородностями, возникшими в результате ранее проходивших тектонических активизаций Земли. Численные значения аномалий геоида ζ, являющихся отражением плотностных неоднородностей, можно вычислить по аномалиям гравитационного поля Δg по известной формуле

Стокса [4] или на основе анализа траекторий движения искусственных спутников Земли. Вид одной из таких карт приведен на рис. 1.2.

Аномальные значения отклонения геоида относительно земного эллипсоида, определенные любым из описанных выше способов, являются исходными данными для вычисления аномального ротационного поля напряжений. Для оценки величины этих напряжений и их роли в процессе тектогенеза Земли и ее геодинамике желательно получить ответы, по крайней мере, на два вопроса: *какова геологическая природа этих неоднородностей и каковы физические законы, определяющие возникновение обсуждаемых напряжений*? Эти вопросы детально рассматриваются в разделе 4.6.

Для количественной оценки полей дополнительных напряжений, обусловленных деформациями тектоносферы Земли под влиянием лунно-солнечных притяжений, используются отклонения изучаемых точек тектоносферы от соответствующих им референц-эллипсоидов. На земной поверхности эти деформации появляются в виде подъемов и сопутствующих им опусканий, которые волнообразно перемещаются по поверхности Земли соответственно в плоскостях орбит обращения Луны вокруг Земли и Земли вокруг Солнца, синхронно с перемещением источников их возмущения. Согласно теоретическим расчетам [25] для Земли, обладающей свойствами идеальной жидкости, под влиянием притяжения Луны поверхность Земли могла бы подняться максимум на 35,6 см, а опуститься – на 17,8 см, т.е. диапазон колебания земной поверхности может достигнуть 54,3 см. На лунные приливные деформации накладываются аналогичные солнечные, диапазон изменения которых несколько меньше. Он составляет 24,6 см. Следовательно, амплитуда суммарных лунно-солнечных деформаций земной поверхности могла бы составить 78 см. Реальные колебания земной поверхности в связи с реологическими свойствами верхних оболочек Земли достигают величины 51 см, т.е. порядка 2/3 теоретической величины. Лунно-солнечные деформации земной поверхности представляют собой волновой процесс, состоящий из сложной совокупности приливных волн, характеризующихся широким спектром периодов, начиная от долей суток и кончая многолетними. Наиболее четко проявляются волны с полусуточными, суточными, месячными и годичными периодами. Такого рода современные приливные деформации Земли создают дополнительные напряжения в ее тектоносфере, которые, наряду с описанными выше ротационными напряжениями, по-видимому, имели место в течение всей геологической истории развития Земли, участвовали в ее тектоногенезе и геодинамике. В разделе 4.7 на более детальном уровне рассмотрены подход и результаты оценки деформаций земного эллипсоида при лунно-солнечных приливах.

4.2. Пространственно-временные характеристики вариаций ротационного режима Земли

Изменения угловой скорости вращения Земли. Общеизвестно явление уменьшения угловой скорости вращения Земли. Мысль о вековом замедлении была высказана И.Кантом в 1755 г [27]. Подтверждением этой мысли были результаты астрономических наблюдений. Угловое ускорение долгот Луны и Солнца, впервые открытое при изучении затмений в древности, интерпретируется как вековое замедление вращения Земли и выражено удлинением суток величиной порядка $2 \cdot 10^{-5}$ с/год [20,24]. Аналогичные данные получены в результате палеонтологических исследований. Изучая суточные кольца роста ископаемых кораллов и принимая длительность года в течение времени исследований близкой к постоянной, можно вычислить изменение длительности суток [12]. Результаты таких исследований приведены на рис. 4.2.

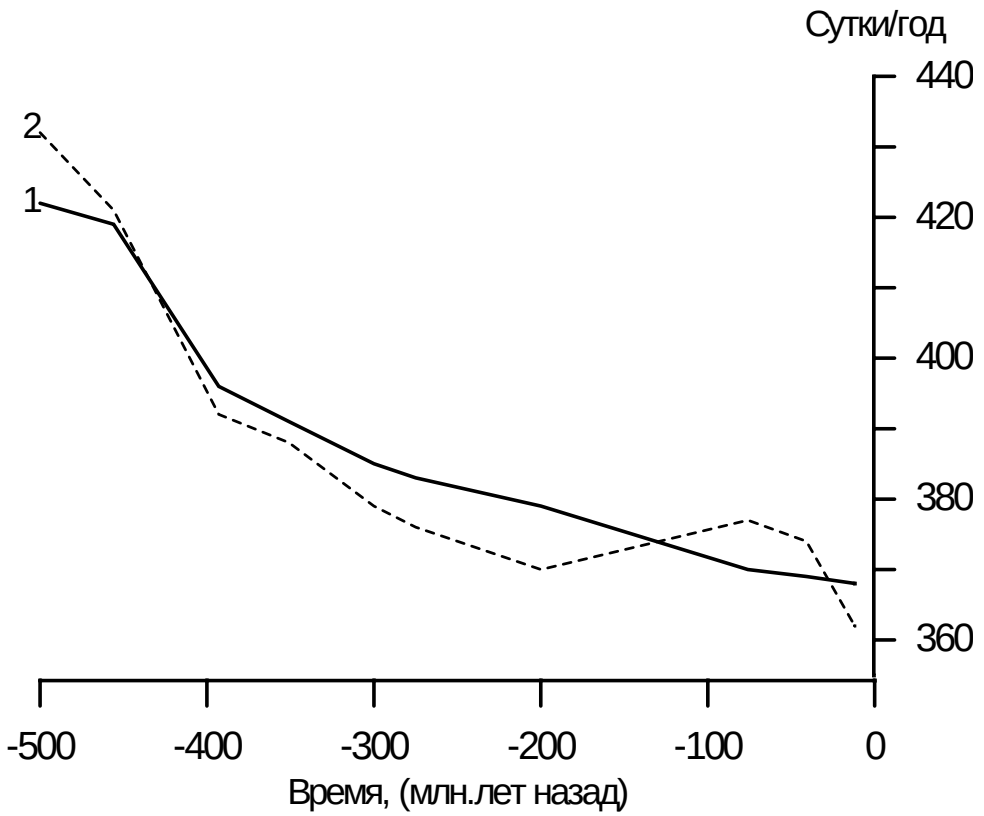


Рис. 4.2. Графики изменения угловой скорости вращения Земли по палеонтологическим данным: 1 – по замерам астрономического года; 2 – по замерам синодического месяца.

На рисунке видно, что начиная с палеозоя количество суток в году систематически уменьшалось, т.е. Земля замедляла непрерывно свое вращение. Средняя скорость замедления характеризуется величиной порядка $2 \cdot 10^{-5}$ с/год.

Одной из особенностей замедления вращения Земли является то, что оно происходит не линейно, а с некоторыми флуктуациями. Представления об этих флуктуациях были получены по результатам сравнения наблюденных и вычисленных (в соответствие с теориями небесной механики) координат Луны, Солнца и планет, проводившихся начиная с XVII века (рис. 4.3).

Следуя данным, изложенным в работе Н.С. Сидоренкова [27], оказывается, что с начала XVIII в. до середины XIX в. скорость вращения Земли менялась мало. Со второй половины XIX в. по настоящее время имели место значительные флуктуации этой скорости с характерными периодами порядка 60-70 лет. Наиболее быстро Земля вращалась около 1870 г., когда длительность суток была на 0,003 с короче эталонных, а наиболее медленно – около 1903 г. (земные сутки длиннее эталонных 0,004 с). С 1903 по 1934 г.г. происходило ускорение вращения Земли; с конца 30-х годов по 1972 г. наблюдалось замедление, а с 1973 г. по настоящее время Земля вновь ускоряет свое вращение.

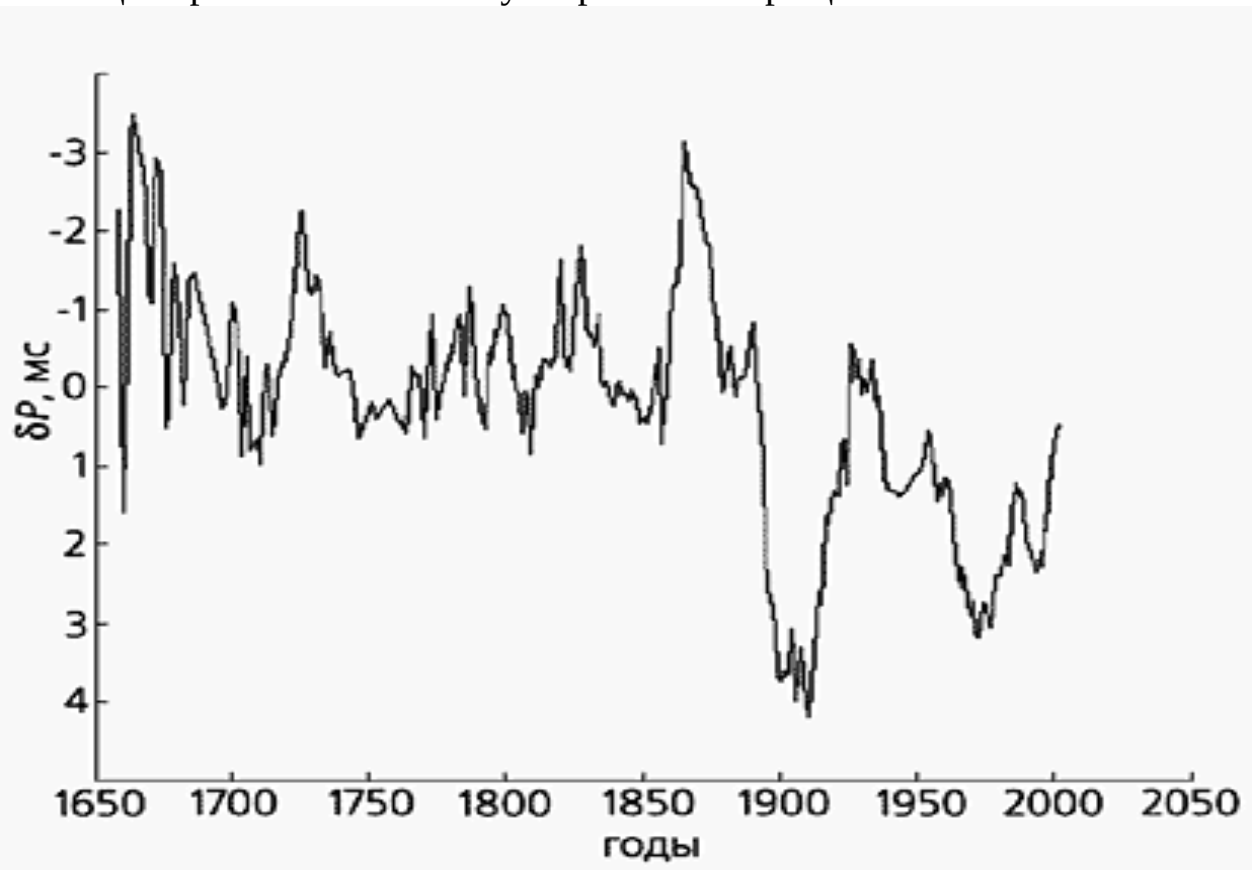


Рис 4.3. Отклонения длительности суток от эталонных за последние 350 лет [27].

Вариации угловой скорости вращения, наблюдавшиеся в XX в. (с 1903 по 1972 г.г.) часто называют 60-70-летними. В XIX в. вариации с подобным периодом имело место с 1845 г по 1903 г. В более ранние эпохи

подобные вариации угловой скорости не прослеживаются из-за низкой разрешающей способности измерений.

С появлением атомных часов, начиная с 1955 г., точность определения неравномерности вращения Земли радикально улучшалась. С этого момента появилась возможность регистрировать колебания угловой скорости вращения Земли с периодом порядка одного месяца. Вид среднемесячных отклонений длительности суток от эталонных за время 1955-2000 г.г. показан на рис. 4.4.

На рис. 4.4 видно, что с 1956 г. по 1961 г. вращение Земли ускорялось, с 1962 г. по 1972 г. – замедлялось, а с 1973 г вновь наблюдается ускорение, т.е. по сути дела намечается проявление 20-22-летнего периода вариаций угловой скорости вращения Земли, более известного по своему 11-летнему полупериоду вариаций в других природных областях.

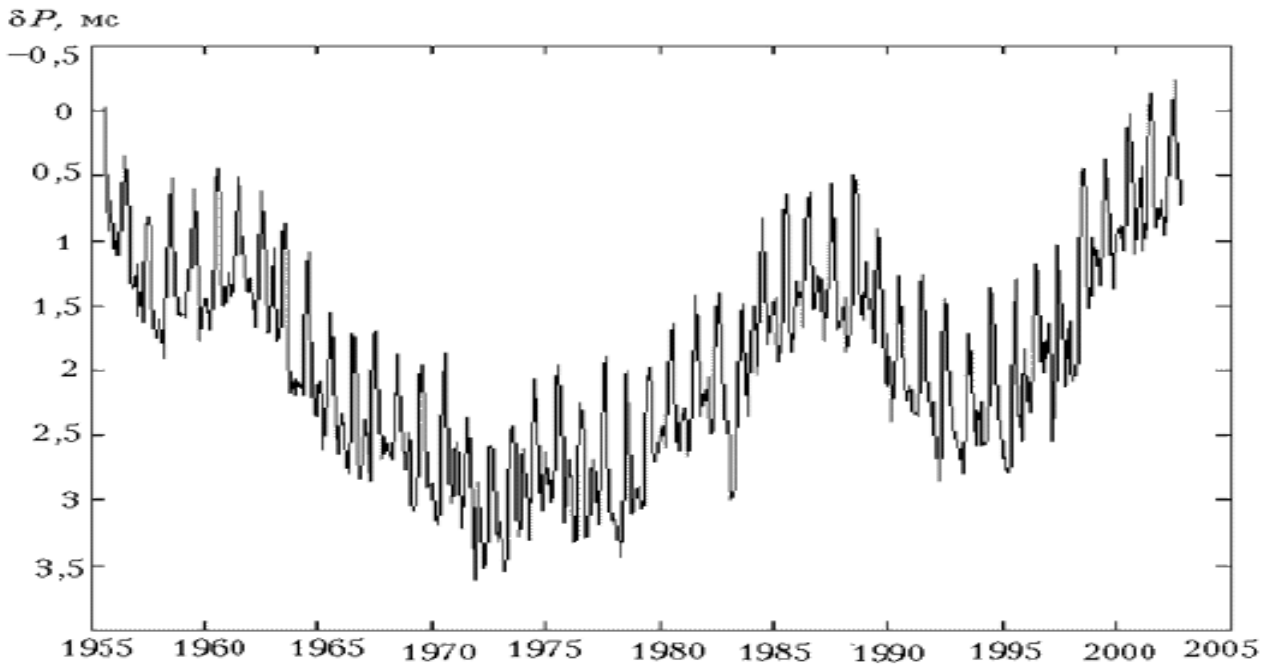


Рис. 4.4. Среднемесячные отклонения длительности земных суток от эталонных за последние 45 лет [27].

На фоне многолетних колебаний угловой скорости вращения Земли достаточно хорошо видны их изменения с периодом близким к 1 году. Их обычно называют сезонными (рис. 4.5).

Более детально внутригодовые изменения угловой скорости вращения Земли показаны на рис. 4.6. Скорость вращения Земли бывает наименьшей в апреле и ноябре, а наибольшей – в январе и июле. Январский максимум значительно меньше июльского. Разность между минимальной величиной отклонения длительности земных суток от эталонных, в июле максимальной, в апреле или ноябре составляет 0,001 с.

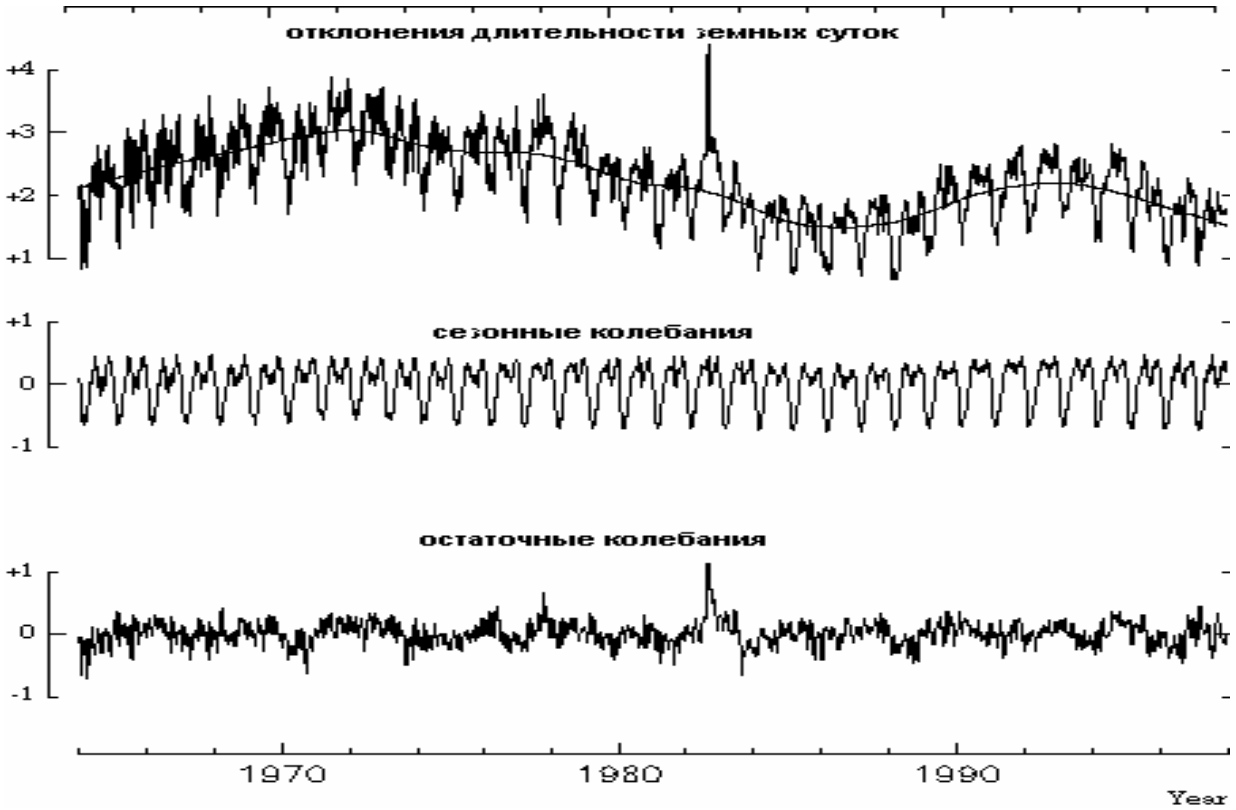


Рис. 4.5. Результаты разложения отклонений длительности земных суток от эталонных с 1964 по 1998 г.г.
(по данным Международного центра вращения Земли [53]).

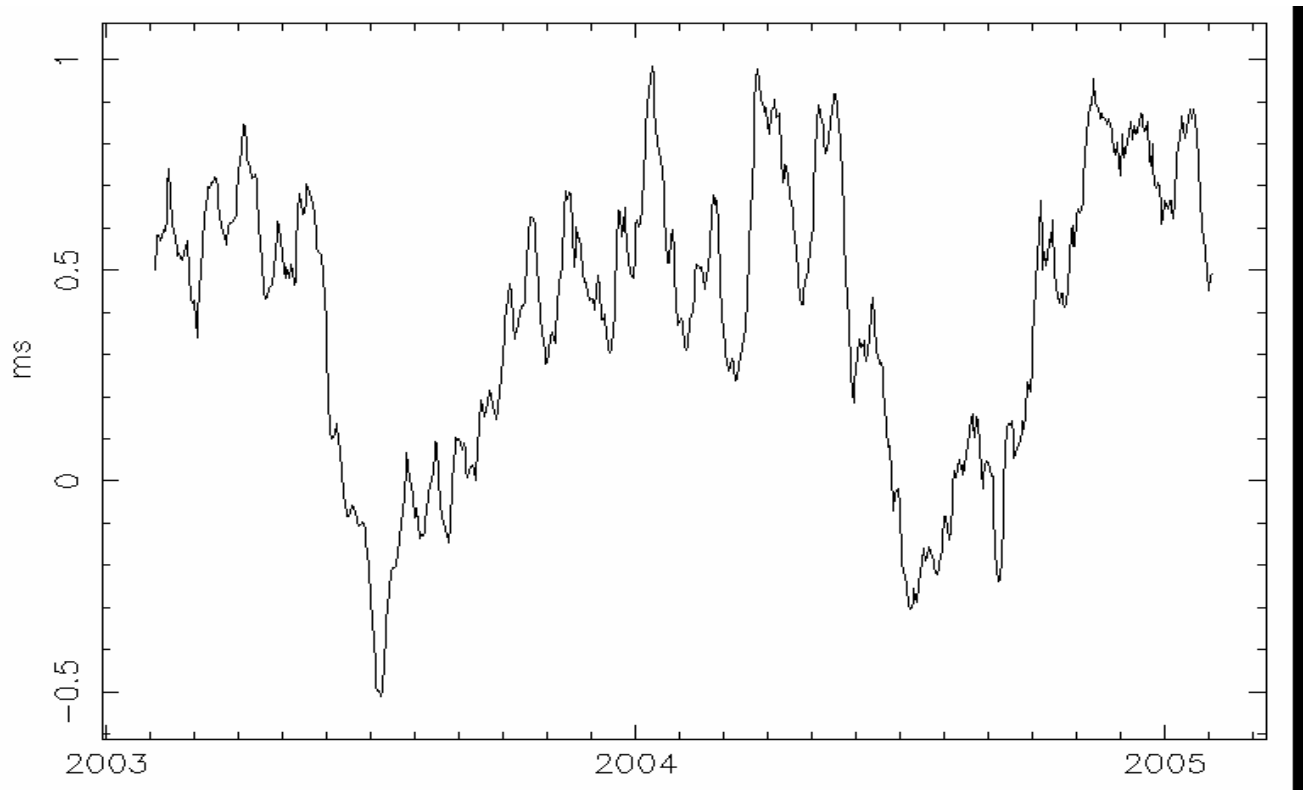


Рис. 4.6. Отклонения длительности земных суток от эталонных с 2003 по 2005 г.
(по данным Международного центра вращения Земли [53]).

Обобщая приведенные выше сведения можно констатировать следующее.

1.Угловая скорость вращения Земли в течение геологической истории ее развития непрерывно уменьшается. Известно, что начиная с палеозоя, вековое замедление вращения Земли характеризуется удлинением земных суток на величину порядка $2 \cdot 10^{-5}$ *с/год.*

2. Результаты астрономических наблюдений, выполнявшихся начиная с XVII в. и особенно со второй половины XX в., свидетельствуют о том, что вековое замедление вращения Земли происходит не линейно, а осложняется короткопериодными флуктуациями. За время инструментальных измерений выявлены флуктуации изменения угловой скорости вращения Земли с периодами порядка 60-70 и 20-22 г.г., а так же – годичные и месячные. Эти флуктуации характеризуются изменениями угловой скорости вращения Земли в единицах отклонений земных суток от эталонных, амплитуда которых достигает значений 3-4 мс.

Некоторые соображения о природе вариаций угловой скорости вращения Земли приведены в учебнике [31] и, частично, - в разделе 1.4.

Изменения положения оси вращения Земли относительно геоида (дрейф географических полюсов по поверхности геоида). Впервые представления о непостоянстве географических поясов Земли, по-видимому, возникли у исследователей, занимавшихся изучением климатических условий на образование особенностей определенных геологических ассоциаций. В частности, имеются в виду работы Крейхгауэра [45], Кеппена и Вегенера [44], Н.М. Страхова [29] и др. Противоречия, связанные с нахождением геологических ассоциаций пород в несвойственных им климатических зонах Земли, привели их к мысли о том, что палеогеография этих зон в течение геологической истории развития Земли менялась – географические полюсы перемещались по поверхности Земли. На рис. 4.7 изображен один из примеров такого рода представлений.

Приведенные на рис. 4.7 траектории вряд ли можно принимать за истинные, т.к. они получены по весьма осредненным данным, их основная ценность заключается в том, что они представляют собой один из первых результатов, положивших начало систематическим исследованиям закономерностей изменения положения оси вращения в теле Земли. Реальным подтверждением перемещения оси вращения Земли (полюсов) являются данные инструментальных астрономических наблюдений. Результаты такого рода наблюдений известны с 1846 г., более точные – с 1890 г. [6].

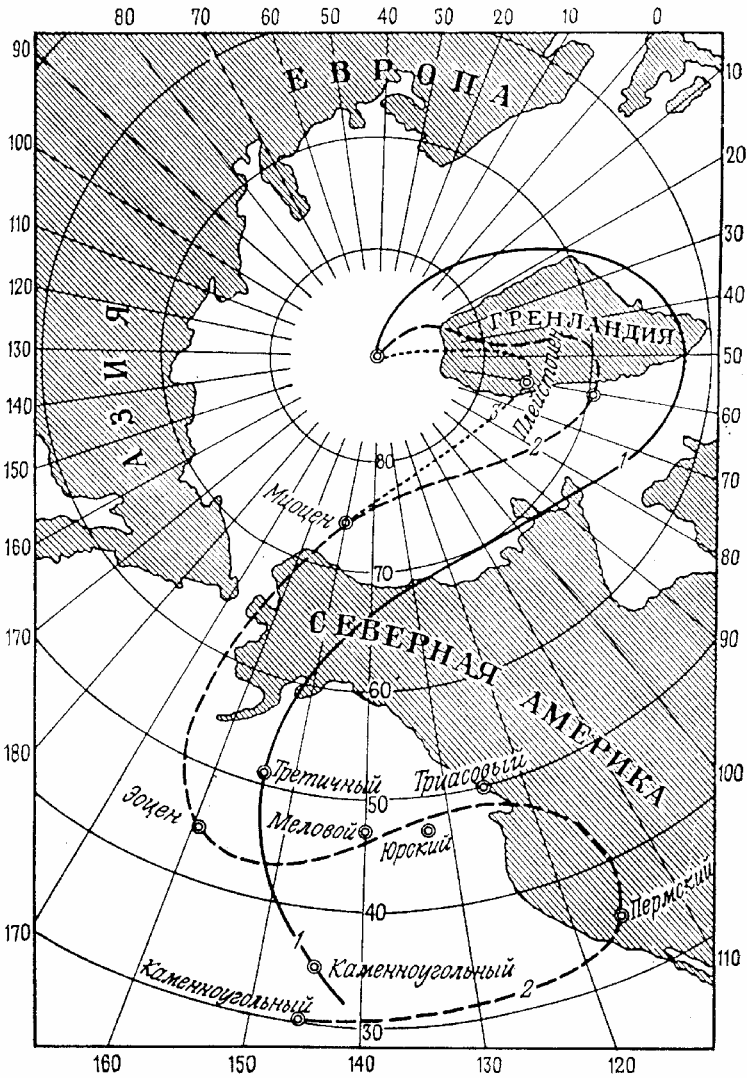


Рис. 4.7. Траектория движения Северного полюса по данным палеоклиматических исследований [5]:
1 – по Крейхгауэру; 2 – Кеппену и Вегенеру; 3 – Кеппену.

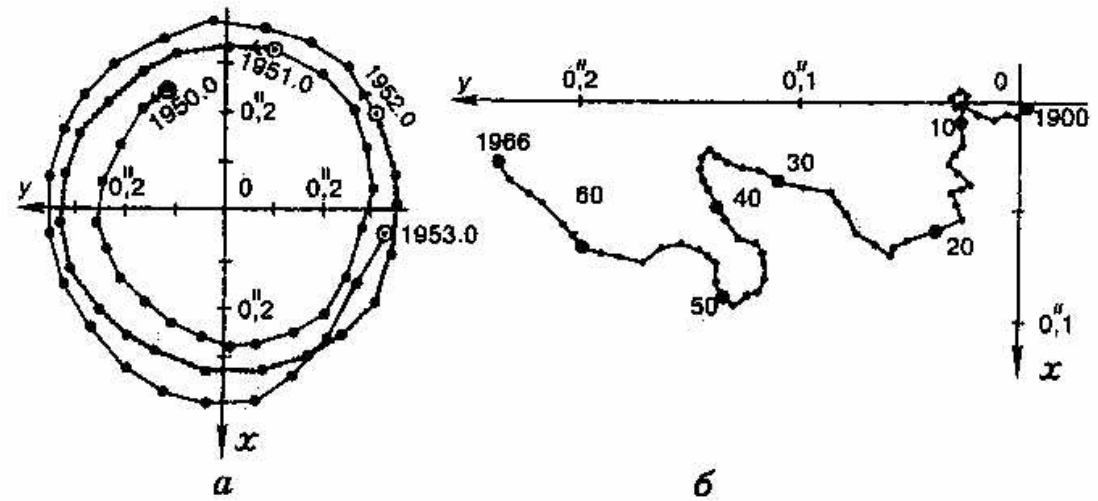


Рис. 4.8. Астрономические данные о перемещении географических полюсов по поверхности земли: а – участок траектории Северного полюса с 1950 по 1953 г; б – траектория годичных центров Северного полюса с 1900 по 1966 г [6].

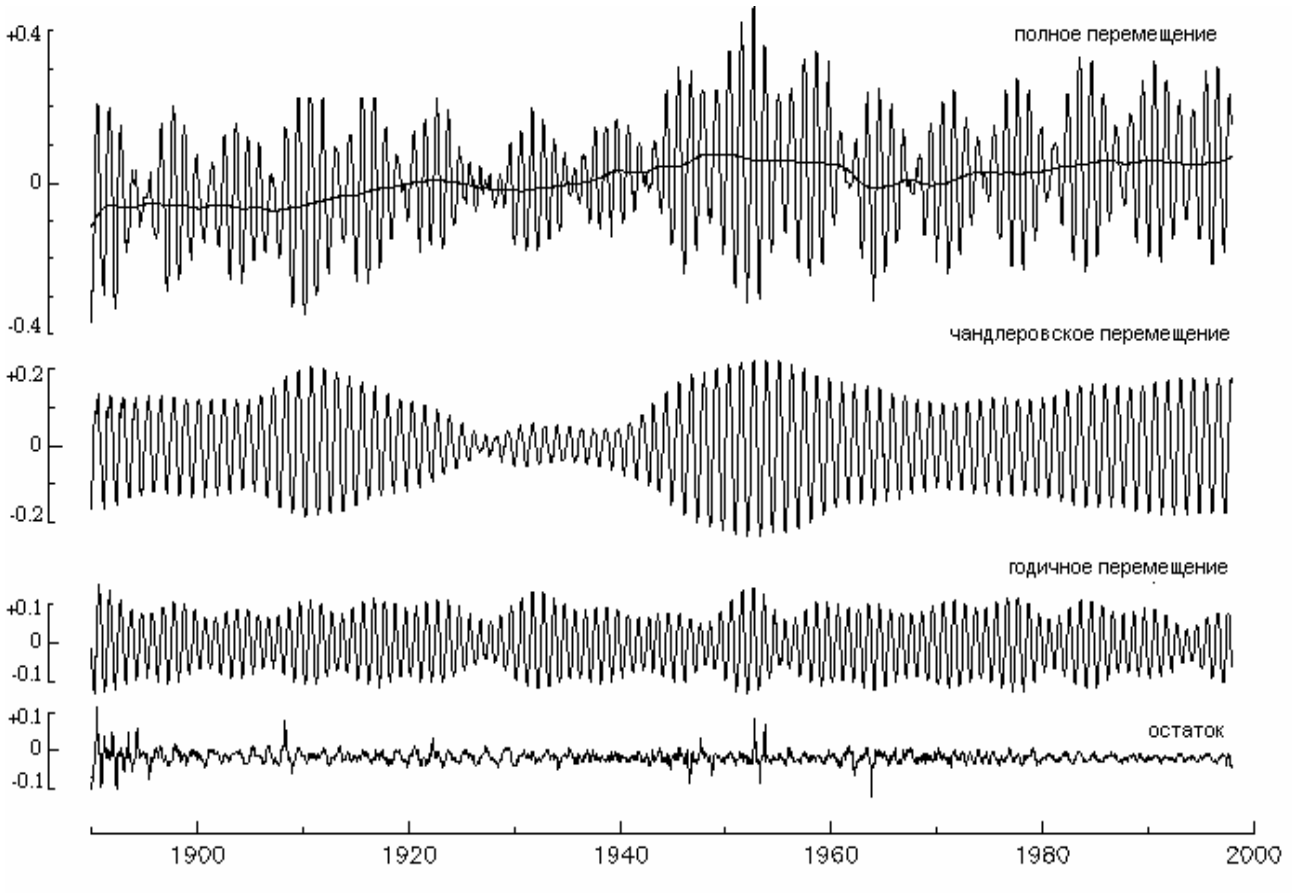
Результаты астрономических наблюдений свидетельствуют о том, что мгновенное положение полюса перемещается вокруг его среднего положения в направлении вращения Земли т.е. с Запада на Восток. Траектория движения имеет вид периодически закручивающейся и раскручивающейся спирали, осложненной наличием поступательной компоненты. На рис 4.8, *а* показан фрагмент раскручивающейся спирали. Максимальное удаление мгновенного полюса от его среднего положение не превышает 15 м. Закручивание и раскручивание траектории полюса объясняется тем, что полюс совершает два периодических движения: одно с периодом 1,0 год, другое – с периодом 1,2 года (чандлеровское). Сложение этих двух движений и дает наблюдаемую картину. Имеет место и поступательное движение полюса, отфильтровав из координат полюса годовую и чандлеровскую составляющие, можно получить координаты среднего полюса. Траектория среднего полюса за 1900–1966 гг. показана на рисунке 4.8, *б*. Видно, что в течение данного периода средний полюс смещался со скоростью около 10 см/год (0,3”-0,4” за 100 лет) по сложной кривой с преобладающим направлением в сторону Северной Америки (≈ 70^0 - 80^0 з.д.). Траектория имеет сложный вид, который можно представить частью дуги с периодом в несколько сотен лет, осложненной циклическими компонентами с более малыми периодами, периоды которых на рисунке четко не проявляются.

На рис. 4.9 приведены результаты разложения полной и выделенной из нее чандлеровской и годичной составляющих траектории мгновенного полюса в виде X и Y – компонент в течение XX века.

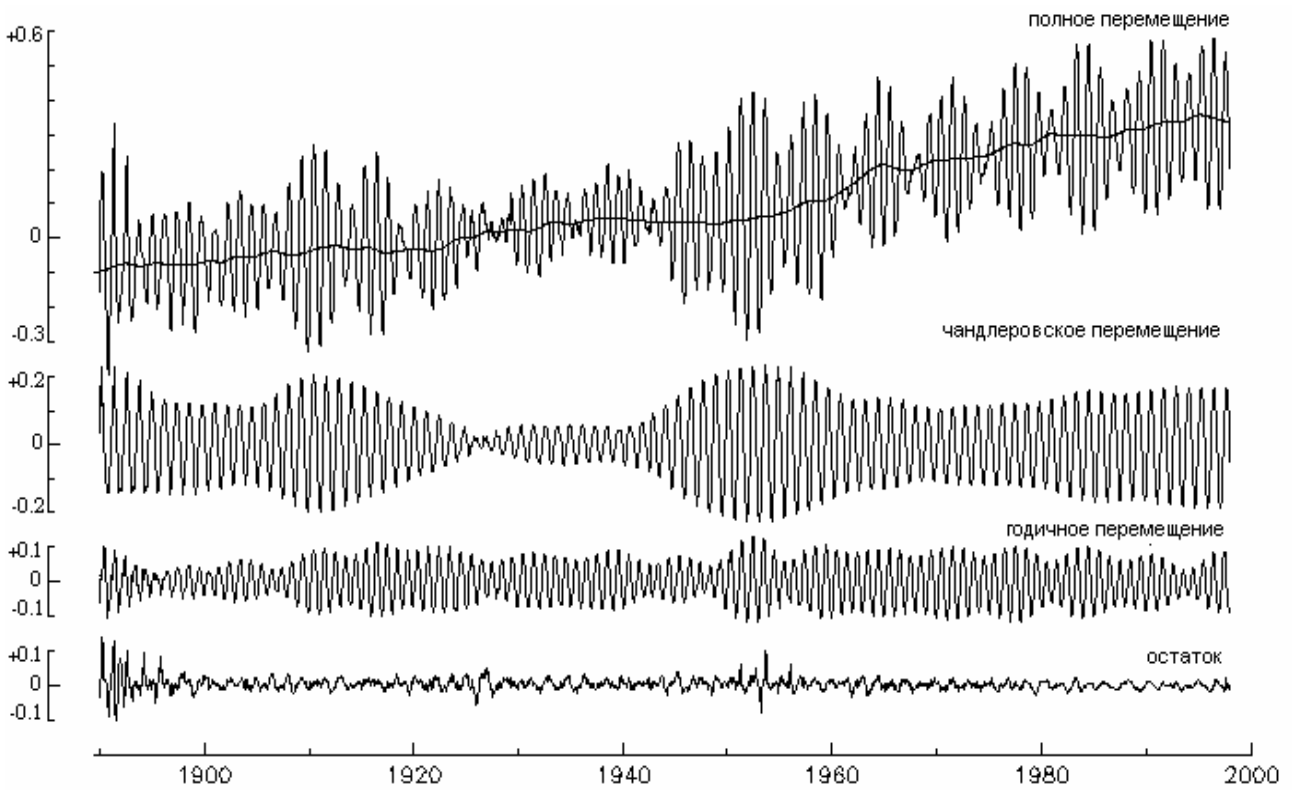
На рис. 4.9 видно, что в течение XX в рассматриваемые компоненты траектории мгновенного полюса периодически меняют величину своих амплитуд.

Таким образом, из астрономических данных следует, что траектория движения полюса по поверхности Земли в течение XX столетия имеет вид сложной кривой, состоящей их монотонно изменяющейся региональной части с наложенными на нее циклическими компонентами разных порядков с периодами от 1,0 и 1,2 года до нескольких десятков лет. Региональная составляющая в свою очередь, представляет собой часть дуги с периодом в несколько сотен лет.

Приведенные выше данные очень важны как инструментальное доказательство реальности перемещения оси вращения Земли по отношению к геоиду, но возможность распространения описанных закономерностей на геологическую историю весьма ограничены из-за малости отрезка времени, в течение которого они изучены. Существует другой путь изучения закономерностей перемещения полюсов вращения Земли в течение геологической истории ее развития – с помощью



а)



б)

Рис. 4.9. Результаты разложения X (*а*) и Y (*б*) – компонент полной траектории мгновенного полюса (по данным Международного центра вращения Земли [53]).

палеомагнитных исследований. Как уже указывалось ранее, в настоящее время это пока единственно реальный путь решения обсуждаемой проблемы. В разделе 2.1 приведены известные сведения о перемещении полюсов по поверхности Земли, полученные по данным палеомагнитных исследований, поскольку они необходимы там для изложения сущности Новой ротационной гипотезы структурообразования в тектоносфере. Использование этих данных для расчета поля ротационных напряжений требует их пополнения. Постараемся это сделать без излишних повторений, хотя некоторые из них неизбежны. В частности, считаем уместным повторить исходные положения о взаимосвязи палеомагнитных полюсов с полюсами вращения Земли (географическими).

1. Несмотря на современное различие в местоположениях географического и магнитного полюса Земли, специальными исследованиями [42, 43 и др.] показано, что средние положения палеомагнитных полюсов за интервал времени порядка 10^4 лет соответствует положению географического полюса.

2. Выше приведенный вывод непосредственно следует из ротационной модели магнитного поля Земли (раздел 3.4.) .

В разделе 2.1 подчеркнуто, что определение географических полюсов по палеомагнитным данным представляет собой весьма сложную проблему, можно сказать, даже деликатную. Теоретической основой определения положения палеомагнитных полюсов является гипотеза соответствия магнитного поля Земли полю центрального диполя, ориентированного в направлении оси вращения. При этом основным источником погрешностей является наличие недипольной компоненты.

В качестве примера на рис. 2.4, *а* приведено положение палеомагнитных полюсов в фанерозое, определенных по образцам пород в пределах Восточно-Европейской платформы. Штриховой линией показано т.н. *кривая миграций полюсов*, которой обычно пользуются магнитологи, а на рис. 2.4, *б* – средние положения полюсов в различные геологические периоды. Расчеты средних значений широты и долготы палеомагнитных полюсов для каждой эпохи выполнялись по стандартной методике [19].

Возвращаясь к рис. 2.4 отметим, что операции определения координат среднего положения полюсов для разных эпох фанерозоя, полученным по исходным материалам Восточно-Европейской платформы, оказались очень информативными. В частности, в «*облакоподобном*» расположении полюсов, более или менее ориентированном в определенном направлении, характеризуемом *кривой миграции полюсов*, довольно четко выявляется

последовательность расположения средних полюсов, для которых характерны не выдержанность определенных направлений, а наличие возвратов, по отношению к этому направлению – определенная «петлеобразность» перемещения средних полюсов. Другими словами, становится ясным, что полюс, сохраняя тенденцию к смещению, приведенную на рис 2.4, *а*, имеет более сложную траекторию, которую можно представить состоящей из поступательной компоненты, осложненной циклическими компонентами разных порядков. Картина последовательного расположения средних полюсов это еще не траектория движения полюса в фанерозое, т.к. в ней отсутствуют данные о поведении полюсов эпохи между их средними значениями. Некоторые представления о форме траектории перемещения полюса могут дать результаты ее определения по более детальным данным для мезозойской эры, выполненные по нашей просьбе О.М.Русаковым. Они изображены на рис. 2.4, *в*. Касаясь оценки периодов циклических компонент, характеризующих перемещение палеомагнитного полюса по поверхности Земли, изображенного на рис. 2.4, можно отметить следующее. Исходя из реальной точности временной привязки палеомагнитных данных, речь идет о циклических компонентах перемещения полюса в фанерозое с периодами, соизмеримыми с продолжительностью одного или нескольких геологических периодов эр фанерозоя, т.е. порядка нескольких десятков миллионов лет.

На рис. 2.5 приведены данные о перемещении палеомагнитных полюсов в докембрии. Здесь исследователи сталкиваются с еще большими трудностями по сравнению с изучением закономерностей их перемещения в фанерозое – на ухудшение временной привязки накладывается ограниченность выполненных в настоящее время такого рода исследований. Тем не менее, рис. 2.5 интересен тем, что его автор демонстрирует на нем «петлеобразное» движение полюсов по поверхности Земли.

Представление о циклических компонентах траектории перемещения магнитных полюсов по поверхности Земли может дать анализ результатов археомагнитных исследований.

На рис. 4.10 приведены стереограммы перемещения виртуального магнитного полюса в предыдущие тысячелетия, составленные по археомагнитным данным на территории Украины и Молдавии Г.Ф. Загнием и О.М. Русаковым [13]. Авторы, указывая на сложную петлеобразную траекторию, подчеркивают преобладающее по времени перемещение виртуального магнитного полюса против часовой стрелки, т.е. восточный дрейф дипольного поля с основным периодом порядка 1200 лет.

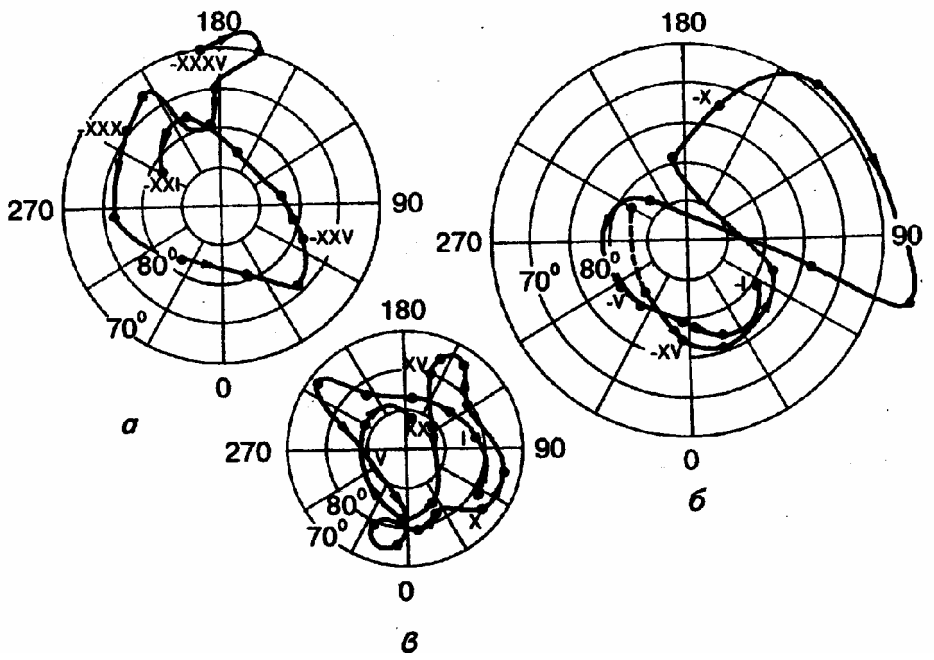


Рис. 4.10. Дрейф виртуальных магнитных полюсов по археомагнитным данным для Украины и Молдавии [13]: *а* – за время с XXXV по XXI век до н.э.; *б* – за время с XVII – по I век до н.э.; *в* – за время с I века да н.э. по XX век н.э.(римскими цифрами обозначены века, к середине которых относятся положения виртуальных магнитных полюсов).

Рассмотрим еще один источник погрешностей определения положения палеомагнитных полюсов на поверхности современного геоида – деформацию геоида в течение геологической истории развития Земли. Насколько нам известно, эта проблема в такой постановке обсуждается впервые. Целью получения траектории перемещения палеомагнитного полюса по поверхности современного геоида является использование ее особенностей для выяснения закономерностей деформации самого геоида. Логическим следствием такой постановки вопроса является необходимость учета изменения формы палеогеоида по сравнению с современным. К сожалению, пока это не делается.

На рис. 4.11 четко видно несовпадение между собой кривых миграции палеомагнитных полюсов по поверхности современного геоида, полученных по данным в разных континентах и даже отдельных их частей, таких как Индостанский полуостров, при чем расхождение оказывается тем больше, чем древнее рассматриваемая эпоха. Сторонники Новой глобальной тектоники использовали эту картину в качестве одного из доказательств дифференциальных перемещений литосферных плит в латеральных направлениях. Различное положение палеомагнитных полюсов, относящихся к одной и той же эпохе, на поверхности современного геоида могли бы являться неопровержимым доказательством литеральных перемещений литосферных плит, если бы они соответствовали действительности.

