

**Горная  
книга**



РЕДАКЦИОННЫЙ  
С О В Е Т

*Председатель  
Л.А. ПУЧКОВ*

*Зам. председателя  
Л.Х. ГИТИС*

*Члены редсовета  
А.А. БАРЕХ*

*А.П. ДМИТРИЕВ*

*Д.Р. КАПЛУНОВ*

*Б.А. КАРТОЗИЯ*

*А.В. КОРЧАК*

*М.В. КУРЛЕНЯ*

*В.Н. ОПАРИН*

*В.Л. ПЕТРОВ*

*И.Ю. РАССКАЗОВ*

*К.Н. ТРУБЕЦКОЙ*

*В.А. ЧАНТУРИЯ*

*В.Л. ШКУРАТНИК*

*чл.-корр. РАН*

*директор  
Издательства  
«Горная книга»*

*директор ГИ УрО РАН*

*академик РАЕН*

*чл.-корр. РАН*

*академик РАЕН*

*академик МАН ВШ*

*академик РАН*

*чл.-корр. РАН*

*академик МАН ВШ*

*директор ИГД ДВО РАН*

*академик РАН*

*академик РАН*

*зав. кафедрой МГГУ*



Yu.O. Kuzmin  
V.S. Zhukov

RECENT  
GEODYNAMICS  
AND PHYSICAL  
PROPERTIES  
VARIATIONS  
OF ROCKS

MOSCOW

PUBLISHING HOUSE  
«MINING BOOK»

2012



Ю.О. Кузьмин  
В.С. Жуков

СОВРЕМЕННАЯ  
ГЕОДИНАМИКА  
И ВАРИАЦИИ  
ФИЗИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВ  
ГОРНЫХ ПОРОД

*Издание второе, стереотипное*

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
«ГОРНАЯ КНИГА»

2012

УДК 551.24:551.243:550.342:553.98:622.1:622.83

ББК 26.3:26.34

К 89

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.014367.12.11*

**Рецензенты:**

- д-р техн. наук, проф. В.М. Максимов (Институт проблем нефти и газа РАН);
- д-р техн. наук, проф. В.Н. Попов (Московский государственный горный университет)

**Кузьмин Ю.О., Жуков В.С.**

**К 89** Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. — 2-е изд., стер. — М.: Издательство «Горная книга», 2012. — 264 с.

ISBN 978-5-98672-327-3 (в пер.)

Обосновано существование нового класса современных геодинамических процессов в зонах разломов — параметрически индуцированных суперинтенсивных деформаций (СД) земной поверхности. Показано, что наличие СД-процессов в платформенных, асейсмичных регионах диктует необходимость перехода от понятия «активный разлом» к понятию «опасный разлом» и радикальной коррекции нормативов, регламентирующих эколого-промышленную безопасность. Впервые проведено лабораторное моделирование деформационных процессов в условиях искусственно созданного «геодинамического полигона» на образцах горных пород. Получена уникальная информация о динамике физических свойств горных пород в условиях длительно действующих (порядка 1 года) квазистатических нагрузок. Осуществлены эксперименты, имитирующие процесс разработки месторождений нефти или газа. Разработанные подходы могут быть использованы при оценке геодинамического риска особо ответственных объектов.

Для специалистов в области геофизики, геологии, маркшейдерии, геодезии, экологии, оценки промышленного и страхового риска. Может служить учебным пособием для студентов вузов по соответствующим специальностям.

Табл. 4, ил. 62, список лит. — 244 назв.

**Kuzmin Yu.O., Zhukov V.S.**

Recent geodynamics and physical properties variations of rocks. — 2<sup>nd</sup> ed. — М.: Publishing House «Mining Book», 2012. — 264 p.

Existence of a new class of recent geodynamic processes in fault zones — parametric induced superintensive deformations (SD) of a terrestrial surface is proved. Presence SD of processes is shown, that, is especial in platform, aseismically regions, dictates necessity of transition from concept «an active fault» to concept «a dangerous fault» and radical correction of the existing normative documents regulating industrial and ecological safety of industrial and civil objects.

For the first time laboratory modeling processes of deformation and destruction in conditions is carried out is artificial created «geodynamic test area» on rocks samples. The unique information on character of physical properties changes of rock samples in conditions is long testing (about 1 year) quasi-static loadings. The experiments simulating process of development of oil fields or gas are carried out. Developed methodical and interpretation approaches can be used at carrying out and an estimation of geodynamic risk of especially responsible and ecologically dangerous objects.

ISBN 978-5-98672-327-3

- © Ю.О. Кузьмин, В.С. Жуков, 2004, 2012
- © Издательство «Горная книга», 2004, 2012
- © Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2004, 2012

Читатель, дорогой, то, что узнаешь ты,  
Тебе покажется лишь вымыслом забавным,  
Но Аполлоном я клянусь тебе державным,  
Что не прибавил здесь я ни одной