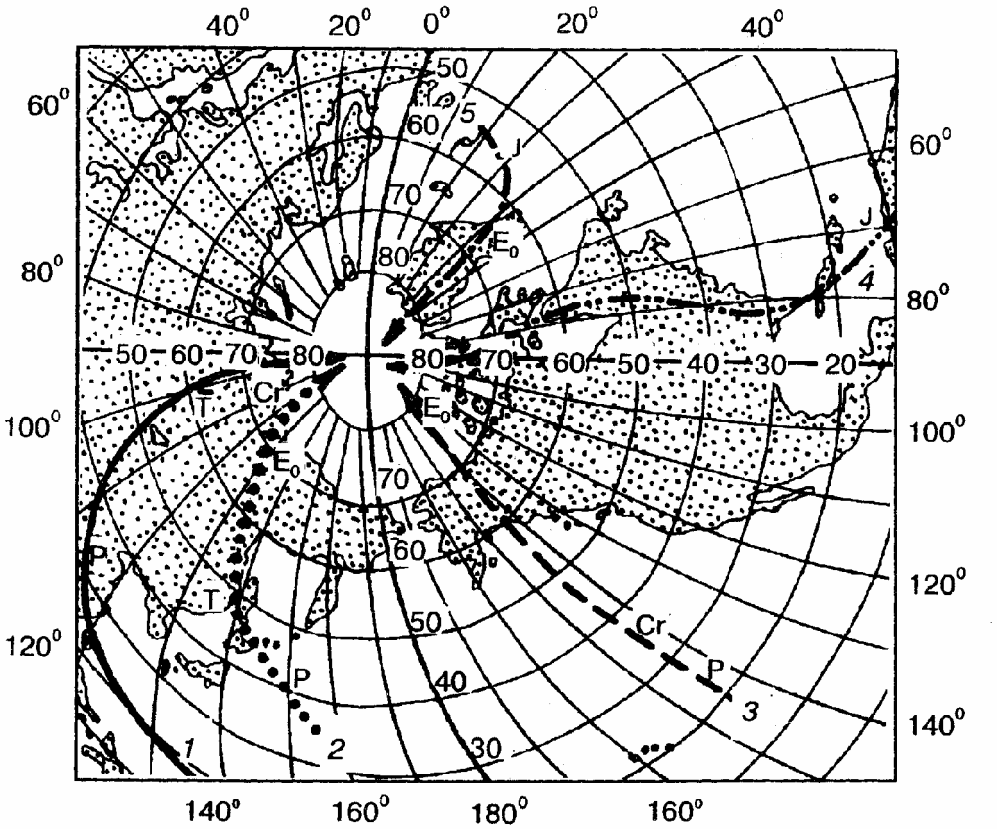


Рис. 4.11. Кривые миграции палеомагнитных полюсов, установленные по данным, полученным на разных континентах или их частях [5].
1 – Северная Америка; 2 – Европа; 3 – Африка; 4- Индия; 5 – Австралия.

По нашим представлениям, расхождения кривых миграции палеомагнитных полюсов изображенные на рис 4.11 обусловлены различием формы палеогеоидов, которым они соответствуют и современным геоидом, к которому отнесены. При этом, чем древнее рассматриваемая эпоха, тем большие отличия соответствующего ей палеогеоида от современного. Закономерности пространственного расположения кривых миграции палеомагнитных полюсов на рис. 4.11 подтверждают эти представления. Мы убеждены, что если при определении положения палеомагнитных полюсов вводить поправку за деформацию соответствующего геоида, то положения палеомагнитных полюсов для разных континентов окажутся идентичными. К сожалению, методики таких расчетов пока нет, но она вполне реальна т.к. общие законы деформации геоидов известны, а количественные параметры деформации палеогеоидов могут быть вычислены методом последовательных приближений. По-видимому, это одна из первоочередных задач ближайшего будущего.

А пока, в связи с отсутствием разработанной методики определения положения палеомагнитных полюсов на поверхности современного геоида с учетом деформации соответствующих палеогеоидов, воспользуемся результатами определения палеомагнитных полюсов

традиционными приемами на древних платформах Земли. Выбор для этих исследований именно платформ не случаен. Он обусловлен тем, что породы осадочно-вулканогенного чехла древних платформ, используемые для палеомагнитных исследований, значительно меньше отклоняются от своего первоначального залегания по сравнению с более нарушенными породами складчатых областей. Кроме того, ограниченным размерам платформ должны соответствовать минимальные деформации палеогеоидов в их пределах.

Для расчета поля ротационных напряжений, обусловленного перемещением оси вращения Земли (полюсов) относительно геоида, используются значения двух параметров ротационного режима Земли: угловое перемещение оси вращения α и скорость этого перемещения *V*. Оба эти параметра определяются из соотношений

$$\alpha = \arccos \frac{\vec{R}_i \vec{R}_{i+1}}{\left|\vec{R}_i\right|\left|\vec{R}_{i+1}\right|}, \; V = \frac{\alpha}{\Delta t} \tag{4.1}$$

где $\vec{R}_i, \vec{R}_{i+1}$ – радиус-векторы палеомагнитного полюса в момент времени t_i и $t_{i+1} = t_i + \Delta t$.

Радиус-вектор палеомагнитного полюса для различных моментов времени может быть определен при условии, что известны радиус Земли и средние широта и долгота палеомагнитного полюса $\overline{\Phi}, \overline{\Lambda}$

$$\begin{gathered} \overline{\Lambda} = arctg \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} \cos\Phi_i \sin\Lambda_i}{\sum\limits_{i=1}^{n} \cos\Phi_i \cos\Lambda_i}, \\ \overline{\Phi} = arctg \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} \sin\Phi_i}{\sqrt{\left(\sum\limits_{i=1}^{n} \cos\Phi_i \cos\Lambda_i\right)^2 + \left(\sum\limits_{i=1}^{n} \cos\Phi_i \sin\Lambda_i\right)^2}}, \end{gathered} \tag{4.2}$$

где Φ_i, Λ_i - широта и долгота полюсов используемых при расчетах, n - количество используемых для расчета полюсов.

Исследования закономерностей распределения палеомагнитных полюсов по поверхности современного геоида, их изменения во времени проводились на результатах определения этих полюсов по образцам пород

в пределах следующих платформ: Восточно-Европейской, Сибирской, Северо-Американской, Южно-Американской, Африканской, Индостанской и Австралийской. При этом, координаты средних положений палеомагнитных полюсов рассчитывались [7] на основе мировой базы палеомагнитных данных [52].

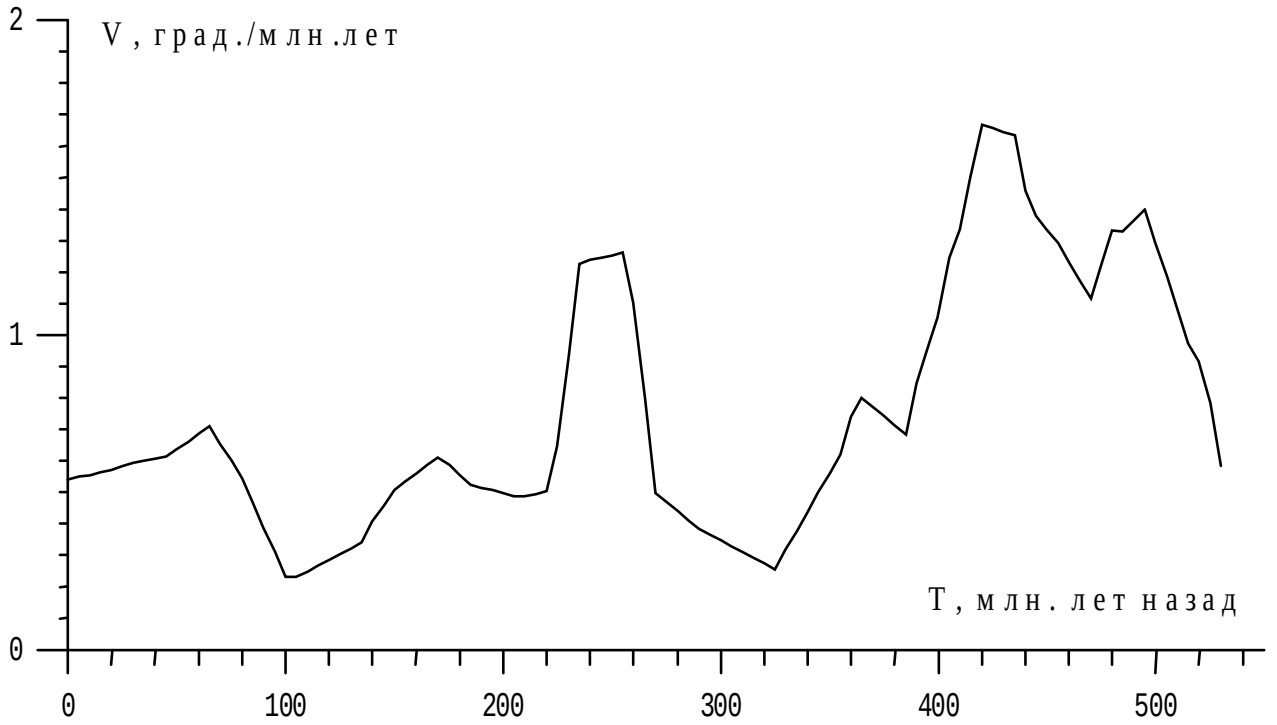
Примечательно, что в результате исследований, наряду с отличиями, выявлены некоторые общие закономерности поведения палеомагнитных полюсов, полученных по данным на разных платформах. В частности, на всех кривых миграции палеомагнитных полюсов по поверхности современного геоида прослеживаются три участка глобального возрастания скорости дрейфа, соответствующие близким между собой эпохам. Для удобства сопоставления данные о них сведены в таблицу 4.1.

Таблица 4.1. Интервалы времени, в пределах которых наблюдается возрастание скорости дрейфа палеомагнитного полюса полученного по данным на разных платформах.

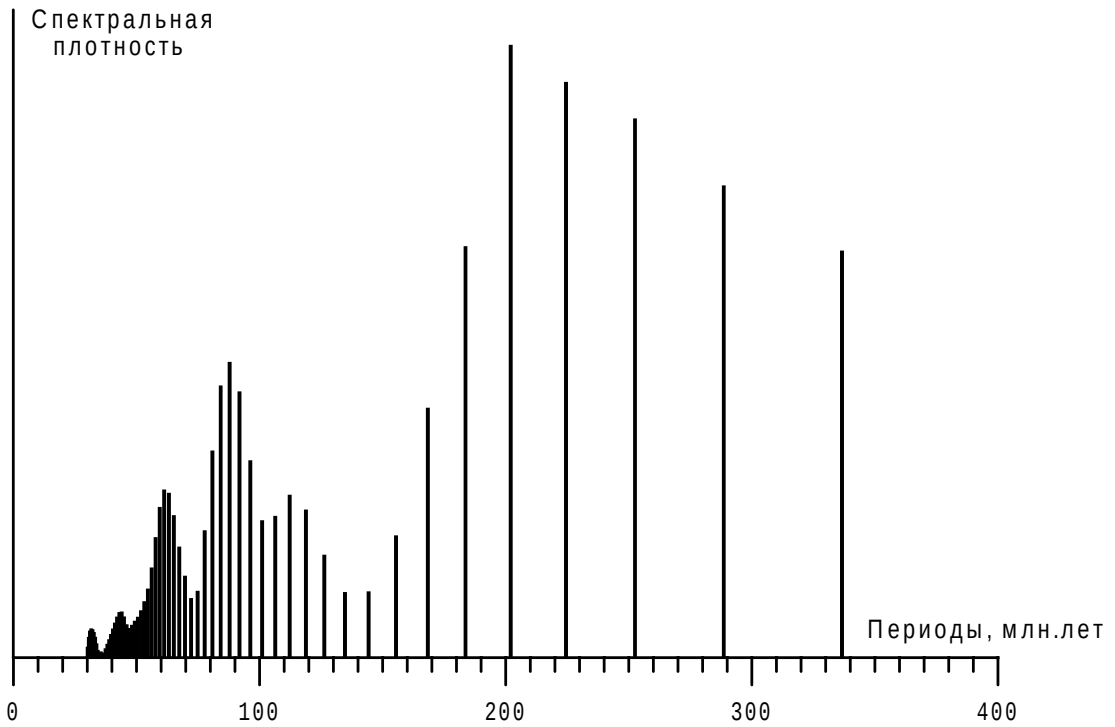
№ п/п	Платформа	Интервалы времени, соответствующие повышенной скорости дрейфа палеомагнитного полюса (млн.лет тому назад)		
1	Восточно-Европейская	500 - 340	250 -150	20 - 0
2	Сибирская	480 – 340	250 – 150	30 – 0
3	Северо-Американская	510 – 370	270 – 120	80 – 0
4	Южно-Американская	510 – 40	300 – 170	80 – 0
5	Африканская	500 – 340	260 – 220	
6	Индостанская		300 – 150	60 – 0
7	Австралийская	510 – 340	310 – 240	80 - 0

Данные таблицы 4.1 свидетельствуют о том, что на кривых миграции палеомагнитных полюсов, полученных по данным на разных платформах, расположение характерных участков скорости перемещения полюсов оказываются достаточно близкими между собой. Учитывая эту особенность и исходя из представлений о единой природе изменения скорости перемещения палеомагнитного полюса по поверхности геоида, для количественной оценки этого параметра нами использовалась осредненная кривая миграции палеомагнитных полюсов, в которой аккумулированы все особенности, устанавливаемые по данным на разных платформах.

Вид этой кривой показан на рис. 4.12, *а*, а на рис. 4.12, *б* приведен амплитудный спектр, рассчитанный по этой кривой.



а)



б)

Рис. 4.12. Осредненная кривая скорости дрейфа палеомагнитных полюсов в фанерозое (*а*) и ее амплитудный спектр (*б*).

На рисунке видно, что на осредненной кривой довольно четко проявляются три интервала времени, в течение которых наблюдается увеличение скорости миграции палеомагнитных полюсов. Примечательно, что они соответствуют трем главным эпохам тектонических активизаций Земли в фанерозое: первая приходится главным образом на силур, вторая на пермь и нижний триас, третья на палеоген–четвертичное время. Названные эпохи соответствуют заключительным частям известных геотектонических циклов: каледонского, герцинского и альпийского.

Следует специально подчеркнуть, что на осредненной кривой миграции палеомагнитного полюса намечается проявление более мелких участков повышения скорости миграции полюса, в частности в интервалах: 455-405; 385-345; 270-220; 190-140 млн. лет назад. Соответствующие промежуточным фазам тектонической активности Земли в фанерозое.

Из анализа амплитудного спектра (рис. 4.12, *б*) можно сделать вывод, что в нем наиболее четко проявляются максимумы для гармоник с периодами $200 \cdot 10^6$ лет, соответствующие продолжительности галактического года и $90 \cdot 10^6$ лет. Кроме них с меньшей интенсивностью проявляются максимумы для гармоник с меньшими периодами. Последние так же широко известны в геотектонике. Таким образом, можно считать, что данные, приведенные на рис. 4.12 репрезентивны и могут быть использованы при расчете глобального поля ротационных напряжений, обусловленных перемещением оси вращения Земли по отношению к геоиду.

Подводя итоги приведенных выше закономерностей перемещения полюсов по поверхности геоида, можно констатировать следующее.

1. Закономерности перемещения географического полюса по поверхности геоида последние сто лет известны по результатам астрономических наблюдений, а за всю геологическую историю развития Земли могут быть определены по результатам палеомагнитных исследований. При этом, среднее значение координат палеомагнитного полюса за интервал времени порядка 10^4 лет можно принимать за координаты географического полюса.

2. Несмотря на исключительную важность траектории движения полюса по поверхности геоида, целенаправленных исследований по ее восстановлению практически не проводилось. Из приведенных выше данных следует, что эта траектория представляет собой суммарную кривую, состоящую из совокупности поступательной компоненты и осложняющих ее разного порядка циклических компонент, с периодами начиная от одного земного года и заканчивая – галактическим. Так, по результатам астрономических наблюдений выявлены циклические компоненты с периодами 1.0, 1.2, 20-22 лет; по результатам

археомагнитных наблюдений – циклические компоненты с периодами порядка n·10^2 лет, а по палеомагнитным – с периодами 35·10^6, 45·10^6, 60·10^6, 90·10^6, (180-200)·10^6 лет. Кроме того намечаются циклические компоненты с промежуточными значениями периодов. При этом из результатов астрономических наблюдений следует, что имеет место совпадение периодов циклических компонент траектории перемещения полюса и вариаций угловой скорости вращения Земли. Вероятнее всего это свидетельствует о генетической общности этих явлений.

3. Существенное значение для образования и накопления глобальных ротационных напряжений в упруго-вязкой тектоносфере Земли имеют вариации скорости перемещения полюса на разных участках траектории. Эти вариации обусловлены сложением скоростей поступательной и циклической компоненты: в интервалы времени, когда они совпадают по направлению, происходит увеличение скорости перемещения полюса, а когда оказываются противоположно направленными – происходит ее уменьшение. При этом следует иметь в виду, что в роли поступательной компоненты выступает тоже циклическая компонента, но с большим периодом.

4. Для практических расчетов глобального поля ротационных напряжений, соответствующего определенной геологической эпохе фанерозоя, вполне пригодны параметры ротационного режима, полученные по осредненной кривой скорости дрейфа полюса, изображенной на рис. 4.12. При этом, численные значения скорости перемещения полюса можно снимать непосредственно с рисунка. К сожалению для докембрийских эпох подобной кривой пока нет. Придется пользоваться гипотетической.

4.3. Алгоритмы оценки полей механических напряжений, обусловленных нарушением геоизостазии

Алгоритм решения задачи для случая тонкой упруго-вязкой оболочки. Пусть имеется тонкая оболочка, которая под действием каких либо сил деформировалась. Полагая при этом, что $\vec{r}$ - радиус-векторы частиц ее поверхности до деформации; $\vec{r}^{\,*}$ - после деформации, имеем

$$\vec{r}^{\,*} = \vec{r} + \vec{u}(\vec{r}), \tag{4.3}$$

где $\vec{u}(\vec{r})$- вектор смещений точек поверхности оболочки.

Уравнение, описывающее поверхность оболочки до деформирования примем в форме

$$\psi(\vec{r}) = 0. \tag{4.4}$$

Из уравнения (4.4) с учетом (4.3) вытекает, что

$$\psi\left(\vec{r}^{\,*}-\vec{u}(\vec{r})\right)=0\,. \tag{4.5}$$

Предположим, что ψ - дифференцируемая функция с ограниченными вторыми производными. Руководствуясь [16], разложим (4.3) в ряд Тейлора и ограничимся линейными по $\vec{u}$ слагаемыми (в связи с малостью $\vec{u}$) получим

$$\psi\left(\vec{r}^{\,*}-\vec{u}(\vec{r})\right)\approx\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)-\left(\vec{u}(\vec{r})\vec{\nabla}\right)\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)=\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)-\vec{u}(\vec{r})\vec{\nabla}\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)=0\,. \tag{4.6}$$

Представим величину $\vec{\nabla}\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)$ в уравнении (4.6) в виде

$$\vec{\nabla}\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)=\vec{\nabla}\psi(\vec{r})+\vec{\delta}\,, \tag{4.7}$$

где $\vec{\delta}$ - некоторая малая величина (при условии малости $\vec{u}$).

Подставляя (4.7) в (4.6), имеем

$$\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)-\left[\vec{u}(\vec{r})\vec{\nabla}\psi(\vec{r})+\vec{u}(\vec{r})\vec{\delta}\right]=0\,. \tag{4.8}$$

В (4.8) слагаемым $\vec{u}(\vec{r})\vec{\delta}$ можно пренебречь, так как обе величины, входящие в него, малы и их произведение малая более высокого порядка.

В результате получим

$$\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)-\vec{u}(\vec{r})\vec{\nabla}\psi(\vec{r})=0\,. \tag{4.9}$$

Разделив (4.9) на $\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|$, имеем

$$\frac{\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)}{\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|}-\vec{u}(\vec{r})\frac{\vec{\nabla}\psi(\vec{r})}{\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|}=0\,. \tag{4.10}$$

Отношение $\dfrac{\vec{\nabla}\psi(\vec{r})}{\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|}$ есть не что иное, как уравнение нормали к недеформированной поверхности $\vec{n}(\vec{r})$.

Окончательно имеем

$$\frac{\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)}{\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|}-\vec{u}(\vec{r})\vec{n}(\vec{r})=0 \quad \text{или} \quad \frac{\psi\left(\vec{r}^{\,*}\right)}{\left|\vec{\nabla}\psi(\vec{r})\right|}=\vec{u}(\vec{r})\vec{n}(\vec{r})\,. \tag{4.11}$$

Полученная зависимость означает, что в первом приближении *форма деформированной поверхности* $\psi(\vec{r}^{\,*})$ *определяется нормальными перемещениями лежащих на ней частиц.*

Для случая тонкой оболочки, принимая во внимание, что земной эллипсоид имеет относительно небольшое сжатие, будем считать, что форма деформированной поверхности определяется радиальными перемещениями лежащих на ней точек.

При расчетах воспользуемся линейной теорией тонких оболочек [26]. В этом случае, относительные удлинения элементов дуги меридиана и параллели, обусловленные деформацией оболочки, определим следующим образом.

Рассмотрим на меридиане некоторую точку, с координатами φ и λ. В данной точке до деформации параметр Ламе (являющийся масштабным коэффициентом), связывающий приращения дуг координатных линий с приращениями соответствующих криволинейных координат поверхности в меридиональном направлении - $A_\varphi(\varphi,\lambda)$. После деформации элемент дуги меридиана $ds_\varphi = A_\varphi(\varphi,\lambda)d\varphi$ в окрестностях данной точки, некоторым образом, изменит свою длину. Принимая во внимание, что в нашем случае радиальные смещения точек поверхности при деформации будут много больше тангенциальных и последними можно пренебречь, следует, что широта и долгота рассматриваемой точки останутся прежними, изменится параметр Ламе. Таким образом, длина элемента дуги меридиана в окрестностях данной точки после деформации будет $ds_\varphi{}^* = A_\varphi{}^*(\varphi,\lambda)d\varphi$. При этом относительное удлинение элемента дуги меридиана

$$\xi_\varphi(\varphi,\lambda) = \frac{ds_\varphi{}^* - ds_\varphi}{ds_\varphi} = \frac{A_\varphi{}^*(\varphi,\lambda) - A_\varphi(\varphi,\lambda)}{A_\varphi(\varphi,\lambda)}. \qquad (4.12)$$

Рассуждая аналогичным образом, получим относительное удлинение элемента дуги параллели

$$\xi_\lambda(\varphi,\lambda) = \frac{ds_\lambda{}^* - ds_\lambda}{ds_\lambda} = \frac{A_\lambda{}^*(\varphi,\lambda) - A_\lambda(\varphi,\lambda)}{A_\lambda(\varphi,\lambda)}. \qquad (4.13)$$

Параметры Ламе A_φ, A_λ, определяются следующим образом

$$A_\varphi(\varphi,\lambda) = \left|\frac{\partial\vec{r}(\varphi,\lambda)}{\partial\varphi}\right| = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial\varphi}\right)^2};$$

$$A_\lambda(\varphi,\lambda)=\left|\frac{\partial\vec{r}(\varphi,\lambda)}{\partial\lambda}\right|=\sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial\lambda}\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial\lambda}\right)^2+\left(\frac{\partial z}{\partial\lambda}\right)^2}\ , \qquad (4.14)$$

где $x=|\vec{r}|\cos\varphi\cos\lambda, y=|\vec{r}|\sin\varphi, z=|\vec{r}|\cos\varphi\sin\lambda.$

Величины A_φ^*, A_λ^* определяются аналогично из (4.14), при замене $\vec{r}\to\vec{r}^*, x\to x^*, y\to y^*, z\to z^*$.

Деформацию срединной поверхности оболочки характеризует также сдвиг. Сдвиг определяется как изменение угла между параллелями и меридианами после деформации. Однако, для малых изменений сдвиг может быть определен как косинус угла между параллелями и меридианами после деформации

$$\omega=\vec{e}_\varphi^{\,*}\cdot\vec{e}_\lambda^{\,*}\ , \qquad (4.15)$$

где $\vec{e}_\varphi^{\,*},\vec{e}_\lambda^{\,*}$ - единичные векторы, касательные к меридиану и параллели после деформации

$$\vec{e}_\varphi^{\,*}=\frac{1}{A_\varphi^*}\cdot\frac{\partial\vec{r}^*}{\partial\varphi}=\frac{1}{A_\varphi^*}\left(\frac{\partial x^*}{\partial\varphi}\vec{i}+\frac{\partial y^*}{\partial\varphi}\vec{j}+\frac{\partial z^*}{\partial\varphi}\vec{k}\right),$$

$$\vec{e}_\lambda^{\,*}=\frac{1}{A_\lambda^*}\cdot\frac{\partial\vec{r}^*}{\partial\lambda}=\frac{1}{A_\lambda^*}\left(\frac{\partial x^*}{\partial\lambda}\vec{i}+\frac{\partial y^*}{\partial\lambda}\vec{j}+\frac{\partial z^*}{\partial\lambda}\vec{k}\right). \qquad (4.16)$$

Все вышесказанное о деформациях относится к срединной поверхности оболочки, однако, в нашем случае удобнее оперировать смещениями точек и деформациями внешней поверхности оболочки (поверхности Земли). Учитывая то, что в данном случае мы имеем дело с тонкой оболочкой, отождествим деформации срединной поверхности с деформациями внешней поверхности оболочки.

Предположим, что деформированная оболочка находится в безмоментном напряженном состоянии. Данное допущение означает, что напряжения от усилий значительно превосходят напряжения от моментов.

Выделим в деформированной оболочке некоторый элемент (рис.4.13).

На границах этого элемента действуют следующие векторы напряжений

$$\begin{aligned}\vec{\sigma}_\varphi&=\sigma_{\varphi\varphi}\vec{e}_\varphi+\sigma_{\varphi\lambda}\vec{e}_\lambda+\sigma_{\varphi n}\vec{n}\\ \vec{\sigma}_\lambda&=\sigma_{\lambda\varphi}\vec{e}_\varphi+\sigma_{\lambda\lambda}\vec{e}_\lambda+\sigma_{\lambda n}\vec{n}\end{aligned} \qquad (4.17)$$

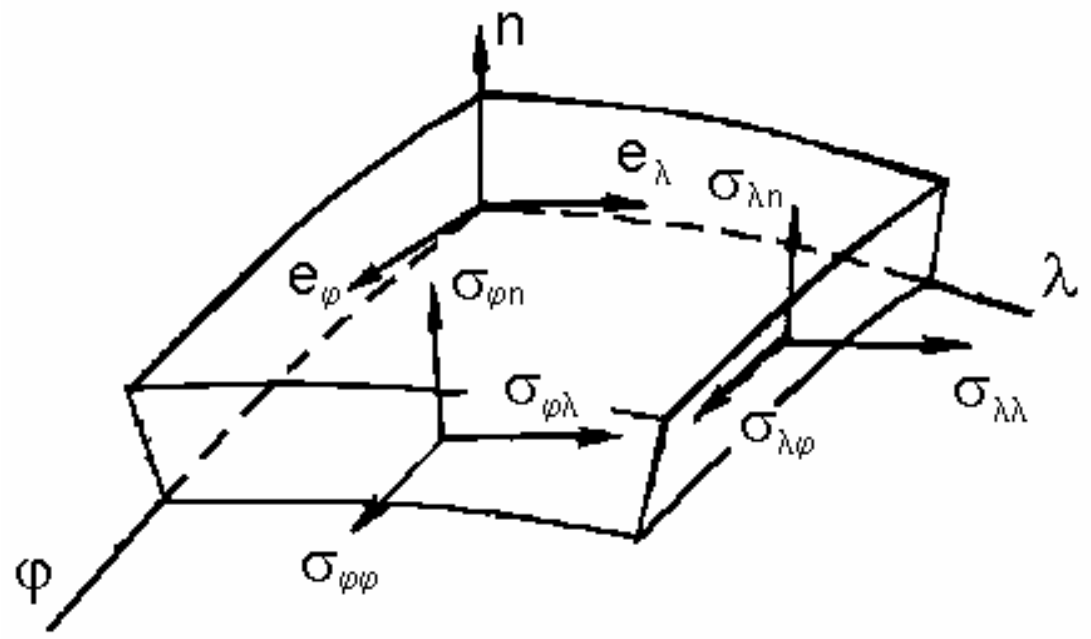


Рис. 4.13. Распределение напряжений в элементе деформированной оболочки.

С учетом безмоментного состояния, пренебрегаем напряжениями $\sigma_{\varphi n}, \sigma_{\lambda n}$ и для упругой оболочки имеем [26]

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \frac{E}{1+\nu^2}\left(\xi_\varphi - \nu\xi_\lambda\right), \sigma_{\lambda\lambda} = \frac{E}{1+\nu^2}\left(\xi_\lambda - \nu\xi_\varphi\right), \sigma_{\varphi\lambda} = \sigma_{\lambda\varphi} = \tau = \frac{E}{2(1+\nu)}\omega, \qquad (4.18)$$

где E - модуль Юнга, ν - коэффициент Пуассона.

Описанный выше алгоритм (4.12)-(4.18) позволяет определять напряжения, возникающие в упругой оболочке при ее деформировании, зная уравнения ее поверхности до $\vec{r} = \vec{r}(\varphi, \lambda)$ и после $\vec{r}^* = \vec{r}^*(\varphi, \lambda)$ деформирования. Однако для получения более объективного результата при решении вопросов геотектоники, связанных с длиннопериодными процессами (более 10^4-10^6 лет), необходим учет процессов ползучести и релаксации, протекающих в оболочке при ее деформировании. Таким образом, нужен переход от упругого решения к вязко-упругому.

В настоящее время ни у кого не вызывает сомнения тот факт, что Земля ведет себя как вязко-упругое тело. С одной стороны короткопериодные процессы протекают в Земле как в упругом теле, с другой - данные геологии и геофизики свидетельствуют об имеющих место процессах ползучести и релаксации в недрах планеты. Близость фигуры Земли к фигуре равновесия вращающейся неоднородной жидкости свидетельствует о том, что Земля имеет оболочечное, в реологическом смысле, строение [4,23]. В работах [28,41,49] приведено обоснование того, что механическое поведение Земли наилучшим образом

описывается как поведение максвеллова тела. Рассмотрим более подробно этот вопрос.

В случае вязко-упругого тела, уравнения, связывающие напряжения и деформации, согласно теории Больцмана - Вольтеры [15], имеют вид

$$\xi(t) = \frac{\sigma(t)}{E} + \frac{1}{E}\int_0^t K(t-\tau)\sigma(\tau)d\tau = \int_0^t n(t-\tau)d\sigma(\tau),$$
$$\sigma(t) = \xi(t)E(t) - E\int_0^t T(t-\tau)\xi(\tau)d\tau = \int_0^t R(t-\tau)d\xi(\tau), \qquad (4.19)$$

где $\xi(t)$-деформации; $\sigma(t)$-напряжения; E-модуль Юнга; $K(t)$-функция скорости ползучести; $T(t)$-функция скорости релаксации; $n(t)$-податливость материала; $R(t)$-функция релаксации.

На рисунке 4.14 изображена наиболее характерная кривая ползучести материала. Вдоль оси абсцисс отложено время с момента начала опыта, по оси ординат - деформация при постоянном напряжении. Участок кривой **ab** носит название первого периода ползучести, участок **bc** - второго периода ползучести и характеризуется постоянной скоростью деформирования, участок **cd** - третий период ползучести.

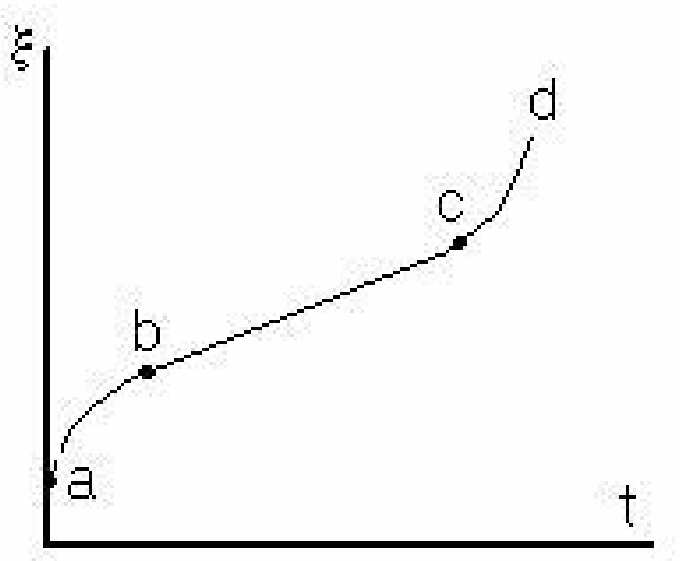


Рис. 4.14. Характерная кривая ползучести материала.

При моделировании длиннопериодных геотектонических процессов первым периодом ползучести можно пренебречь, так как длительность этих процессов неизмеримо больше длительности первого периода ползучести. Это же можно сказать и о третьем периоде ползучести. Таким образом, изучается лишь второй период - установившееся течение с

постоянной скоростью, то есть аппроксимируют поведение реальных объектов поведением максвелловых тел.

Для тела Максвелла функции $K(t), T(t)$, входящие в (4.19) соответственно равны

$$K(t) = \frac{E}{\eta}, T(t) = \frac{E}{\eta} e^{-\frac{E}{\eta}t}, \tag{4.20}$$

где η - вязкость.

Лабораторные опыты показывают ясную зависимость вязкости от напряжений. Однако, для геологической среды в целом вязкость не зависит или слабо зависит от напряжений. Обобщенные реологические свойства геологической среды отличаются от свойств образцов отдельных пород. К такому выводу приходит К.И. Кузнецова [18], анализируя экспериментальные данные и тот факт, что максимальные энергии землетрясений, происходящих в районах с разными скоростями тектонических движений, сильно различаются между собой, то есть максимальная величина энергии сильно зависит от скорости. Если бы скорость релаксации геологической среды возрастала с ростом напряжений (о чем свидетельствуют лабораторные эксперименты), то при больших скоростях движения не могла бы накапливаться значительная упругая энергия, и разница в энергии землетрясений для разных тектонических районов была бы мала. Вероятно, на вязкость геологической среды в целом существенное влияние оказывают особенности ее блокового строения, а именно, релаксация напряжений за счет подвижек блоков тектоносферы вдоль иерархически соподчиненных серий разломов. Как следствие, оценку реологических характеристик тектоносферы в первую очередь необходимо осуществлять не по отдельным образцам, а по косвенным данным для среды в целом.

Переход от полученного решения упругой к решению вязко-упругой задачи осуществим на основе метода аппроксимации Ильюшина [14,15]. Метод аппроксимации позволяет решать квазистатические задачи вязко-упругости в предположении упругости объемной деформации и при наличии решения задачи в рамках упругих моделей. Суть метода аппроксимации заключается в том, что в изображениях преобразования Лапласа - Карсона, уравнения вязко-упругости совпадают с соответствующими уравнениями теории идеальной упругости при формальной замене коэффициентов, которая будет рассматриваться ниже. Таким образом, искомое решение задачи вязко-упругости в изображениях точно совпадает с решением упругой задачи. Выполняя обратное

преобразование Лапласа - Карсона будем иметь искомое решение вязко-упругой задачи.

Рассмотрим применение метода аппроксимации Ильюшина к решению поставленной ранее задачи о напряжениях, возникающих в деформируемой оболочке.

Следуя методу аппроксимации, заменим входящие в выражения (4.18) комбинации упругих постоянных E и ν соответствующими комбинациями модуля объемного сжатия B и величины w_0, равной $w_0 = \frac{1-2\nu}{1+\nu}$. Введение величин B и w_0 связано с тем, что величина модуля B не зависит от времени в результате сделанных ранее предположений об упругости объемной деформации, а с величиной w_0 и ее комбинациями удобнее выполнять прямое и обратное преобразование Лапласа - Карсона. Произведя замену, имеем

$$\begin{aligned}
&\frac{E}{1-\nu^2} = 3B\left[0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right];\\
&\frac{E\nu}{1-\nu^2} = 3B\left[-0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right];\\
&\frac{E}{1+\nu} = 3Bw_0.
\end{aligned} \tag{4.21}$$

Таким образом, выражения (4.18) примут вид

$$\begin{aligned}
&\sigma_{\varphi\varphi} = 3B\left\{\left[0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right]\xi_\varphi + \left[-0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right]\xi_\lambda\right\};\\
&\sigma_{\lambda\lambda} = 3B\left\{\left[0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right]\xi_\lambda + \left[-0.5w_0 + 0.75\left(1 - \frac{1}{1+2w_0}\right)\right]\xi_\varphi\right\};\\
&\tau = \frac{3B}{2}w_0\omega.
\end{aligned} \tag{4.22}$$

Согласно методу аппроксимации А.А. Ильюшина, решение вязко-упругой задачи в изображениях преобразования Лапласа - Карсона будет совпадать с (4.22), при формальной замене $w_0 \to \frac{R^*}{3B}, \frac{1}{1+2w_0} \to g_2^*$.

Следовательно, в изображениях решение вязко-упругой задачи примет вид

$$\sigma^*_{\varphi\varphi} = 0.5\left(R^*\xi^*_\varphi - R^*\xi^*_\lambda\right) + 2.25B\left(\xi^*_\varphi + \xi^*_\lambda\right) - 2.25B\left(g^*_2\xi^*_\varphi + g^*_2\xi^*_\lambda\right);$$
$$\sigma^*_{\lambda\lambda} = 0.5\left(R^*\xi^*_\lambda - R^*\xi^*_\varphi\right) + 2.25B\left(\xi^*_\varphi + \xi^*_\lambda\right) - 2.25B\left(g^*_2\xi^*_\varphi + g^*_2\xi^*_\lambda\right); \qquad (4.23)$$
$$\tau^* = 0.5R^*\omega^*.$$

Выполняя обратное преобразование (4.23), во временной области решение вязко-упругой задачи примет вид

$$\sigma_{\varphi\varphi}(t) = 0.5\left[\int_0^t R(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau) - \int_0^t R(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau)\right] +$$
$$+ 2.25B\left[\xi_\varphi(t) + \xi_\lambda(t)\right] - 2.25B\left[\int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau) + \int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau)\right];$$
$$\sigma_{\lambda\lambda}(t) = 0.5\left[\int_0^t R(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau) - \int_0^t R(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau)\right] + \qquad (4.24)$$
$$+ 2.25B\left[\xi_\varphi(t) + \xi_\lambda(t)\right] - 2.25B\left[\int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau) + \int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau)\right];$$
$$\tau(t) = 0.5\int_0^t R(t-\tau)d\omega(\tau),$$

где $R(t)$- функция релаксации, $g_2(t)$- функция связной ползучести. Для тела Максвелла функция релаксации имеет вид

$$R(t) = Ee^{-\frac{E}{\eta}t}. \qquad (4.25)$$

Функция связной ползучести определяется как [15]

$$g_\beta(t) = 1 - \beta w_1(t) + \beta^2 w_2(t) - \beta^3 w_3(t) + \ldots = 1 + \sum_{i=1}^{m}(-\beta)^i w_i(t);$$
$$w_n(t) = w_0 w_{n-1}(t) + \int_0^t w_{n-1}(t-\tau)dw(\tau); \qquad (4.26)$$
$$w_0 = \frac{1-2\nu}{1+\nu}, w_1(t) = w(t) = \frac{R(t)}{3B}.$$

В нашем случае при $\beta = 2$ [15]

$$g_2(t) = 1 - 2w(t) + 4\left[w_0 w(t) + \int_0^t w(t-\tau)dw(\tau)\right] - \ldots \qquad (4.27)$$

Допустим, что функции $\xi_\varphi, \xi_\lambda, \omega$, будут изменяться во времени по линейным законам $\xi_\varphi(t) = a_\varphi t, \xi_\lambda(t) = a_\lambda t, \omega(t) = a_\omega t$. Коэффициенты $a_\varphi, a_\lambda, a_\omega$ можно определить как отношения $a_\varphi = \dfrac{\xi_\varphi(t)}{t}, a_\lambda = \dfrac{\xi_\lambda(t)}{t}, a_\omega = \dfrac{\omega(t)}{t}$, а величины $\xi_\varphi, \xi_\lambda, \omega$ из уравнений (4.12)-(4.15).

В этом случае интегралы в уравнениях (4.24), с учетом сделанных замечаний относительно реологической модели оболочки (выражений (4.25)-(4.27)), примут вид

$$\int_0^t R(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau) = a_\varphi \eta\left[1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right];$$

$$\int_0^t R(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau) = a_\lambda \eta\left[1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right];$$

$$\int_0^t R(t-\tau)d\omega(\tau) = a_\omega \eta\left[1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right];$$

$$\int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\varphi(\tau) = a_\varphi t - 2a_\varphi \frac{\eta}{3B}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) + 4a_\varphi \frac{w_0}{3B}\eta\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) -$$

$$- 4a_\varphi \frac{E}{\eta}\frac{E^2}{9B^2}\left[t\frac{\eta}{E}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) + \frac{\eta^2}{E^2}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) - t\frac{\eta}{E}\right];$$

$$\int_0^t g_2(t-\tau)d\xi_\lambda(\tau) = a_\lambda t - 2a_\lambda \frac{\eta}{3B}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) + 4a_\lambda \frac{w_0}{3B}\eta\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) -$$

$$- 4a_\lambda \frac{E}{\eta}\frac{E^2}{9B^2}\left[t\frac{\eta}{E}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) + \frac{\eta^2}{E^2}\left(1 - e^{-\frac{E}{\eta}t}\right) - t\frac{\eta}{E}\right]. \qquad (4.28)$$

Подставляя выражения (4.28) в уравнения (4.24) получим решение поставленной задачи в рамках вязко-упругой модели.

Таким образом, данный алгоритм позволяет выполнить расчет напряжений в тонкой вязко-упругой оболочке, зная уравнение ее поверхности до и после деформирования.

Алгоритм решения задачи для случая толстостенной упругой оболочки. Пусть имеется толстостенная оболочка, внешняя поверхность которой задана в криволинейных координатах (α_1, α_2). При этом в декартовой системе координат внешняя поверхность может быть задана тремя координатами

$$x = x(\alpha, \beta),\ y = y(\alpha, \beta),\ z = z(\alpha, \beta), \qquad (4.29)$$

где $x(\alpha,\beta)$, $y(\alpha,\beta)$, $z(\alpha,\beta)$ – непрерывные, с нужным числом производных, функции параметров α и β.

Три скалярных уравнения (4.29) можно заменить одним векторным

$$\vec{r} = \vec{r}(\alpha,\beta). \tag{4.30}$$

Предположим, что под влиянием, каких-либо воздействий оболочка деформировалась, т.е. изменила свою первоначальную форму. Пусть при этом вектор

$$\vec{u}(\alpha_1,\alpha_2) = u_1\vec{e}_1 + u_2\vec{e}_2 + \varpi\vec{n} \tag{4.31}$$

описывает перемещение произвольной точки m, лежащей на внешней поверхности оболочки. Компоненты u_1 и u_2 вектора перемещений $\vec{u}$ будем называть тангенциальными смещениями, а компоненту ϖ – нормальным смещением.

Через m_1 обозначим точку оболочки, расположенную до деформации на перпендикуляре к внешней поверхности в точке m и удаленную от последней на расстояние h. Пусть перемещение точки m_1 описывается вектором

$$\vec{u}^h = u_1^h\vec{e}_1 + u_2^h\vec{e}_2 + \varpi^h\vec{n} \tag{4.32}$$

Сделаем допущение, что *прямолинейные волокна, перпендикулярные к внешней поверхности оболочки, остаются после деформации перпендикулярными к изогнутой внешней поверхности, сохраняя при этом свою длину*. В соответствии со сделанным допущением вектор mm_1 после деформации переходит в вектор перпендикулярный к деформированной внешней поверхности, не изменяя своей длины h. Если обозначить вектор нормали к деформационной поверхности в точке m_1 через n^*, то смысл сделанного допущения заключается в том, что $h\vec{n}$ переходит в $h\vec{n}*$. На рис. 4.15 видно, что

$$h\vec{n} + \vec{u}^h = \vec{u} + h\vec{n}^*$$

или

$$\vec{u}^h = \vec{u} + h(\vec{n}^* - \vec{n}). \tag{4.33}$$

Уравнение деформированной внешней поверхности имеет вид

$$\vec{r}^*(\alpha_1,\alpha_2) = \vec{r}(\alpha_1,\alpha_2) + \vec{u}(\alpha_1,\alpha_2) \tag{4.34}$$

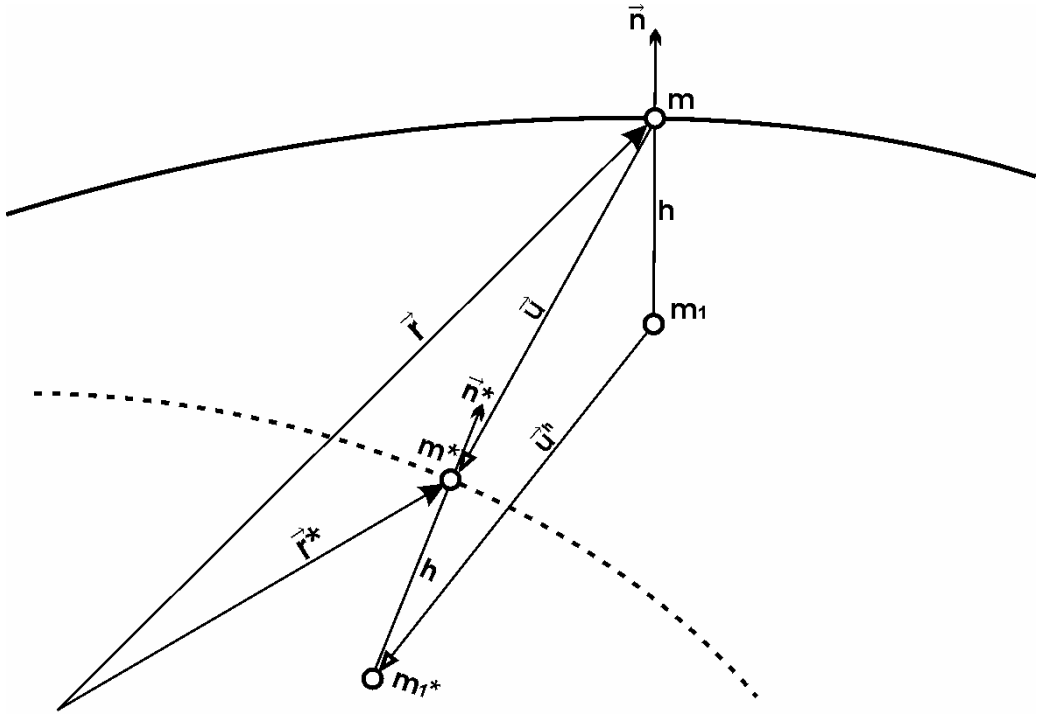


Рис. 4.15. К определению смещений по толщине оболочки.

Таким образом, в качестве криволинейных координат деформированной поверхности можно рассматривать все те же α_1 и α_2 на деформированной внешней поверхности.

Остановимся более детально на законе изменения вектора смещения с глубиной. Следуя [26], получим выражения для единичных векторов координатных линий α_1 и α_2 на деформированной внешней поверхности.

$$\vec{e}_1^{\,*} = \frac{1}{A_1^*}\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_1} \qquad \vec{e}_2^{\,*} = \frac{1}{A_2^*}\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_2} \tag{4.35}$$

Дифференцируя (4.34), с учетом правила дифференцирования ортов, имеем

$$\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_1} = A_1\vec{e}_1 + \frac{\partial u_1}{\partial \alpha_1}\vec{e}_1 + \frac{\partial u_2}{\partial \alpha_1}\vec{e}_2 + \frac{\partial \varpi}{\partial \alpha_1}\vec{n} + u_1\frac{\partial \vec{e}_1}{\partial \alpha_1} + u_2\frac{\partial \vec{e}_2}{\partial \alpha_1} + \varpi\frac{\partial \vec{n}}{\partial \alpha_1}, \tag{4.36}$$

откуда получаем

$$\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_1} = A_1(1+\varepsilon_1)\vec{e}_1 + A_1\omega_1\vec{e}_2 - A_1\vartheta_1\vec{n}, \tag{4.37}$$

где

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{A_1}\frac{\partial u_1}{\partial \alpha_1} + \frac{1}{A_1A_2}\frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2}u_2 + \frac{\varpi}{R_1}; \tag{4.38}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{A_1}\frac{\partial u_2}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2}\frac{\partial A_1}{\partial \alpha_2} u_1, \quad \vartheta_1 = -\frac{1}{A_1}\frac{\partial \varpi}{\partial \alpha_1} + \frac{u_1}{R_1} \tag{4.39}$$

Аналогично получаем

$$\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_2} = A_2(1+\varepsilon_2)\vec{e}_2 + A_2\omega_2\vec{e}_1 - A_2\vartheta_2\vec{n} \tag{4.40}$$

где

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{A_2}\frac{\partial u_2}{\partial \alpha_2} + \frac{1}{A_1 A_2}\frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} u_1 + \frac{\varpi}{R_2}; \tag{4.41}$$

$$\omega_2 = \frac{1}{A_2}\frac{\partial u_1}{\partial \alpha_2} - \frac{1}{A_1 A_2}\frac{\partial A_2}{\partial \alpha_1} u_2, \qquad \vartheta_2 = -\frac{1}{A_2}\frac{\partial \varpi}{\partial \alpha_2} + \frac{u_2}{R_2}. \tag{4.42}$$

Вычислим параметры Ламе для деформированной поверхности $\vec{r}^{\,*} = \vec{r}(\alpha_1, \alpha_2)$. При этом будем пренебрегать произведениями перемещений и их производных, как величинами второго порядка малости.

$$A_1^* = \sqrt{\frac{\partial r^*}{\partial \alpha_1}\cdot\frac{\partial r^*}{\partial \alpha_1}} = A_1\sqrt{1+2\varepsilon_1+\left(\varepsilon_1^2+\varpi_1^2+\vartheta_1^2\right)} \approx A_1(1+\varepsilon_1);$$

$$A_2^* \approx A_2(1+\varepsilon_2) \tag{4.43}$$

и, следовательно,

$$\begin{aligned} \vec{e}_1^{\,*} &= \frac{1}{A_1^*}\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_1} \approx \vec{e}_1 + \omega_1\vec{e}_2 - \vartheta_1\vec{n}; \\ \vec{e}_2^{\,*} &= \frac{1}{A_2^*}\frac{\partial \vec{r}^{\,*}}{\partial \alpha_2} \approx \vec{e}_2 + \omega_2\vec{e}_1 - \vartheta_2\vec{n}. \end{aligned} \tag{4.44}$$

Далее находим

$$\vec{n}^{\,*} = \frac{\vec{e}_1^{\,*}\times\vec{e}_2^{\,*}}{\left|\vec{e}_1^{\,*}\times\vec{e}_2^{\,*}\right|} \approx \vec{n} + \vartheta_1\vec{e}_1 + \vartheta_2\vec{e}_2. \tag{4.45}$$

Вернемся к формуле (4.33). Подставляя в нее вместо $\vec{n}*$ его выражение (4.45), получим

$$\vec{u}^{\,h} = \vec{u} + h\left(\vartheta_1\vec{e}_1 + \vartheta_2\vec{e}_2\right) \tag{4.46}$$

или

$$u_1^h = u_1 + h\vartheta_1, \; u_2^h = u_2 + h\vartheta_2, \; \varpi^h = \varpi. \tag{4.47}$$

Формулы (4.47) позволяют сделать следующий вывод: *сделанное допущение о том, что прямолинейные волокна, перпендикулярные к внешней поверхности оболочки, остаются после деформации перпендикулярными к изогнутой внешней поверхности, сохраняя при этом свою длину, приводит к линейному закону изменения смещений по толщине оболочки, причем нормальное смещение не зависит от h.*

Таким образом, зная величину вектора смещений $\vec{u}(\alpha_1,\alpha_2)$ на поверхности оболочки, нормали к поверхности оболочки до $\vec{n}$ и после $\vec{n}^*$ деформирования, появляется возможность определения вектора смещений $\vec{u}(\alpha_1,\alpha_2)$ в любой точке по толщине оболочки. Компоненты нормалей $\vec{n}$ и $\vec{n}^*$ не сложно определить, зная уравнение внешней поверхности оболочки до $\vec{r}(\alpha_1,\alpha_2)$ и после $\vec{r}*(\alpha_1,\alpha_2)$ деформации.

Сделаем допущения относительно величины вектора смещений и его направления.

На поверхности деформируемой оболочки величина вектора смещений равна величине $|\vec{u}| = \xi = |r*(\alpha_1,\alpha_2) - r(\alpha_1,\alpha_2)|$ и он ориентировании, в соответствии с (4.3)-(4.11) по нормали к внешней поверхности деформируемой оболочки.

Выделим в оболочке элемент в виде параллелепипеда (рис. 4.16), размеры которого $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ выберем таким образом, чтобы в его пределах можно было пренебречь сферичностью земной поверхности. Ориентировку элемента сделаем следующую – две боковые грани параллельны меридиану, проходящему по центру внешней поверхности элемента. Для рассматриваемого элемента введем связанную с ним систему прямоугольных координат: ось Y расположим вдоль меридиана, проходящего через центр элемента, ось X перпендикулярна Y в плоскости земной поверхности, ось Z - “вниз”, перпендикулярно внешней поверхности. В пределах элемента будем рассматривать шесть точек, положение которых показано на рис. 4.16.

Определив координаты (широту и долготу) указанных шести точек, в соответствии со сделанными ранее допущениями, определяем в них компоненты вектора смещения $\vec{u}$, а затем, воспользовавшись конечно-разностными аналогами производных, определяем элементы тензора деформаций ξ_{ij} в центральной точке рассматриваемого элемента оболочки

$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u_1}{\partial x}, \varepsilon_{yy} = \frac{\partial u_2}{\partial y}, \varepsilon_{zz} = \frac{\partial \varpi}{\partial z};$$

$$\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x}\right), \varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_1}{\partial z} + \frac{\partial \varpi}{\partial x}\right), \varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_2}{\partial z} + \frac{\partial \varpi}{\partial y}\right), \quad (4.48)$$

через которые на основании закона Гука для изотропной упругой среды находим элементы тензора напряжений σ_{ij} [21]

$$\begin{aligned}
&\sigma_{xx} = \lambda\left(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}\right) + 2\mu\varepsilon_{xx};\\
&\sigma_{yy} = \lambda\left(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}\right) + 2\mu\varepsilon_{yy};\\
&\sigma_{zz} = \lambda\left(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy} + \varepsilon_{zz}\right) + 2\mu\varepsilon_{zz};\\
&\sigma_{xy} = \sigma_{yx} = \mu\varepsilon_{xy};\\
&\sigma_{xz} = \sigma_{zx} = \mu\varepsilon_{xz};\\
&\sigma_{yz} = \sigma_{zy} = \mu\varepsilon_{yz}.
\end{aligned} \tag{4.49}$$

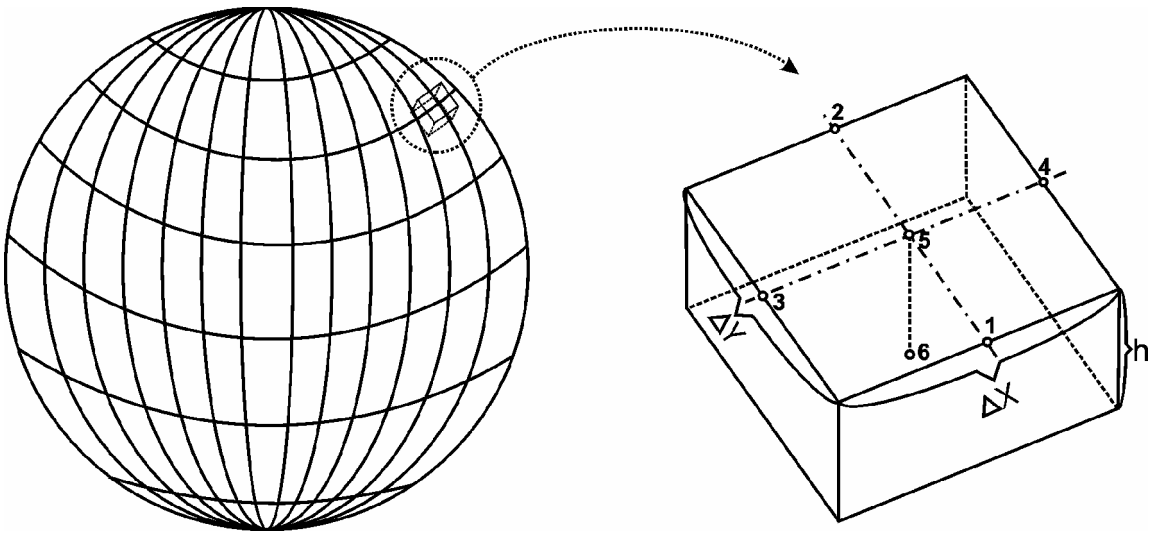


Рис. 4.16. К определению деформаций и напряжений в оболочке.

Зная элементы тензора напряжений, можно рассчитать характеристики инвариантные к выбору системы координат, и которые в свою очередь будут отражать основные особенности напряженного состояния. В качестве таких величин могут быть использованы, например, главные напряжения и оси их действия, сумма нормальных напряжений и интенсивность касательных напряжений

$$\begin{aligned}
&\sigma' = \sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}\\
&\sigma'' = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{\left(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}\right)^2 + \left(\sigma_{yy} - \sigma_{zz}\right)^2 + \left(\sigma_{zz} - \sigma_{xx}\right)^2 + 6\left(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{yz}^2 + \sigma_{zx}^2\right)}
\end{aligned} \tag{4.50}$$

В случае ограниченных участков земной поверхности можно использовать модель упругой плиты, пренебрегая сферичностью земной

поверхности, что в значительной мере упрощает вышеописанный алгоритм.

При выполнении исследований, основные результаты которых нашли отражение в настоящей монографии, на первом этапе был реализован алгоритм расчета напряжений в тонкой вязко-упругой оболочке [32]. Несколько позже появилась возможность выполнения расчетов в рамках упругой толстостенной оболочки [9, 10]. Возникал вопрос о степени соответствия результатов, полученных с помощью этих двух подходов при оценке влияния на напряженное состояние одинаковых факторов. В качестве таких факторов были выбраны короткопериодные вариации скорости вращения Земли, чандлеровские и годичные качания полюсов и лунно-солнечные приливы. Выбор именно этих факторов был связан с тем, что относительная малость периода их действия позволяет пренебречь процессами релаксации и ползучести, и есть все основания полагать, что порядок напряжений, вычисленных разными подходами для вязко-упругой и упругой модели, будет одинаковым. Для сравнения использовались те напряжения, которые возможно рассчитать обоими подходами, а именно – горизонтальные напряжения сжатия-растяжения (в случае толстостенной оболочки – горизонтальные напряжения сжатия-растяжения, действующие на внешней поверхности оболочки). Из сопоставления результатов следует, что отличие в напряжениях, обусловленных одними и теми же факторами, но рассчитанными двумя различными алгоритмами отличаются не более чем на 20 %. Принимая во внимание, что в настоящих исследованиях главным образом интерес представляет порядок возникающих напряжений, можно утверждать следующее. *Каждый из рассмотренных подходов имеет свои достоинства и недостатки, при этом ряд закономерностей распределения полей напряжений, полученных в рамках толстостенной упругой оболочки, можно перенести на результаты, рассчитанные для тонкой вязко-упругой оболочки, с учетом их изменения во времени за счет процессов ползучести и релаксации.*

4.4. Деформации земного эллипсоида и поля напряжений в тектоносфере, возникающие в результате вариаций ротационного режима Земли

В настоящее время показано, что фигура Земли очень близка к фигуре равновесия вращающейся неоднородной по радиусу жидкости [31].

С учетом близости фигуры планеты к фигуре равновесия вращающейся неоднородной жидкости, сделаем следующее допущение: *при любых вариациях ротационного режима Земли, ее внешняя оболочка,*

синхронно изменяясь, сохраняет фигуру равновесия, соответствующую новым параметрам ротационного режима.

Деформации земного эллипсоида в результате изменения скорости вращения Земли. Несомненно, что изменение скорости вращения планеты будет сказываться на ее сжатии, при этом верхняя оболочка Земли будет некоторым образом деформироваться, за счет чего в ней будут накапливаться механические напряжения. Установим закон, в соответствии с которым будет возможно оценить изменение параметров земного эллипсоида от скорости вращения планеты. Для определения этой связи воспользуемся основными положениями, вытекающими из теории Ляпунова для фигур равновесия вращающейся неоднородной по радиусу жидкости [23]. Основной геометрической характеристикой земного эллипсоида, являющейся функцией скорости вращения, является его сжатие ε, определяемое как

$$\varepsilon = \frac{a-b}{a} \tag{4.51}$$

где a и b – большая и малая полуоси земного эллипсоида, соответственно.

Для фигуры вращающейся неоднородной жидкости сжатие с точностью до малых первого порядка можно определить из уравнения

$$\frac{C}{C-B}\left(\varepsilon - \frac{q}{2}\right) + \frac{2}{5}\sqrt{\frac{5\varepsilon}{2q} - 1} = 1, \tag{4.52}$$

где C, B - моменты инерции относительно осей b, a, q - отношение центробежной силы на экваторе к силе тяжести, для случая сферической Земли.

В свою очередь величина q определяется выражением

$$q = \frac{\varpi^2 R^3}{kM}, \tag{4.53}$$

где ϖ - угловая скорость вращения, R - радиус сферы, объем которой равен объему земного эллипсоида, M - масса Земли, k - гравитационная постоянная.

Отношение $\frac{C}{C-B}$ обратно величине динамического сжатия H фигуры равновесия. С точностью до малых первого порядка, динамическое сжатие H для фигуры равновесия вращающейся неоднородной жидкости

$$H = \frac{R^5 \overline{\rho}\left(\varepsilon - \frac{q}{2}\right)}{3\int_0^R \rho(r) r^4 dr}, \tag{4.54}$$

где $\overline{\rho}$ - средняя плотность Земли, $\rho(r)$ - закон изменения плотности с глубиной.

Подставляя (4.53) и (4.54) в (4.52) можно определить зависимость сжатия ε от угловой скорости вращения ϖ, зная массу Земли, ее среднюю плотность, радиус сферы, объем которой равен объему Земли и закон изменения плотности с глубиной.

Воспользуемся несколько иным подходом, позволяющим не делать предположение относительно закона изменения плотности с глубиной. Суть подхода заключается в следующем. Из астрономических данных известно динамическое сжатие H_0 Земли в настоящее время, также известны сжатие современной фигуры Земли ε_0, ее масса, радиус равновеликой сферы и скорость ее вращения. Следовательно, величину

$$H' = \frac{R^5 \overline{\rho}}{3\int_0^R \rho(r) r^4 dr}, \tag{4.55}$$

входящую в уравнение (4.54) можно определить как

$$H' = \frac{H_0}{\left(\varepsilon_0 - \frac{q_0}{2}\right)} \tag{4.56}$$

Как видно из выражения (4.55) величина H' не является функцией скорости вращения, изменяющейся во времени, то есть является постоянной величиной, при условии неизменности объема планеты и закона изменения плотности во времени.

С учетом сказанного из уравнения (4.52), сжатие фигуры равновесия будет определяться выражением

$$\varepsilon = \frac{0.4q}{\left(1 - \frac{1}{H'}\right)^2 + 0.16} \tag{4.57}$$

где величина H' определяется согласно (4.56).

Для современной фигуры планеты из выражения (4.57) получаем $\varepsilon = \frac{1}{299.1}$, что очень близко к сжатию, полученному по геодезическим и гравиметрическим данным. Это лишний раз подтверждает предположение о близости фигуры Земли к фигуре равновесия вращающейся неоднородной жидкости.

Изменение сжатия Земли в геологическом прошлом (для фанерозоя), определенное из (4.57) в предположении линейного затухания скорости вращения, характеризуемого удлинением земных суток на величину порядка $2 \cdot 10^{-5}$ с/год, представлено на рисунке 4.17.

Пусть в некоторый момент времени Земля вращалась с некоторой угловой скоростью ϖ, при этом ее внешняя оболочка является эллипсоидом вращения со сжатием ε. Уравнение ее поверхности имело вид

$$r(\varphi, \lambda) = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \varphi + b^2 \cos^2 \varphi}}. \qquad (4.58)$$

Допустим, под действием некоторых сил, начиная с рассматриваемого момента времени, происходит изменение скорости вращения планеты. Через некоторое время скорость изменится на некоторую величину, что приведет к изменению сжатия эллипсоида (рис. 4.18).

Уравнение деформированной внешней оболочки со сжатием ε^* примет вид

$$r^*(\varphi, \lambda) = \frac{a^* b^*}{\sqrt{a^{*2} \sin^2 \varphi + b^{*2} \cos^2 \varphi}}. \qquad (4.59)$$

В свою очередь полуоси a, b, a^*, b^* связаны со сжатием, в предположении инвариантности объема планеты, следующими соотношениями

$$a = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \frac{V}{\pi(1-\varepsilon)}}, \qquad a^* = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \frac{V}{\pi(1-\varepsilon^*)}},$$
$$b = a(1-\varepsilon), \qquad b^* = a^*(1-\varepsilon^*), \qquad (4.60)$$

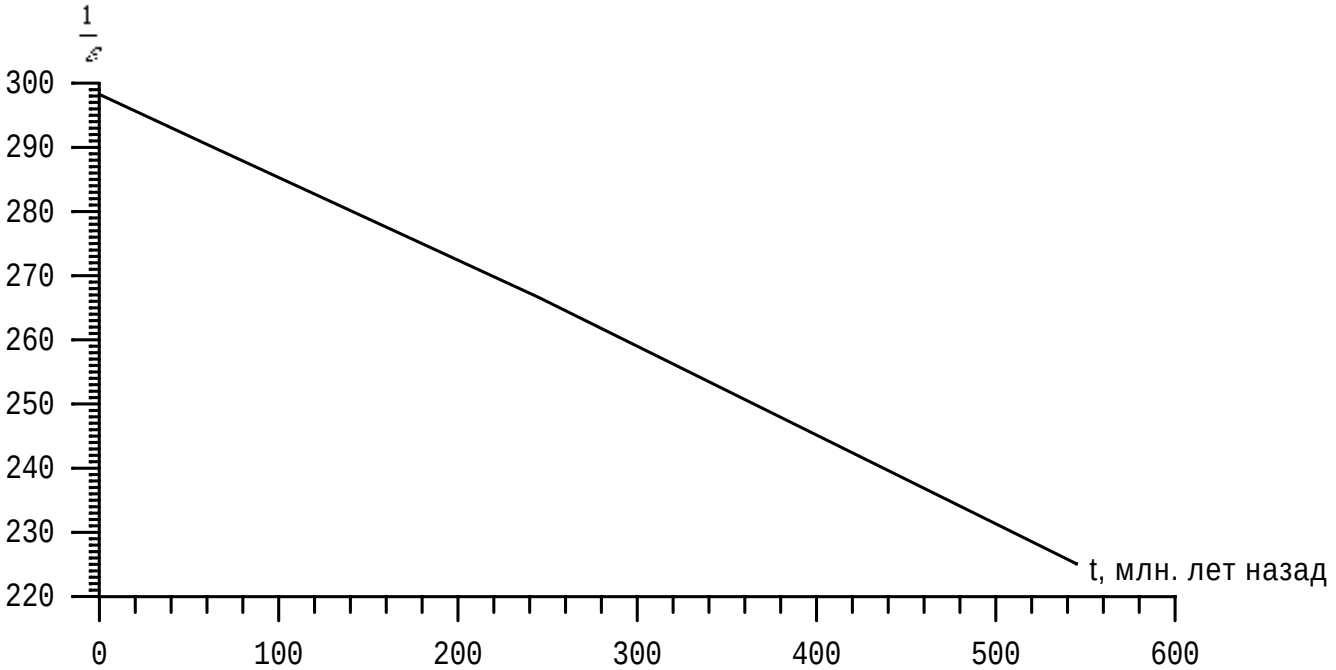
где V - объем планеты.

Сжатие эллипсоидов для различных скоростей вращения планеты могут в свою очередь быть определены из уравнения (4.57).

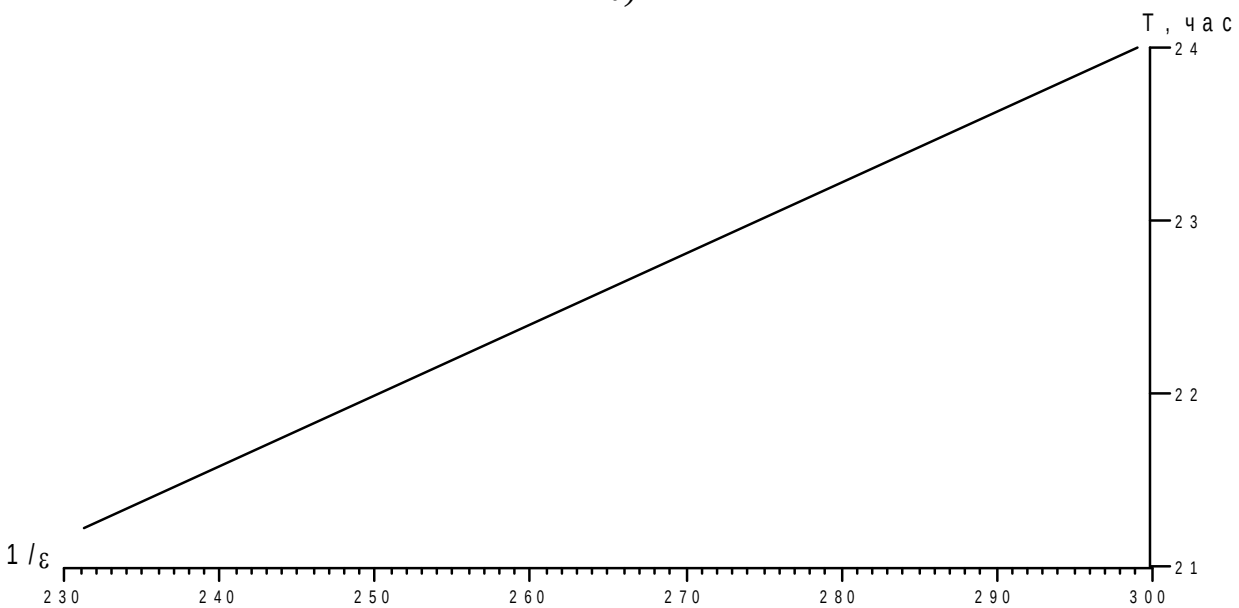
Напряженное состояние тектоносферы, обусловленное изменением скорости вращения Земли. Зная уравнения поверхности оболочки до (4.58) и после (4.59) деформирования, возникающие при этом

напряжения можно рассчитать, воспользовавшись алгоритмами, изложенными выше в разделе 4.3.

Моделирование полей напряжений, обусловленных вековым затуханием скорости вращения Земли, было выполнено в рамках модели тонкой упруго-вязкой оболочки [32]. Удлинение суток было принято равным $2 \cdot 10^{-5}$ с/год. Расчеты проводились для трех эллипсоидов: “палеозойского” ε=1/225.1, “мезозойского” ε=1/266.6, “кайнозойского” ε=1/289.8, начальное сжатие которых определялось на основе подхода, описанного выше.



а)



б)

Рис. 4.17. Изменение сжатия земного эллипсоида в геологическом прошлом (*а*) и его зависимость от длительности суток (*б*)
(удлинение суток принято равным $2 \cdot 10^{-5}$ с/год).

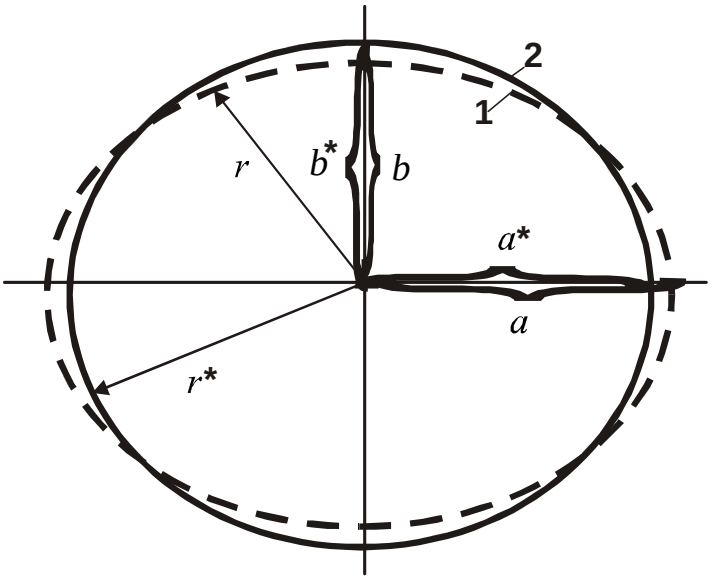


Рис. 4.18. Деформация эллипсоида при уменьшении скорости вращения:
1 - до деформации; 2 - после деформации.

В случае короткопериодных вариаций скорости вращения Земли, при которых возможно пренебречь процессами ползучести и релаксации, расчеты полей напряжений выполнялись в рамках модели толстостенной оболочки. Оценивались поля напряжений, возникающие при короткопериодных вариациях скорости вращения, характеризующихся периодическими изменениями длительности суток до 0,002 – 0,003 с.

Как следует из результатов расчетов, в случае изменения скорости вращения в тектоносфере Земли будет возникать осесимметричное поле напряжений, основные характеристики которого приведены ниже.

Вековое затухание скорости вращения Земли. Моделирование, выполненное в рамках вязко-упругой тонкой оболочки свидетельствует о том, что в тектоносфере будут иметь место равные меридиональные и широтные напряжения. В виду осевой симметрии, на рисунке 4.19 поля напряжений представлены в виде графиков распределения напряжений вдоль меридиана. *Как видно на рисунке 4.19 при затухании скорости вращения в верхней оболочке планеты возникает три зоны: две растяжения ($+90^0 \div \approx +35^0$, $-90^0 \div \approx -35^0$) и одна сжатия ($\approx -35^0 \div \approx +35^0$). При этом максимальные растягивающие напряжения будут на полюсах, а сжимающие – на экваторе.*

При принятом затухании угловой скорости процесс накопления напряжений продолжается ≈ до 1 млн. лет, после чего, за счет процессов релаксации, напряжения не увеличиваются, создавая в оболочке постоянное во времени поле напряжений (~10^5 Па), при этом

первоначальное сжатие эллипсоида, как видно из рисунка 4.19, оказывает некоторое влияние на величину возникающих напряжений.

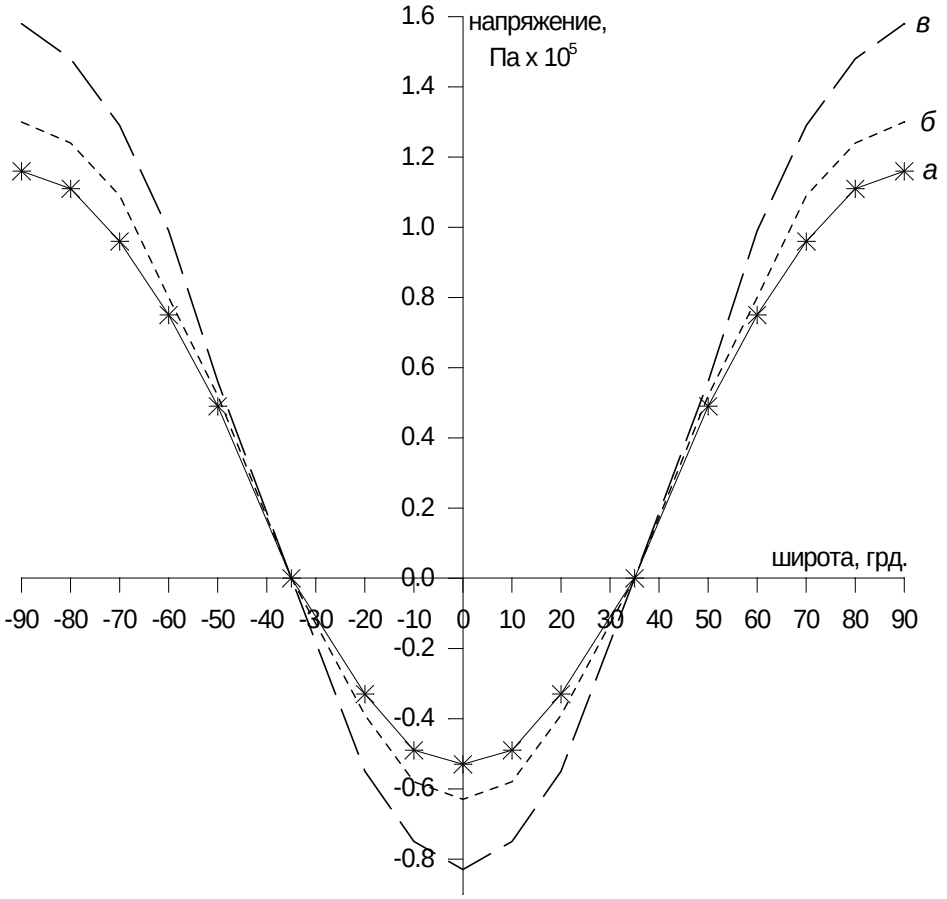


Рис. 4.19. Кривые максимальных напряжений, возникающих при удлинении суток на $2\cdot10^{-5}$ с/год, для эллипсоидов с различным сжатием:
“кайнозойского”- *а*, “мезозойского”- *б*, “палеозойского”- *в*.

Короткопериодные вариации скорости вращения. Анализ полей напряжений, полученных в результате решения упругой задачи для толстостенной оболочки [9,10], позволяет утверждать, что, как и в случае тонкой вязко-упругой оболочки, будут иметь место равные широтные и меридиональные напряжения сжатия-растяжения, зоны сжатия и растяжения также будут граничить по широте $\pm35^0$, однако в отличие от предыдущего решения появляется возможность оценки скалывающих напряжений (рис. 4.20).

При короткопериодном изменении длительности суток на 0,003 с горизонтальные напряжения сжатия-растяжения достигают $4\cdot10^2$ Па и имеют максимальные значения на полюсах и $2\cdot10^2$ Па на экваторе; вертикальные скалывающие – $0{,}8\cdot10^2$ Па достигают максимальных значений на широте $\pm45^0$.

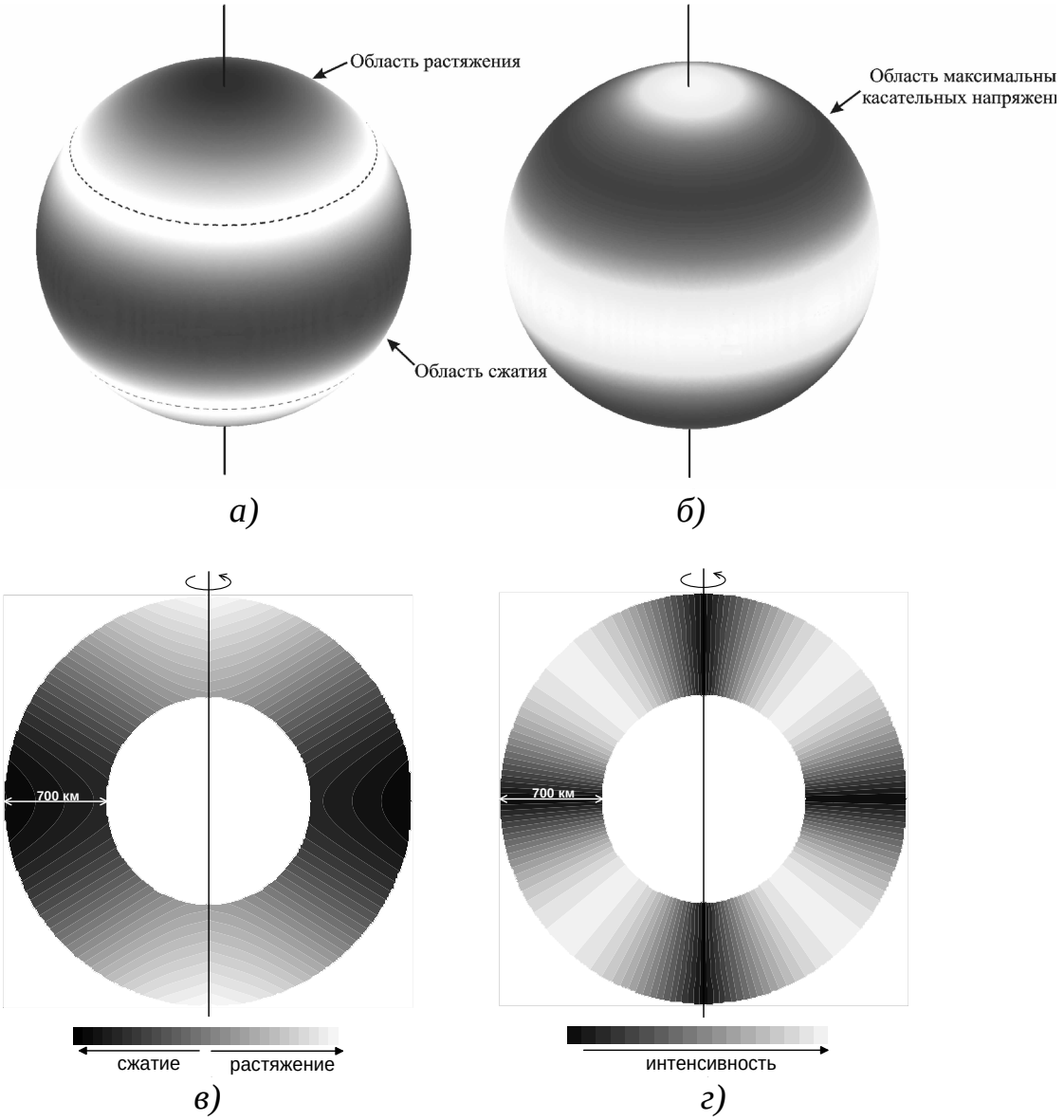


Рис. 4.20. Модель распределения максимальных напряжений сжатия-растяжения (*а*) и максимальных скалывающих напряжений (*б*) и в меридианном сечении тектоносферы (*в*) и (*г*) при увеличении продолжительности суток на 0,003 с.

Деформации земного эллипсоида в результате дрейфа оси вращения Земли. Как и в случае изменения скорости вращения, при изменении положения оси вращения в теле планеты будут происходить деформации земного эллипсоида. Перемещение точек земного эллипсоида будут такие, чтобы привести фигуру планеты к фигуре равновесия для нового положения оси вращения.

Выберем систему прямоугольных координат, в которой ось вращения Земли совпадает с осью Y. Если аппроксимировать внешнюю поверхность планеты эллипсоидом вращения, то ее уравнение будет иметь вид аналогичный (4.58). Предположим, под действием некоторых сил, начиная

с рассматриваемого момента времени, имеет место дрейф оси вращения в теле Земли. Через некоторое время ось вращения сместится на определенный угол α относительно оси Y в плоскости меридиана. При этом произойдет деформирование верхней оболочки планеты по схеме показанной на рисунке 4.21.

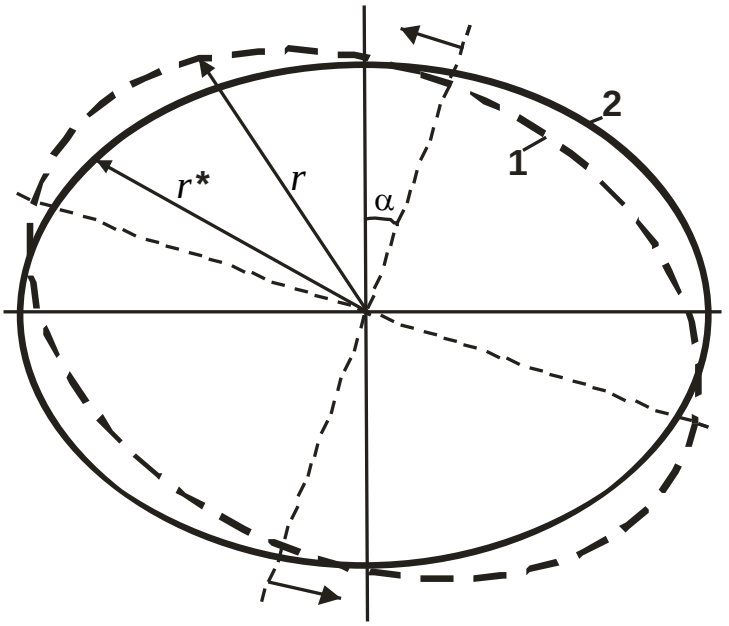


Рис. 4.21. Деформация эллипсоида при изменении положения оси вращения:
1 - до деформации; 2 - после деформации.

Как было показано в работах Дарвина, Миланковича, Голда [24], *сам факт значительной миграции полюса возможен, если Земля настолько быстро изменяет свою форму, что полюсы вращения совпадают с полюсами геоида. Таким образом, сделанное предположение является необходимым условием при рассмотрении явлений, связанных с дрейфом оси вращения.*

Учитывая изложенное, уравнение поверхности деформированного земного эллипсоида в системе XYZ определим следующим образом. В системе X'Y'Z', где Y' совпадает с новым положением оси вращения, уравнение поверхности деформированного земного эллипсоида в декартовых координатах будет иметь вид

$$\frac{x'^2}{a^2}+\frac{y'^2}{b^2}+\frac{z'^2}{a^2}=1 \qquad (4.61)$$

С учетом формул перехода от системы X'Y'Z' к системе XYZ

$$x' = x\cos\alpha - y\sin\alpha;\ y' = y\cos\alpha + x\sin\alpha;\ z' = z,$$

преобразуем (4.61) и получим уравнение поверхности деформированного земного эллипсоида в системе координат XYZ

$$\frac{[x\cos\alpha - y\sin\alpha]^2}{a^2} + \frac{[y\cos\alpha + x\sin\alpha]^2}{b^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1 \qquad (4.62)$$

Принимая во внимание, что

$$x = r^* \cos\varphi\cos\lambda;\ y = r^* \sin\varphi;\ z = r^* \cos\varphi\sin\lambda$$

из выражения (4.62) получаем уравнение поверхности деформированного земного эллипсоида

$$\begin{aligned} r^*(\varphi,\lambda) = ab[&\cos^2\varphi\cos^2\lambda(b^2\cos^2\alpha + a^2\sin^2\alpha) + \\ &+ \tfrac{1}{2}\sin 2\varphi\sin 2\alpha\cos\lambda(a^2 - b^2) + b^2\cos^2\varphi\sin^2\lambda + \\ &+ \sin^2\varphi(b^2\sin^2\alpha + a^2\cos^2\alpha)]^{-1/2} \end{aligned} \qquad (4.63)$$

Напряженное состояние тектоносферы, обусловленное дрейфом оси вращения Земли. Как и в случае вариаций скорости вращения, при моделировании полей напряжений, обусловленных дрейфом оси вращения в теле Земли, расчеты выполнялись отдельно для случая векового дрейфа и короткопериодных перемещений географических полюсов. Поверхность оболочки до и после деформирования определяется уравнениями (4.58) и (4.63). Возникающие при этом напряжения оцениваются с использованием подходов, изложенных выше в разделе 4.2.

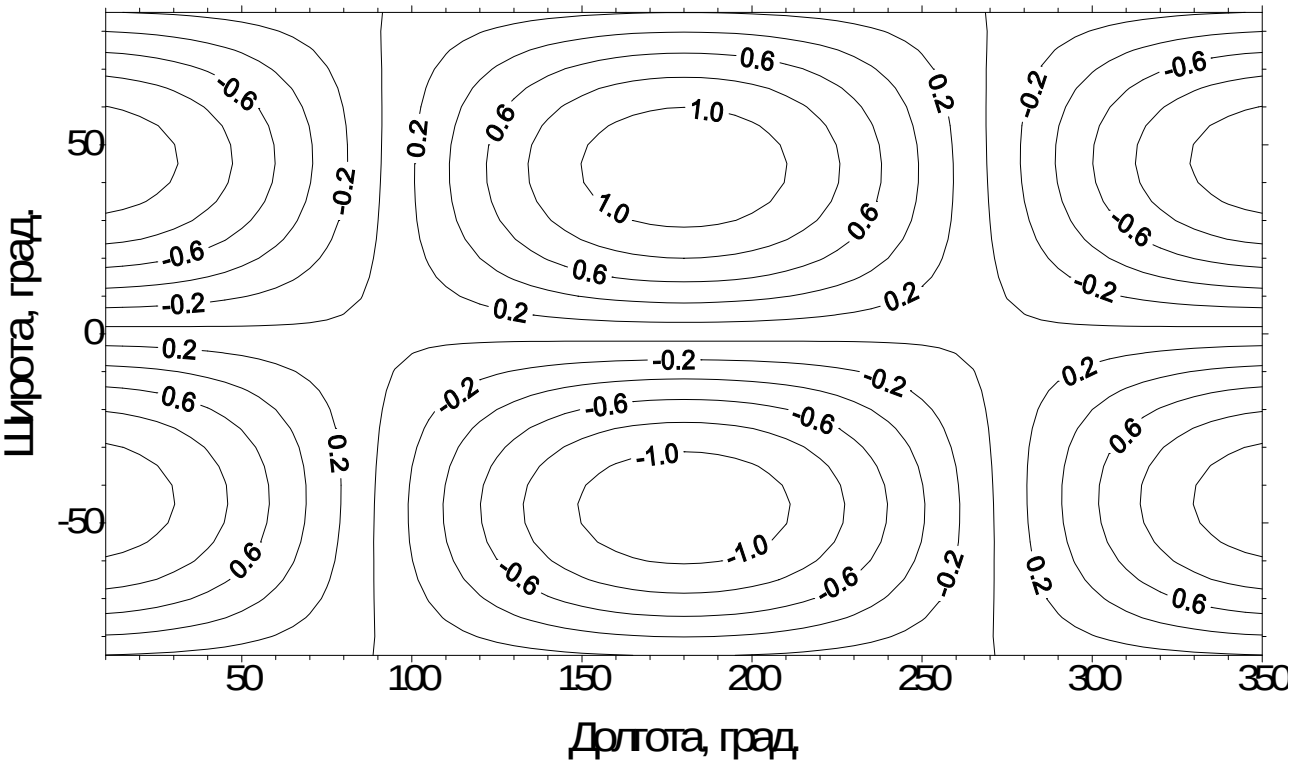
Вековой дрейф оси вращения. Дрейф оси вращения предполагался происходящим по линейному закону. Моделирование выполнялось для различных скоростей дрейфа в диапазоне 0.5 °/млн.лет – 2 °/млн.лет [32].

Анализ результатов расчетов позволяет сделать следующие выводы.

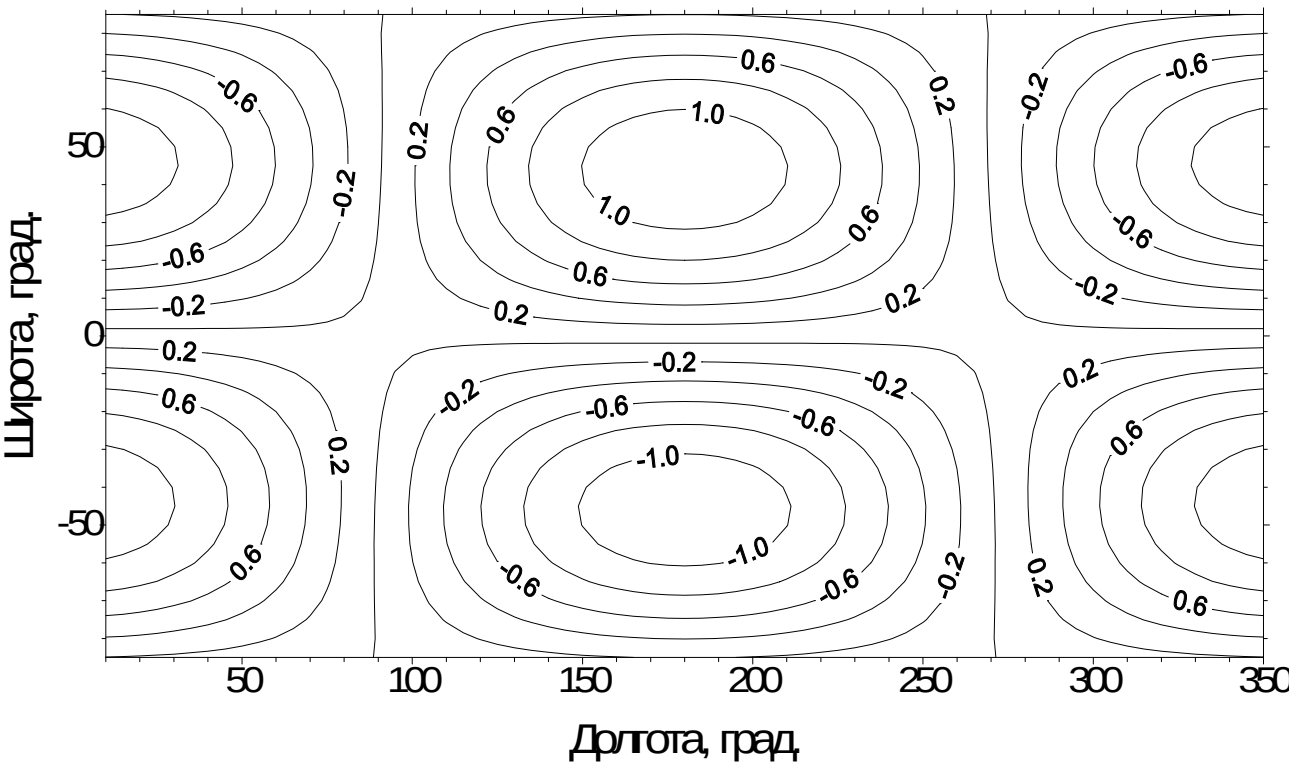
При дрейфе оси вращения в меридиональной плоскости в двух квадрантах верхней оболочки планеты возникают зоны сжатия, а в двух других – растяжения. При этом будут иметь место равные широтные и меридиональные напряжения сжатия-растяжения, достигающие максимальных значений для широты ±45 ° в плоскости дрейфа оси вращения (рис. 4.22).

На процесс накопления напряжений в верхней оболочке планеты существенное влияние, наряду с угловым перемещением оси вращения в теле Земли, оказывает скорость перемещения (рис. 4.23).

Для современного эллипсоида при скоростях дрейфа > 1.8 °/млн. лет напряжения достигнут величины ≥ 10^7 Па при угловом перемещении оси вращения Земли на ≈ 1 ° в плоскости меридиана.



а)



б)

Рис. 4.22. Распределение напряжений $\sigma_{\varphi\varphi}$ (*а*) и $\sigma_{\lambda\lambda}$ (*б*) (Па*10^7) в верхней оболочке планеты, возникающих при дрейфе оси вращения в плоскости нулевого меридиана со скоростью 2 ^{0}/млн.лет за 1млн.лет.

Изменение сжатия земного эллипсоида, обусловленное затуханием скорости вращения, также оказывает влияние на процесс накопления напряжений в оболочке. Качественный характер распределения напряжений остается прежним (в двух квадрантах - зоны сжатия, в двух - растяжения). Однако величины скоростей дрейфа и угловых перемещений, необходимых для накопления одних и тех же напряжений, несколько отличаются от этих же величин для современного земного эллипсоида (рис. 4.23).

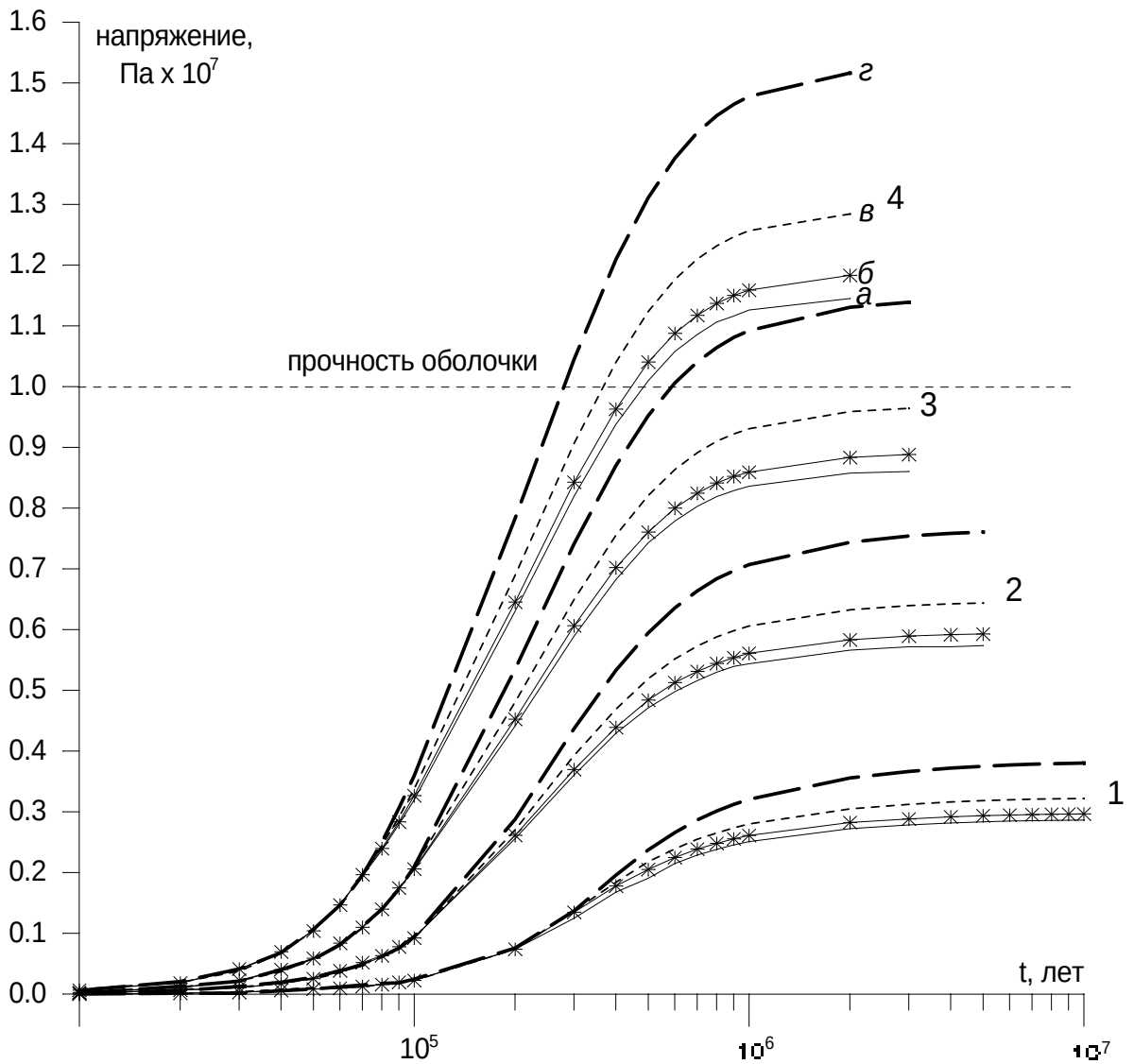


Рис. 4.23. Кривые накопления максимальных растягивающих напряжений при изменении положения оси вращения со скоростью: 1- 0,5 ^{0}/млн. лет; 2- 1 ^{0}/млн. лет; 3- 1,5 ^{0}/млн. лет; 4- 2 ^{0}/ млн. лет, для “современного”- *а*, “кайнозойского”- *б*, “мезозойского”- *в* и “палеозойского”- *г* эллипсоидов.

Следовательно, скорость вращения Земли и ее изменение (степень сжатия эллипсоида) оказывает косвенное влияние на накопление напряжений, вызванное дрейфом оси вращения.

Таким образом, *перемещения оси вращения в теле планеты, при определенных условиях, могут вызывать накопление в тектоносфере Земли значительных напряжений, достаточных для протекания процессов структурообразования*.

Короткопериодные перемещения географических полюсов. Моделирование полей напряжений, возникающих под действием короткопериодных изменений положения географических полюсов, выполнялось для “современного” эллипсоида (эллипсоид Красовского) [9,10].

Как и в случае тонкой оболочки, при решении данной задачи в рамках толстостенной упругой оболочки, при смещении географических полюсов по поверхности Земли, в двух квадрантах верхней оболочки планеты возникают зоны сжатия, а в двух других – растяжения. При смещении полюсов на 0,5”, в тектоносфере будут возникать горизонтальные напряжения сжатия–растяжения до $3{,}25 \cdot 10^3$ Па (рис. 4.24, *а*). Необходимо отметить, что при решении данной задачи в рамках толстостенной оболочки, появляется возможность анализа скалывающих напряжений. Для рассматриваемой величины дрейфа максимальные вертикальные скалывающие напряжения будут достигать величины $0{,}82 \cdot 10^3$ Па и приурочены к областям сочленения зон сжатия и растяжения (4.24, *б*), как показывают расчеты, наибольшие значения данные напряжения будут достигать в двух экваториальных областях и на полюсах.

Принимая во внимание, что траектория дрейфа оси вращения Земли представляет собой сложную кривую, являющуюся суммой циклических компонент, с периодами, начиная от одного земного года и заканчивая – галактическим, становится очевидным, что поля напряжений, обусловленные перемещением географических полюсов, будут меняться во времени. Будет иметь место дрейф полей напряжений по сути своей аналогичный перемещению поля напряжений, обусловленному лунно-солнечными приливами, рассмотренному ниже, но имеющий значительно больший временной период. Данный факт крайне важен для объяснения ряда вопросов геотектоники, которые более детально рассмотрены ниже в разделе 4.5.

Выполненные расчеты позволяют сделать следующие выводы, представляющие интерес при гео- и сейсмотектонических исследованиях:

– *При изменении скорости вращения в верхней оболочке планеты возникает осесимметричное поле, имеющее три зоны сжатия-растяжения, граничащие по широте* $\approx \pm 35^0$*; скалывающие напряжения будут достигать максимальных значений на широте* $\approx \pm 45^0$.

– *При принятом затухании угловой скорости вращения (удлинение суток* $2 \cdot 10^{-5}$ *с/год) в тектоносфере будет действовать постоянное во времени поле напряжений* $\sim 10^5$ *Па.*

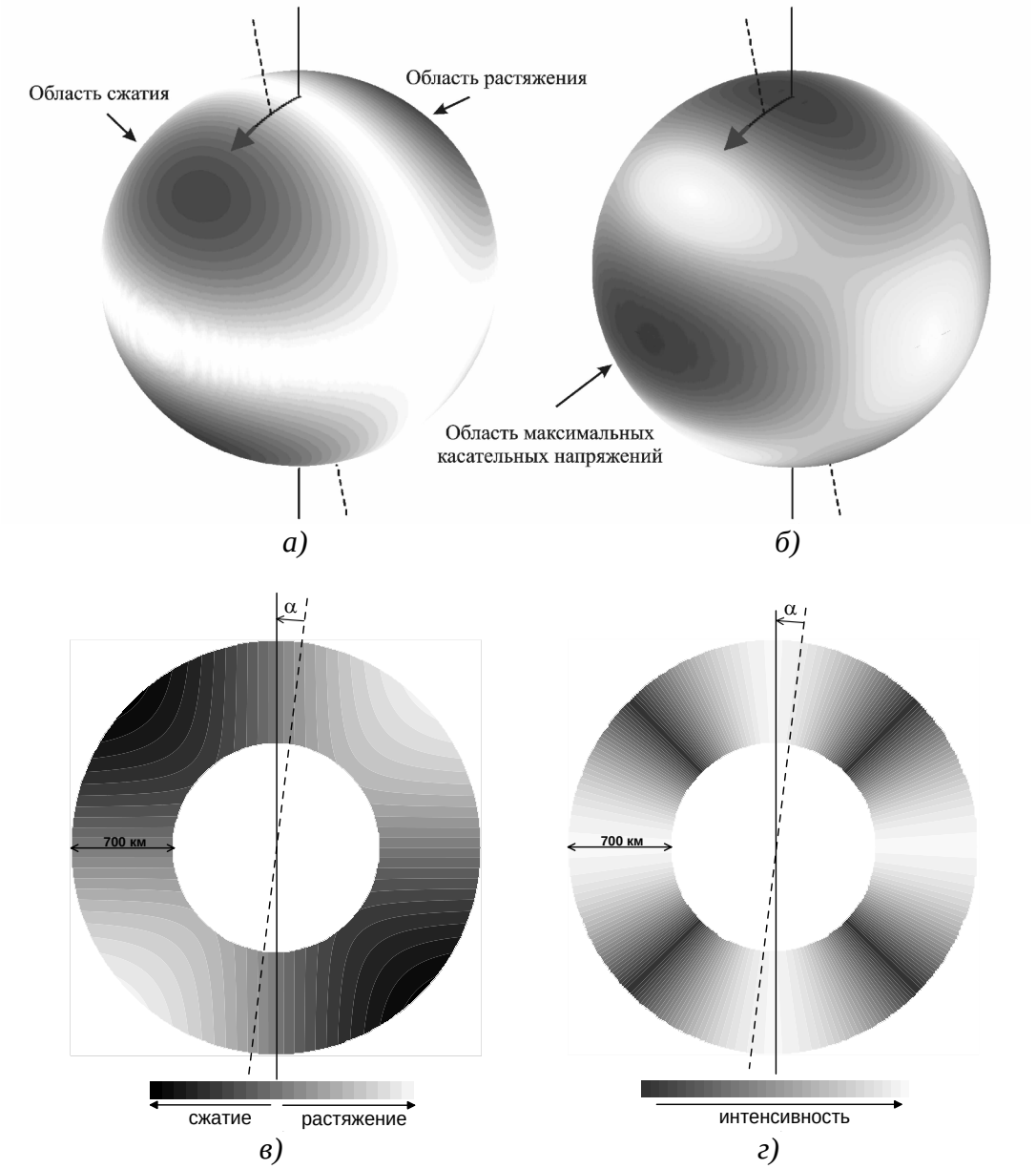


Рис. 4.24. Модель распределения максимальных напряжений сжатия-растяжения (*а*) и максимальных касательных напряжений (*б*) и в меридианном сечении тектоносферы (*в*) и (*г*) при смещении оси вращения на 0,5”.

– Короткопериодные изменения длительности суток на величину до 0,003 с приводят к возникновению напряжений ~10^2 Па.

– При дрейфе оси вращения в двух квадрантах тектоносферы возникают зоны сжатия, а в двух других – растяжения, достигающие максимальных значений для широты ±45° в плоскости дрейфа оси вращения; максимальные касательные напряжения будут приурочены к областям сочленения зон сжатия и растяжения.

– Существенное влияние, наряду с угловым перемещением оси вращения в теле Земли, оказывает скорость дрейфа; при скоростях

дрейфа > 1.5-2,0 °/млн. лет напряжения достигнут величины $\geq 10^7$ Па при угловом перемещении оси вращения Земли на ≈ 1 °.

– Суммарные напряжения от чандлеровских и годичных качаний полюса достигают величины ~10^3 Па.

– С учетом того, что траектория дрейфа оси вращения Земли представляет собой сложную кривую, будет иметь место дрейф полей напряжений, связанных с нестабильностями вращения Земли.

– Величина напряжений, обусловленных нестабильностями вращения Земли, уменьшается с глубиной.

4.5. Результаты расчета нормальных полей ротационных напряжений в тектоносфере Земли и их роль в геотектонике

Фундаментальное значение. Анализ результатов расчетов нормального поля ротационных напряжений в упруго-вязкой тектоносфере Земли, полученного с помощью простейшей модели в виде тонкой оболочки, позволяет констатировать следующее.

Максимальные напряжения растяжения-сжатия в тектоносфере Земли, обусловленные изменением положения оси вращения, достигают значений порядка 10^7 Па, а максимальные растягивающе-сжимающие напряжения, обусловленные вариациями угловой скорости вращения Земли, характеризуются значениями порядка 10^5 Па. Следовательно, основной вклад в процессы структурообразования тектоносферы вносят напряжения, возникающие в результате перемещения оси вращения по отношению к геоиду. В эпоху тектонических активизаций Земли, соответствующие интервалам максимальных скоростей перемещения полюсов вращения, величины этих скоростей оказываются достаточными для накопления напряжений в тектоносфере, превышающих предел прочности слагающего ее вещества, обычно принимаемого 10^7 Па. Следовательно, в тектоносфере Земли создаются условия для разломообразования и сопутствующих ему геологических явлений.

Использование для расчета нормального поля ротационных напряжений простейшей модели в виде тонкой оболочки имеет определенные недостатки. Одним из них является невозможность получения значений скалывающих напряжений в направлении нормали к поверхности геоида, имеющих важное значение в геотектонике. Для вычисления таких напряжений необходимо использовать в качестве модели тектоносферы Земли соответствующую ей толстостенную оболочку. К сожалению, это более сложная задача механики. Ее решение пока получено только для случая упругой тектоносферы [9,10]. В предыдущем разделе проведено сопоставление нормальных полей

напряжений *растяжения-сжатия*, полученных с помощью обеих моделей. Результаты сопоставлений позволяют констатировать следующее.

1. *Закономерности пространственного распределения напряжений растяжения-сжатия в тектоносфере, полученные с помощью обеих моделей вполне аналогичны между собой, но несколько отличаются количественно. Ротационное поле упруго-вязкой оболочки характеризуется более низкими значениями интенсивности напряжений по сравнению с упругой оболочкой. Разность в значениях напряжений возникает в результате их релаксации и зависит от вязкости вещества тектоносферы и рассматриваемого времени накопления ротационных напряжений. Эта разность сравнительно невелика для быстропротекающих процессов (лунно-солнечные приливы, чандлеровские и годичные качания полюсов, короткопериодные вариации скорости вращения Земли), но при рассмотрении длительных во времени явлений (вековое затухание скорости вращения и дрейф оси вращения) разница в величинах напряжений, рассчитанных для различных моделей тектоносферы, оказывается очень существенной, а в случае векового затухания скорости, при принятом удлинении суток ($2 \cdot 10^{-5}$ с/год), недоучет процессов релаксации напряжений может дать неверное представление о вкладе этого фактора в напряженное состояние тектоносферы и его роли в геотектонике. В тоже время, качественные картины распределения полей напряжений растяжения-сжатия в упругой и упруго-вязкой тектоносфере являются практически идентичными. Приведенные факты допускают перенос некоторых закономерностей распределения полей напряжений, полученных в рамках толстостенной упругой оболочки на результаты, рассчитанные для тонкой вязко-упругой оболочки, с учетом их изменения во времени за счет процессов ползучести и релаксации и могут быть использованы для анализа закономерностей тектонического развития Земли.*

2. *Совокупность решений обеих задач о распределении нормального поля ротационных напряжений в тектоносфере Земли, изложенных в разделе 4.4, можно считать количественным обоснованием ранее предложенной Новой ротационной гипотезы структурообразования, основные положения которой детально рассмотрены в разделе 2 настоящей монографии.*

Кроме того, использование результатов этих решений открывает новые возможности для выяснения дополнительных особенностей процессов тектонических активизаций Земли. В частности, речь идет об оценке роли циклических компонент разного порядка, слагающих траекторию движения полюса по поверхности геоида, в процессе разрядки обусловленного ими поля ротационных напряжений в

тектоносфере. Использование их возможностей позволяет ставить и решать насущные проблемы геотектоники, такие как: определение границ областей тектонических активизаций на поверхности геоида; ориентировку систем разломов в этих областях; природу геологических особенностей разломных структур одного направления по сравнению с одновозрастными разломными структурами ортогонального направления и некоторые другие.

Предлагаемый в настоящей монографии подход к объяснению тектонического развития Земли относительно нов. Он во многом не соответствует традиционным представлениям, но не противоречит известным фактическим геологическим данным. С целью показать это, ниже рассмотрены конкретные примеры фундаментальных тектонических явлений, возможность привлечения для их объяснения сил ротационной природы в сопоставлении с традиционными объяснениями и фактическими геологическими данными.

Взаимосвязь тектономагматических активизаций с изменением скорости перемещения полюсов по поверхности геоида. Как подчеркивалось в разделе 4.2, траектория перемещения полюса по поверхности геоида представляет собой сложную кривую, состоящую из совокупности поступательной компоненты и наложенных на нее серии циклических компонент разного порядка. При этом роль поступательной компоненты играет циклическая компонента с большим периодом. Сложение компонент разных порядков приводит к изменению скорости перемещения полюсов по поверхности геоида (угловой скорости перемещения оси вращения в теле Земли): в эпоху совпадения направлений перемещения поступательной и циклической компонент скорость перемещения полюса будет максимальной, а в эпоху их противоположного направления скорость перемещения полюса по поверхности геоида будет минимальной. Для упруго-вязкой модели тектоносферы участкам траектории с максимальной скоростью перемещения полюса должны соответствовать периоды максимального накопления ротационных напряжений, разрядка которых при достижений ими критических значений, должна приводить к тектоническим (точнее к тектоно-магматическим) активизациям Земли.

В разделе 4.2 на рисунке 4.12 приведена осредненная кривая скорости перемещения палеомагнитного полюса по поверхности современного геоида. На рисунке видно, что на этой кривой довольно четко проявляются три интервала времени, в течение которых наблюдается увеличение скорости перемещения палеомагнитного полюса. Примечательно, что они соответствуют трем общеизвестным главным эпохам тектонических активизаций Земли в фанерозое: каледонской, герцинской и альпийской. Другими словами, наблюдается синхронная

взаимосвязь между тектоническими активизациями Земли и эпохами увеличения скорости перемещения оси вращения Земли относительно фигуры геоида. Это весьма примечательный факт. Он является прямым подтверждением справедливости выводов, вытекающих из решения задачи о распределении нормального поля ротационных напряжений в упруго-вязкой тектоносфере (раздел 4.4). Следует специально подчеркнуть, что на осредненной кривой скорости перемещения палеомагнитного полюса (рис. 4.12) намечается проявление более мелких участков повышенной скорости перемещения полюса, по-видимому, соответствующих промежуточным фазам тектонических активизаций в фанерозое.

Описанная выше синхронная взаимосвязь между тектоническими активизациями Земли и особенностями соответствующих им фрагментов траектории перемещения полюса по поверхности геоида могут служить основой для выяснения роли циклических компонент, слагающих эту траекторию в глобальных закономерностях тектонического развития Земли. С этой целью воспользуемся результатами эмпирического анализа фактических геологических данных, приведенных в монографии В.Е. Хаина и К.Б. Сеславинского [35], и сопоставим тектонические представления, к которым они пришли с представлениями, непосредственно следующими из анализа результатов накопления и последующей разрядки нормального поля ротационных напряжений в тектоносфере Земли.

Авторы этой монографии проводили корреляцию тектонических, магматических и метаморфических процессов в «подвижных поясах Земли» для палеозоя. Графически результаты этих исследований представлены на рисунках 4.25 и 4.26. На этих рисунках по горизонтали изображены геологические эпохи, а по вертикали – интенсивность изучаемых процессов в условных единицах. Более детально условия исследований см. монографию [35].

Анализируя приведенные данные, авторы монографии [35] отмечают следующее. В палеозое процессы тектогенеза, включая складкообразование, протекают непрерывно и постоянно, наблюдается периодическое и достаточно резкое возрастание интенсивности, приводящее к существенным качественным изменениям структурного плана и внутренней структуры тектоносферы. Более мелкие из этих максимумов тектонической активности, проявляющиеся в пределах относительно ограниченных площадей (зон) в течение не более 1-2 млн. лет, они называют *тектоническими фазами*, а более крупные, представляющие группы сближенных по времени фаз, длительностью не более 15-20 млн. лет, обнаруживающих относительную одновременность в планетарном масштабе – *тектоническими эпохами*.

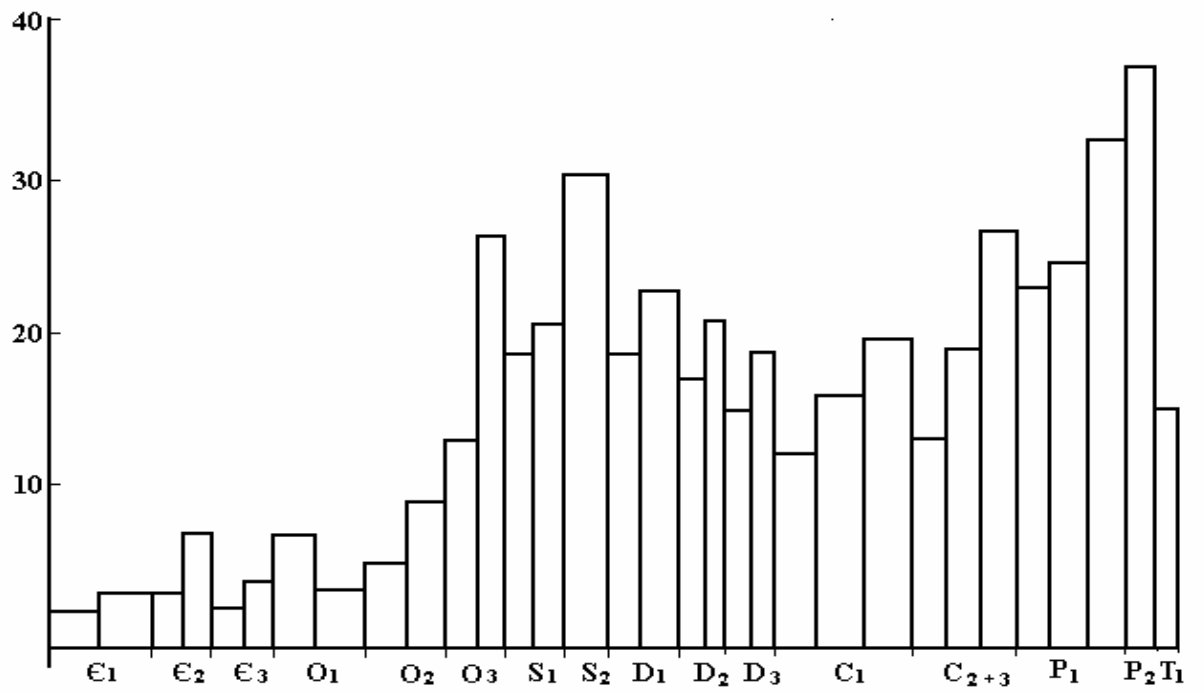


Рис. 4.25. Изменение интенсивности складкообразования в палеозое [35].

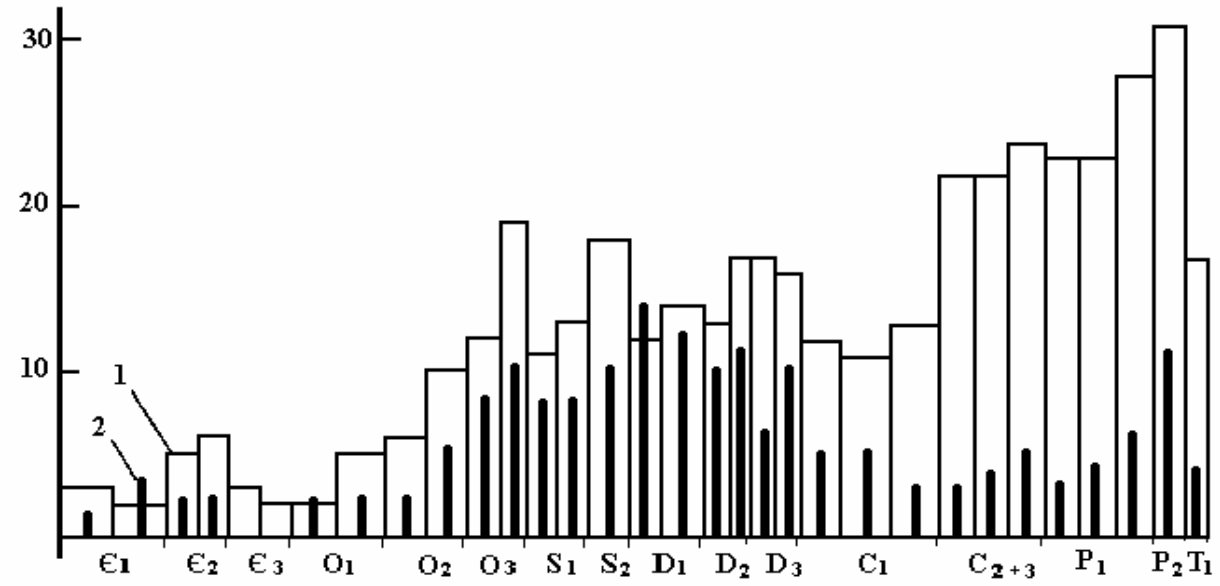


Рис. 4.26. Изменение интенсивности гранитообразования (1) и регионального метаморфизма (2) в фанерозое [35].

Группа тектонических эпох составляет тектоническую эру продолжительностью до 250 млн. лет, эквивалентную тектоническим циклам. Так в фанерозое выделяются три главные эпохи тектогенеза, соответствующие окончаниям трех известных тектонических циклов: каледонского (верхний ордовик – нижний девон, 460-400 млн. лет назад); герцинского (пермь – первая половина триаса, 310-235 млн. лет тому

назад); альпийского (палеоген – четвертичное время (65-0 млн. лет тому назад). Интервал времени между максимумами этих эпох составляет 180-200 млн. лет.

Наряду с перечисленными выше главными тектоническими эпохами имели место эпохи меньшей тектонической активизации: а) средний кембрий, нижний ордовик (518-470 млн. лет назад); б) нижний карбон (363-323 млн. лет назад); в) вторая половина юры – начало мела (170-120 млн. лет назад), интервалы времени между максимумами которых и максимумами «главных» эпох составляют 90 млн. лет.

Касаясь истории представлений о тектоническом развитии континентов и подвижных поясов, авторы [35] констатируют, что периодичность тектонических движений была отмечена еще в первой половине XIX века (А.Д. Орбиньи и Ж. Кювье), а наибольшую известность получил канон орогенических фаз (фаз складчатости), впервые опубликованный в сводном виде Г. Штилле в 1924 г. В конце XIX века появились работы французского геолога М. Бертрана, в которых рассмотрена проблема тектонической периодизации – проблема тектонических циклов. Так были выявлены гуронский, каледонский, герцинский и альпийский циклы. Уточнение этих понятий связано с работами Г. Штилле, который выделил соответствующие *тектонические эры* и в пределах этих эр ряд *орогенических фаз*, разделенных на начальные, главные и заключительные (см. рис. 3.14).

В дальнейшем, как концепция тектонических фаз, так и представление о тектонических циклах, встретили серьезные возражения, вылившиеся в активную дискуссию. По мнению авторов монографии [35] это связано с определенной односторонностью обсуждаемых концепций. По нашим представлениям неоднозначность интерпретации фактических геологических данных заключается в другом: определенной сложности циклических процессов на Земле, а главное – отсутствие представлений о физической природе этих явлений. *Использование моделей неподвижной (не вращающейся) Земли для поиска любых закономерностей тектонического развития Земли, лишает исследователя возможности использовать реальный источник сил участвующих в формировании изучаемых закономерностей – поле ротационных напряжений в тектоносфере Земли.* В связи с этим вызывает определенное восхищение научная эрудиция исследователей, которым все-таки удается по эмпирическим данным восстанавливать глобальные закономерности тектонического развития Земли, в частности, их цикличность.

Поскольку тектоническое развитие Земли, в значительной мере, определяется пространственно-временными особенностями нормального поля ротационных напряжений, индикаторами образования которого служит траектория перемещения полюса по поверхности геоида. Как уже

указывалось выше, она состоит из поступательной компоненты и наложенных на нее циклических компонент разного порядка. Каждой циклической компоненте траектории миграции полюса соответствует определенная компонента нормального поля ротационных напряжений в тектоносфере. Для оценки роли циклических компонент разного порядка в процессе тектогенеза Земли воспользуемся кривой, приведенной на рис. 4.25. С этой целью нами рассчитан амплитудный спектр интенсивности складкообразования. Результаты расчета изображены на рис. 4.27.

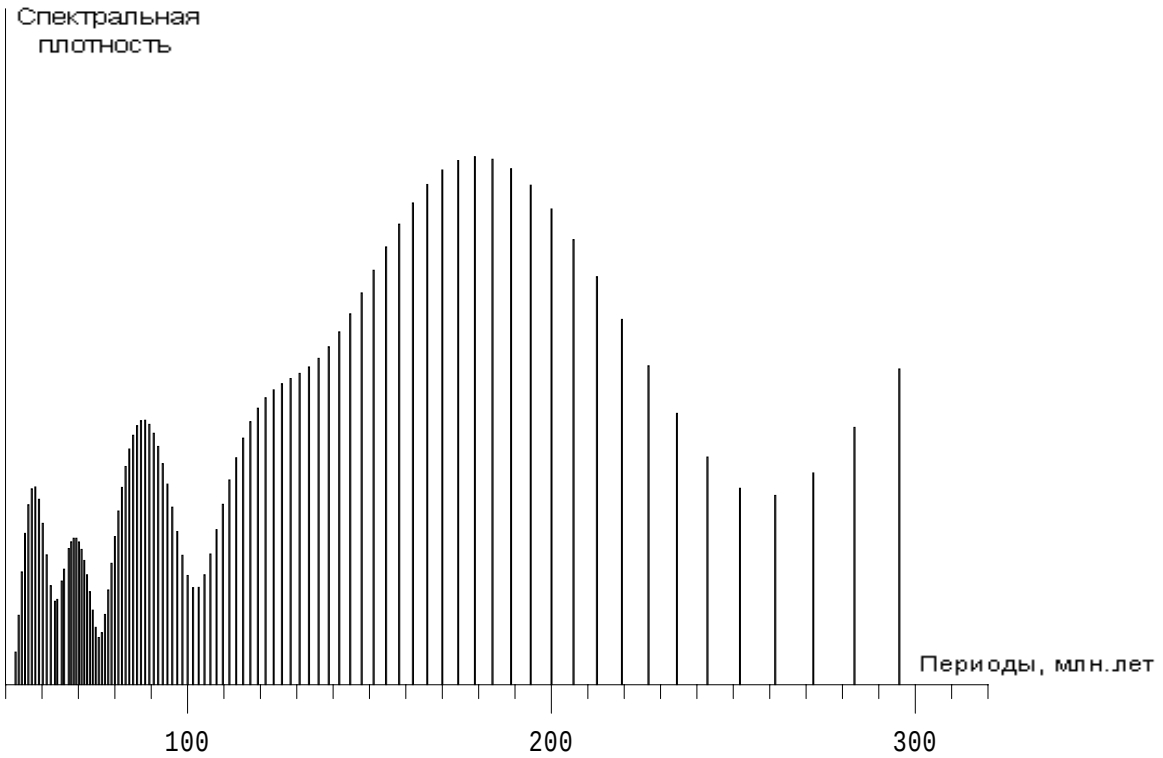


Рис. 4.27. Амплитудный спектр вариаций интенсивности складкообразования в палеозое.

Из сопоставления амплитудных спектров вариаций интенсивности складкообразования (рис. 4.27) и кривой скорости дрейфа полюсов (рис. 4.12, *б*) видно, что они в целом подобны друг другу: на обоих из них четко проявляются два крупных максимума для гармоник с периодами порядка 200 млн. лет и 90 млн. лет, соответствующих крупным тектоническим активизациям Земли. Отличия наблюдаются в части спектра для гармоник с более малым периодом, соответствующих промежуточным фазам тектонических активизаций: на рис. 4.12, *б* довольно четко проявляются гармоники с периодами порядка 35 и 45 млн. лет, а на рис. 4.27 – гармоники с периодами порядка 60 и 70 млн. лет. Надо полагать, что эта разница связана с относительно мелким масштабом исходных геолого-тектонических карт, использовавшихся в проводимых

исследованиях. По-видимому, по этой же причине на обсуждаемых амплитудных спектрах не находят своего отражения и фазы тектонических активизаций с более малыми периодами, значение которых согласно нашим расчетам может доходить до 1-2 млн. лет.

Таким образом, основываясь на результатах анализа нормального поля ротационных напряжений, являющегося отражением особенностей траектории миграции полюса по поверхности геоида (раздел 4.2), и учитывая приведенные выше фактические геологические данные, заимствованные из монографии [35], тектоническую активность Земли можно представить в виде *сложного циклического процесса*, результаты которого имеется возможность наблюдать в деформациях земной коры. Основная сложность выявления закономерностей этого процесса связана с тем, что поле ротационных напряжений, разрядкой которых определяются деформации тектоносферы, состоит из совокупности целой серии циклических компонент разного порядка. В настоящее время процесс тектонических активизаций можно представить следующим образом.

1. *В течение тектонической эры под действием циклической компоненты траектории миграции полюса с периодом, равным галактическому году (180-200 млн. лет), принимаемой за поступательную компоненту, происходит накопление ротационных напряжений в тектоносфере*.

2. *Разрядка поля ротационных напряжений происходит при достижении ими критических значений равных пределу прочности вещества, слагающего тектоносферу, в результате совокупного влияния поступательной компоненты и одной из циклических с периодом, определяемом долей галактического года, в эпохи, когда направления обеих компонент миграции полюса по поверхности геоида совпадают (или очень близки) между собой. Эти эпохи соответствуют фазам тектонических активизаций. Этот термин впервые использовал Г. Штилле [37]. Совокупность тектонических фаз называют тектонической эрой. По данным Г. Штилле, детально изучавшему эту проблему, фанерозойские тектонические эры состоят из 10-15 тектонических фаз*.

3. *Роль циклических компонент разного порядка траектории миграции полюса по поверхности геоида сводится к следующему: во-первых, обусловленные ими напряжения в тектоносфере позволяют доводить напряжения, обусловленные поступательной компонентой, до критических, разрядка которых приводит к разломообразованию в тектоносфере и связанных с ним геологических явлений, а во-вторых, является регулятором тектонических режимов (сжатия и растяжения), в которых происходит формирование тектонических структур*.

Качественная картина элементов такого регулирования обсуждалась в разделе 2.

В заключение подчеркнем некоторые особенности, описанных выше, закономерностей.

1. *Одной из важнейших особенностей, установленных в настоящее время, является совпадение периодов тектонической активности на Земле с определенными космическими циклами*. Так, например, тектонические эры на Земле соответствуют галактическому году (≈200 млн. лет), тектонические эпохи с периодом 90 млн. лет соответствуют известному в астрономии «драконическому периоду», а эпохи, имеющие период 45 млн. лет – периоду обращения Солнечной системы вокруг созвездия Геркулес. Периоды более мелких тектонических активизаций Земли также имеют свои космические аналоги [31]. Все это является подтверждением представлений о том, что тектоническое развитие Земли является результатом ее взаимодействия с физическими полями Космоса.

2. *Вторая особенность тектонических активизаций Земли заключается в том, что происходя одновременно на Земле, они имеют различную интенсивность проявления в разных ее частях. Эта особенность непосредственно следует из результатов анализа полей ротационных напряжений (раздел 4.4) и подтверждаются фактическими геологическими данными*. Так, например, можно привести следующие данные. Для Евразии [38] «...Времени герцинского горообразования в Европе на востоке Азии соответствовала эпоха геосинклинальных прогибаний и отложений мощных осадочных серий. Наоборот, эпохам наиболее сильной складчатости востока Азии – раннемезозойской (верхний триас-лейас), позднемезозойской (конец юры начало мела) и плиоцен-четвертичной – в Европе, явно соответствуют эпохи опускания и некоторого ослабления дифференцирующих тектонических движений, во всяком случае, складкообразующих».

Аналогичную картину можно наблюдать и на примере Северо-Американских Кордильер и Южно-Американских Анд [33]. Так на большей части Северо-Американских Кордильер герцинские молассы отсутствуют, погружения на границе палеозоя и мезозоя не прерывались, практически нигде нет проявлений герцинского регионального метаморфизма и не установлено сколько-нибудь значительных гранитных батолитов. Основная складчато-надвиговая структура Северо-Американских Кордильер оформилась в позднем мезозое и начале кайнозоя. Совершенно иным был масштаб герцинского тектогенеза в Андах. Он охватил всю геосинклинальную систему и сопровождался интенсивной складчатостью, региональным метаморфизмом,

образованием гранитоидов, отложением мощных моласс, свидетельствующем о подлинном горообразовании.

Можно утверждать [34], что тектоническое развитие коры шло поэтапно и вместе с тем циклически. Циклы имеют планетарное значение, но в конкретных условиях отдельных регионов земного шара особенности тектонических проявлений таких циклов могут обнаруживать значительное несовпадение. В данном случае обращается внимание на эту особенность тектонических активизаций потому, что она служит источником недоразумений при оценке цикличности тектонического развития Земли. Так, например, некоторые исследователи [38], основываясь на описанной выше разности проявления тектонической активности в разных частях Земли в одни и те же эпохи, делают вывод об отсутствии планетарных тектонических эпох. Как показано ниже, особенно четко эта идея проявлялась при анализе явлений мировых трансгрессий и регрессий.

Проблема мировых трансгрессий и регрессий. Несмотря на обилие литературы, посвященной проблеме мировых трансгрессий и регрессий, до сих пор вопрос об их причине остается открытым; более того – нет единых мнений о пространственно-временных закономерностях проявления этих процессов. Многие ведущие геологи разделяют мнение о существовании мировых трансгрессий и регрессий, первоначальное представление о которых состояло в том, что *в истории геологического развития Земли происходило повсеместное опускание материков в одни геологические эпохи и поднятия – в другие*. Г. Штилле [37] в начале XX века одним из первых на основании установленных им тенденций в изменении морского режима в одно и тоже время в удаленных частях Земли пришел к выводу *об одновременной и одинаковой направленности движений твердого остова Земли*.

Н.М. Страхов [28] проблему трансгрессий и регрессий изучал путем анализа тесно связанной с ними закономерности осадкообразование на палеогеографических и структурно-фациальных картах. Результаты этого анализа изображены на рисунке 4.28 в виде так называемой эпейрограммы.

По ординате эпейрограммы нанесены геологические периоды, а по абсциссе против каждого момента отложены отрезки, пропорциональные площади осадкообразования. Кривая изменения площади осадконакопления дает наглядное приближенное представление последовательных расширений и сокращений площади осадконакопления в истории Земли. Поскольку Н.М. Страхов довольно детально рассматривает пространственно-временные закономерности трансгрессий и регрессий в послеальгонкское время, необходимые для дальнейшего изложения, считаем целесообразным привести их в настоящей монографии, по-возможности, наиболее полно.

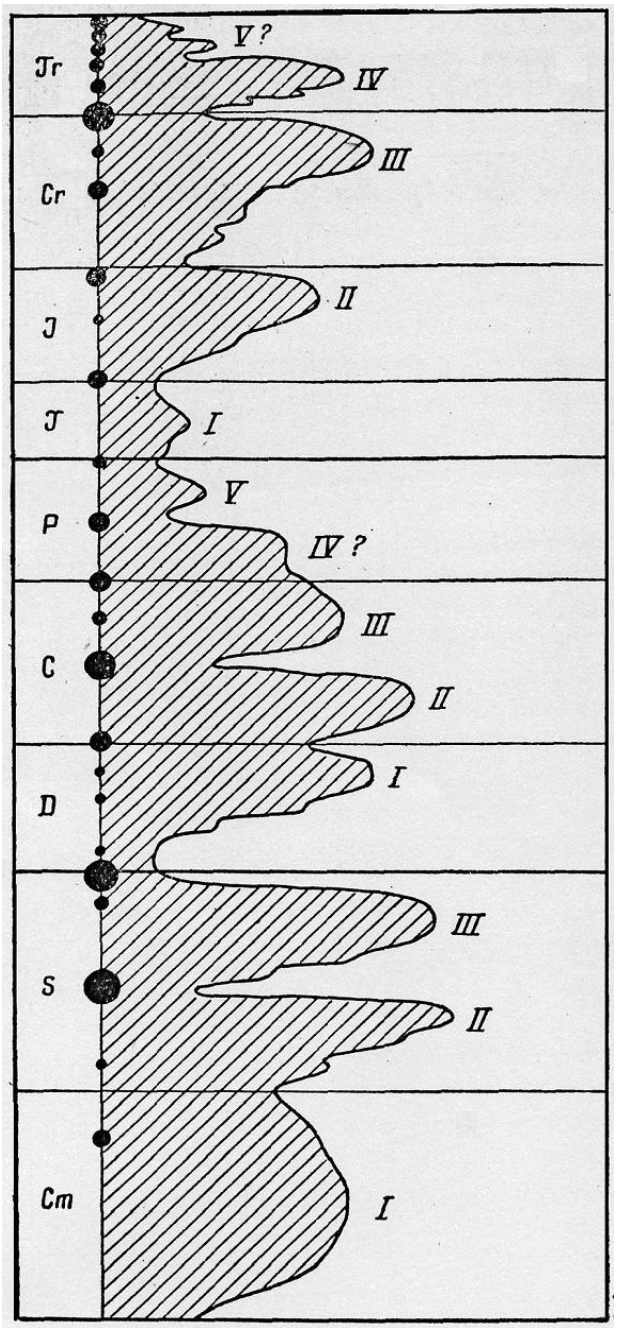


Рис. 4.28. Изменения площадей осадкообразования в послеальгонкской истории современных континентов (волны трансгрессий и регрессий).
Черные кружки – орогенические фазы разной силы.

1. С конца альгонка по настоящий момент существовало, по крайней мере, 12-13 крупных трансгрессий супраконтинентального осадконакопления, разделенных таким же количеством промежуточных моментов, когда осадконакопление, напротив, резко сокращалось, регрессировало. Реально эти трансгрессии и регрессии осадочного процесса осуществлялись, прежде всего, как трансгрессии моря, усиленные или ослабленные расширениями площадей континентального осадкообразования. Таковы трансгрессионные волны – нижне- и среднедокембрийская, ордовикская, готландская, средне-верхнедевонская, динанская и т.д., вплоть до неогеновой, в каледонском этапе различаются всего три крупные волны трансгрессии, в герцинском – четыре-пять и столько же в альпийском.

2. Каждая из 12-13 послеальгонкских трансгрессий осадочного процесса представляет собой длительное, сложное и индивидуальное явление. Абсолютная длительность каждой волны измерялась обычно несколькими десятками миллионов лет (20-25 млн.). Сам ход трансгрессий был очень сложным: на разных участках блока максимум их достигался не одновременно, а само расширение часто шло с остановками, как бы толчками, прерываясь даже местными и временными регрессиями, сокращениями ареалов седиментации.

3. В последовательности трансгрессий внутри каледонского, герцинского и альпийского этапов много сходных черт, хотя, конечно, нет тождества. Каждый этап начинается эпохой – длительностью 10-20 млн.

лет – минимальной площадью осадконакопления, ограниченный целиком или в совершенно подавляющей части геосинклинальными зонами. Таковы эпохи начала кембрия, нижнего девона, траса+лейаса. Далее следует продолжительный средний отрезок каждого этапа (100-120 млн.лет) с тремя или четырьмя крупными погружениями и, соответственно, расширениями ареала осадкообразования. В каледонское время – это нижне- и средне кембрийская, ордовикская и готландская трансгрессии; в герцинском этапе – средне- верхнедевонская, нижнекарбоновая, верхнекарбоновая, нижнепермская (?) трансгрессии; в альпийском этапе – средне- верхнеюрская, верхнемеловая, палеогеновая трансгрессии. Боле или менее синхронно с этими морскими трансгрессиями возникали или расширялись ареалы континентального осадконакопления, характерно, что эпохи трансгрессии разделяются гораздо более, по-видимому, кратковременными моментами резко выраженных и весьма широко распространенных регрессий, с которыми хронологически совпадают более или менее крупные орогенические фазы в отдельных, иногда многочисленных и далеко друг от друга удаленных, частях геосинклиналей. Конец каждого тектонического этапа, последние 20-30 млн. лет (?) характеризуются вздыманием сформированных складчатых структур и постепенным превращением их из областей осадконакопления в ареалы размыва и денудации. Одновременно море уходит с некоторыми второстепенными колебаниями с платформенных участков, и осадконакопление ограничивается на них лишь небольшими районами по соседству с возникшими складчатыми сооружениями.

4. Изучая пространственное размещение трансгрессий, не трудно установить, что внутри каждого этапа волны трансгрессий заливают географически в общем близкие участки континентального блока. При переходе же от одного этапа к другому размещение трансгрессивных макроволн существенно меняется.

5. Несмотря на территориально резко неодинаковые проявления, моменты резкого расширения (или сокращения) осадконакопления на платформах и геосинклинальных зонах, хронологически совпадают в пределах, конечно, точности геологического летоисчисления. Это обстоятельство отражает общеизвестное правило синхроничности колебаний геосинклиналей и платформ, установленное А.Д. Архангельским в 1923 г. В ряде случаев намечаются некоторые отклонения: движения платформ несколько запаздывают сравнительно с движениями геосинклиналей. Но эти незначительные отклонения не нарушают общего правила.

Суммируя приведенные выше результаты исследований в области проблемы трансгрессий и регрессий на Земле, можно сделать следующие выводы.

1. *Н.М. Страховым на основании результатов анализа палеогеографических и структурно-фациальных карт установлены основные пространственно-временные закономерности протекания трансгрессий и регрессий в истории развития Земли. Рассматриваемые закономерности оказались несколько сложнее первоначальных представлений о них, в частности, это касается их периодичности. Но, поскольку, установленные закономерности основаны на анализе фактических геологических данных, то их вполне можно использовать для выяснения генетической природы изучаемых явлений*.

Проблема мировых трансгрессий и регрессий активно обсуждалась в советской литературе: Н.М. Страхов (1938, 1949), В.Е. Хаин (1939), В.В. Белоусов (1940, 1948), В.Д. Наливкин (1962), Г.Ф. Лунсгергаузен (1963), А.Я. Яншин (1973) и др. *Общим, для большинства перечисленных исследователей, является признание реальности существования явлений трансгрессий и регрессий в истории геологического развития Земли и их тесной взаимосвязи с этапами ее тектонических активизаций. При этом все они особо подчеркивают, что главные волны трансгрессий и регрессий, имеющие периоды порядка 200±20 млн. лет, и в фанерозое соответствуют каледонскому, герцинскому и альпийскому циклам тектонической активности Земли*.

Исключение составляют только представления академика А.Л. Яншина, который на основании анализа довольно представительных атласов палеогеографических карт различных регионов мира и, в первую очередь, атласа литолого-палеогеографических карт СССР в масштабе 1:7500000 (под общей редакцией А.П. Виноградова, 1969), охватывающего с раннего кембрия по голоцен, пришел к выводу, резко контрастирующему с представлениями остальных авторов. Результаты его исследований представлены графически на рис. 4.29 в виде интенсивности проявления трансгрессий и регрессий ряда крупных регионов мира, выраженных в условном масштабе для различных геологических эпох.

Основываясь на поведении кривых, изображенных на рисунке 4.29, А.Л. Яншин делает такой вывод. «*Кривые, построенные для разных частей суши нашей планеты по палеогеографическим картам, показывают, что сама идея эта надумана и совершенно неверна, что никаких мировых трансгрессий и регрессий, несмотря на всю посвященную им громадную литературу, в действительности не было, что ход поднятий и опусканий различных крупных площадей земной поверхности совершенно различен, что споры о количестве мировых трансгрессий и регрессий с начала кембрия не более содержательны, чем споры средневековых схоластов о количестве ангелов, которые могут уместиться на конце иголки*» [39, стр. 27].

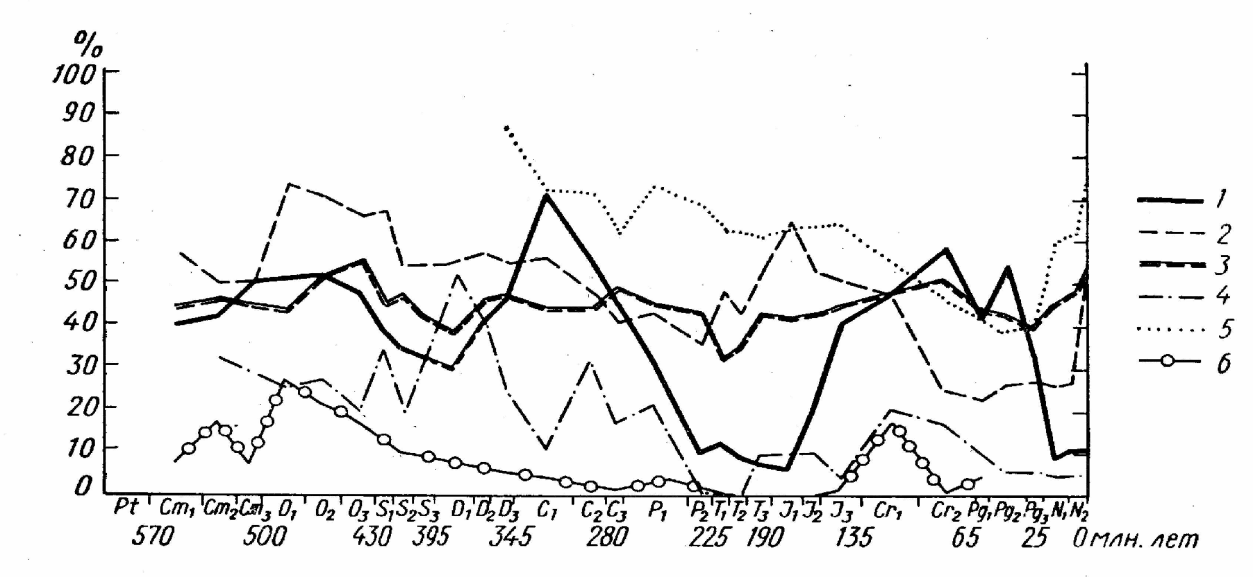


Рис. 4.29. Кривые трансгрессий и регрессий крупных регионов [39]:
1 – западная часть СССР; 2 – восточная часть СССР; 3 – Северная Америка;
4 – Южная Америка; 5 – Япония; 6 – Австралия.

Главным аргументом, на основании которого А.Л. Яншиным сделан столь категоричный вывод, противоречащий представлениям других исследователей, послужили факты несовпадения трансгрессий (регрессий) в одни и те же геологические эпохи в разных сегментах Земли. Поскольку этот вывод сделан по сути дела на однотипных исходных материалах, попробуем разобраться с ним внимательнее, используя при этом результаты исследований именно А.Л. Яншина, приведенные в работе [39]. Для начала рассчитаем амплитудные спектры кривых трансгрессий и регрессий, приведенных на рис. 4.29. Результаты расчета показаны на рис. 4.30.

Обращаясь к рисунку 4.30 видим, что ансамбль амплитудных спектров кривых трансгрессий и регрессий в разных регионах Земли в целом весьма подобен амплитудному спектру осредненной кривой перемещения палеомагнитного полюса по поверхности геоида, изображенной на рисунке 4.12. Обе группы этих спектров состоят из совокупности циклических компонент, среди которых наиболее устойчивы максимумы для волн с периодами порядка 180-230 млн. лет. Этот факт свидетельствует об определенной общности природы явлений активизаций Земли и обсуждаемых нами явлений трансгрессий и регрессий, то есть, источником сил, под действием которых происходят обе группы этих явлений, служит нормальное поле ротационных напряжений. Особенности его распределения в тектоносфере Земли, а так же, обусловленные ими смены режимов сжатия и растяжения определяют основные пространственно временные закономерности трансгрессий и регрессий на поверхности Земли. Трансгрессии и регрессии весьма тесно связаны с процессом формирования поверхностных тектонических

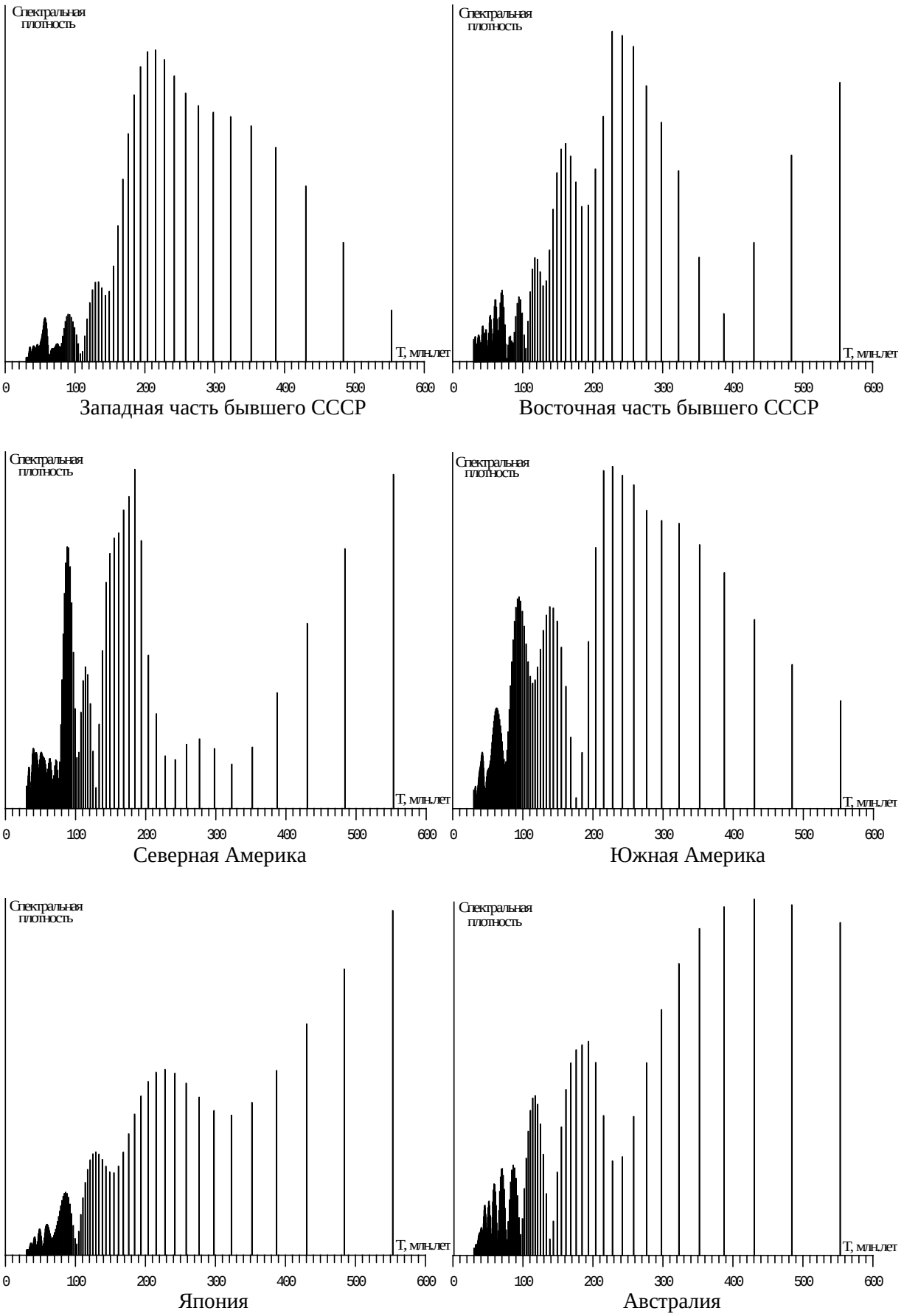


Рис.4.30. Амплитудные спектры кривых регрессий и трансгрессий.

структур в земной коре, точнее являются неотъемлемой его частью. Рассмотрим его поэтапно.

1. Формирование поверхностных структур типа геосинклиналей и последующего их превращения в ороген происходит под действием разрядки нормального поля планетарных напряжений ротационной природы, пространственное распределение которого приведено в разделе 4.4, а схема формирования поверхностных структур в земной коре достаточно подробно рассмотрена в разделе 2. В данном случае только подчеркнем, что водный слой является частью земной коры, а следовательно, должен участвовать в формировании ее поверхностных структур. Главной особенностью водного слоя по сравнению с другими горными породами является его большая подвижность, поэтому под действием силы тяжести он имеет возможность, перетекая, занимать самые низкие места в формирующейся структуре земной коры.

2. Как уже подчеркивалось выше, тектонические активизации Земли, приводящие к деформации земной коры, возникают в результате сложения одной из циклических компонент на поступательную компоненту перемещения полюса по поверхности геоида, приводящего к достижению критических значений ротационных напряжений в определенных секторах верхней оболочки. В областях, соответствующих режиму растяжения, формируются структуры типа геосинклиналей, в пониженные места которых происходит трансгрессия водных масс. При изменении режима растяжения на режим сжатия, происходящего в результате изменения соотношения направлений перемещения циклической и поступательной компонент, перемещения полюса по поверхности геоида трансгрессия сменяется регрессией. Таким образом, каждой циклической компоненте на траектории перемещения полюса по поверхности геоида, соответствует одна трансгрессия и одна регрессия, т.е., на поверхности их проявлений столько, сколько циклических компонент участвуют в образовании тектонических активизаций Земли. Причем, порядок тектонической активизации, а следовательно, и сопутствующим ей трансгрессии и регрессии, соответствует порядку циклической компоненты на траектории перемещения полюса. Общие закономерности проявлений трансгрессий и регрессий на поверхности Земли определяются суммарным эффектом, обусловленным участием циклических компонент нормального поля ротационных напряжений в тектоногенезе. Кроме того, следует иметь в виду, что это поле ротационных напряжений в одни и те же геологические эпохи имеет различные значения в разных сегментах тектоносферы Земли, что иногда и приводит к недоразумениям при выяснении тектонических закономерностей.

В соответствие с развиваемой нами Новой ротационной гипотезой,

количественное обоснование которой приведено в разделе 4.4, формирование трансгрессий и регрессий происходит следующим образом.

В результате очередного перемещения оси вращения Земли относительно геоида, нарушается *геоизостазия* – изменяется напряженное состояние верхних оболочек планеты: в двух диаметрально противоположных квадрантах образуются зоны сжатия, а вдвух других – зоны растяжения (рис. 1.9). В эпохи, когда ротационные напряжения в определенных частях тектоносферы достигают критических значений, происходит их разрядка – тектоническая активизация Земли. Земная кора, вместе с присущими ей водными бассейнами, является непременным участником этого процесса. Деформации земной коры происходят так, чтобы ее поверхность оказалась максимально близкой к поверхности нового геоида. Водные массы, обладая максимальной подвижностью, способствуют аппроксимации обеих поверхностей. При этом, оказывается, что в зонах сжатия наблюдаются преимущественно восходящие движения; им сопутствует отток водных масс. В зонах растяжения имеют место преимущественно нисходящие движения; возникающие при этом впадины заполняются водными массами вместе с сопутствующими им терригенными образованиями. Так происходят трансгрессии и регрессии. Они играют существенную роль в формировании осадочного чехла земной коры. Из приведенной выше статьи Н.М. Страхова [28] следует, что закономерности пространственного распределения осадочных образований в земной коре могут служить надежным индикатором трансгрессии и регрессии в истории геологического развития Земли.

К изложенному выше можно добавить следующее. Поскольку трансгрессии и регрессии являются непосредственными участниками тектонических активизаций Земли, то пространственно-временные закономерности их возникновения определяются теми же самыми циклическими компонентами перемещения полюса по поверхности геоида. Роль этих компонент в тектогенезе Земли и сопутствующему ему явлений трансгрессий и регрессий рассматривалась выше. В данном случае только подчеркнем, что *каждой фазе тектонической активизации Земли соответствуют определенные волны трансгрессий и регрессий, а суммарный эффект этих явлений в течение тектонической эры (≈200 млн.лет) определяет мировые трансгрессии и регрессии.*

Возвращаясь к оценке вывода А.Л. Яншина об отрицании мировых трансгрессий и регрессий на Земле, отметим следующее: *А.Л. Яншин прав, отрицая существование мировых трансгрессий и регрессий, соответствующих первоначальным представлениям о них, как о повсеместном опускании материков в одни геологические эпохи и поднятии – в другие,* следовавшего из господствовавшей в прошлом веке

концепции тектонического развития Земли под действием внутриземных сил, обусловленных спонтанно протекающими в ней физико-химическими процессами. С позиций количественно обоснованной Новой ротационной гипотезы структурообразования наличие явлений трансгрессий и регрессий и их циклический характер сомнений не вызывают. Более того, трансгрессии и регрессии являются неотъемлемой частью процесса деформации тектоносферы в соответствующие эпохи ее тектонических активизаций и подчиняются тем же самым пространственно-временным закономерностям. Прямым доказательством справедливости последнего тезиса является практически единодушное утверждение всех исследователей, занимавшихся этой проблемой, о тесной взаимосвязи трансгрессий и регрессий с конкретными эпохами тектонических активизаций Земли.

К сожалению, выявленные закономерности оказались более сложными, по сравнению с первоначально существовавшими, что и служит основой возникающих иногда недоразумений.

Роль трансгрессий и регрессий в формировании Мирового океана. Проблема происхождения океанов с позиции Новой ротационной гипотезы структурообразования рассматривалась в разделе 2.3. В данном случае, по-видимому, целесообразно сделать ряд дополнений, связанных с участием в процессе океанообразования, явлений трансгрессий и регрессий, с учетом представлений Г. Штилле, а также – ряда других известных особенностей океанов. Г. Штилле подразделяет все глубоководные океаны на две группы: праокеаны и неоокеаны, относя к первой группе те, которые существовали до альгонкского периода, а ко второй – те, которые возникли позднее. Прототипом праокенов он считает *Тихий океан*, прототипом неоокеанов – *Индийский*, а *Атлантический* океан он относит к смешанному типу. Схема их расположения показана на рис. 4.31.

На рисунке видно, что океаны представляют последовательный широтный ряд: древнейшим из них Г. Штилле считает Тихий океан, Атлантический – среднего возраста, а Индийский – самым молодым. Представляется, что формирование океанических структур происходило по схеме, вполне аналогичной той, которая описана в разделе 2 для локальных структур геосинклинального типа. Разница заключается только в том, что формирование океанических структур под действием разрядки циклической компоненты поля ротационных напряжений с самым большим периодом, соответствующим продолжительности тектонической эры (≈200 млн. лет).

Непременным участником формирования океанической структуры являются мировые трансгрессии, в результате которых заполняются водой пониженные места твердого ложа океанической структуры. Из

изложенного выше становится ясным, что пространственно временные закономерности формирования океанических структур и оценка роли в них явлений трансгрессии и регрессии одинаково сложны, т.к. и те и другие определяются результатами совокупного действия циклических компонент разного порядка. В этой связи трудность определений времени начала формирования океанического ложа заключается в том, что размеры сегментов земной коры, в которых наблюдаются активные процессы ее деформации в одну тектоническую эру, и оказывают соизмеримыми или даже большими размера современных океанов, а в разные тектонические эры – пересекаются между собой, как это схематически показано на рис. 2.8, *а*. Следовательно, начало формирования ложа океана может быть связанно не с эрой, в течение которой происходило накопление основного объема водной массы, а с предыдущей. Кроме того, сам процесс накопления водных масс (мировая трансгрессия) происходит в виде отдельных волн, соответствующих отдельным фазам тектонической эры. Проще оказывается определить тектоническую эру, во время которой происходило образование основного контура, близкого к настоящему.

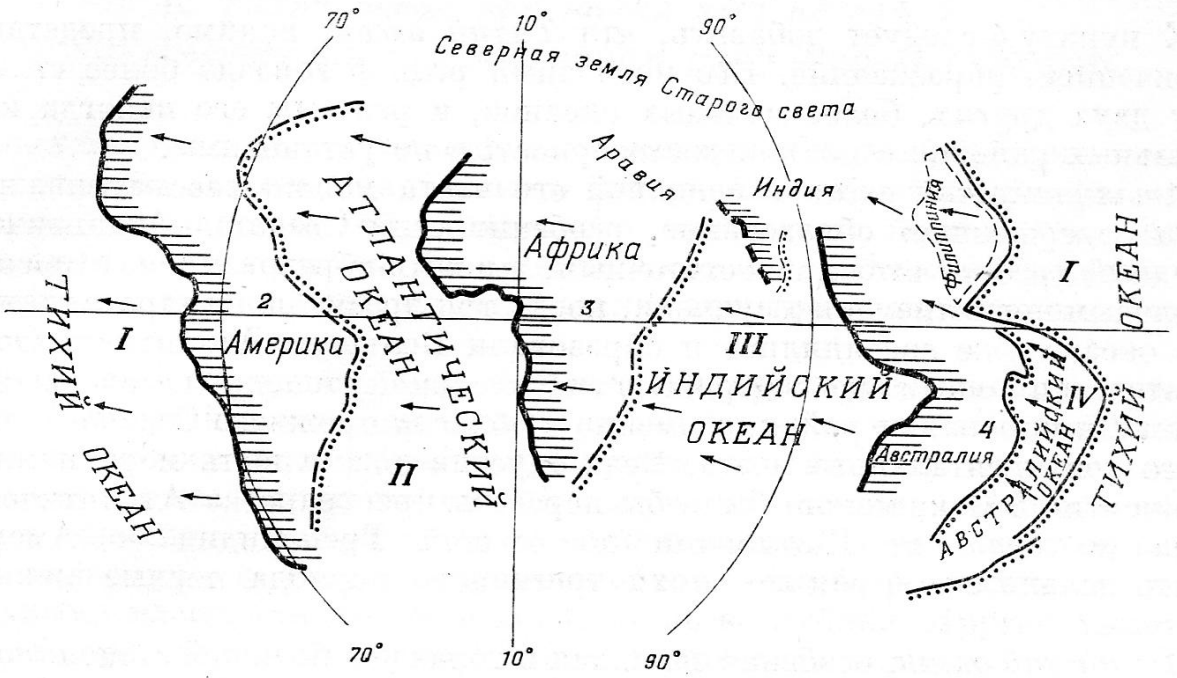


Рис. 4.31. Континенты и соответствующие Мировые океаны [37].
По автору стрелки указывают предположительное направление перемещения сиалических масс земной коры; по нашим представлениям – они соответствуют направлению пространственного перемещения поля ротационных напряжений в тектоносфере Земли.

В соответствие с нашими представлениями, все мировые океаны сформировались в фанерозое: начало образования самого древнего из них –

Тихого – возможно относится альгонской тектонической эре, а основной этап формирования Тихого океана с контурами близкими к современным – происходил в каледонскую тектоническую эру; начало образования Атлантического океана возможно относится к каледонскому времени, а основной этап его формирования проходил в герцинскую тектоническую эру. Начало образования Индийского океана, возможно, относится к герцинскому, а основной этап его формирования соответствует альпийской тектонической эре.

Особенности рассматриваемых океанов в виде внутренних и окраинных морей безусловно связаны с фазами активизаций основных эр формирования океанической структуры или предшествующими.

Касаясь закономерности пространственно-временного расположения океанов, нельзя не отметить их широтную, точнее, субширотную последовательность расположения в направлении, противоположном вращению Земли. Эта закономерность соответствует направлению пространственного изменения поля ротационных напряжений в тектоносфере Земли во времени.

Исходя из того, что сущность явлений трансгрессий и регрессий непосредственно связана с понятием эвстатического уровня Мирового океана, приведем наши соображения по этому вопросу.

Поскольку в фанерозойский этап геологического развития Земли неизвестны физико-химические процессы планетарного масштаба, связанные с активным выделением или поглощением воды, то общий объем водной массы на Земле считают более или менее постоянным, а наблюдаемые изменения эвстатического уровня Мирового океана исследователи обычно связывают с процессами перехода некоторой части воды в лед и обратно. В связи с этим, представления об определенном постоянстве эвстатического уровня Мирового океана кажутся вполне логичными. По нашим представлениям эвстатический уровень Мирового океана определяется формой геоида в соответствующую геологическую эпоху. Справедливости ради следует сказать, что аналогичные представления предлагались сторонниками планетарного развития Земли (Ли Сыгуан, М.В. Стовас и др.) еще в прошлом веке, но, к сожалению, *не были услышаны современниками*. *Изменение эвстатического уровня Мирового океана определяется двумя факторами:*

1.Новой формой геоида в рассматриваемую геологическую эпоху, определяемой преимущественно новым положением оси вращения Земли;

2.Новой формой деформированного ложа океана, возникшей в результате разрядки соответствующего поля ротационных напряжений в рассматриваемую тектоническую эпоху.

Дополнительно к изложенному выше приведем некоторые особенности геологического строения морского дна и их геологическую интерпретацию.

1. В пределах геологического дна всех океанов имеет место второй океанический слой, представленный подводными излияниями лав, преимущественно основного состава. По положению в структуре океана он является аналогом т.н. офиолитовой формации в материковых геосинклиналях, что свидетельствует в пользу представлений об идентичности законов структурообразования в условиях как континентальной, так и океанической земной коры. Наличие второго океанического слоя и значительная глубина его залегания практически перекрывает доступ исследователям к прямому изучению особенностей геологического строения участков дна ниже этого слоя, и поэтому, в настоящее время они весьма мало изучены. Можно утверждать, что структурные планы тектоносферы в пределах океанических платформ вполне идентичны структурным планам более изученных континентальных платформ, а законы их формирования были одинаковыми.

2. Второй особенностью строения океанического дна является наличие в нем подводных океанических хребтов и глубоководных желобов (рис. 1.5.). Геологическое строение и тех и других изучено крайне слабо. Некоторые представления о закономерностях формирования глубоководных желобов были изложены в первой части монографии. Касаясь роли и места подводных срединно-океанических хребтов в тектоническом развитии Земли, можно высказать следующие соображения. Поскольку второй океанический слой представлен подводными изолиниями лав преимущественно основного состава, то каналами для их транспортировки могли быть разломы тектоносферы (земной коры), возникающие в процессе формирования океанических структур, происходившие в режиме растяжения. При этом участвовали разломы разных порядков. Надо полагать, что подводные океанические хребты соответствуют самым крупным разломам. В частности, об этом свидетельствуют данные об их составе, полученные в результате драгирования, а также приуроченные к ним аномалии теплового потока. Учитывая сделанный выше вывод об идентичности формирования тектонических структур в континентальных и океанических условиях, есть основание считать континентальным аналогом подводных океанических хребтов достаточно хорошо изученный Уральский хребет. Это заключение представляется очень важным, так как оно открывает определенные возможности изучения роли места малоизученных подводных океанических хребтов в тектогенезе Земли.

4.6. Деформации геоида и поля напряжений в тектоносфере Земли, обусловленные влиянием локальных плотностных неоднородностей и лунно-солнечных приливов

Аномалии геоида и напряженно-деформированное состояние тектоносферы. Как отмечалось ранее, наряду с вариациями скорости вращения, дрейфом оси вращения и лунно-солнечными приливами, еще одним фактором, обуславливающим возникновение напряжений в тектоносфере, являются нарушения равновесного состояния вращающейся Земли, обусловленные локальными плотностными неоднородностями, проявляющиеся в виде аномалий геоида. И если первые три фактора можно оценить главным образом путем математического моделирования, то характер аномалий геоида определяется исключительно путем экспериментальных наблюдений.

В настоящее время изучение орбит искусственных спутников Земли значительно расширило наши знания об аномалиях геоида, которые совместно с широким использованием современных геоинформационных технологий и возможностью обмена различного рода геоинформацией между исследовательскими центрами и банками данных через глобальную вычислительную сеть INTERNET, позволяют на более высоком уровне проанализировать структуру и возможные причины отклонения фигуры Земли от состояния гидростатического равновесия.

В марте 2002 с космодрома Плесецк в рамках проекта GRACE (Gravity Recovery And Climate Experiment) на орбиту Земли было выведено два спутника, совместно разработанных NASA и космическим агентством Германии [54]. Основной целью данного проекта является исследование гравитационного поля Земли и климата на нашей планете. Получаемая в рамках проекта GRACE модель аномалий геоида является наиболее точной на сегодняшний день – полная точность модели составляет 30 см. Результат визуализации этой модели аномалий геоида в виде карты изолиний приведен на рис. 1.2.

Выполненный расчет амплитудного спектра цифровой модели аномалий геоида позволяет сделать заключение [8]: в амплитудном спектре выделяются максимумы для гармоник с периодами близкими 40°–45°, 80°–90° и более 180° (круговые частоты ≈ 0.15, ≈ 0.07, <0.035 соответственно) (рис. 4.32). В результате реализованной на основе разности последовательных осреднений по площадкам 21°x21° и 41°x41° полосовой фильтрации аномалий геоида (размеры площадок выбирались в соответствии с величиной преобладающих полупериодов), были получены три составляющие с преобладающими периодами, соответствующими максимумам в амплитудном спектре.

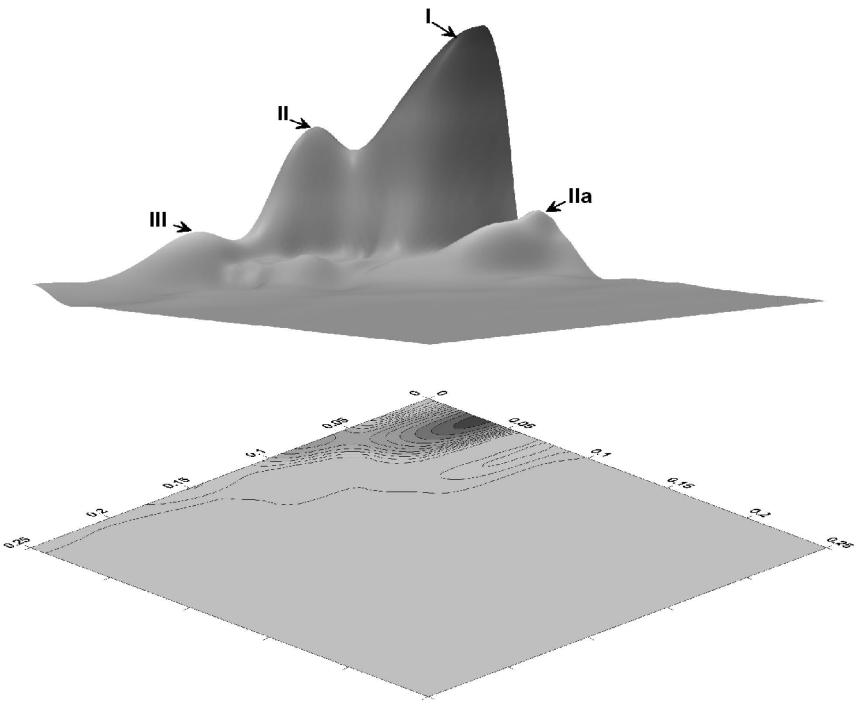


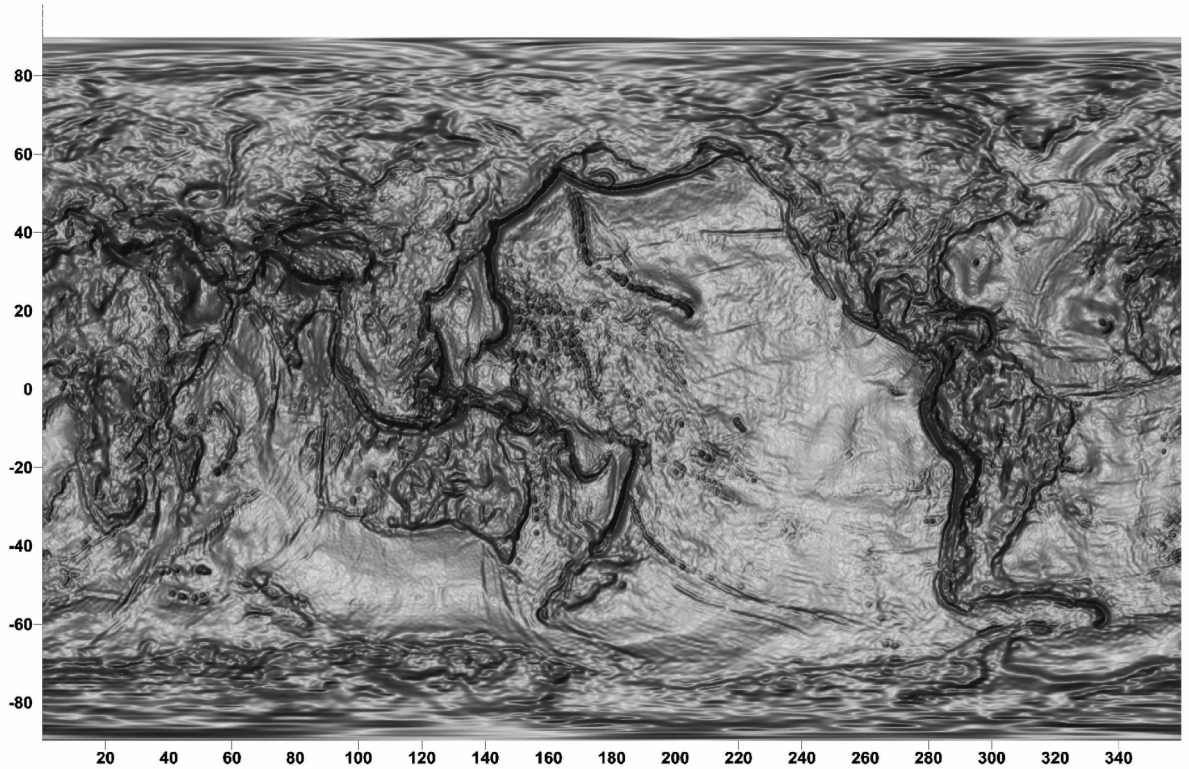
Рис. 4.32. Амплитудный спектр цифровой модели аномалий геоида
(вертикальный масштаб – логарифмический).

“Высокочастотная” составляющая (рис. 4.33).

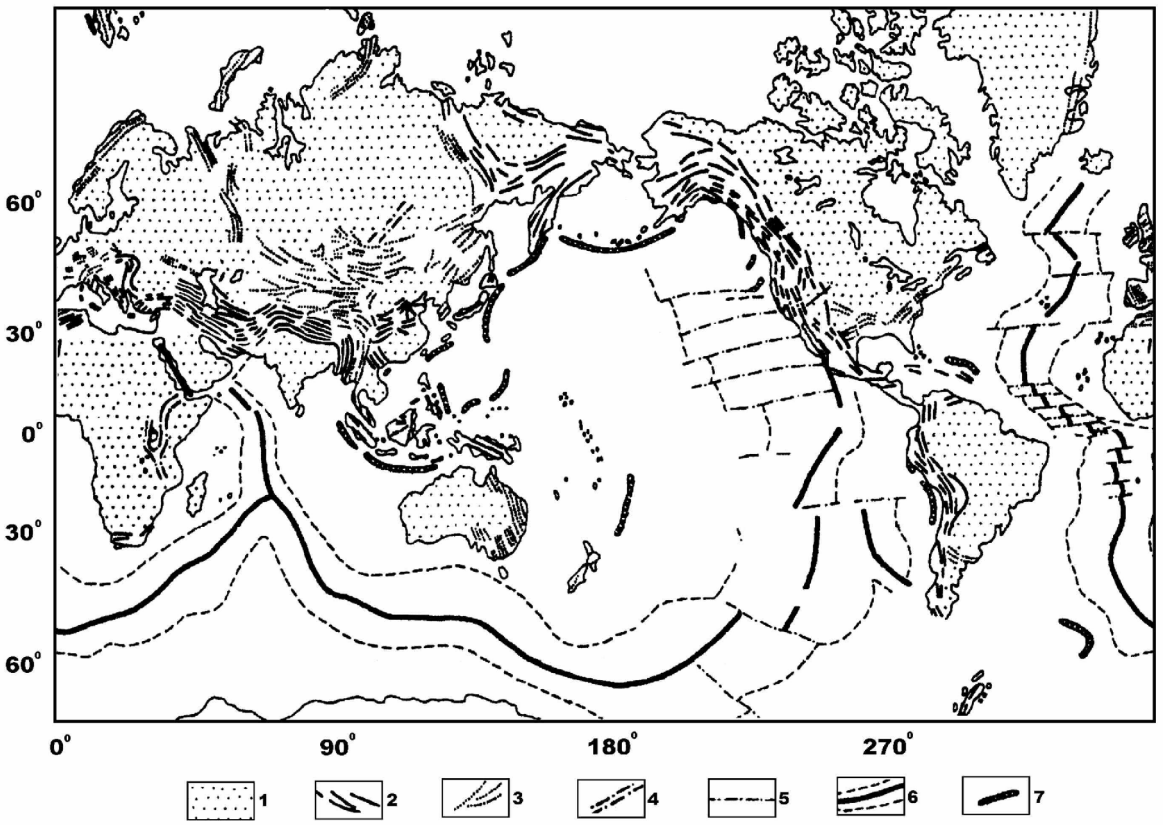
В рисунке аномалий данной составляющей находят отражение основные тектонические элементы Земли: материки, горные и срединноокеанические хребты, впадины, глубоководные желобы, крупные разломы и т.д. Большинство перечисленных тектонических элементов проявляются в рельефе земной коры и создают заметные отклонения геоида. Приведем количественные оценки высокочастотных аномалий геоида над некоторыми структурами: срединноокеанические хребты проявляются в виде положительных аномалий амплитудой 5–10 м; глубоководные желобы – отрицательные аномалии до -15–20 м; горные хребты – положительные аномалии до 20–25 м. Можно предположить, что высокочастотная составляющая аномалий геоида отражает суммарное влияние плотностных неоднородностей земной коры и масс, вызванных рельефом.

Данные аномалии геоида связаны с плотностными неоднородностями в тектоносфере, возникшими в результате тектонических активизаций Земли, процесс которых детально описан в разделе 2 и иллюстрирован рис. 2.6. Схема возникновения неоднородностей показана на рисунке 4.34. Кратко она сводится к следующему (см. подробнее [31]).

Пусть, например, в процессе тектонической активизации произошло относительное вертикальное смещение правого блока однородной



а)



1 - *докембрийские платформы;* **2,3** - *горно-складчатые сооружения;* **4** - *континентальные рифтовые структуры;* **5** - *разломы в океане;* **6** - *срединно-океанические хребты;* **7** - *глубоководные желоба.*

б)

Рис 4.33. Сопоставление “высокочастотной” составляющей аномалий геоида (*а*) со схемой основных тектонических элементов Земли (*б*).

тектоносферы, имеющей градиент нарастания плотности с глубиной $\mathrm{grad}_z \rho$, на высоту ΔH с последующей полной или частичной денудацией приподнятого блока (рис. 4.34, *а*). В результате этого смещения на границе соприкасающихся блоков возникает вертикальная плотностная граница со значением эффективной плотности $\Delta\rho$, определяемой соотношением

$$\Delta\rho = \Delta H grad_z \rho \qquad (4.64)$$

Этой плотностной границе будет соответствовать гравитационная аномалия Δg типа ступени. Вид ее приведен на рис. 4.34, *а*. В случае, если в перемещении участвует сегмент тектоносферы, ограниченный разломами с обеих сторон, то на каждой из них возникнут плотностные границы с эффективной плотностью $\Delta\rho$ и $\Delta\rho'$, пропорциональной амплитудам смещений на границах сегмента ΔH и $\Delta H'$ (рис. 4.34, *б*). Гравитационная аномалия Δg над такого рода сегментом однородной тектоносферы будет состоять из суммы аномалий над обеими плотностными границами: над относительно приподнятым блоком тектоносферы будет наблюдаться положительная аномалия Δg, а над относительно опущенным – отрицательная, и соответствующие им аномалии геоида ζ. Другими словами, относительные вертикальные перемещения однородных блоков тектоносферы приводят к возникновению латеральных неоднородностей, отражающихся в аномалиях геоида относительно земного референц-эллипсоида.

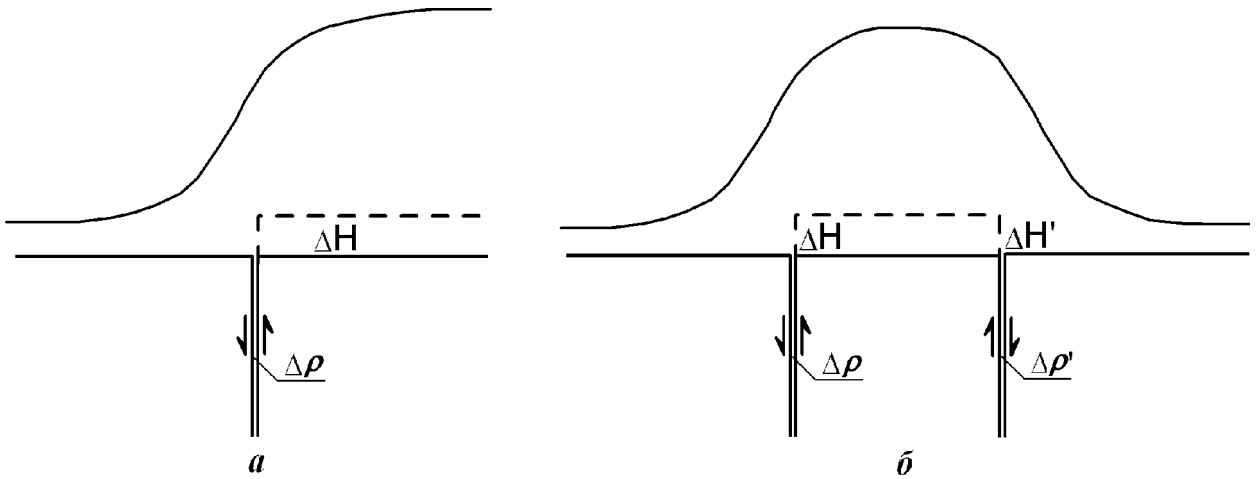


Рис. 4.34. Схема возникновения плотностных неоднородностей в тектоносфере Земли.

Следовательно, высокочастотные аномалии геоида могут служить индикатором тектонической активности, и быть использованы при

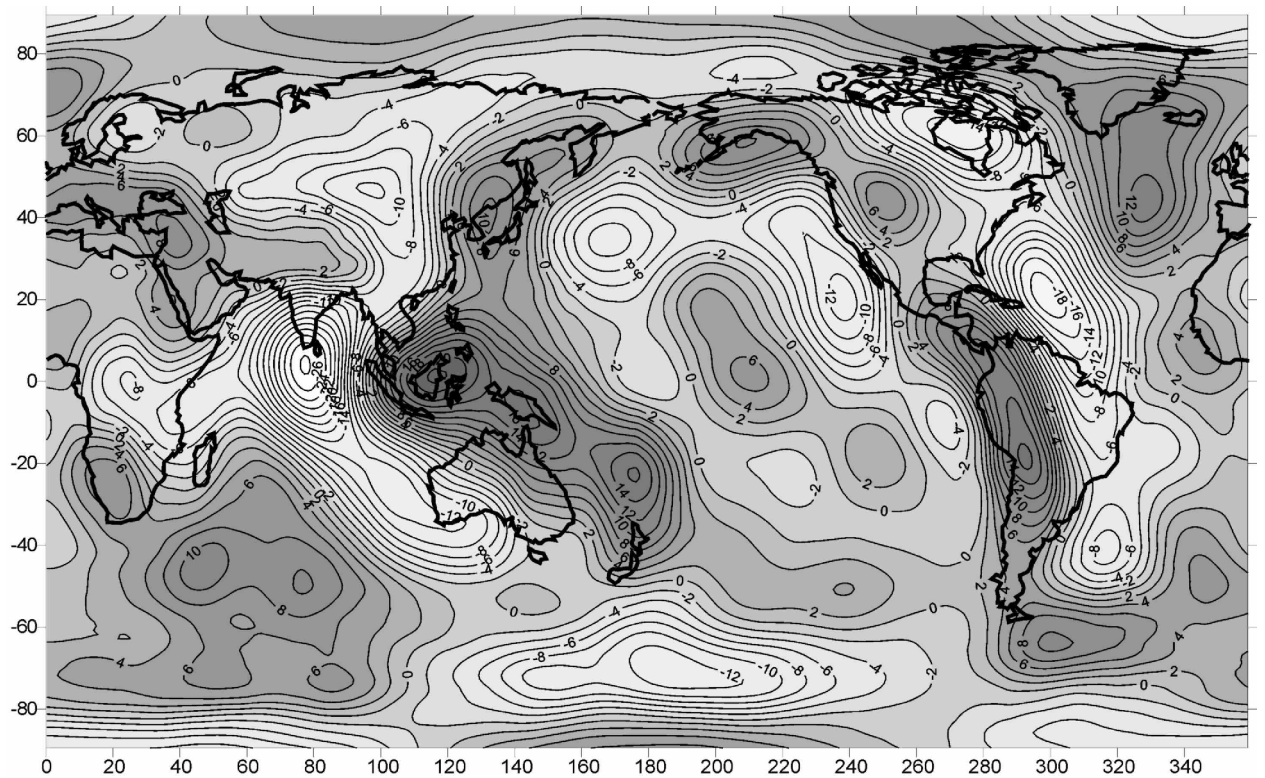
решении теоретических вопросов геофизики и геологии, а также при сейсмотектоническом районировании, решении региональных геоэкологических задач и пр.

“Среднечастотная” составляющая (рис. 4.35).

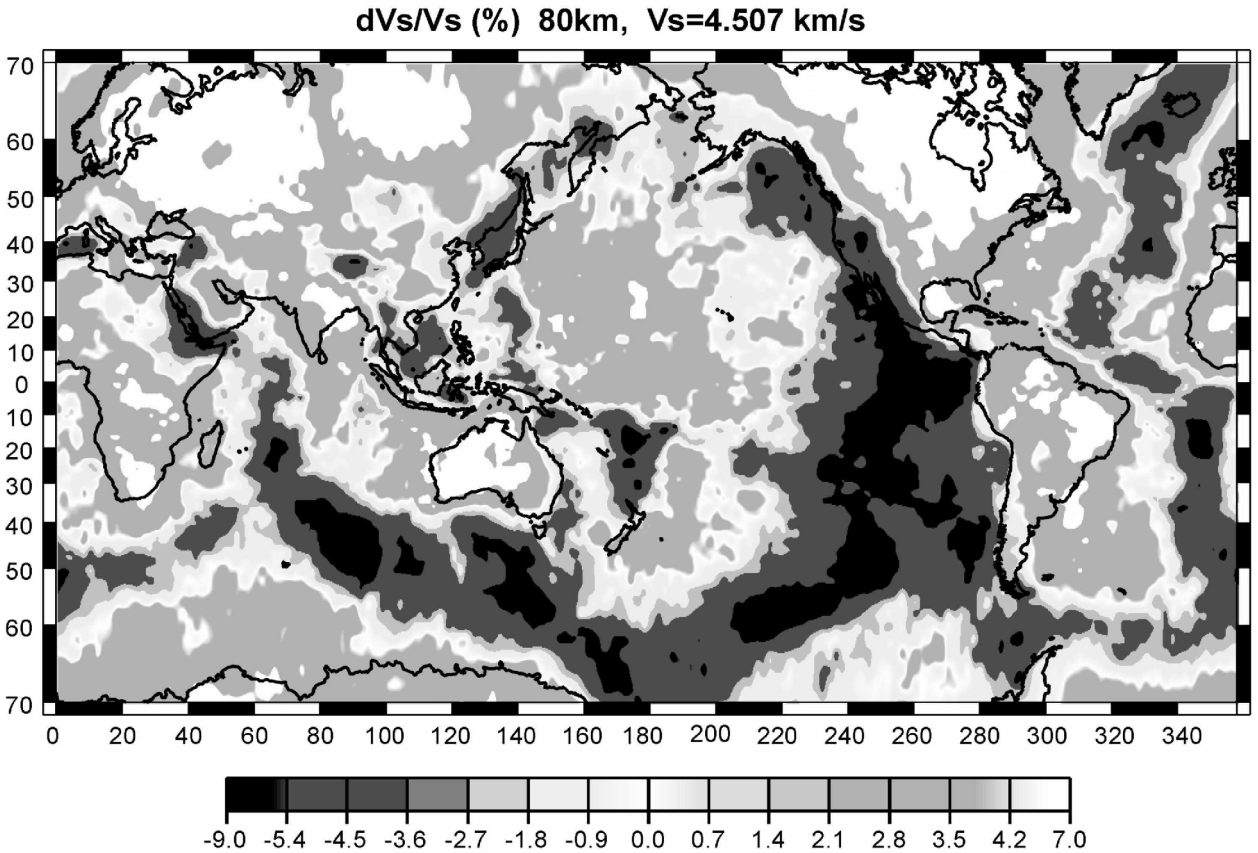
Размеры аномалий среднечастотной составляющей аномалий геоида допускают предположение, что с одной стороны источником этих аномалий могут являться плотностные неоднородности, связанные с более крупными блоками тектоносферы, с другой – более глубокозалегающие плотностные неоднородности, а именно неоднородности в верхней мантии. При этом характерно, что положительные аномалии весьма тесным образом коррелируются с областями повышенной современной тектонической активности Земли. На сегодняшний день наиболее эффективным инструментом исследования неоднородностей мантии является сейсмическая томография, позволяющая выявлять небольшие отклонения скорости прохождения сейсмических волн через недра Земли относительно стандартных моделей их распространения. В настоящее время разными исследователями на основе сейсмотомографического метода получены модели скоростных неоднородностей мантии, имеющие общее сходство [40,46,47]. В данной работе анализировалась модель, полученная группой исследователей университета штата Колорадо (Center for Imaging the Earth’s Interior in the University of Colorado). Совместный анализ среднечастотной составляющей аномалий геоида и аномалий скорости распространения сейсмических волн позволяет сделать заключение (рис. 4.35): *положительным аномалиям среднечастотной составляющей соответствуют аномалии пониженной скорости распространения сейсмических волн в верхней мантии*. Следует подчеркнуть, что скоростные аномалии мантии, находящие отражение в среднечастотных аномалиях геоида, отмечаются до глубин 100-150 км, для скоростных срезов больших глубин такая корреляция теряется. На рисунке 4.36 приведен результат сопоставления сечения среднечастотной составляющей аномалий геоида по параллели 45°С.Ш. с разрезом сейсмотомографической модели, описанной выше. Как и для глубинных срезов, для данного сечения также отмечается связь именно аномалий “среднечастотной” составляющей со скоростными неоднородностями верхней мантии до глубин 100-150 км.

“Низкочастотная” составляющая (рис. 4.37).

Характер распределения максимумов и минимумов низкочастотной составляющей аномалий геоида никак не связан ни с расположением основных тектонических структур земной коры, ни с областями повышенной тектонической активности. В то же время в расположении минимумов и максимумов низкочастотной составляющей отмечается определенная закономерность: в двух противоположных квадрантах земной поверхности находятся глобальные минимумы; в двух других –



а)



б)

Рис. 4.35 Сопоставление “среднечастотной” составляющей аномалий геоида (*а*) со схемой аномалий скорости распространения поперечных волн на глубине 80 км (*б*) по данным Center for Imaging the Earth’s Interior in the University of Colorado [50].

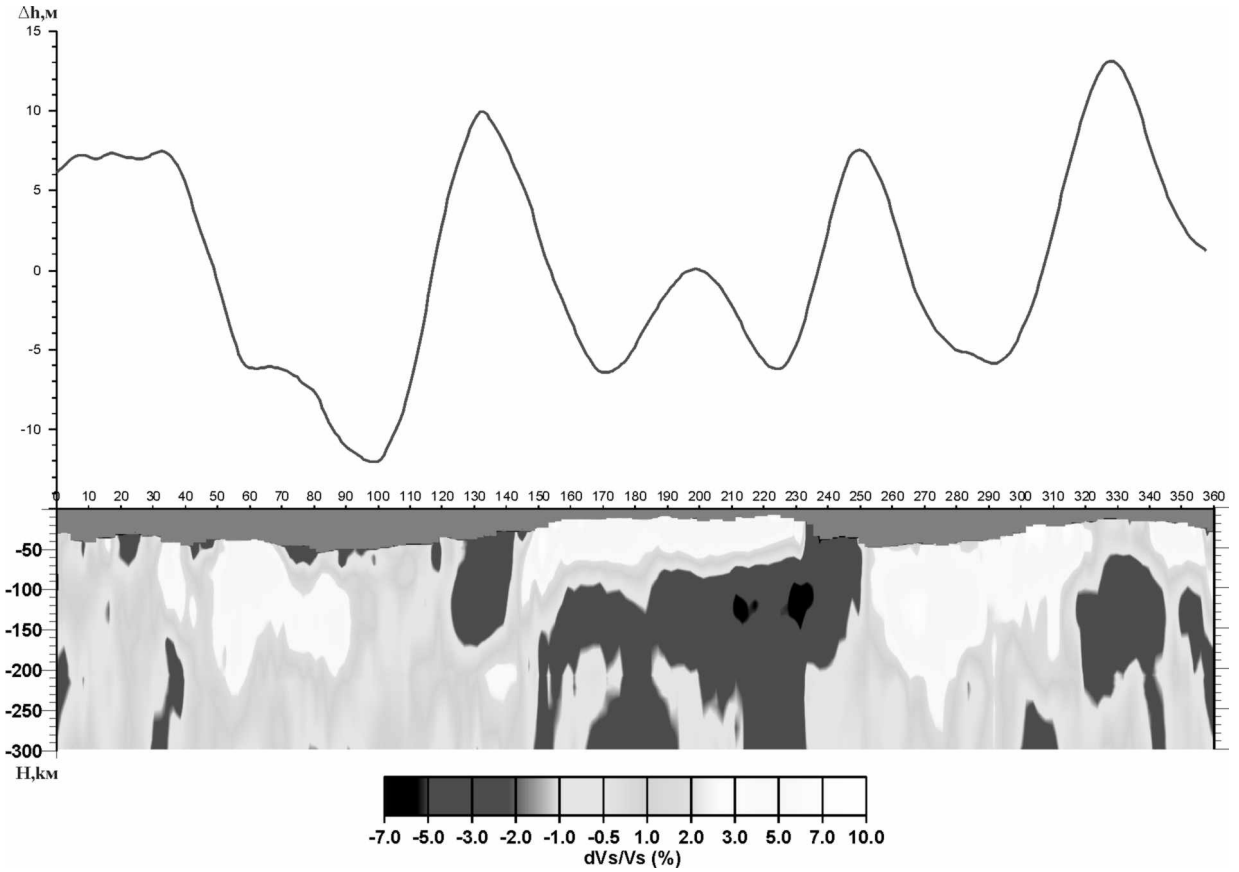


Рис. 4.36. Сопоставление сечения среднечастотной составляющей аномалий геоида по параллели 45°С.Ш. с разрезом сейсмотомографической модели по данным Center for Imaging the Earth's Interior in the University of Colorado [50].

максимумы (рис. 4.37, *а*). Такая картина характерна для деформаций земного эллипсоида при смещении географических полюсов по поверхности Земли [31]. В разделе 4.4 описана методика оценки величины смещений поверхности земного эллипсоида при изменении положения оси вращения. На рисунке 4.37, *б* представлена схема изолиний смещений поверхности Земного эллипсоида при перемещении оси вращения в плоскости нулевого меридиана на 10´ (минут). Как видно из сопоставления низкочастотной составляющей аномалий геоида и результатов модельных расчетов их рисунок весьма схож.

В заключение отметим: аномалии геоида представляют собой суперпозицию аномалий, вызываемых различными причинами; наиболее "энергоемкой" является низкочастотная составляющая, наименее "энергоемкой" – высокочастотная (амплитуда аномалий для этих составляющих отличается на порядок). Несмотря на увеличивающуюся точность спутниковых измерений аномалий геоида, их использование в ближайшем будущем возможно лишь на уровне региональной геодинамики. Для решения прикладных вопросов, связанных с расчетом напряженно-деформированного состояния геологической среды при сейсмотектоническом районировании различного

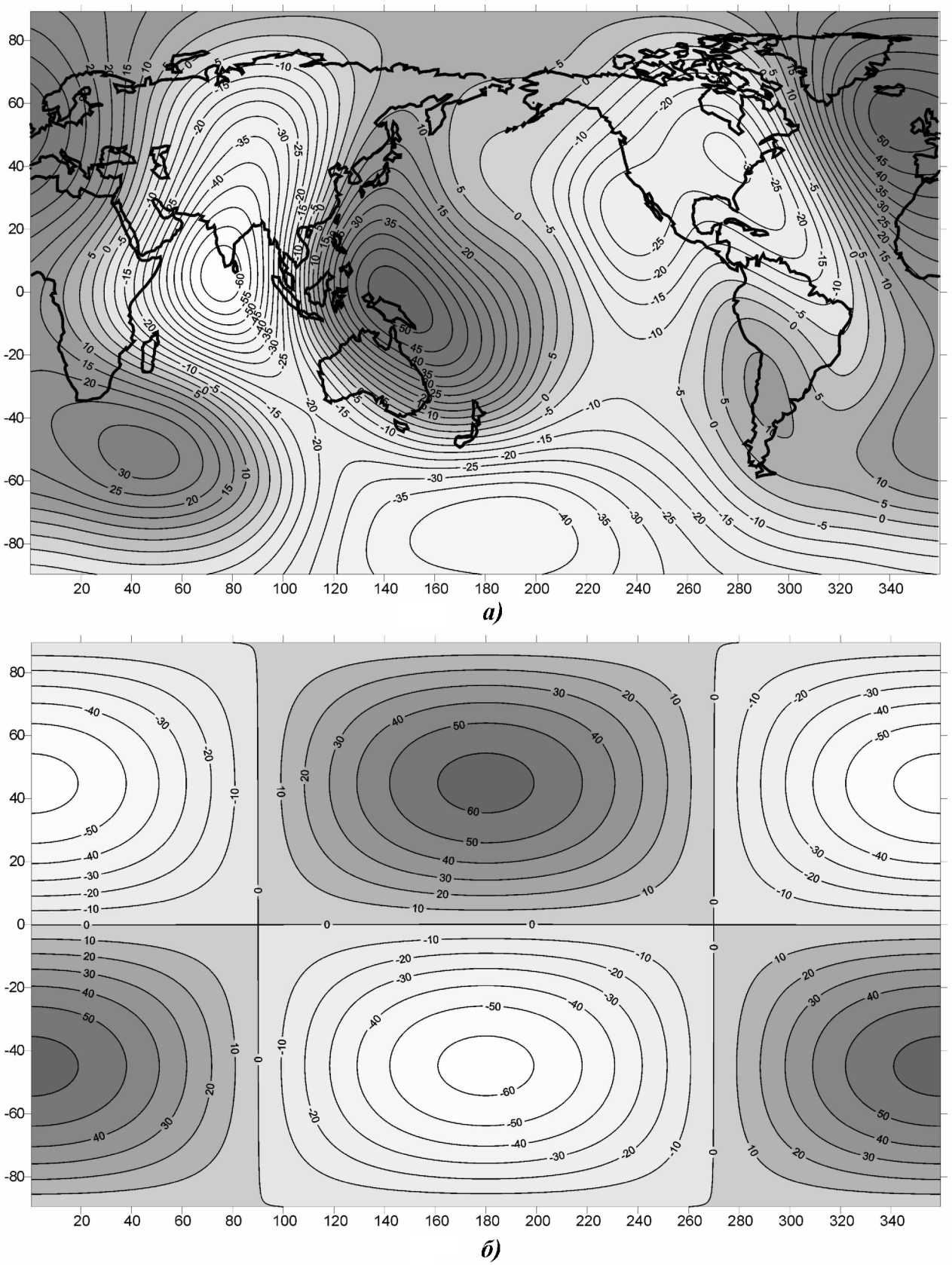


Рис. 4.37. Сопоставление “низкочастотной” составляющей аномалий геоида (*а*) со схемой смещений поверхности земного эллипсоида при перемещении оси вращения Земли в плоскости нулевого меридиана на 10´ (*б*).

масштаба, прогнозе геодинамических процессов на шахтных полях, решении геоэкологических и инженерно-геологических задач и пр., необходима технология восстановления высокочастотных аномалий геоида по наземным гравиметрическим съемкам различного масштаба.

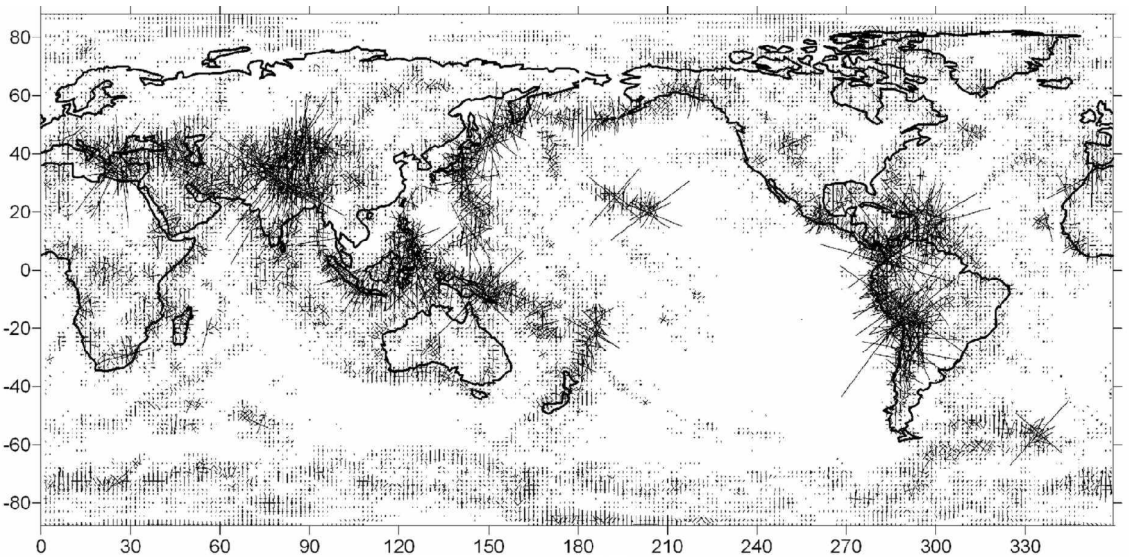
Как и в случае оценки полей напряжений, обусловленных вариациями ротационного режима, при расчете напряженно-деформированного состояния, связанного с аномалиями геоида, используется общеизвестный закон, согласно которому *любая природная динамическая система стремится к достижению минимума своей внутренней энергии*. Применительно к системе вращающейся Земли, можно воспользоваться представлениями В.В. Кузнецова [17], формулирующего приведенный выше закон в виде *принципа минимизации гравитационной энергии планеты*, реализация которого в конечном итоге приводит к установлению ее гидростатического равновесия. Выполнение данного принципа приводит к минимизации площади физической поверхности планеты. Следовательно, Земля, эволюционируя, стремится минимизировать высоту аномалии геоида.

Оптимальной фигурой равновесия Земли является эллипсоид вращения со сжатием, соответствующим массе Земли и ее угловой скорости вращения. Его иногда называют теоретическим геоидом. Следовательно, одной из причин возникновения дополнительных напряжений в тектоносфере является стремление реального геоида приобрести форму теоретического (при неизменном ротационном режиме). Эти напряжения в тектоносфере Земли накладываются на напряжения, обусловленные вариациями ее ротационного режима [11].

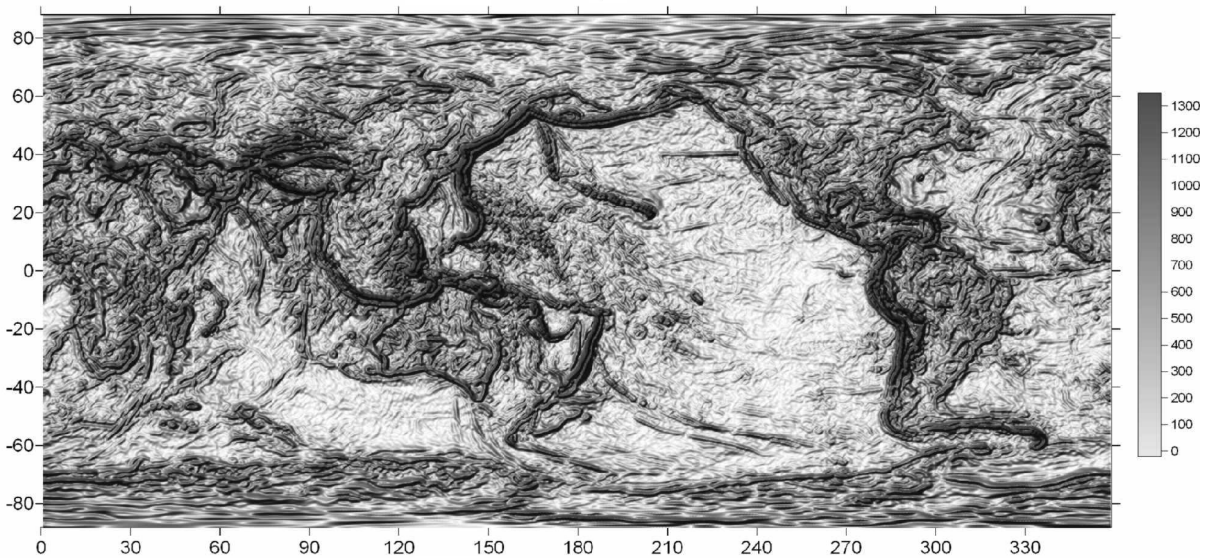
При расчете поля напряжений, обусловленных аномалиями геоида, соответствующими локальным неоднородностям в тектоносфере, можно воспользоваться подходом, изложенным в разделе 4.2. В случае ограниченных участков земной поверхности можно пользоваться моделью упругой плиты, пренебрегая сферичностью земной поверхности, что в значительной мере упрощает вышеописанный алгоритм.

В качестве иллюстрации работы данного алгоритма приведены примеры расчета напряжений в тектоносфере, обусловленных аномалиями геоида, полученными на основе данных спутниковой гравиметрии (проект GRACE). В начале раздела было условлено эти напряжения называть аномальными ротационными.

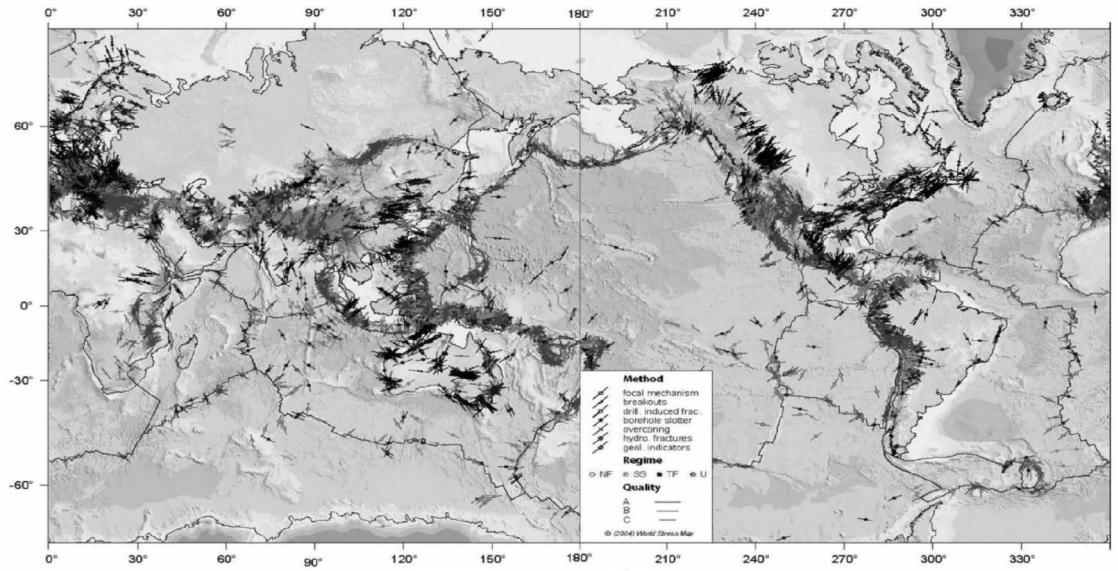
С целью оценки тектонической и геодинамической позиции полей напряжений, обусловленных аномалиями геоида, было выполнено их сопоставление с полями напряжений, полученными в рамках проекта *World stress map* – ведущей международной программы, направленной на сбор и анализ напряжений тектоносферы *in situ*. На рисунке 4.38 представлены результаты такого сопоставления. Как видно из рисунка,



а)



б)



в)

Рис. 4.38. Сопоставление осей действия горизонтальных геоизостатических напряжений (*а*) и максимальных касательных напряжений, кПа (*б*) с напряжениями, полученными в рамках проекта *World stress map* [51] (*в*).

области аномально высоких напряжений, выделяемые независимыми методами, тесным образом коррелируются с аномалиями полей геоизостатической природы, более того, близка ориентировка осей действия напряжений. Подобная зависимость в очередной раз подтверждает связь полей напряжений, обусловленных аномалиями геоида с тектоническими процессами, вызывающими нарушение равновесного состояния физической поверхности вращающейся Земли. Аномальные ротационные напряжения, достигающие величин порядка 10^4 – 10^6 Па, являются существенной «добавкой» к нормальному ротационному полю напряжений.

***Деформации земного эллипсоида в результате лунно-солнечных приливов**.** Величина приливных возмущений, вызванных небесным телом (в данном случае – Луной или/и Солнцем), может быть определена на основе статической теорией приливов [25]. В соответствие с которой, любая точка **p** поверхности Земли, положение которой определяется широтой φ и долготой λ, будет испытывать приливное возмущение, определяемое выражением (рис. 4.39)

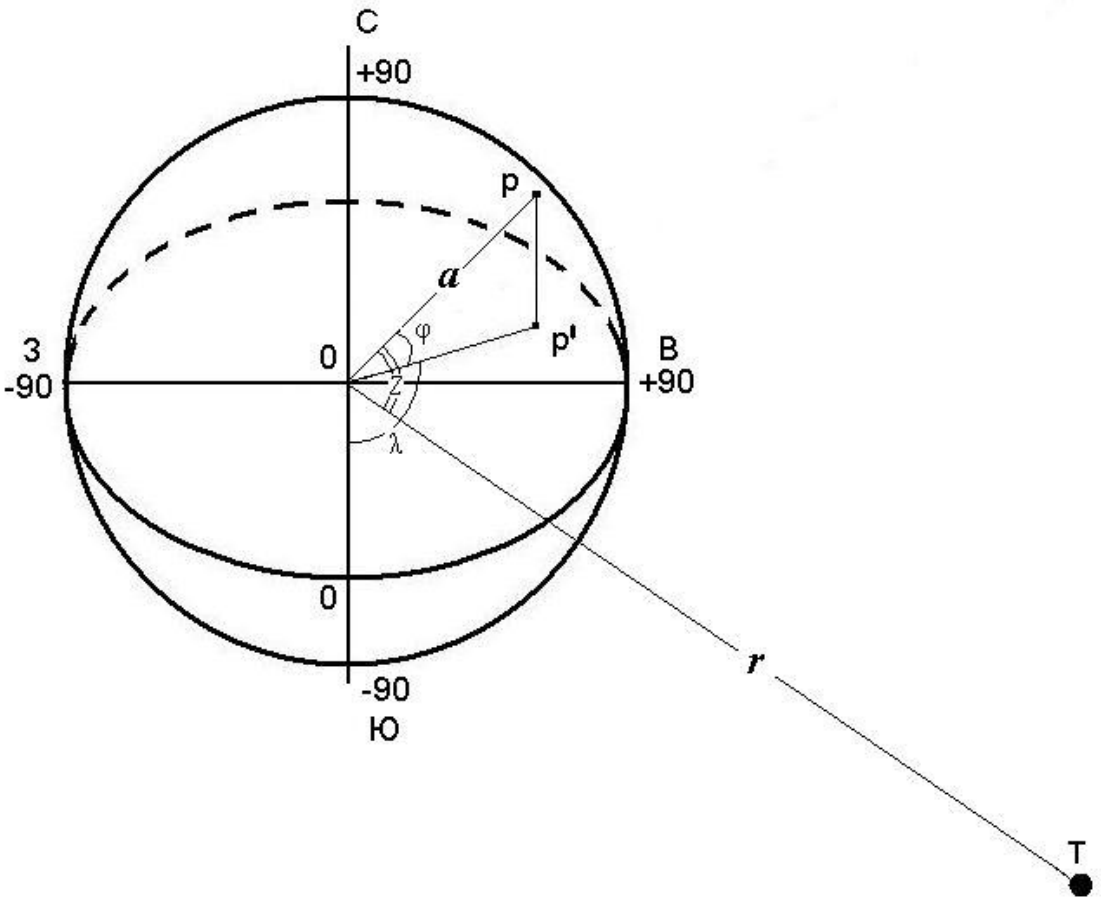


Рис. 4.39. К определению приливного возмущения.

* Данный подраздел подготовлен по материалам, полученным совместно с В.П. Солдатенко.

$$\xi = \frac{W_2}{g}, \tag{4.65}$$

где g=9,8204 м/с^2 – ускорение свободного падения на поверхности сферической Земли; W_2 – приливной потенциал.

$$W_2 = \frac{fm}{2}\frac{a^2}{r^3}\left[3\cos^2(z) - 1\right], \tag{4.66}$$

где f= 6,672·10^{11} м^3/(кг·с^2)– гравитационная постоянная, z – угол между направлениями на точку **p** и возмущающее тело из центра Земли, r – расстояние между центром Земли и возмущающим телом, a – радиус равновеликой Земле сферы.

Для случая фактического положения Луны и Солнца, задача вычисления лунно-суточных приливных возмущений включает в качестве первого этапа – определение положения возмущающего небесного тела по отношению к точке наблюдения, который сводится к вычислению угла z и расстояния r в формуле (4.66). Подобные вычисления широко известны в астрономических исследованиях [1]. Нами применен несколько упрощенный подход, учитывающий только основные особенности (аномалии) в движении Солнца и Луны и достаточный для получения значения z с точностью до десятых долей градуса.

Угол z в формуле (4.66) можно рассматривать как угловое расстояние между двумя светилами, одно из которых находится в зените точки наблюдения. Это угловое расстояние можно вычислить по формуле

$$\cos z = \sin\delta_z \sin\delta_s + \cos\delta_z \cos\delta_s \cos(\alpha_z - \alpha_s), \tag{4.67}$$

где α_s, δ_s – соответственно прямое восхождение и склонение для светила, α_z, δ_z - соответственно прямое восхождение (долгота) и склонение (широта) для зенита (точки наблюдения).

То есть, для последующих вычислений необходимо определить положение Солнца и Луны в экваториальных координатах. При этих расчетах в качестве эпохи, относительно которой вычисляются координаты Солнца и Луны, нами принята эпоха 1980 г., январь 0,0, что часто используется в астрономии.

Определение экваториальных координат Солнца. Значение расстояния до Солнца задается выражением

$$r = \frac{r_0\left(1 - e^2\right)}{1 + e\cos v}, \tag{4.68}$$

где $r_0 = 149{,}5985 \cdot 10^6$ км − большая полуось орбиты Солнца; $e = 0{,}016718$ – эксцентриситет орбиты Солнца; v – истинная аномалия Солнца (угол, на который Солнце переместилось с момента прохождения через перигей).

Удобным и широко распространенным является первоначальное вычисление координат Солнца в эклиптических координатах (в этом случае его широта равна 0) с последующим переходом к экваториальным. Долгота Солнца в эклиптических координатах равна

$$\lambda_o = v + \omega_g \,, \tag{4.69}$$

где ω_g =282,596403º − долгота Солнца в перигее.

Истинную аномалию Солнца можно определить из выражения

$$\mathrm{tg}\frac{v}{2} = \left(\frac{1+e}{1-e}\right)^2 tg\frac{E}{2} \,, \tag{4.70}$$

где E – эксцентрическая аномалия, находится из решения уравнения Кеплера

$$E - e\sin E = M \,, \tag{4.71}$$

где M – средняя аномалия Солнца, определенная в предположении, что Солнце движется по круговой орбите

$$M = \frac{360}{365{,}2422} D + \varepsilon_g - \omega_g \,, \tag{4.72}$$

где D – число суток, прошедших с начала эпохи 1980 г.; ε_g=278,833540º − эклиптическая долгота Солнца на начало эпохи 1980 г.

Уравнение (4.71) решается методом последовательных приближений.

Переход от эклиптических координат – долготы λ и широты β к экваториальным – прямому восхождению α и склонению δ осуществляется по формулам

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{\sin\lambda\cos\varepsilon - \mathrm{tg}\beta\sin\varepsilon}{\cos\lambda}\right),$$
$$\delta = \arcsin(\sin\beta\cos\varepsilon + \cos\beta\sin\varepsilon\sin\lambda) \,, \tag{4.73}$$

где ε – наклон эклиптики, вычисляется как

$$\varepsilon = 23^\circ 27' 08{,}26'' - 46{,}845'' T - 0{,}0059'' T^2 + 0{,}001811'' T^3 , \qquad (4.74)$$

где Т – число юлианских веков, прошедших с эпохи 1900 г.

Определение экваториальных координат Луны. Орбита Луны существенно возмущена влиянием не только Земли, но и Солнца. Причем, влияние последнего существеннее. Можно выделить три основных эффекта солнечных возмущений на видимую лунную орбиту вокруг Земли. Первый из них называется эвекцией и состоит в том, что видимая величина эксцентриситета лунной орбиты немного изменяется. Второй эффект обусловлен изменением расстояния между Землей и Солнцем по мере того, как Земля движется по эллипсу вокруг Солнца. Соответствующие поправки называются годичным уравнением. Третий эффект возникает из-за движения Луны в гравитационном поле Солнца. Когда Луна находится по ту же сторону от Земли, что и Солнце, притяжение Солнца немного больше, чем когда Луна находится по другую сторону от Земли. Соответствующая поправка называется вариацией. Все эти поправки вместе обычно называют уравнением центра.

Этапы вычисления положения Луны следующие. Находим ее истинную орбитальную долготу l''

$$l'' = l' + V , \qquad (4.75)$$

где V – вариация; l' − исправленная долгота

$$l' = l + E_0 + E_c - A_e + A_4 , \qquad (4.76)$$

где $A_4 = 0{,}214 \sin 2M_m'$ − поправка для средней аномалии Луны; $E_c = 6{,}2886 \sin M_m'$ − поправка за уравнение центра; $E_0 = 1{,}2739 \sin(2C - M_m)$ − поправка за эвекцию; $A_e = 0{,}1858 \sin M$ − годичная поправка; M – средняя аномалия Солнца; $C = l - \lambda_\circ$; $l = 13{,}176396 D + l_0$ − средняя долгота Луны.

Находим исправленную среднюю аномалию Луны M_m'

$$M_m' = M_m + E_0 - A_e - A_3 , \qquad (4.77)$$

где $A_3 = 0{,}37 \sin M$ − поправка для исправленной средней аномалии Луны; $M_m = -0{,}1114041 D - P_0$ − средняя аномалия Луны.

Переходим к эклиптическим координатам

$$\lambda_m = \mathrm{arctg}\left[\frac{\sin\left(l'' - N'\right)\cos i}{\cos\left(l'' - N'\right)}\right] + N' , \beta_m = \arcsin\left[\sin\left(l'' - N'\right)\sin i\right], \qquad (4.78)$$

где $N' = N - 0{,}16 \sin M$ − исправленная долгота восходящего узла; $N = N_0 - 0{,}0529539D$ – средняя долгота восходящего узла. $l_0 = 64{,}975464^\circ$, $P_0 = 349{,}383063^\circ$, $N_0 = 151{,}950429^\circ$ − средние значения долгот на начало эпохи 1980 г.

Расстояние до Луны определяется по формуле

$$\rho = \frac{a\left(1 - e^2\right)}{1 + e\cos\left(M_m' + E_c\right)}, \tag{4.79}$$

где e = 0,054900 – эксцентриситет орбиты Луны; a = 384401 км – большая полуось орбиты Луны.

Формулы (4.65)-(4.66) и (4.67)-(4.79) составляют алгоритм вычисления приливных лунно-суточных вариаций для любой точки поверхности Земли. На рисунке 4.40 представлен пример такого рода расчетов.

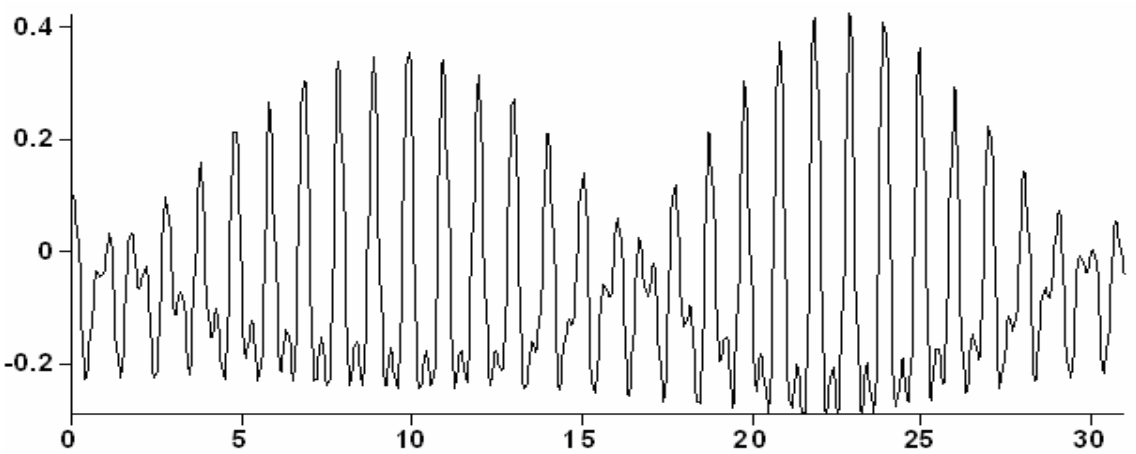


Рис. 4.40. График приливных лунно-солнечных возмущений (м) в точке с координатами φ = 48° с.ш., λ = 37°,5 в.д. (территория Донецкого бассейна) в течение декабря 2007 г.

Напряженное состояние тектоносферы, обусловленное лунно-солнечными приливами. Выше описана схема расчета приливных возмущений для фактического положения Луны и Солнца относительно Земли. Подставляя величину приливного возмущения ξ в алгоритм расчета напряжений в толстостенной оболочке, можно вычислить значения элементов тензора напряжений в тектоносфере, обусловленного лунно-солнечными приливами. На рисунке 4.41 представлены результаты расчетов напряженного состояния под действием лунных приливов. Как следует из результатов расчетов [16], максимальные растягивающие напряжения имеют величину $2{,}24 \cdot 10^4$ Па, сжимающие напряжения –

$1{,}12 \cdot 10^4$ Па, максимальные вертикальные скалывающие напряжения – $0{,}42 \cdot 10^4$ Па. Для солнечных приливов: максимальные растягивающие напряжения имеют величину $1{,}03 \cdot 10^4$ Па, сжимающие напряжения – $0{,}51 \cdot 10^4$ Па, максимальные касательные напряжения – $0{,}19 \cdot 10^4$ Па.

Имея данные о динамике приливных возмущений, появляется возможность моделирования приливных напряжений во времени. В качестве примера таких исследований на рисунке 4.42 приведены результаты расчетов приливных напряжений в точке с координатами φ = 48° с.ш., λ = 37,5° в.д. (район г. Донецк).

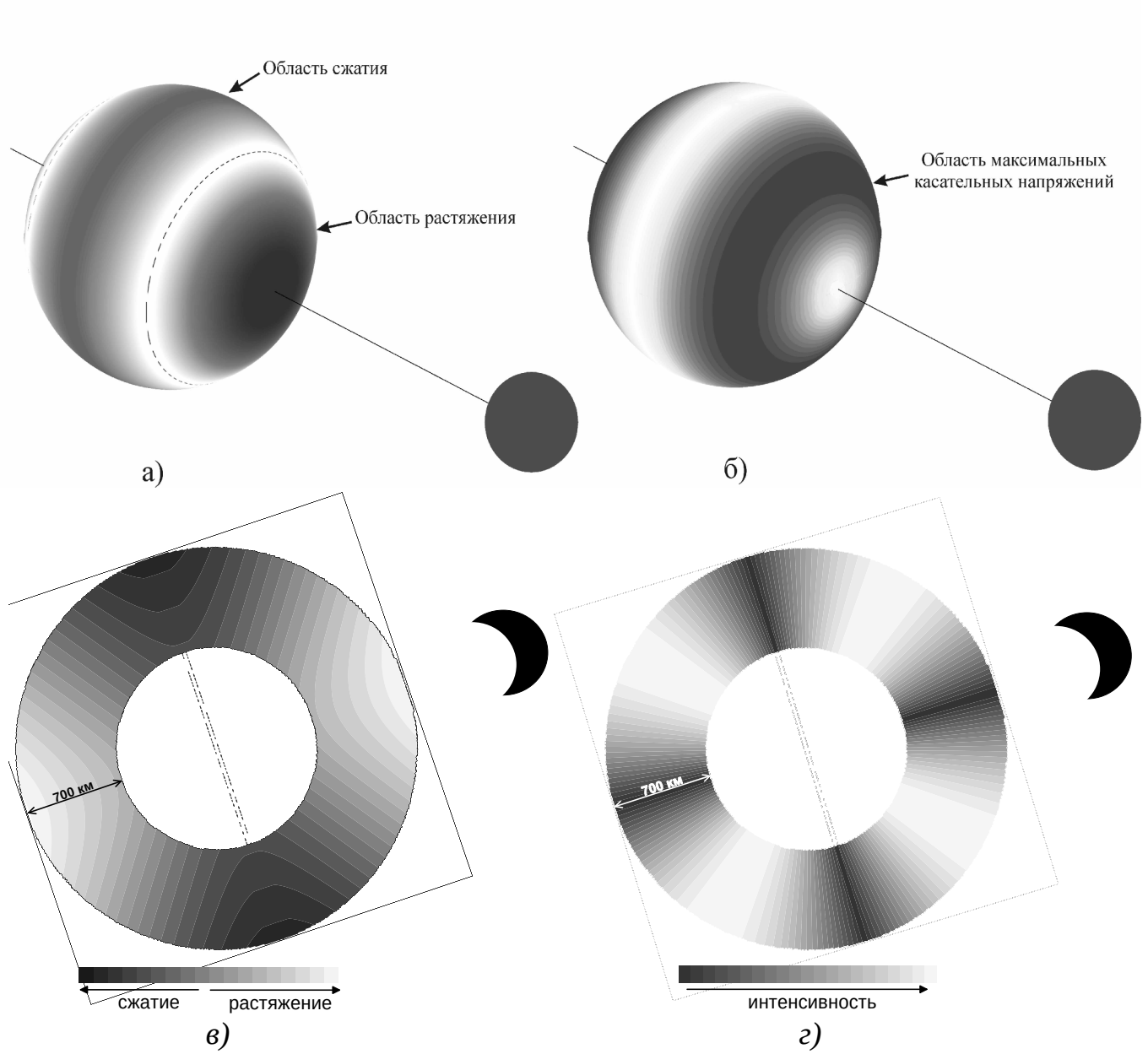
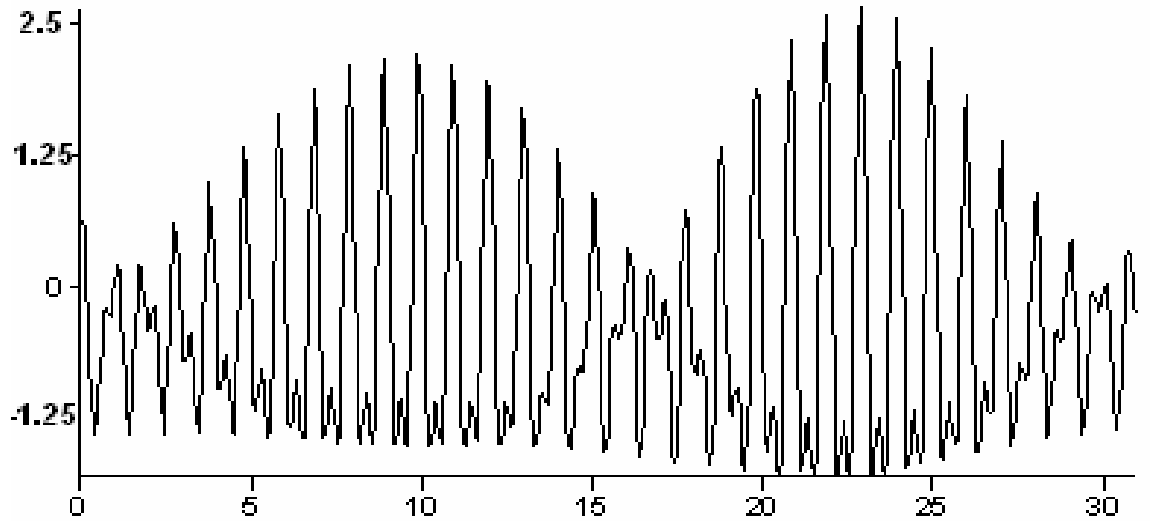
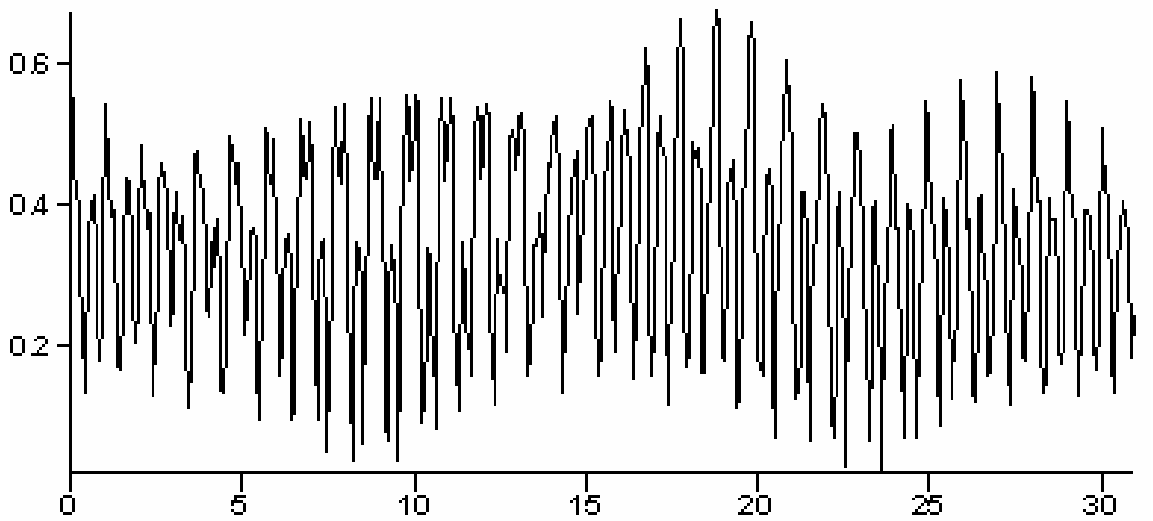


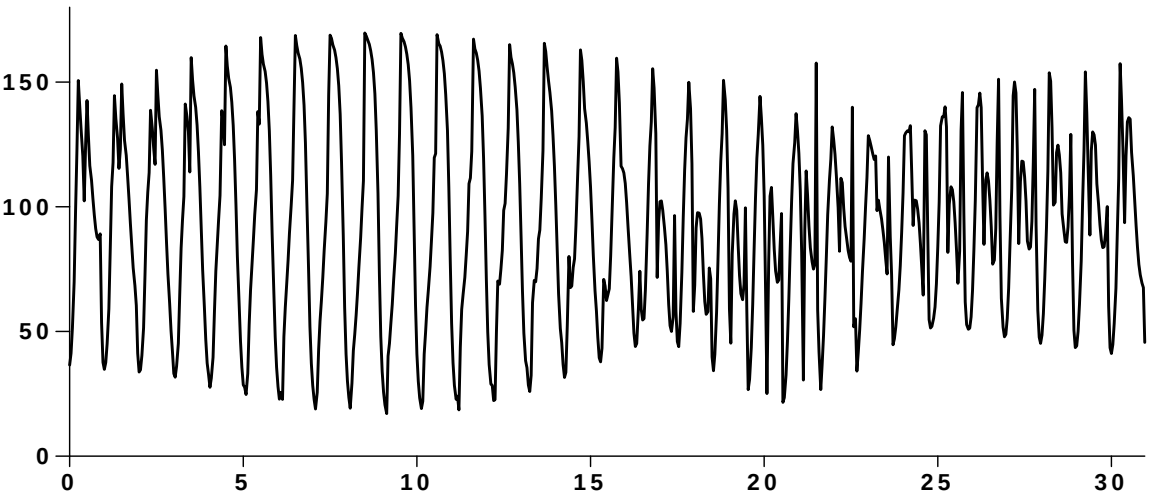
Рис. 4.41. Модель распределения приливных напряжений сжатия-растяжения (*а*) и максимальных касательных напряжений (*б*) и в меридианном сечении тектоносферы (*в*) и (*г*).



а)



б)



в)

Рис. 4.42. График приливных лунно-солнечных напряжений: сжатия-растяжения (10^4 Па) – *а*, максимальных вертикальных касательных напряжений (10^4 Па) – *б* и азимута площадок действия максимальных вертикальных касательных напряжений (град.) – *в* в точке с координатами φ = 48° с.ш., λ = 37°,5 в.д. (территория Донецкого бассейна) в течение декабря 2007 г.

Важной характеристикой при исследовании влияния лунно-солнечных приливов на геопроцессы является азимут площадок, на которых действуют максимальные касательные напряжения. Лунно-солнечное приливное воздействие быстроменяющийся процесс, который можно рассматривать как перемещение волнообразных возмущений по поверхности Земли. Естественно ожидать, что наибольшее воздействие приливы будут оказывать на геологическую среду в областях нарушения ее сплошности, азимут которых параллелен фронту приливной волны в тектоносфере, а фактически, при совпадении азимутов зон нарушения сплошности и площадок, с максимальными касательными приливными напряжениями.

В настоящее время многие исследователи, изучающие систему Земля – Луна склонны считать, что происходит удаление спутника от планеты. Как следствие, в геологическом прошлом приливное воздействие со стороны Луны было значительно больше, чем в современную эпоху. Это в свою очередь необходимо учитывать при изучении роли приливного воздействия на формирование и развитие геологических структур. Некоторые из этих вопросов рассмотрены ниже.

4.7. Роль полей напряжений в тектоносфере Земли, обусловленных лунно-солнечными приливами, при формировании тектонических структур

Формирование складчатых структур в осадочной и осадочно-метаморфической толщах. *В разделе 3.1 первой части монографии был сделан вывод о том, что в настоящее время для объяснения складкообразования в осадочной толще предпочтительнее использовать механизм складчатости скалывания, по сравнению с механизмами продольного сжатия и поперечного изгиба*. В частности, этот механизм использован нами при объяснении формирования нефтегазоносных структур антиклинального и подобного им типа (рис. 3.13). Анализ результатов изучения особенностей взаимопересекающейся многоактной складчатости в осадочно-метаморфических породах докембрийского фундамента, установленных группой исследователей ленинградской школы [3], позволяет сделать вывод о том, что *механизм складчатости скалывания – единственно приемлемый для объяснения такого рода складчатости в метаморфических толщах*. Последнее заключение может служить еще одним подтверждением неоднократно высказывавшегося утверждения об *идентичности закономерностей формирования тектонических структур в течение всей истории геологического развития Земли*.

Возвращение вновь к проблеме складчатости в настоящем разделе

связано с необходимостью оценки роли различных компонент поля ротационных напряжений, и в частности, с желанием подчеркнуть особое место напряжений, возникающих в тектоносфере под действием лунно-солнечных приливов и подобных им ротационных напряжений, обусловленных короткопериодными циклическими компонентами, которые также участвуют в процессе складкообразования.

Несмотря на то, что процессы разломо- и складкообразования в тектоносфере происходят под действием одного и того же поля планетарных напряжений, они несколько отличаются друг от друга. Процесс складкообразования определяется следующими факторами: положением изучаемого сегмента тектоносферы относительно полюса вращения Земли на геоиде, направлением и скоростью перемещения полюса по поверхности геоида; особенностями среды, в которой осуществляется процесс складкообразования, как в рассматриваемую эпоху, так и в предшествующую ей. Кроме того, следует иметь в виду наличие определенных факторов, способствующих или затрудняющих процесс складкообразования. Рассмотрим это более подробно.

1. Область складкообразования, как и область разломообразования в тектоносфере Земли, соответствует ее сегменту, в котором в эпоху тектонической активизации Земли скалывающие напряжения превышают предел прочности слагающих его пород. При этом, в начальный этап тектонической активизации, проходящий в режиме растяжения, происходит преимущественно образование и накопление осадочной толщи (см. раздел 2), а процесс формирования складчатости в этой толще осуществляется в последующие этапы тектонической активизации, в течение которых в изучаемом сегменте господствует режим сжатия. Так представляется *простейший вариант складкообразования* во вновь возникшей осадочной толще, происходившей в начале каждой тектонической эры.

В каждую фазу тектонической активизации Земли имело место складкообразование осадочных толщ, осуществлявшееся по тем же самым законам, с той только разницей, что в этом процессе участвовали как вновь образованные, так и ранее возникшие осадочные толщи пород. Следовательно, осадочные образования различного возраста деформируются несколько по разному: если верхний этаж осадочного комплекса деформируется под влиянием разрядки поля ротационных напряжений последней фазы тектонической активизации, то деформации нижележащих этажей комплекса происходили под совокупным воздействием разрядки напряжений, обусловленных последней фазой тектонической активизации и всех предыдущих, вплоть до фазы активизации, соответствующей деформации самого нижнего этажа рассматриваемого комплекса. При этом следует иметь в виду, что поля

напряжений, инициирующие деформации осадочного комплекса, в различные фазы тектонических активизаций несколько отличаются друг от друга, что является причиной определенного несовпадения структурных планов в разных этажах осадочного комплекса пород.

Так формируется многоактная, взаимопересекающаяся складчатость в комплексах пород фанерозойского возраста, слагающих осадочный чехол.

К изложенному выше надо добавить следующее. Анализ результатов изучения закономерностей деформаций докембрийского фундамента, представляющего собой метаморфизованные первично осадочные образования, детально описанные в разделе 3 первой части монографии [3], позволяет сделать заключение, что описанные выше закономерности складкообразования в осадочном чехле полностью сохраняются и в докембрийском фундаменте. Таким образом, вновь подтверждается тезис: законы деформации тектоносферы (земной коры) в течение всей геологической истории развития Земли были идентичными.

2. Касаясь особенностей тектоносферы, в пределах которой происходят процессы складкообразования, считаем необходимым обратить внимание на две из них:

– *разную физическую характеристику верхней и нижней частей рассматриваемых сегментов тектоносферы*;

– *неравномерную нарушенность их разрывами сплошности*.

а. Ротационные напряжения возникают и накапливаются, в основном, в части тектоносферы, представленной верхней мантией Земли и кристаллическим фундаментом земной коры, сложенными кристаллическими породами, характеризующимися более упругими свойствами, по сравнению с породами осадочного чехла в земной коре. В соответствие с законами механики, в результате разрядки поля ротационных напряжений происходит деформация тектоносферы и ее элементов в направлении, ортогональном поверхности геоида, практически охватывая всю тектоносферу, включая и верхнюю часть земной коры, представленную терригенно-хемогенными образованиями осадочного чехла. Таким образом, получается, что в эпохи тектонических активизаций, приводящих к деформациям тектоносферы, блоки (пластины) осадочного чехла играют роль «пассивных пассажиров», перемещающихся на блоках кристаллического фундамента. Эта особенность подчеркивается для того, чтобы оттенить роль фундамента при формировании структур в осадочном чехле.

б. Непременным участником в процессе складкообразования в осадочном чехле является т.н. *планетарная трещиноватость*, представляющая собой свойственную для каждой тектонической эпохи систему иерархически соподчиненных разрывных нарушений, начиная от

микротрещин и кончая глубинными разломами. Основные закономерности проявления планетарной трещиноватости на поверхности Земли приведены в разделе 2.4 первой части монографии, а расположение ее элементов в вертикальной плоскости напоминает картину, изображенную на рис. 2.15. Обращают на себя внимание две особенности планетарной трещиноватости, влияющие на формирование складчатых структур: определенная неравномерность элементов планетарной трещиноватости по латерали и наличие в их ряду крупных разломов с горизонтальной мощностью, начиная от первых километров до первых десятков километров (рис. 2.15, б). Примеры участия последних в формировании локальных структур типа антиклиналей и флексур в осадочном чехле показаны в разделе 3.3 первой части монографии (рис. 3.32).

Вторая особенность, проявляющейся в верхнем этаже осадочного комплекса планетарной трещиноватости, определяющая ее роль в процессе складкообразования, связана с пространственной ориентировкой планетарных трещин. Проблема заключается в том, что оба рассматриваемых явления (планетарная трещиноватость и складкообразование) происходят в одном и том же этаже осадочного комплекса, но разновременно в две, как правило, соседние по времени фазы тектонической активизации Земли. За это время поле ротационных напряжений в тектоносфере изменяется незначительно. Так ориентировка максимальных скалывающих напряжений, инициирующих оба рассматриваемых явления, на величину, не превышающую 1°, т.е., ее можно считать практически неизменной, ориентированной по нормали к поверхности геоида, соответствующего эпохе формирования складчатости. Исходя из изложенного выше, можно сделать вывод: *в связи с тем, что ориентировка планетарных трещин практически совпадает с ориентировкой максимальных скалывающих напряжений в деформируемом слое, участие планетарных трещин в процессе складкообразования облегчает процесс отделения плоскостей скалывания и последующего смещения по ним элементов деформируемого слоя, т.е., приводит к минимизации энергии, необходимой для осуществления рассматриваемого процесса складкообразования*.

в. В заключение оценим роль различных компонент глобального поля напряжений, участвующих в образовании складчатых структур в осадочной толще, формирование которых осуществляется под действием механизма складчатости скалывания. Облик формируемой складчатой структуры определяется нормальным полем главных скалывающих напряжений ротационной природы. Их величина и распределение в тектоносфере определяют амплитуды перемещения узких блоков земной коры, происходящих в эпохи определенных фаз тектонических

активизаций, а в конечном итоге – новую форму поверхности деформируемой осадочной толщи.

Фактором, способствующим реализации рассматриваемого процесса складкообразования в осадочной толще, кроме описанного выше использования нарушенного планетарной трещиноватостью каркаса осадочной толщи, является участие в этом процессе короткопериодных компонент нормального поля ротационных напряжений и, особенно, напряжений в тектоносфере, обусловленных лунно-солнечными приливами в верхней оболочке Земли. Участие этих компонент в процессе структурообразования заключается в том, что они систематически меняют интенсивность нормального поля ротационных напряжений, под действием которого происходит формирование структуры в осадочной толще – периодически, то несколько увеличивая его интенсивность, то уменьшая. Эти вариации поля напряжений выражаются, во-первых, в том, что изменяется тектонический режим формируемой части земной коры – оставаясь в целом режимом сжатия, периодически меняет интенсивность этого сжатия, а во-вторых, периодические изменения величины скалывающих напряжений соответствующим образом влияют на деформацию осадочной толщи – возникает эффект, несколько напоминающий работу отбойного молотка. Таким образом, создается тектоническая обстановка, при которой под действием высокочастотной компоненты нормального поля ротационных напряжений два раза в году, а под влиянием лунно-солнечных приливов – два раза в сутки, происходит *встряхивание* деформируемых толщ земной коры, способствующее рассматриваемому процессу структурообразования. Принимая во внимание, что в геологическом прошлом приливное воздействие со стороны Луны было значительно больше, чем в современную эпоху, становится очевидным, что именно этот фактор играл основную роль в периодическом воздействии на геологическую среду и в формировании складчатости скалывания.

Участие крупных разломов фундамента в образовании локальных структур осадочного чехла и, в частности, соляных диапиров. Ранее обсуждалась простейшая схема образования локальной структуры в осадочном чехле в результате активизации крупного разлома фундамента, возникающей под действием поля ротационных напряжений (рис. 3.32). В данном случае обращаем внимание на то, что наряду с нормальным полем ротационных напряжений, в образовании структур осадочного чехла участвует поле напряжений, обусловленных высокочастотными компонентами и лунно-солнечными приливами. Результатом влияния этих компонент является возникновение в осадочном чехле над разломом фундамента вертикальной области дезинтеграции пород (см. рис. 3.36). Наиболее ярко процесс дезинтеграции пород проявляется в узлах

пересечения разломов фундамента, участвующих в формировании структур в осадочном чехле. В результате возникает столб разрушенных пород осадочного чехла, характеризующийся повышенной трещиноватостью, а, следовательно, пониженными прочностными свойствами по сравнению с менее нарушенной остальной частью разреза. Механизм осуществления дезинтеграции осадочных пород над областью разлома фундамента описан выше. Вертикальный столб дезинтегрированных осадочных пород, возникающих над областью взаимного пересечения разломов фундамента и являющийся одним из элементов формируемой локальной структуры, имеет существенное значение для решения проблем нефтегазовой геологии.

Во-первых, в условиях продуктивной залежи (рис. 3.36), рассматриваемый столб дезинтегрированных пород может служить эффективным индикатором для поиска нефтегазоносных залежей. В настоящее время поиск глубокозалегающих нефтегазоносных структур осуществляется комплексом геолого-геофизических методов с преимущественным использованием сейсморазведки. Дезинтегрированные породы в столбе по своим упругим свойствам отличаются от пород менее нарушенной части разреза на столько, что позволяют выявлять наличие и местоположение такого рода столбов методами сейсморазведки. К сожалению, опыта таких исследований пока недостаточно. Эта задача решается и с помощью электроразведки. Дело в том, что рассматриваемый столб дезинтегрированных пород служит своеобразным каналом, вдоль которого флюиды углеводородов от залежи мигрируют в вертикальном направлении, иногда вплоть до поверхности Земли. При заполнении трещинно-порового пространства дезинтегрированных пород столба, их удельное электрическое сопротивление существенно увеличивается, что служит основанием для выявления этих столбов методами электроразведки. Примеры таких исследований приведены в разделе 3.3 в первой части монографии.

Во-вторых, оценка роли столбов дезинтегрированных осадочных пород связана с некоторой неопределенностью представлений о происхождении природных углеводородов. Большинство исследователей считают происхождение природных углеводородов органическим путем. В связи с этим, практически, все современные методики поисков и изучения нефтегазоносных месторождений разрабатываются и осуществляются на основе этого положения. Вместе с тем, известные примеры пополнения запасов эксплуатируемых месторождений оставляют надежду на возможность, если не полного, то частичного образования природных углеводородов путем химической ассоциации элементов в глубинных оболочках Земли. В этом случае рассматриваемый столб дезинтегрированных пород, являющийся, по сути дела, продолжением

разлома фундамента, может служить каналом перемещения углеводородов от места их образования до области накопления (залежи). Приведенные выше данные позволяют сделать вывод *о целесообразности разрабатывать и использовать методики поисков и изучения этих структур, инвариантные по отношению к проблеме происхождения природных углеводородов.*

И, наконец, описываемые столбы дезинтегрированных пород играют существенную, можно сказать, решающую роль при образовании соляных диапиров в условиях осадочных бассейнов. Рассмотрим этот процесс подробнее.

В начале воспользуемся имеющимися соображениями исследователей геологов, занимающихся проблемами соляной тектоники. Так, Е.М. Люткевич, детально изучавший соляные структуры Припятской впадины, писал [22]: «В настоящее время господствуют представления о том, что соляные поднятия и купола обязаны своим происхождением силам давления отложений, лежащих над солью. Для того, чтобы соль потекла вверх, она нуждается в ослабленной зоне, куда ее будет выжимать вес вышележащих пород, или гораздо большие тектонические силы, т.к. соль может обладать избирательной способностью для диапирового внедрения. Во всех случаях внедрения соли надо допускать ослабленную зону или линейную, или находящуюся на пересечении линий дизьюнктивов. Это положение подтверждается в Припятской впадине тем, что вскрыты соли, дислоцированные точно так же, как сама соль и пропластки в ней. Буровые скважины вскрывают круто падающие слои под солью, а ниже – раздрорбленные породы фундамента».

Наши представления о формировании соляных диапиров не противоречат выше приведенным данным и сводятся к следующему.

1. Образование осадочного бассейна и последующего заполнения терригенно-хемогенными породами обусловлено совокупностью тектонических активизаций Земли в течение одной или нескольких эр, происходящих в результате разрядки нормального поля планетарных напряжений, состоящего из совокупности компонент с разными периодами. Каждой такой компоненте соответствует определенная фаза тектонической активизации. Накопление терригенно-хемогенных осадков происходит в эпохи тектонических фаз в периоды господства режима растяжения земной коры, сопровождающихся трансгрессиями, в частности, образование мощных пластов соли связано с трансгрессиями морских соленых вод в пониженные места бассейна осадконакопления. Так формируется комплекс осадочных пород, состоящий из нескольких этажей. Границами этажей служат поверхности размыва, соответствующие эпохам перерывов осадконакопления.

2. Эпохи тектонических фаз с господствующим режимом растяжения земной коры, в течение которых происходит осадконакопление, периодически чередуются с эпохами господства режима сжатия земной коры, сопровождающиеся регрессиями моря, в течение которых происходит процесс деформации осадочного комплекса пород в виде складкообразования, в частности, образования структур типа соляных диапиров. Принципиальная схема образования многоактной складчатости в осадочном комплексе описана выше. Можно только добавить, что образующиеся структурные планы разных этажей в целом подобны, но несколько отличаются между собой. При этом отличие увеличивается пропорционально увеличению интервалов времени между эпохами образования рассматриваемых этажей. Наиболее заметно это отличие проявляется на особенностях локальных структур, сформированных в районах крупных разломов фундамента и выражается в некотором латеральном смещении положения этих структур и даже их разворота. Эти особенности объясняются включением в тектоническую активизацию разломов фундамента новой системы, как правило, соседней по времени образования, с ранее действовавшей.

3. Природа и механизм образования соляных диапиров представляются следующими. Участниками этого процесса является мощный слой каменной соли, перекрытый толщей терригенных пород. Для того, чтобы осуществить процесс внедрения соли в перекрывающие ее терригенные образования необходимо наличие «ослабленной зоны» в них, а также силы, под действием которой может осуществляться процесс внедрения [22]. *Образование соляных диапиров в комплексе терригенно-хемогенных пород происходит в эпохи тектонических фаз, соответствующих режиму сжатия земной коры. В качестве ослабленной зоны терригенной покрышки служит описанный выше столб дезинтеграции в осадочной толще, возникающий над крупными разломами фундамента (узлами их пересечения) под действием высокочастотной компоненты ротационных напряжений и напряжений, обусловленных лунно-солнечными приливами. В качестве силы, под действием которой происходит внедрение менее вязкой соли в ранее подготовленную ослабленную зону осадочных пород, считают литостатическое давление пород вышележащей толщи*. Это давление несомненно имеет место. *Кроме него в процессе выдавливания соли вверх по ранее подготовленной ослабленной зоне в терригенной покрышке, представленной столбом дезинтегрированных осадочных пород, активно участвуют силы сжатия ротационной природы. При этом, непосредственно реализации процесса внедрения соли способствуют два дополнительных фактора: понижения вязкости соли в области ее внедрения за счет подогрева, т.к. в районах разломов, участвующих в*

этом процессе, обычно наблюдается повышенный тепловой поток и вибрационный процесс, выраженный высокочастотными вариациями режима сжатия в земной коре, обусловленный соответствующими компонентами ротационного поля напряжений.

Так возникают структуры типа соляных штоков (рис. 3.31, б). В случае наличия двух и более соляных пластов в изучаемом комплексе осадочных пород могут возникать соляные структуры более сложной формы, например, аналогичные изображенной на рис. 3.31, в. Механизм их образования вполне аналогичен описанному выше, а участие соляных пластов разного возраста в формировании единой структуры обусловлено тем, что ее возникновение является результатом активизации одного и того же разлома фундамента. Прямым подтверждением приведенных выше представлений могут служить факты: приуроченность локальных нефтегазоносных структур (нарушенных и ненарушенных солью) к узлам пересечения разломов фундамента; совпадение размеров этих структур с горизонтальной мощностью разломов фундамента, участвующих в формировании локальных структур в осадочном чехле и некоторые другие, установленные в Днепровско-Донецкой впадине и детально описанные в разделе 3.3 в первой части монографии.

Результаты анализа временных закономерностей формирования локальных структур в осадочном чехле Днепровско-Донецкой впадины также подтверждают изложенные выше представления. Так, например, признанный знаток тектоники Днепровско-Донецкой впадины М.В. Чирвинская [36] пришла к выводу, что развитие всех структур в осадочном чехле подчиняется общей закономерности, заключающейся в *цикличности* их роста. В частности, в мезозое она выделяет пять циклов роста соляных структур:

1) максимум роста в предверхнепермское время;

2) триас–келловей с наибольшим поднятием в конце бата;

3) келловей-сеноман с максимумом подъема в киммеридже;

4) сеноман-киевский век с максимумом роста в конце маастриха – начале палеоцена;

5) имеет место максимум в конце харьковского – начале полтавского века.

Следовательно, максимумы роста соляных структур (режим сжатия) приходятся на периоды перерывов осадконакопления, а минимумы – на эпохи трансгрессий.

Переводя приведенные выше данные на язык наших представлений можно констатировать следующее.

1. Процесс образования соляных структур в осадочном чехле регулируется полем глобальных напряжений ротационной природы, а его цикличность во времени обеспечивается участием в этом процессе

совокупности циклических компонент нормального поля ротационных напряжений, возникающих в соответствующие фазы активизации известных тектонических циклов.

2. Участие высокочастотных компонент поля ротационных напряжений и напряжений, обусловленных лунно-солнечными приливами, играет существенную роль в структурообразовании, по-видимому, недооценивавшуюся исследователями.

4.8. Литература

1. Абалакин В.К. Астрономический календарь. Постоянная часть. М.: Наука, 1981. – 704 с.
2. Булен К.Е. Плотность Земли. – М.: Мир, 1978. – 448 с.
3. Геологическая съемка в областях метаморфических образований / Колл. авт. под. ред. К.О. Кратца и М.А.Черноморского. Л. Недра, 1972, вып. 4. - 376 с.
4. Грушинский Н.П. Теория фигуры Земли. М.: Наука, 1976. – 512 с.
5. Гутенберг Б. Физика земных недр. М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 264 с.
6. Движение полюса Земли с 1890.0 по 1969.0 / Е.П.Федоров, А.А. Корсунь, С.П.Майир и др. К.: Наукова думка, 1972. – 264 с.
7. Довбнич М.М. Кинематические особенности дрейфа палеомагнитных полюсов в фанерозое // Науковий вісник НГУ. 2001. № 4. – С. 101-102.
8. Довбнич М.М. Разночастотные составляющие аномалий геоида, их структура и природа // Геофиз. журн. 2007, № 5. – С. 201–212.
9. Довбнич М.М. Оценка влияния космогонических факторов на напряженное состояние тектоносферы // Науковий Вісник Національного гірничого університету. 2007, – № 4. – С. 34 – 42.
10. Довбнич М.М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженное состояние тектоносферы // Доповіді НАН України. – 2007. №11. – С.105 – 112.
11. Довбнич М. М. Нарушение геоизостазии и напряженное состояние тектоносферы // Геофиз. журн. 2008. № 4. — С. 123—132.
12. Дычко М.А. Вековое замедление вращения Земли по палеонтологическим данным // Материалы пленума комиссии по изучению вращения Земли Астрономического Совета АН СССР. Киев, 1974. – С. 15-19.
13. Загний Г.Ф., Русаков О.М. Архивековые вариации магнитного поля юго-запада СССР. К.: Наукова думка, 1982. – 126 с.
14. Ильюшин А.А. Метод аппроксимаций для расчета конструкций по линейной теории термо-вязко-упругости // Механика полимеров. 1968. №2.- С. 210-221.
15. Ильюшин А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязко-упругости.- М.: Наука, 1970.- 280 с.
16. Колтунов М.А., Кравчук А.С., Майборода В.П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. М.: Высш. шк., 1983.- 349 с.

17. Кузнецов В.В. Физика Земли: обоснование и разработка модели «горячей» Земли. – ИКИР, Камчатка, 2006. – 465 с.
18. Кузнецова К.И. Закономерности разрушения упруго-вязких тел и некоторые возможности приложения их к сейсмологии. М.: Наука, 1969.- 87 с.
19. Кравчинский А.Я. Палеомагнитные и палеогеографические перестройки на докембрийских платформах. М.: Недра, 1977.- 95 с.
20. Куликов К. А. Вращение Земли. М.: Недра, 1985. – 159 с.
21. Лурье А.И. Теория упругости. М.: Наука, 1970. – 939 с.
22. Люткевич Е.М. Связь криптодиапировых соляных структур Припятской впадины с дизъюнктивными движениями кристаллического фундамента // Вопросы сравнительной тектоники древних платформ. М.: Наука, 1964.- С. 49-57.
23. Магницкий В.А. Основы физики Земли. М.: Изд-во геодезической литературы, 1953.- 290 с
24. Манк У., Макдональд Г. Вращение Земли. М.: Мир, 1964. – 384 с.
25. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир, 1968. – 482 с.
26. Новожилов В.В., Черных К.Ф., Михайловский Е.И. Линейная теория тонких оболочек.- Л.: Политехника, 1991.- 655 с.
27. Сидоренков Н.С. Физика нестабильностей вращения Земли. М.: Физматлит., 2002. – 384 с.
28. Страхов Н.М. О периодичности и необратимости эволюции осадкообразования в истории Земли // Изв. АН СССР. Сер. Геологическая. 1949. №6. – С. 70-77.
29. Страхов Н.М. Типы климатической зональности в послепротерозойской истории Земли, их значение для геологии // Изв. АН СССР. Сер. геол.- 1960. – № 3. – С. 3-25.
30. Тяпкин К.Ф. Новая модель изостазии Земли // Тезисы докл. XXVII сессии МГК. М.: 1984. – С. 438-439.
31. Тяпкин К.Ф. Физика Земли: Учебник. – К.: Вища шк., 1998. – 312 с.
32. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруговязкой Земли // Геофизический журнал. – 2002. – № 2. – С. 52 – 60.
33. Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида, Африка. М.: Недра, 1971.- 548 с.
34. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973.- 511 с.
35. Хаин В.Е., Сеславинский К.Б. Историческая геотектоника. Палеозой.- М.: Недра, 1991.- 398 с.
36. Чирвинская М.В. Цикличность тектонических движений в Днепровско-Донецкой впадине и условия формирования локальных структур // Вопросы сравнительной тектоники древних платформ. М.: Наука, 1964.- С. 58-70.
37. Штилле Г. Некоторые данные и соображения о мировых океанах и обрамляющих их районах // Избранные труды. М.: Мир, 1964. – С. 864–885.

38. Яншин А.Л., Пейве А.В., Пущаровский Ю.М. Временные и пространственные закономерности в развитии складчатых областей Евразии // Тектоника Евразии. М.: Наука, 1966.- С. 421-451.
39. Яншин А.Л. О так называемых мировых трансгрессиях и регрессиях // Бюллетень Моск. общест. испыт. природ. Отдел геолог. 1973. №2.- С. 9-45.
40. Antolik M., Gu Ju J., Ekstrom G., Dziewonski A. J362D28: a new joint model of compressional and shear velocity in the Earth's mantle, Geophys. J. Int, 153, 443–466, 2003.
41. De Rito R.F., Cozzarelli F.A., Hodge D.S. A forward approach to the problem of nonlinear viscoelasticity and the thickness of the mechanical lithosphere // J. Geophys. Res.- 1986.- 91.- P. 8295-8313.
42. Cox A., Doell R. Review of paleomagnetism // Bull. Geol. Soc. Amer. -1960.- Vol. 71, № 6.- P. 645-768.
43. Hospers I. Rock magnetism andpolar wanderung // J. Geol. - 1955. -Vol. 63.- P. 59-75.
44. Koppen W., Wegener A. Die Klimate Der geologischen Vorzeite. – Berlin: Gebr. Borntrager, 1924.
45. Kreichgauer D. Die Alguatorforrage in der Geologie. – Steyl, 1902. – 147 p.
46. Megnin, C., Romanowicz, B. The shear velocity structure of the mantle from the inversion of body, surface and higher modes waveforms, Geophys. J. Int, 143, 709–728, 2000.
47. Ritzwoller, M.H., Shapiro, N.M., Barmin, M.P., Levshin, A.L. Global surface wave diffraction tomography, J. Geophys. Res., 107(B12), 2335, 2002.
48. Tyapkin K.F. A new isostatic model of the Earth. Budapest: Trans. Hung. Inst. ELGI, 1984, v. 30. P. 3-10.
49. Walcott R.I. Flexural rigidity, thickness and viscosity of the lithosphere // J. Geophys. Res.- 1970.- 75.- P. 3941-3954.
50. http://tagg.colorado.edu/geophysics/html/ccita.html
51. http://dc-app3-14.gfz-potsdam.de
52. http://www.ngdc.noaa.gov/geomag/paleo.shtml
53. http://hpiers.obspm.fr
54. http://www.csr.utexas.edu/grace

5. ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

5.1 Основные результаты исследований

В процессе анализа современного состояния геотектоники обнаружены противоречия между сущностью ряда глобальных явлений на Земле и сложившимися о них представлениями. Вскрытые противоречия свидетельствуют о необходимости переосмысливания исследователями этих представлений. Ниже изложены такого рода проблемы, их суть и наши предложения о возможных путях их разрешения.

I. В первую очередь рассмотрим *представления о природе сил, приводящих к тектоническим активизациям Земли*. Поскольку все известные экзогенные процессы на Земле направлены на пенепленизацию ее поверхности, а в реальности ее поверхность весьма далека от пенеплена, то напрашивается вывод о том, что наряду с экзогенными силами, должна существовать группа сил, время от времени нарушающая процесс выравнивания земной поверхности и выводящая Землю из состояния равновесия. Эти явления получили название *тектонических активизаций Земли*. Природа сил, приводящих к тектоническим активизациям, до сих пор остается *гипотетической*. Попытки объяснить эти силы спонтанно протекающими в недрах Земли (эндогенными) физико-геологическими и геохимическими процессами оказались неудачными. Дело в том, что названные выше спонтанно развивающиеся эндогенные процессы могут иметь место, только как реакции на какое либо внешнее воздействие, т.е., для их возникновения нужен внеземной источник сил [18]. Другими словами – *все известные геотектонические гипотезы развития Земли, основанные на использовании эндогенных физико-геологических и геохимических процессов, надо признать не состоятельными*. Вследствие этого в тектонике сложилась ситуация, которую иначе чем кризисной [22], трудно назвать. Глобальные явления типа: тектонических активизаций Земли, мировых трансгрессий и регрессий, образование геосинклиналей и платформ, перемещение литосферных плит (блоков) в вертикальном и латеральных направлениях, образование разломов тектоносферы, мантийных диапиров и подобных им явлений не обосновывается, а просто постулируется.

Кризисная ситуация такого подхода к решению тектонических проблем заключается в том, что она приводит к поощрению своеобразного *научного нигилизма:* исследователи оказываются лишенными ограничительных рамок использования разумных предложений; в геологическом сообществе не возникает естественная потребность в отторжении должным образом не обоснованных предложений – слишком часто их принимают как должное. Исходя из изложенного, в монографии сформулировано пять основных требований (критериев), которым должна

удовлетворять любая геотектоническая концепция, претендующая на роль научной основы, с позиции которой можно рассматривать фактические данные, получаемые в процессе изучения особенностей геологического строения Земли (раздел 1.4).

Идейной основой наших представлений являются тезисы*: вращение Земли – единственный реальный источник энергии тектогенеза [23]; силы, обусловленные спонтанно протекающими в Земле физико-геологическими и геохимическими явлениями, также могут быть участниками тектонического процесса, но только в качестве реакций на действие внешних сил [18]*.

Кинетическая энергия вращения Земли характеризуется величиной порядка $2{,}16 \cdot 10^{29}$ Дж. Это огромный, поистине неисчерпанный источник энергии тектогенеза Земли. Механизм расходования этой энергии на тектоническое преобразование Земли обусловлен вариациями ее ротационного режима. *Поскольку форма Земли очень близка к фигуре равновесия вращающейся жидкости равновеликой массы при стационарном ротационном режиме, то при его изменении, происходящем в результате взаимодействия нашей планеты с окружающими ее космическими полями, фигура Земли стремится приспособиться к Новому ротационному режиму. В процессе приспособления фигуры Земли к непрерывно меняющемуся ротационному режиму в ее тектоносфере возникают и постепенно накапливаются напряжения, разрядка которых (при достижении ими критических значений) приводит к нарушению сплошности тектоносферы. Таковы природа геотектонических активизаций и механизм расходования энергии вращения Земли на их осуществление.*

II. В 1974 г. сформулирована и опубликована Новая ротационная гипотеза структурообразования [15], отличающаяся от классической ротационной тем, что в ней в качестве основного фактора, обусловливающего возникновение напряжений в тектоносфере выбрано не вариация угловой скорости, а перемещение оси вращения Земли относительно геоида; в 1977 г. она была переведена на английский язык [28]. Сущность гипотезы детально изложена в разделе 2. Кратко она сводится к следующему. В результате перемещения оси вращения Земли относительно геоида в двух противоположных квадрантах тектоносферы, расположенных в направлении перемещения оси вращения образуются зоны сжатия, а в двух других – зоны растяжения. По достижении напряжений в этих зонах, равных пределу прочности пород тектоносферы начинается их разрядка, заключающаяся в возникновении системы иерархически соподчиненных разломов двух взаимно ортогональных направлений. Взаимное пересечение разломов образует соответствующую систему блоков. Так начинается тектоническая активизация Земли.

Проникновение разломов в глубинную часть тектоносферы вызывает декомпрессию в этой части и, как следствие – повышение магматической активности, поэтому тектонические активизации Земли целесообразнее называть тектономагматическими. Перемещение блоков по разломам приводит к образованию поверхностных структур: в зонах растяжения – преимущественно синклинального типа, а в зонах сжатия – орогенного. Возникающая при этом разность отметок блоков определяет возможность образования терригенно-хемогенных пород – основного строительного материала поверхностных структур. Совокупность перечисленных выше геологических процессов представляет собой одну из тектонических активизаций Земли. Каждой такой тектонической активизации свойственны своя система разломов и своя осадочно-вулканогенная толща. При этом система разломов представлена иерархически соподчиненными разломами двух взаимно перпендикулярных направлений, одно из которых совпадает с направлением перемещения полюса по поверхности геоида.

Важность приведенных выше положений, вытекающих из сути Новой ротационной гипотезы структурообразования, заключается в следующем:

– впервые предлагается геотектоническая концепция, объясняющая природу и механизм тектонических (тектоно-магматических) активизаций Земли;

– обосновывается системность в пространственном положении разломов, что довольно часто выявляется на практике [16], а главное – подчеркивается новая роль разломов, как основы при формировании поверхностных структур.

Эффективной иллюстрацией достоверности Новой ротационной гипотезы структурообразования могут служить результаты сопоставления данных мирового изучения геосинклиналей, изложенных в монографии В.Е.Хаина [24], со следствиями, вытекающими из особенностей поведения траектории движения по поверхности геоида в течение одного тектонического цикла, детально описанные в разделе 2. Обе группы данных оказались соответствующими друг другу. Не менее существенным критерием оценки достоверности может служить факт полного соответствия знаменитых канонов орогенеза Г. Штилле [25], установленных им эмпирическим путем в прошлом веке, с основными положениями Новой ротационной гипотезы структурообразования.

III. Изучение разломной тектоники Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины с позиции Новой ротационной гипотезы структурообразования, в которых непосредственное участие принимали авторы монографии, привело к выявлению весьма важных закономерностей. В частности, в пределах Украинского щита довольно

четко фиксируется шесть систем докембрийских разломов, характеризующиеся следующими парами азимутов простирания (с точностью ±2º); 0 и 270, 17 и 287, 35 и 305, 45 и 315, 62 и 332, 77 и 347º; кроме того, намечаются еще две системы разломов с азимутами простирания 25 и 295, 56 и 326º. Аналогичные системы разломов наблюдаются и в докембрийском фундаменте Днепровско-Донецкой впадины. В 1988 г. в Днепропетровском горном институте проходила Всесоюзная научно-техническая конференция, посвященная анализу результатов использования Новой ротационной гипотезы структурообразования для изучения разломной тектоники на территории СССР. Итоги этой конференции подтвердили существование аналогичных систем разломов в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ, Урала и Кавказа, т.е. можно считать, что описываемые закономерности имеют глобальный характер. Следовательно, *в истории развития Земли только в докембрии имели место не менее шести тектонических активизаций, следы которых запечатлены в ее «каменной летописи» в виде соответствующих систем разломов.*

Группой Ленинградских исследователей [2] путем обобщения мирового опыта изучения складчатых структур в метаморфических толщах и проверки его преимущественно к условиях Балтийского щита, установлена *многоактность и многофазность формирования складчатых структур в земной коре.*

Исходя из эмпирически установленного однообразия законов формирования как разломных, так и складчатых структур, и учитывая единство поля сил, обусловливающих оба эти явления, можно сделать вывод: *назрела необходимость развивать новую многоактную тектонику – изучать природу и пространственно-временные закономерности формирования разломных и складчатых структур. В качестве идейной основы можно использовать современный вариант Новой ротационной гипотезы структурообразования.* Некоторые соображения по этой проблеме приводятся в монографии, они сводятся к следующему:

– a priori ясно, что многоактность тектонических активизаций Земли является функцией сложной траектории перемещения полюса по поверхности геоида, состоящей из совокупности циклических компонент разного порядка. Каждой такой компоненте соответствуют определенные во времени и пространстве деформации тектоносферы. Следовательно, определение пространственно-временных закономерностей формирования многоактных тектонических структур можно осуществить только путем детального анализа компонент *перемещения полюса по поверхности геоида, естественно, в сочетании с результатами натурных наблюдений;*

– одной из важнейших закономерностей формирования многоактных тектонических структур является проблема цикличности, которую можно решить аналогичным образом;

– в свете изложенного выше, имеющие место попытки сведения докембрийских разломов к одноактным структурам [12], нельзя признать правомерными, т.к. эти структуры в разные эпохи находились в разных тектонических режимах (сжатия или растяжения), а следовательно, им были свойственны различные кинематические характеристики;

– вместо традиционных представлений о формировании складок в изучаемой толще пород путем их продольного сжатия или поперечного изгиба в условиях многоактного формирования складчатости целесообразно использовать механизм складчатости скалывания, в свое время предложенный М.П. Биллингсом [27].

Приведенные выше предложения направлены на развитие геотектоники. Они сложнее ныне принятых представлений, но необходимость их реализации сомнений не вызывает.

IV. Развитие геотектоники имеет существенное значение для таких разделов наук о Земле, как *металлогения и геология нефтегазоносных месторождений*, главной целью которых является прогнозирование пространственного положения месторождений. Особую роль в процессе прогнозирования играют системы разломов тектоносферы, точнее их пространственно-временные закономерности.

В металлогении (раздел 3.2) используется эмпирически установленная рудоконтролирующая роль разломов земной коры: *по утверждению Ю.А. Косыгина [10] 84 % всех известных постмагматических месторождений Мира выявлено вдоль разломов или на их пересечениях.*

Целесообразно привести закономерности, вытекающие из Новой ротационной гипотезы структурообразования:

– разломы являются инициаторами возникновения магмы в недрах Земли и каналами ее транспортировки и сопутствующим им флюидов (основных источников рудного вещества) к поверхности Земли;

– одноранговым разломам каждой системы свойственна определенная металлическая специализация;

– существует определенная взаимосвязь между ориентировкой систем разломов и временем их возникновения или последующей активизацией, которую можно определить, используя траекторию перемещения полюса по поверхности геоида.

Для развития геологии нефтегазоносных месторождений (раздел 3.3) предлагается использовать следующие закономерности:

– установленную взаимосвязь между формированием структур в осадочной толще типа: антиклиналей, зон выклинивания, нарушения их соляными внедрениям, а также – рифогенных структур, являющихся ловушками для природных углеводородов, и активизациями разломов фундамента осадочных бассейнов;

– взаимосвязь участвующих в описанном выше процессе систем докембрийских разломов и фанерозойским временем их активизации, определенном по траектории перемещения полюса по поверхности геоида. При этом существенную роль может играть учет возраста деформированных осадочных пород.

На базе приведенных выше закономерностей сформулированы основные положения оригинальной технологии прогнозирования рудных нефтегазоносных месторождений. Кратко они сводятся к следующему.

А. Путем сопоставления местоположений известных месторождений с картой систем разломов, наиболее изученной части исследуемого региона, находится количественная взаимосвязь приуроченности этого вида месторождений к определенным системам разломов или узлам их пересечений.

Б. Пользуясь установленной закономерностью и перенося ее не менее изученную часть исследуемого региона, на основе карты систем разломов земной коры, строят для него карту вероятности встречи искомых месторождений.

В. Составленная таким образом карта в руках эрудированного исследователя может служить реальной основой для локального прогноза наиболее перспективных участков поиска искомых месторождений.

Примеры реализации предлагаемой технологии прогнозирования, основанной на этих принципах, можно найти: для рудных месторождений в условиях Украинского щита в монографии [16], а для нефтегазоносных месторождений в условиях Днепровско-Донецкой впадины – в монографии [14]. Последние довольно детально описаны в разделе 3.4 настоящей монографии.

V. Во второй части монографии (раздел 4) приведены результаты решения ряда задач о напряжениях в тектоносфере, возникающих вследствие вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов, полученных М.М. Довбничем [6, 21 и др.]. В частности, им рассчитаны поля напряжений, обусловленные вариациями ротационного режима Земли, для разных моделей тектоносферы:

а) однородного упруго-вязкого земного эллипсоида, в качестве модели тектоносферы которого принята тонкая эллипсоидальная оболочка;

б) однородного упругого земного эллипсоида, в качестве модели тектоносферы которого принята толстостенная эллипсоидальная оболочка;

в) для обеих выше названных моделей тектоносферы рассчитаны поля напряжений, обусловленные влиянием локальных неоднородностей в земном эллипсоиде и лунно-солнечными приливами на его поверхности. Все поля рассчитаны в сферической системе координат аналогичной географической. Механические особенности этих полей и их значение в тектоническом развитии Земли рассмотрены в разделе 4. В данном случае подчеркнем только основные из них – преимущественно в терминах геотектоники.

1. Основной вклад в образование поля ротационных напряжений обусловлен не вариациями угловой скорости вращения Земли (классическая ротационная гипотеза), а изменением положения оси вращения Земли по отношению к геоиду (Новая ротационная гипотеза). При этом напряжения, обусловленные перемещением оси вращения, достигают значений, заведомо превосходящих предел прочности пород тектоносферы (10^7 Па), т.е., вполне достаточны для осуществления ломки тектоносферы. Напряжения в тектоносфере, обусловленные вращениями угловой скорости вращения Земли, характеризуются значениями, на два порядка ниже.

Приведенные выше данные, во-первых, раскрывают физическую природу тектонических активизаций Земли, а во-вторых, являются количественным обоснованием ранее сформулированной Новой ротационной гипотезы структурообразования [15], а, следовательно, она может быть использована в качестве научной основы при интерпретации вновь получаемых фактических данных.

2. Ряд важных тектонических закономерностей вытекает из сопоставления нормальных полей ротационных напряжений, полученных с помощью разных моделей тектоносферы (упругой и упруго-вязкой). Качественно эти поля подобны между собой, но количественно разнятся. При этом разница возрастает с увеличением рассматриваемого интервала времени накопления ротационных напряжений, т.е., интенсивность поля этих напряжений является функцией не только углового расстояния, но и скорости перемещения полюса поверхности геоида. Поскольку траектория перемещения полюса представляет собой сложную совокупность циклических компонент с разными периодами, то *анализ особенностей поля напряжений, полученного с помощью модели упруго-вязкой тектоносферы, позволяет вскрыть роль циклических компонент разного порядка в тектоногенезе Земли. В частности, в эпохи совпадения направления перемещений полюса циклических компонент разного порядка общая его скорость перемещения по поверхности геоида должна*

увеличиваться, а, следовательно, и напряжения в тектоносфере. Справедливость этого утверждения показана на примере фанерозоя, в течение которого наблюдаются три известные тектонические эпохи: каледонская, герцинская и альпийская.

Роль циклических компонент перемещения полюса поверхности геоида возникла и при обсуждении проблемы цикличности геотектонических процессов, отношение к которой у разных исследований далеко неодинаковое – от безусловного согласия до полного отрицания. По-видимому, это неслучайно: совокупность циклических компонент перемещения полюса по поверхности геоида усложняет закономерности наблюдаемой цикличности тектонических процессов, приводящее к такому разбросу представлений. На основе анализа фактических геологических данных показано, что цикличность геотектонических процессов сомнений не вызывает, а ее закономерности имеют более сложный вид. Они соответствуют основным положениям Новой ротационной гипотезы структурообразования.

3. Определенную роль в формировании тектонических структур играют напряжения в тектоносфере, обусловленные лунно-солнечными приливами и, так называемые, высокочастотные компоненты нормального поля ротационных напряжений. Максимальные их значения достигают величин порядка 10^3-10^4 Па. Они не могут нарушать сплошные сегменты тектоносферы, но участвуют в дополнительных деформациях ослабленных зон тектоносферы, ранее нарушенных разломами. В монографии это показано на примерах образования локальных структур в осадочном чехле и образовании структур типа соляных диапиров. При этом основная роль в формировании локальных структур, естественно, остается за нормальным полем ротационных напряжений, но без участия его высокочастотных компонент и напряжений, обусловленных лунно-солнечными приливами, процесс их формирования был бы не возможен.

VI. Подводя итог приведенного выше перечня результатов исследований, изложенных в монографии, хотелось бы подчеркнуть, что *наиболее значительными из них можно считать установленные и количественно обоснованные единство природы и механизмов осуществления глобальных тектонических явлений: тектонических (тектоно-магматических) активизаций Земли; мировых трансгрессии и регрессий, а также – генерации Земного магнитного поля [20,29]. Все эти явления генетически связаны с ротационным режимом Земли, точнее – его вариациями, обусловленными взаимодействием нашей планеты с окружающими ее космическими полями.* Установленные закономерности могут быть положены в основу создания современной геотектонической концепции развития Земли.

5.2. Проблемы, требующие неотложного решения

Результаты исследований, кратко изложенные в разделе 5.1, свидетельствуют о том, что *в науках о Земле назрела необходимость обсуждения вопроса о смене традиционной парадигмы. Предлагается заменить традиционные представления о саморазвитии Земли под действием внутриземных сил, образующихся в результате спонтанно протекающих в ней физико-химических процессов, представлениями о тектоническом развитии Земли, в котором решающую роль играют ротационные силы, обусловленные взаимодействием нашей планеты с окружающими ее космическими полями.*

Это вовсе не значит, что следует отказаться от фактически установленных закономерностей развития тектонических структур. Речь идет о переосмысливании их природы в связи с открывшимся источником сил, способствующим реализации этих закономерностей. Такой подход позволит не только надежно обосновать уже известные тектонические закономерности, а и открыть новые. Достаточно убедительным подтверждением этого тезиса может служить, рассматриваемая в монографии, схема развития геосинклинальной области в течение тектонического цикла.

В разделе 1 монографии и ранее опубликованной работе [23] приведены доказательства неспособности эндогенных сил, обусловленных спонтанно протекающими в Земле физико-химическими процессами, самостоятельно формировать тектонические структуры. Единственным реальным источником энергии тектогенеза является вращение Земли, а источником тектонических сил – вариации ее ротационного режима. При этом, участие эндогенных сил в тектоническом процессе никоим образом не исключается, но эти силы рассматриваются как реакции на внешнее воздействие сил ротационной природы.

Конечной целью такой смены является создание современной геотектонической концепции, основанной на новых представлениях. Ясно, что современная геотектоническая концепция должна отражать многоактную историю Земли, состоящую из серии тектонических эпох, рубежами которых являются крупные тектонические активизации Земли. Из Новой ротационной гипотезы структурообразования следует, что только в докембрии было не меньше шести таких активизаций. Эта гипотеза может быть использована в качестве начального приближения современной геотектонической концепции.

A priori ясно, что предстоящее создание современной геотектонической концепции представляет собой чрезмерно сложную многоплановую проблему, для решения которой потребуется не одно десятилетие и труд многих научных коллективов. Обсуждение программы

такого рода исследований нам представляется преждевременным, поэтому в данном случае ограничимся формулировкой только тех проблем, которые, по нашему мнению, заслуживают первоочередного решения, а методика их решения достаточно ясна.

I. Одной из наиболее важных проблем, требующих неотложного разрешения, является определение *времени возникновения и последующих активизаций систем разломов тектоносферы, уверено фиксируемых геолого-геофизическими методами*. Для достижения поставленной цели необходимо знать траекторию движения полюса вращения Земли по поверхности геоида, как функцию времени. Следовательно, *должны быть организованы исследования, направленные на восстановление траектории движения полюса по поверхности геоида в течение всей геологической истории развития Земли*.

Траекторию движения полюса вращения Земли по поверхности современного геоида реально можно получить путем определения координат палеомагнитных полюсов для древних геологических эпох. Естественно, эти координаты будут отражать положение геомагнитных полюсов на геоидах соответствующих древних эпох, отличных от современного. Путем введения поправок за деформацию палеогеоидов можно восстановить траекторию движения палеомагнитного полюса поверхности современного геоида. Ее следует принять за траекторию движения полюса вращения Земли и использовать для определения времени возникновения или активизации систем разломов тектоносферы. Основным препятствием для решения этой проблемы является отсутствие в настоящее время достаточного количества кондиционных исходных данных. На их пополнение потребуется определенное время. В связи с этим целесообразно начать с осуществления первого этапа обсуждаемой проблемы: *восстановить траекторию движения полюса вращения Земли по поверхности современного геоида в фанерозойское время*. Целесообразность этого предложения обусловлена, прежде всего тем, что имеющихся в настоящее время данных вполне достаточно для решения этой проблемы, а разработанная на этом этапе технология может быть использована в качестве эталона при восстановлении траектории движения полюса по поверхности современного геоида в более древние (докембрийские) тектонические эпохи.

Известен другой путь восстановления траектории движения полюса по поверхности Земли, разрабатываемый А.В. Долицким [7,8 и др.] Он основан на использовании взаимосвязи между положением и ориентировкой линейных тектонических структур земной коры и положением и направлением перемещения географического полюса по поверхности Земли. На рис. 5.1. приведен вид траекторий движения географических и геомагнитных полюсов, построенных А.В. Долицким.

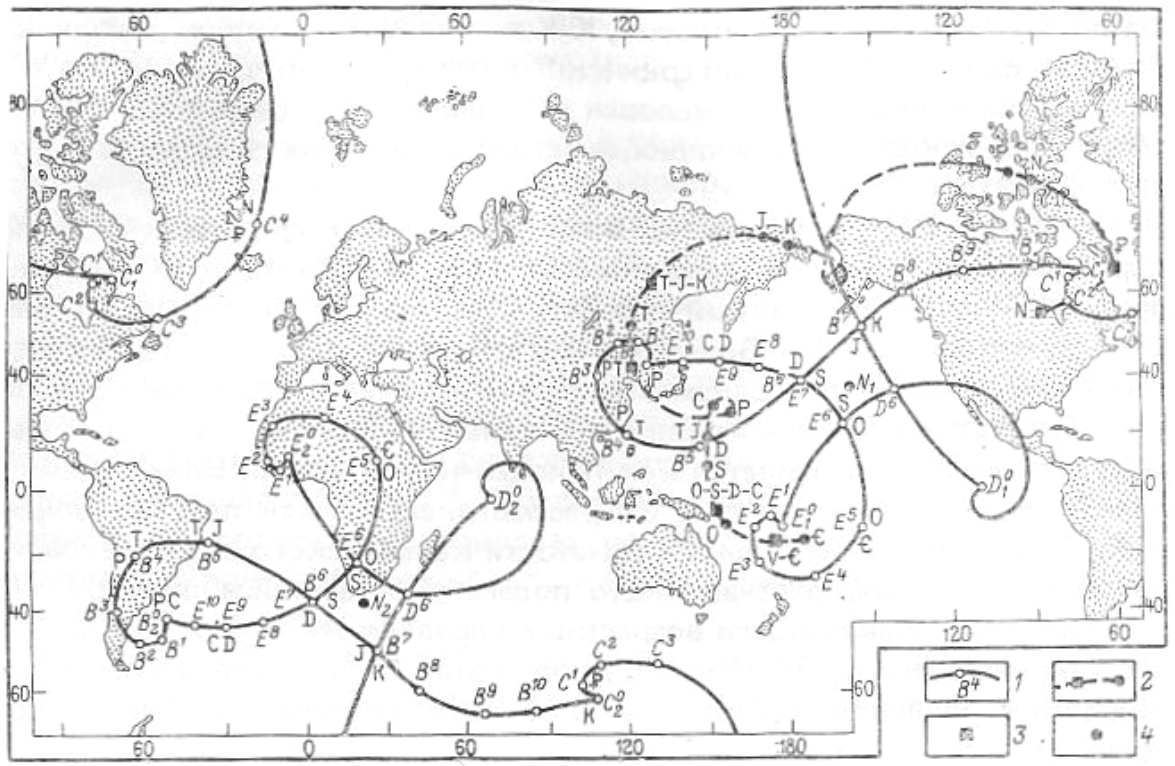


Рис. 5.1. Траектория движения географических и геомагнитных полюсов по А.В.Долицкому [8]: 1 – траектория движения географических (северного и южного) полюсов; 2 – траектория движения среднего за геохронологический период северного геомагнитного полюса в указанное время; 3 – положение среднего полюса вращения в указанное время; 4 – положение среднего за хронологический период северного геомагнитного полюса в указанное время.

Отдавая должное рациональности идеи использования линейных тектонических структур известного возраста для определения траектории движения географического полюса по поверхности Земли, следует специально подчеркнуть, что одним из препятствий на пути реализации этой идеи является неопределенность оценки актов *возникновения* или *активизации* систем разломов или связанных с ними линейных структур, используемых для решения обсуждаемой проблемы. Тем не менее, опыт использования описываемых предложений будет весьма полезен исследователям, если не для восстановления траектории движения полюсов вращения, то для контроля результатов, полученных с помощью палеомагнитного метода.

К изложенному выше можно добавить, что для восстановления траектории движения полюса в фанерозое существенную помощь может оказать использование научного наследия Г. Штилле, изложенного в разделе 3.1, в частности, – установить взаимосвязь между известными фазами тектогенеза и циклическими компонентами движения полюса разного порядка в фанерозое. Природа этой взаимосвязи важна и для докембрийских тектонических эпох, но, к сожалению, точность

определения положения палеомагнитных полюсов с увеличением возраста, используемых для этих целей тектонических структур, неуклонно падает. Тем не менее, закономерности, установленные для фанерозоя, могут иметь определенное значение при расшифровке природы если не всех, то наиболее крупных фаз тектонических активизаций Земли, расположенных в промежутках времени между главными.

II. Литературные данные и опыт наших исследований свидетельствуют о том, что разломы земной коры взаимно-ортогональных направлений заметно отличаются своими геологическими особенностями. Часто наблюдается такая картина их взаимных отличий: разломы одного из направлений являются активными участниками формирования поверхностных структур линейного типа, ориентированных в направлении этих разломов; в то же время разломы ортогонального направления также участвуют в образовании линейных структур в земной коре, но их роль сводится преимущественно к нарушению первичного облика поверхностных структур, в формировании которых брали участие разломы ортогонального направления.

Кроме того, установлено, что в условиях Украинского щита разломы фундамента взаимно ортогональных направлений в каждой системе характеризуются разной металлогенической специализацией [16, стр.211], а в условиях Азово-Черноморского региона разломы взаимно ортогональных направлений значительно отличаются приуроченностью к ним локальных тектонических структур в осадочном чехле (см. рис.3.38).

В соответствие с Новой ротационной гипотезой структурообразования взаимно-ортогональные разломы каждой системы одновозрастные и образуются в одинаковых тектонических режимах (преимущественно растяжения). Тем не менее, как следует из приведенного выше, они обладают определенными отличиями. Наиболее вероятная причина этих отличий кроится в особенностях распределения поля ротационных напряжений по линиям, ориентированным в направлении, совпадающим с направлением перемещения полюса или ему ортогональном. К сожалению, целенаправленных исследований обсуждаемых отличий не проводилось. По-видимому, настало время их осуществления. Проблему можно сформулировать так: *организовать целенаправленные исследования по изучению взаимосвязи особенностей формирования одновозрастных разломов взаимно-ортогональных направлений и связанных с ними поверхностных структур с особенностями пространственного распределения поля ротационных напряжений.*

Целесообразность постановки такой проблемы диктуется тем, что результаты ее решения весьма важны для теоретической геотектоники. В частности, они необходимы при решении проблемы, сформулированной в пункте I – восстановление траектории движения полюса по поверхности

геоида. Кроме того, решение этой проблемы необходимо для развития металлогении и разработки рациональной технологии современных методов локального прогноза рудных месторождений в кристаллическом фундаменте и нефтегазоносных месторождений в осадочном чехле.

III. В семидесятые–восьмидесятые годы прошлого столетия в СССР и странах Восточной Европы по инициативе чл.-корр. АН СССР Ю.Д. Буланже осуществлялся Международный проект: *изучение современных движений земной поверхности*. В рамках этого проекта проводились повторные нивелировки вдоль линий железных дорог, уровнемерные наблюдения на побережьях морей, повторные триангуляции и наклономерные наблюдения на специальных полигонах. Несмотря на ряд существенных недостатков, в целом, эти исследования оказались вполне успешными. Анализ их результатов позволил сделать вывод: *установленные закономерности движения земной коры поверхности соответствуют основным положениям Новой ротационной гипотезы структурообразования [17]. В частности, довольно четко проявляются компоненты современных движений с периодами 1,0 и 1,2 года, соответствующие аналогичным циклическим компонентам траектории движения полюса по поверхности современного геоида* [5].

В настоящее время открылась новая возможность использования результатов изучения современных движений земной поверхности для решения насущных проблем геотектоники благодаря введению в геодезическую практику российской спутниковой системы определения координат точек земной поверхности ГЛОНАСС [3] или аналогичной американской системы GPS [4]. Названные выше системы позволяют определять координаты точек земной поверхности и скорость их перемещения в пространстве с точностью, достаточной для наших целей. Следовательно, результаты исследований, полученные с помощью этих систем, можно будет использоваться для оценки справедливости моделей деформации разломных структур, приведенных на рис. 2.15, *в* и *г*, а также – для ее уточнения.

Есть основания ожидать, что корреспондирование закономерностей движения земной поверхности на деформацию магнитной оболочки Земли в сочетании с одновременным изучением вековых вариаций земного магнитного поля с периодами первых десятков лет позволит оценить параметры магнитной оболочки Земли [13]. Конечным результатом такого рода исследований должен быть реальный вклад в изучение особенностей формирования отдельных фаз тектонических активизаций Земли и, в частности, выяснение природы, установленного Г. Штилле [26], явления миграции складчатости в земной коре.

Таким образом, вырисовывается формулировка очередной неотложной проблемы: *организовать целенаправленное исследование*

современных движений земной поверхности с помощью спутниковых систем ГЛОНАСС или GPS в окрестностях известных крупных разломов земной коры в сочетании с синхронным изучением вековых вариаций земного магнитного поля, совместный анализ результатов которых даст возможность установить особенности внутренней структуры разломов и закономерности перемещения, отдельных их элементов в процессе тектонических активизаций Земли, удостоверить существование магнитной оболочки Земли и уточнить ее параметры, а главное – оценить роль и место циклических компонент движения полюса по поверхности геоида с периодами первых десятков лет, в процессе формирования определенных фаз тектогенеза. Эти данные необходимы для теоретической геотектоники, а также – для эффективного прогноза землетрясений в сейсмологии.

IV. При решении практически всех перечисленных выше проблем исследователь неизбежно столкнется с необходимостью использования карт систем разломов тектоносферы изучаемой территории. Поэтому, в качестве еще одной, предпочтительно первоочередной, можно сформулировать задачу: *организовать составление глобального атласа систем разломов тектоносферы, состоящего из основной карты систем разломов тектоносферы, в равноугольной проекции Меркатора в масштабе 1:10 000 000 (по экватору) с врезками к ней отдельных территорий в более крупных масштабах.* Возможно, даже начать с решения именно этой проблемы, т.к. такой атлас может служить исходной основой для решения широкого круга проблем: основная карта систем разломов тектоносферы Земли – для выяснения глобальных тектонических и сейсмотектонических закономерностей, а крупномасштабные врезки – для составления прогнозных карт на поиски рудных и нефтегазоносных месторождений, а также для прогнозирования месторождений. Методика составления такого рода карт известна [19], а некоторые примеры их составления приведены в настоящей монографии.

V. Для создания Новой современной геотектонической концепции развития Земли неизбежно потребуется совершенствование теоретической основы изучения особенностей напряженно-деформированного состояния тектоносферы Земли. В этом плане представляется необходимым решение, по крайней мере, двух первоочередных задач:

1) вычисление нормального поля ротационных напряжений в тектоносфере Земли для ее модели в виде толстостенной упруго-вязкой оболочки;

2) вычисление ротационных напряжений в тектоносфере однородного земного эллипсоида, нарушенного системой разломов.

Возможность решения первой задачи сомнений не вызывает. Его можно получить аналогично тому, как это сделано для модели в виде

тонкой оболочки [21]. Со второй задачей дело обстоит несколько сложнее. Опыта решения такого рода задач для условий Земли в мировой практике нет, но в институте механики НАН Украины есть наработки в области определения полей механических напряжений в телах, нарушенных трещинами [9 и др].

Эти наработки не предназначены для условий Земли, но используемая в них методика расчета полей напряжений может быть адаптирована для наших целей.

В заключение, возвращаясь к нашему предложению *о необходимости создания новой современной концепции развития Земли*, подчеркнем следующее.

1. Авторы вполне осознают *неимоверную сложность реализации этого предложения*. Эта сложность определяется серией факторов, среди которых на первый план выступает – *преодоление исследователями привычных, ставших традиционными, представлений. Кроме того, смену существующих представлений на новые нельзя осуществить только путем изменения руководящей концепции или только путем организации дополнительных натурных исследований геологических ситуаций в разных районах Мира. Проблема может быть решена только разумным сочетанием этих подходов.* При этом, первый из них осложняется необходимостью привлечения не только традиционных наук о Земле, но и смежных с ними: астрономии, механики, математики, а второй – связан со значительными затратами времени и средств, необходимыми для его осуществления. Тем не менее, любая сложность не может служить непреодолимым препятствием, а тем более, оправданием отказа от реализации рационального предложения. Будем надеяться на справедливость восточной мудрости: *трудную дорогу осилит идущий!*

2. *Глобальность предлагаемой проблемы предполагает интернациональный подход к ее решению.* В связи с этим авторы планируют издание монографии не только на русском, но и на других языках с целью ознакомить с обсуждаемым предложением, по-возможности, больший круг исследователей. Одной из наиболее активных форм ознакомления исследователей с обсужденным предложением, могла бы быть организация дискуссии в периодической печати и различных научных форумах. *Наилучшей площадкой для обсуждения предложения авторов могла бы быть очередная сессия Международного геологического конгресса*.

3. Авторы открыты для сотрудничества и будут весьма признательны коллегам за любые замечания и предложения по поводу содержания монографии.

Наш адрес: Национальный горный Университет
пр. Карла Маркса, 19, Днепропетровск, Украина
E-mail: dovbnichm@mail.ru

5. CONCLUSSIONS AND PROPOSITION

5.1 The main results of investigation

Making the analysis of the modern state of the geotectonic the antagonisms were found out between the entity of global phenomena on the Earth and notions existing about them. Disclosed antagonisms indicate on the necessity of notions reconsideration by the researchers. There is given an account of problems of such nature, their essence and our propositions of the possible way of their solution.

I. First of all we consider the notions about the nature of the force that results in tectonic activizations of the Earth. As all known exogenous processes on the Earth are directed to the peneplainization of its surface, and in reality it is so far from peneplain, so there must be a group of force disturbing the processes of the Earth surface equalization and efferent the Earth from the equilibrium state from time to time. These phenomena are called the tectonic activization of the Earth. The nature of the force that results in tectonic activizations is still *hypothetic.* The explanation attempts of these forces as (endogenous) physically geological and geochemical processes spontaneously leaking in the Earth interior were lame. The enquiry is the spontaneously developed endogenous processes mentioned above can take place only as a reaction on some external action, i.e. for their origin there must be extraterrestrial source of forces [18]. In other words – all known geotectonic hypothesis of the Earth development, based on the endogenous physically geological and geochemical processes must be admitted untenable. Hereupon there is a situation in tectonics that can be called for sure crisis [22]. Global phenomena such as: tectonic activizations of the Earth, world transgressions and regressions, development of geosynclines and platforms, transferring of the lithospheric plates (blocks) in vertical and lateral directions, development of the tectonosphere faults, mantelli diaper and similar for them phenomena are unfound, but simply postulated.

Crisis situation of this approach for solving tectonic problems consists in that it leads to the encouragement of peculiar scientific nihilism: researchers were found themselves bereaved the constraint shapes of the tenable proposal usage, in the geological union there is no physical necessity in the rejection of properly untenable propositions – they are accepted as one's due once too often. On the basis of being told, the five main requirements (criteria) are stated in monograph, which every geotectonic conception must be satisfied, pretended the role of the scientific basis, from the position of which the actual dates getting from studying the specific of the geological structure of the Earth can be considered (Chapter 1.4).

The ideological basis of our notions presented as thesis is: the Earth rotation – singular real source of tectogenesis energy *[23]; forces, conditioned*

by physically geological and geochemical phenomena spontaneously flowed in the Earth, also can be the participants of the tectonic process, but only as a reaction on the action of external forces [18].

Kinetic energy of the Earth rotation is characterized by such value $2{,}16 \cdot 10^{29}$ J. It is huge, really inexhaustible source of energy of the Earth tectogenesis. The mechanism of this energy consumption for the tectonic Earth transformation is caused by the variations of its rotation regime. *Whereas the Earth form is so close to the equilibrium figure of the rotating liquid to the equivalent mass in stationary rotation regime, so in its changing, taking place as a result of interaction of our planet with the surrounding space fields, the Earth figure tended to adapt to the New rotation regime.* In adaptation process the Earth figure to the continuously varying rotation regime the stresses in the Earth tectonosphere are aroused and accumulated gradually, relaxation of which (in attaining critical values) leaded to the disturbance of the tectonosphere continuity. Such is a nature of the geotectonic activization and of the mechanism of the Earth rotary energy disbursing for its realization.

II. In 1974 a New rotation hypothesis of structure formation [15] was formed and published. It is different from classic rotational hypothesis because its main factor caused stress origination in tectonosphere is not a variation of angular velocity, but the displacement of the Earth rotation axis relative to the geoid. It was translated in English in 1977 [28] and its essence was described in Chapter 2. Briefly it comes to the following. The compression zones are arose as a result of the rotation axis displacement of the Earth relative to geoid in two opposite quadrants of tectonosphere located in the direction of the rotation axis displacement. The tension zone are arose in two others quadrants. When the stresses of these zones become equal to the ultimate stress of tectonosphere rocks the relaxation is started. It consists in origination of hierarchical collaterally subordinated faults in mutually orthogonal directions. Faults intersection is generated corresponding system of blocks. So the tectonic activization of the Earth is started in such way. The faults penetration into the tectonosphere depth part caused decompression in this part, and as a result of it the growth of magmatic activity is happened. That's why all tectonic activizations of the Earth must be called tectonomagnetic reasonably. The blocks displacement by the faults caused the origination of the surface structures: primary synclinal type – in the tension zones, and in the compression zones - the orogenic type. Aroused difference of block marks defined a possibility of terrigenically chemogenic rocks origination – the main constructional material of surface structures. The whole set of the geological processes mentioned above presented itself as one of the tectonic activizations of the Earth. For each tectonic activization its own fault system and its own sedimentary-volcanogenic rock strata are inherited. Meanwhile fault system is presented as hierarchically collaterally subordinated faults of two mutually

orthogonal directions; one of them coincides with the direction of the pole displacement on the geoid surface.

The importance of regulations mentioned above that arose from the New rotation hypothesis of structure formation is, as follows:

– geotectonic conception that explains nature and mechanism of tectonic (tectonically magmatic) activization of the Earth is suggested for the first time;

– the system in spatial position of faults that is too often revealed in practice [16] is substantiated and above all – the new role of faults, as bases in forming of surface structures is underlined.

Effective illustration of reliability of the New rotation hypothesis of structure formation is the comparison results of the world data of geosynclinals studied from V.E. Khain [24] monograph, with the effects, followed from the behavior features of the motion path on the geoid surface during the one tectonic cycle, described in Chapter 2 in detail. Both data groups turned out corresponding to each others. The fact of complete accordance of famous canons of orogenesis of G. Shtille [25] that was set empirically in the last century can serve as a no less substantial criterion of reliability estimation, with the substantive positions of the New rotation hypothesis of structure formation.

III. Studying faulted tectonics of the Ukrainian Shield and Dneprovsko-Donetskaya Cavity from the points of the New rotation hypothesis of structure formation, where the authors of monograph took part, leaded to the revelation of rather important regularities. Particularly, in the Ukrainian Shield the six Precambrian fault systems were fixed clear enough. These systems are characterized by pairs of trend azimuth (with the accuracy ±2º); 0 and 270, 17 and 287, 35 and 305, 45 and 315, 62 and 332, 77 and 347º; in addition two fault systems were observed with the trend azimuth 25 and 295, 56 and 326º. Similar fault systems were observed in the Precambrian foundation of the Dneprovsko-Donetskaya Cavity. In 1988 in Dnepropetrovsk Mining Institute the all-Union scientific and technical conference was held. It was devoted to the analysis of usage results of New rotation hypothesis of structure formation for studying the faulted tectonics on the USSR territory. The results of this conference confirmed the existence of similar fault systems in the East European and Siberian platform, the Ural and the Caucasus, so one can consider, that the described regularities has a global character. Therefore, *in the Earth development history only in Precambrian there were at least six tectonic activizations, trail of which were embodied in its "stony records (annals)" as corresponding fault systems.*

The group of researchers from Leningrad [2] established multi-event and multiphase of fold structures origination in the Earth crust by generalizing world experience of fold structure studying in the metamorphic strata and checking it mainly in the Baltic Shield conditions. Based on the monotony of law of forming both the fault and the fold structures settled empirically, taking

into account the force field unity, causing those both phenomena, we can conclude: the necessity of multi-event tectonics development become ripe – studying nature and spatio-temporal regularities of fault and fold structure forming. As ideological basis a version of New rotation hypothesis of structure formation can be used. Some considerations as regards this problem were given in the monograph, which are as follows:

– it is clear a priori, that the multi-event of the Earth tectonic activization is a function of compound trajectory pole displacement on the geoid surface, included the set of different order cyclic components. Each of these components the defined in time and space deformations of tectonosphere correspond. Therefore the spatio-temporal regularities of the multi-event tectonic structure forming can be done by analysis of displacement pole components on the geoid surface in detail, of course it can be done only in aggregate with the results of in situ;

– the cyclicity problem that can be solved in the same manner is one of the main regularities of multi-event tectonic structure forming;

– taking into account all information mentioned above, the attempts of reduction the Precambrian faults to the one-event structures are not acceptable because these structures [12] were in different tectonic regimes (tension and compression) in different epochs, so they were inherent in different kinematical characteristics;

– it is reasonably to use the shear folding mechanism suggested by M.P.Billings [27] instead of traditional notions about fold forming on the studied rock strata by their longitudinal compression and lateral bending with conditions of multi-event folding forming.

The notions given above are directed to the development of the tectonics. They are much difficult than the accepted notions, but their realization necessity is not in question.

IV. The geotectonics development has significant importance for such branches of the Earth science, such as metallogeny and geology of oil-gas deposits, the main aim of which is prediction of the deposits attitude. The tectonosphere fault systems or more exactly their spatio-temporal regularities play the main role in prediction.

In metallogeny (Chapter 3.2) the empirically set role of ore controlling of the Earth crust faults is used: *according to statement of U. A. Kosygin [10] 84% of all known post-magmatic deposits of the world are exposed along the faults intersections.*

It is reasonable to ad regularities arisen from the New rotation hypothesis of structure formation:

– faults are the initiators of magma origination in the Earth interior and channels of its transportation and concomitant fluids (main sources of ore matter) to the Earth surface;

– defined metallic specialization is peculiar to singular-rank fault of every system;

– there is a specified interrelation between the orientation of the fault system and the time of their origination or following activization, which can be defined with the help of pole displacement trajectory on the geoid surface.

– For the development of the gas-oil deposits (Chapter 3.3) geology it is suggested to use the following regularities*:*

– the determined interrelation between structure forming in sedimentary strata with the type: anticlinals, fringe zones, their disturbances by saline intrusions, also – riftogenic structures, which are the trap of underground hydrocarbons, and activizations of the sedimentary tank founding faults;

– interrelation of the Precambrian fault systems, that take part in the processes mentioned above, and the Phanerozoic time of activization defined by the trajectory of the pole displacement on the geoid surface. The age of the deformed sedimentary rocks is playing significant role can be of importance.

On the basis of the regularities mentioned above the main points of the original technology to predict ore and gas-oil deposits prediction were formed. In brief they are as follows.

A. By comparison of the known deposits locations with the map of the fault systems in the well-studied part of the region under investigation the quantitative interrelation is found. It follows that such deposits are confined to certain fault systems or their crossings.

B. Using such regularity and transporting it to the less-studied part of the region under investigation, based on the map of the Earth's crust fault systems, the map of probable encounter of required deposits was built.

C. Such comparison can be a real basis for the local prediction of the most perspective search areas of required deposits in the arms of learned researcher.

Example for implementation of the suggested prediction technology, based on these principles, can be found: for the ore deposits on the Ukrainian Shield in monograph [16], for the gas-oil deposits on the Dneprovskaya-Donetskaya Cavity – in monograph [14]. They are described in Chapter 3.4 in this monograph in detail.

V. In the second part of the monograph (Chapter 4) the results of solving a number of problems related to the tectonosphere stresses caused by the variations of the Earth rotational regime and lunar-solar tides got by M.M. Dovbnich are given [6, 21]. In particular he has calculated stress fields, caused by the variations of the Earth rotational regime for different models of tectonosphere:

a) homogeneous elastically viscous earth ellipsoid, as a tectonosphere model of which the thin ellipsoid membrane was used;

b) homogeneous elastic earth ellipsoid, as a tectonosphere model of which the thick-walled ellipsoid membrane was used;

c) for both mentioned tectonosphere models the stress fields were calculated, these fields are caused by the local heterogeneity influence in the Earth ellipsoid and by lunar-solar tides on its surface. All fields were calculated in the spherical coordinate system similar to the geographical one. Mechanical features of these fields and their significance in the tectonic Earth development were considered in Chapter 4. In this case we emphasize only main of them – primary in geotectonic terms.

1. The main contribution in rotational stresses field development is caused not by variations of angular Earth rotation velocity (classic rotation hypothesis), but by location changing of the Earth rotation axis against the geoid (New rotation hypothesis). So, stresses caused by the rotation axis displacement lead to the value, that whips rock ultimate stress of tectonosphere (10^7 Pa) a fortiori, i. e. they are enough for the fragile realization. The stresses in tectonosphere caused by the variations of angular Earth rotation velocity are characterized by two less order values.

The above data firstly uncovers the physical nature of the Earth tectonic activization, secondly they are a quantitative basis of the early formed New rotation hypothesis of structure formation [15], and therefore it can be used as a scientific basis in interpretation of real data.

2. The main tectonic regularities were gotten from the comparison of normal rotation stress fields got with the help of different tectonosphere models (elastic and elastically viscous). Qualitatively these fields are similar to each other, but their quantity is different. Therefore the difference increases with the growth of the capital time interval of accumulation the rotation stresses being considered, i. e. the intensity of field of these stresses is the function of not only angular interval, but also the displacement velocity of the pole on the geoid surface. Whereas the pole displacement trajectory is the compound complex of the cyclic components with the different periods, so the analysis of the stress field features got with the help of the elastically viscous tectonosphere model allows to show the role of the cyclic components of different order in the tectonogenesis of the Earth. *Particularly, in the epoch of the coincidence of displacement of pole directions of different order cyclic components the overall displacement speed is increased, and so the stresses in tectonosphere also aroused.* The validity of this statement can be justified on the example of phanerozoic, during which the three main well-known tectonic epochs are observed: Caledonian, Hercynian and Alpine.

The role of the cyclic components of the pole displacement on the geoid surface has arisen during the discussion of geotectonic processes cyclicity problem the attitude to which is different by different researches – from an absolute consent to the complete denial. Apparently, it is no more chance: the

complex of the cyclic components of the pole displacement on the geoid surface complicates the regularities of the observed tectonic processes cyclicity leading to such dispersion of the notions. With the help of the analysis on the actual geological data is shown that the geotectonic processes cyclicity is not in question, and its regularities have much difficult view. They coincide with the main positions of the New rotation hypothesis of structure formation.

3. Tectonosphere stresses caused by the lunar-solar tides and so-called high frequency normal field components of the rotation stresses play specific role in tectonic structure forming. Their maximum values are 10^3-10^4 Pa. They can not disturb compound segments of tectonosphere, but they can take part in the additional deformations of the weaken tectonosphere zones disturbed by faults previously. In the monograph it was shown on the examples of local structure development in sedimentary strata and the saline diaper structure development. Thus, naturally, the normal rotation stress field plays the main role in the local structure development, but the development processes can not take part without their high frequency components and stresses, caused by lunar-solar tides.

VI. Summarizing the research results, stated in the monograph, it is necessary to underline, that the most significant of them are the unity of nature and the mechanisms of global tectonic phenomena, determined and quantitatively substantiated: tectonic (tectonic-magmatic) Earth activizations; world transgressions and regressions; earthquakes, and also – generations of the Earth magmatic fields [20, 29]. All these phenomena are related genetically with the rotation regime of the Earth, rather – its variations, caused by the interaction of our planet with ambient space field. The determined regularities can be used as a basis for creation of an up-todate geotectonic conception of the Earth development.

5.2. Problems, which need urgent solving

The results of research stated above shortly in Chapter 5.1 are evidence of the long-felt need to discuss a problem of changing the traditional paradigm in the Earth Sciences. It is suggested to substitute traditional notions of the Earth self-development under the influence of the interior forcers occurred as a result of the spontaneously flowing physicochemical processes in it for notions of the Earth tectonic development in which the rotation forces caused by the interaction of our planet with the surrounding space fields are decisive.

This does not mean at all that practically settled regularities of structural tectonic development should be declined. But its nature should be rethinked in connection with the uncovered force source contributing to the realization of these regularities. Such approach will allow not only to substantiate firmly all known tectonic regularities but also to uncover a new one. The scheme of

geosynclinals region development during the whole of geotectonic cycle which is under consideration in this monograph can be convincing enough confirmation of this thesis.

Chapter 1 of the monograph and previously published work [23] give evidence of inability of endogenous forces caused by spontaneously flowing physicochemical processes to form tectonic structures independently. The only one real tectogenesis energy source is the Earth rotation, and the source of the tectonic forces is its rotation regime variations. Meanwhile, the endogenous force participation in tectonic processes is in no way excluded, but these forces are considered as a reaction on the external impact of the forces with rotation nature.

The ultimate goal of such exchange is the creation of modern geotectonic conception on the basis of new notions. It is clear that the modern geotectonic conception must reflect multi-event Earth history composed of tectonic epoch series, which border is the large tectonic Earth activizations. It is resulted from the New rotation hypothesis of structure formation that there were no less than six tectonic activizations in Precambrian. This hypothesis can be used as the initial approximation of modern geotectonic conception.

It is clear a priori that the forthcoming creation of modern tectonic conception is exclusively complicated multi-aspect problem solution of which requires not only one decade but also the work of many scientific groups. It is premature to discus the program of such research; therefore we confine ourselves to formulation of only those problems which to our opinion deserve the immediate solution, they are rather clear.

I. One of the most important problems that needs to be solved urgently is the determination of origination time and further activizations of tectonosphere fault systems confidently recorded by geologic geophysical methods. To achieve a target goal it is necessary to know the motion trajectory of the rotation Earth pole on the geoid surface as a time function. Hence, *research directed to the restoration of motion trajectory of the rotation pole on the geoid surface during the whole Earth geological development history is needed.*

The motion trajectory of the Earth rotation pole on the modern geoid surface can be received by determining the coordinates of the paleomagnetic poles for the ancient geological epochs. Of course, these coordinates will reflect the location of geomagnetic poles on the geoids of the corresponding with the ancient epochs different from the modern ones. The motion trajectory of paleomagnetic pole on the modern geoid surface can be restored by application of the deformation correction. It should be accepted as the motion trajectory of the Earth rotation pole and should be used for the specified origination time or tectonosphere fault systems activization. The main obstacle for solving this problem is the absence of sufficient quantity of the initial standard data nowadays. Data replenishment will need some time. In this connection it is

appropriate to realize the first stage of the discussed problem: *to restore the motion trajectory of Earth rotation pole on the modern geoid surface in Phanerozoic time*. The appropriateness of this proposition is currently caused by that the available data is enough for solving this problem and the technology developed in this stage can be used as a reference in the restoration of polar motion trajectory on the modern geoid surface in the more ancient (Precambrian) tectonic epochs.

The polar motion trajectory on the Earth surface can be done by another way by the method that was developed by A. V. Dolitsky [7,8 et al.]. It is based on the use of interrelation between the location and orientation of the linear tectonic structures of the Earth crust and the location and the displacement direction of the geographical pole on the Earth surface. The motion trajectory of geographical and geomagnetic poles built by A.V. Dolitsky is shown in Fig. 5.1.

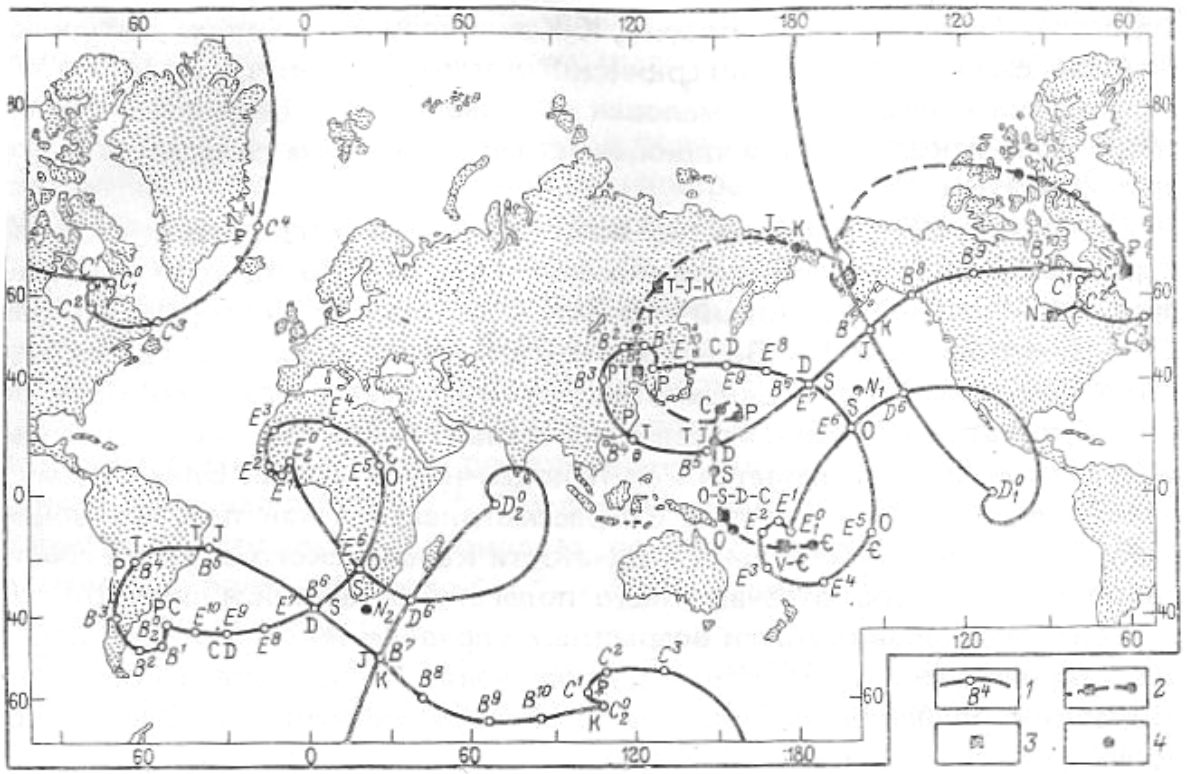


Fig.5.1. The motion trajectory of the geographical and the geomagnetic poles by A.V. Dolytsky [23]: 1 – motion trajectory of geographical poles (north and south); 2 – motion trajectory of the middle for the geochronological period of the north geomagnetic pole in the mentioned time; 3 – the location of the middle rotation pole in the mentioned time; 4 – motion trajectory of the middle for the chronological period of the north geomagnetic pole in the mentioned time.

Appreciating rationality of usage of the idea of linear tectonic structures of the known age for determining the motion trajectory of the geographical pole on the Earth surface, it is necessary to underline that estimation ambiguity of *origination* and fault systems *activization* acts or linear structures connected

with them, that were used for solving the discussed problem, is one of the obstacles in realization of this idea. Nevertheless, experience of the use of the described propositions will be rather helpful for researchers if not for 1 then for control of the results received 2.

Also it can be added that for the motion trajectory restoration of the pole in Phanerozoic of significant help can be use of the scientific heritage of G. Shtille, described in Chapter 3.1, particularly, to establish an interrelation between the known tectonogenesis phases and cyclical components of the different order pole motion in Phanerozoic. The nature of this interrelation is very important for Precambrian tectonic epochs too. But, unfortunately the positional accuracy of the paleomagnetic poles with the age growth of tectonic structures used for these purposes is steadily fallen. Nevertheless, the regularities set for Phanerozoic can have certain meaning in interpreting the nature if not of all, than the biggest phases of the Earth tectonic activizations located in the time intervals between the ones main.

II. Literature data and the experience of our researches illustrate that the mutually orthogonal faults of the Earth crust differ by their geological features noticeably. Frequently one can observe the following mutual differences: the faults of one direction are the active participants of forming the surface linear structures oriented in the direction of these faults; in the same time the orthogonal faults also take part in origination of linear structures in the Earth crust, but mainly their role comes to the primary surface structures appearance disturbances, in which forming the orthogonal faults take part.

In addition, it is determined, that in the Ukrainian Shield conditions the mutually orthogonal foundation faults in every system are characterized by different metallogenetic specialization [16, p. 211], and in the Azov-Black Sea region conditions the mutually orthogonal faults are differed by the confined to them local tectonic structures in the sedimentary strata (Fig. 3.38).

In accordance with the New rotation hypothesis of structure formation the even-aged mutually orthogonal faults of every systems form in the equal tectonic regimes (mainly tension (stretching)). Though, as it is followed from the mentioned above, they have some differences. The most probable reason of these differences is in features of field distribution of the rotation stresses along the lines oriented in directions coincident with the pole displacement direction or orthogonal to it. Unfortunately, the goal-seeking research into the differences under discussion was not conducted. Evidently this is time to conduct the research. The problem can be formulated in a such way: *to organize the goal-seeking research to study the interrelation of the forming features of even-aged mutually orthogonal faults and connected with them surface structures with the spatial distribution features of the rotation stress field.*

The appropriateness of such problem formulation is dictated by that its solution results are too important for the theoretic geotectonics. Particularly,

they are necessary in solving this problem formed in point I - polar motion trajectory restoration on the geoid surface.

Further more, solution of this problem is necessary for metallogenic development and for development of the proper system of modern methods for local prediction of ore deposits in crystalline foundation and oil-gas deposits in the sedimentary strata.

III. In the 70s-80s of the last century in the USSR and in the countries of the Eastern Europe at the initiative by D. Bulange, corresponding member of the Academy of Science of the USSR the International project has been implemented: S*tudying of modern motions of the Earth surface.* In the framework of this project the repeated leveling was executed along the railroad line, level-gaging observations on the sea coasts, repeated triangulations and pitch-roll observations on special polygons. In spite of a number of essential imperfections on the whole this research proved to be quite successful. The analysis of the obtained results made it possible to make the following conclusions: *set regularities of the Earth crust surface motion corresponding with the main statements of the New rotation hypothesis of structure formation [17]. Particularly, the components of modern motions with the periods 1.0 year and 1.2 year corresponding to similar cyclical components of polar motion trajectory on the surface of modern geoid [5] are revealed clearly enough.*

Nowadays there is a new possibility to use the results of modern Earth surface motion study for solving the urgent geotectonic problem due to introducing the Russian satellite system of the Earth surface coordinate determination GLONASS [3] into the geodesic practice or similar American system GPS [4]. The systems mentioned above allow to determine the coordinates of the Earth surface points and the displacement velocity in the space with the sufficient accuracy for our purposes. Therefore the research results obtained with the help of these systems can be used to estimate correctness of the fault structure deformation models shown at Fig. 2.15 c and d, and also – for its refinement.

There is every reason to expect that the regularities transcribing of the Earth surface motions on the deformation of the Earth magnetic membrane in combination with the simultaneous studying of the Earth magnetic field secular variations with the first decade years periods allow to estimate the parameters of the magnetic Earth membrane [13]. The final result of such research must be a real contribution to the study of the forming features of The Earth tectonic activization separate phases and particularly of the nature of folding migration phenomena in the Earth crust set by G. Shtille [26].

Thus the formulation of the next urgent problem is drawn: to organize the goal-seeking research into the modern Earth surface motion with the help of satellite system GLONAS or GPS in the vicinity of the well-known large faults of the Earth crust in combination with the synchronous studying of the Earth

magnetic field secular variation, joint analysis of which will give a possibility to set the features of internal fault structure and displacement regulations of their separate elements in the Earth tectonic activization; to make sure of the existence of the Earth magnetic membrane and its customizing, and mainly – to estimate the role and the place of the cyclical components of the pole motion on the geoid surface with the first year decades periods in specific tectonogenesis phases forming. These data is necessary for theoretical geotectonics and also for effective earthquake prediction in seismology.

IV. In solving almost all of the problems mentioned above the researcher will inevitably face with the necessity of map usage of tectonosphere fault systems on the area under investigation. That is why one more problem of immediate priority can be formulated: *to organize the comparison of the tectonosphere fault systems global atlas that includes the main tectonosphere fault system map in autogonal Mercator projection at a scale of 1:10 000 000 (by equator) with the large-scaled insets of separate territories.* Perhaps it is possible to start solving just this problem, i.e. such atlas can be a basis for solving the wide scope of problems: the main map of the Earth tectonosphere fault system – for clarification of the global tectonic and seismically tectonic regularities, and large-scaled insets – for comparison of the prediction maps for the ore and oil-gas deposits prospecting and also to predict the deposits. Compiling methodology of such maps is well-known [19]; some compiling examples are given in this monograph.

V. Inevitably for creation of a New modern geotectonic conception of the Earth development the improvement of the theoretical basis of the Earth tectonosphere stress-deformed state feature studying is necessary. So in this respect the solving of two primary problems must be done:

1) calculation of normal rotation stress field in the Earth tectonosphere for its model as a thick-walled elastically viscous membranes;

2) calculation of the rotation stresses in tectonosphere of the homogeneous Earth ellipsoid disturbed by fault systems.

The solving possibility of the first problem is not in question. It can be obtained similarly to that one obtained in the model with the thin membrane [21]. The situation related to the second problem is much more complicated. There is no experience of solving such problems for the Earth conditions in the world practice, but there are some exploratory studies in the Institute of Mechanics of Ukrainian NAN in the field of mechanical stress fields determining in the objects disturbed by fractures [9 et. al.].

These groundworks can not be used for the Earth conditions, but methods used to calculate stress fields can be adapted for our purpose.

In conclusion, turning to our suggestion *on the necessity of the New modern Earth development conception* we underline the following.

1. Authors are fully aware of the *incredible implementation complexity of this suggestion.* This complexity is defined by a series of factors, *among which*

the overcoming of habitual, becoming traditional, notions by researchers moves to the forefront. *In addition, substitution of existing notions for new ones can not be realized only by the leading conception changing or only by organization of the additional in situ research of geological situations in the different regions of the world. The problem can be solved only using the reasonable combination of these approaches. T*he first of them is complicated by the necessity of involving of traditional Earth sciences as well as the adjacent ones: astronomy, mechanics, mathematics, and the second approach is related with the significant money and time expanses necessary for its realization. Nevertheless each complexity can not be served as an insuperable obstacle, and furthermore as a justification of the failure of realization. We will hope to the validity of the eastern wisdom: *the hard road will be overpowered by running!*

2. *The globalism of the proposed problem supposes the international approach for its solution.* Thereby authors are going to publish the monograph not only in Russian but also in other languages with the aim of acquainting as much as possible a wide circle of scientists with the notion under discussion. One of the most active forms to acquaint researchers with the discussed notion can be the organization of discussion in the periodical press and in different scientific forums. *The best platform for the authors' notion discussion can be regular session of the International Geological Congress*.

3. Authors are opened for collaboration and they will be very much obliged to remarks and proposals on the monograph content.

Our address: National Mining University
Karl Marx Av., 19, Dnepropetrovsk, Ukraine
E-mail: dovbnichm@mail.ru

5.3. Литература (References)

1. Белоусов В.В. Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат. 1962. - 608 с.
2. Геологическая съемка в областях метаморфических образований / Колл. авт. под ред. К.О.Кратца и М.А.Черноморского. Л.: Недра. 1972, вып. 4.-376 с.
3. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / Колл. авт. под ред. В.Н.Харисова, А.Н.Петрова, В.А.Болдина. М.: ИПРЖР, 1989. – 400 с.
4. Гофман-Веленгоф Б., Ліхтенеггер Г, Коллінз Д. Глобальна система визначення місцеположення (GPS). Теорія і практика. Переклад з англ.. за ред.. Я.С. Яцківа, Київ: Наукова Думка, 1995. – 380 с.
5. Движения полюса Земли с 1890 г по 1969 г / Е.П.Федоров, А.А.Корсунь, С.П. Майор и др. К.: Наукова думка, 1972. – 264с.
6. Довбнич М.М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженое состояние тектоносферы// Доклады НАН Украины. 2007, № 11, - С. 105-112.
7. Долицкий А.В., Кийко И.А. О причинах деформации земной коры // Проблемы планетарной геологии. М.: Госгеолтехиздат, 1963. – С. 291-311.

8. Долицкий А.В. Образование и перестройка тектонических структур. М.: Недра, 1985 – 219 с.
9. Кирилюк В.С., Левчук О.И. Упругие напряжения в телах с эллиптической, параболической и туннельной трещинами// Прикладная механика, 2007, т.43, № 8. – с.57-70.
10. Косыгин Ю.А. Тектоника. М.: Недра, 1988. – 462 с.5. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза формирования структур в земной коре // Геол. журн. 1974, № 4. – С. 3-16.
11. Назаретян С.Н. Глубинные разломы Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм.ССР, 1984. – 138 с.
12. Петров А.И. Древние разломы восточной части Балтийского щита и движения по ним // Доклад АН СССР, 1970, т.191, №2. – с.418-421.
13. Семенов А.С. Магнитная оболочка Земли // Вестн. Ленинград. ун-та. Геология и география. 1974, вып. 3., № 18. – С 40-43.
14. Солдатенко В.П., Довбнич М.М., Мендрий Я.В. Нефтегазоносные структуры в условиях Днепровско-Донецкой впадины // Комплексирование геофизических методов. Днепропетровск – Донецк. 2008. – С. 185-279.
15. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная гипотеза формирования структур в земной коре // Геол. журн. 1974, № 4. – С. 3-16.
16. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. М.: Недра, 1982. – 239 с.
17. Тяпкин К.Ф. О природе современных движений земной коры // Изв. ВУЗов. Геология и разведка. 1984, № 6. – С. 3-14.
18. Тяпкин К.Ф. О роли «внутренних» и «внешних» сил Земли в процессе тектогенеза // Изв. ВУЗов. Геология и разв. 1987, № 3. – С. 3-8.
19. Тяпкин К.Ф. Глобальне системы разломов и их отражение в современном геоиде// Геофиз. журн. 1987. т.9, №3. – с.3-11.
20. Тяпкин К.Ф. Новая ротационная модель магнитного поля Земли // Геофиз. журн. 1996, № 1. – С. 30-37.
21. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. О напряжениях, возникающих в тектоносфере в результате изменения ротационного режима упруго-вязкой Земли // Геофиз. журн. 2002, № 2. – С. 52-59.
22. Тяпкин К.Ф. О кризисе в современной геотектонике и возможности выхода из него // Геофизика, 2003, № 5. С. 70-72.
23. Тяпкин К.Ф., Довбнич М.М. Вращение Земли – единственный реальный источник энергии тектогенеза // Геофизика, 2007, № 1. С. 59-64.
24. Хаин В.Е. Общая геотектоника. М.: Недра, 1973. – 511 с.
25. Штилле Г. Избранные труды. М.: Мир, 1964. – 888 с.
26. Штилле Г. Зональное перемещение складчатости // Избранные труды. М.: Мир. – С 15-24.
27. Billings M.P. Structural geology. N.Y.: Prentice Hall, 1954.-514 p.
28. Tyapkin K.F. A new rotation hypothesis on the development of the tectonic system of the Earth’s crust // Trans. Hung. Geophys. Inst. 1977. № 24. – P. 39-52.
29. Tyapkin K.F. New model of the Earth’s magnetic field // Earth Science Frontiers. Beijing. 1999, № 3. – P. 75-84.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие редактора 3

ЧАСТЬ I. **НОВАЯ РОТАЦИОННАЯ ГИПОТЕЗА СТРУКТУРО-ОБРАЗОВАНИЯ И ЕЕ РОЛЬ В РАЗВИТИИ НАУК О ЗЕМЛЕ (К.Ф. Тяпкин)** 6

1. Введение 7

1.1. Форма и размеры Земли; ее оболочное строение 7

1.2. Земная кора и верхняя мантия 12

1.3. Современное состояние геотектоники и ее проблемы 24

1.4. Геотектонические гипотезы и их роль в развитии тектоники 29

1.5. *Литература* 49

2. **Новая ротационная гипотеза структурообразования** 53

2.1. Исходные предпосылки 53

2.2. Физическая сущность Новой ротационной гипотезы структурообразования 67

2.3. Геологический аспект Новой ротационной гипотезы структурообразования 81

2.4. Основные следствия Новой ротационной гипотезы структурообразования 91

2.5. *Литература* 115

3. **Науки о Земле и роль Новой ротационной гипотезы структурообразования в их развитии** 119

3.1. Геотектоника 119

3.2. Металлогения 149

3.3. Прогнозная оценка перспектив нефтегазоносности осадочных бассейнов 163

3.4. Геофизика (магнитное поле Земли) 187

3.5. *Литература* 204

ЧАСТЬ II. **ДЕФОРМАЦИЯ ЗЕМЛИ, ОБУСЛОВЛЕННАЯ СИЛАМИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНЕТЫ С КОСМИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ (М.М. Довбнич)** 209

4. **Напряженно-деформированное состояние тектоносферы Земли, обусловленное космогоническими факторами: расчет полей напряжений, их анализ и геологическая интерпретация** 210

4.1. Общие сведения 210

4.2. Пространственно-временные характеристики вариаций ротационного режима Земли 215

4.3. Алгоритмы оценки полей механических напряжений, обусловленных нарушением геоизостазии 231

4.4. Деформация земного эллипсоида и поля напряжений в тектоносфере, возникающие в результате вариаций ротационного режима Земли 246

4.5. Результаты расчета нормальных полей ротационных напряжений в тектоносфере Земли и их роль в геотектонике 260

4.6. Деформации геоида и поля напряжений в тектоносфере Земли, обусловленные влиянием локальных плотностных неоднородностей и лунно-солнечных приливов 281

4.7. Роль полей напряжений в тектоносфере Земли, обусловленных лунно-солнечными приливами, при формировании тектонических структур 298

4.8. *Литература* 307

5. Выводы и предложения (К.Ф. Тяпкин, М.М. Довбнич) 310

5.1 Основные результаты исследований 310

5.2. Проблемы, требующие неотложного решения 318

5. Conclussions and proposition (K.F. Tyapkin, M.M. Dovbnich) 325

5.1 The main results of investigation 325

5.2. Problems, which need urgent solving 331

5.3. *Литература (References)* 337

CONTENTS

Editor foreword 3

Part I. THE NEW ROTATIONAL HYPOTHESIS OF STRUCTURE FORMATION AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF GEOSCIENCES (K.F. Tyapkin) 6

1. Introduction 7

1.1. Form and dimension of the Earth; its layer pattern 7

1.2. The Earth crust and the upper mantle 12

1.3. Current state of geotectonics and its problems 24

1.4. Geotectonic hypotheses and its role in the tectonics advancement 29

1.5. *References* 49

2. **A new rotation hypothesis of structure formation** 53

2.1. Presuppositions 53

2.2. Physics of new rotation hypothesis of structure formation 67

2.3. Geological aspect of new rotation hypothesis of structure formation 81

2.4. Fundamental inquests of new rotation hypothesis of structure formation 91

2.5. *References* 115

3. **The Earth sciences and a role of new rotation hypothesis of structure formation in its progress** 119

3.1. Geotectonics 119

3.2. Metallogeny 149

3.3. Prognosis estimation of oil-and-gas content perspective in sedimentary reservoir 163

3.4. Geophysics (magnetic earth field) 187

3.5. *References* 204

Part II. THE DEFORMATION OF THE EARTH PRODUCED BY THE FORCES OF INTERACTION WITH THE SPACE FIELD
(M.M. Dovbnich) 209

4. Stress-deformed state of the Earth tectonosphere caused by cosmogonical factors: stress field calculation, its analysis and geological interpretation 210

4.1. Overall information 210

4.2. Spatio-temporal characteristics of the Earth rotation regime variations 215

4.3. Estimation algorithms of the mechanical stress fields caused by geoisostasy disturbances 231

4.4. Deformation of the Earth ellipsoid and stress fields in tectonosphere occurred as a result of the Earth rotation regime variations 246

4.5. Calculation results of normal rotation stress fields in the Earth tectonosphere and its role in geotectonics 260

4.6. Geoid deformation and stress fields in the Earth tectonosphere caused by influence of the local density heterogeneity and lunar-solar tides 281

4.7. The role of the stress fields in the Earth tectonosphere caused by the lunar-solar tides in tectonic structure forming 298

4.8. *References* 307

5. Conclusions and proposition
(K.F. Tyapkin, M.M. Dovbnich) 310

5.1 The main results of investigation 310

5.2. Problems which need urgent solving 318

5.3. *References* 337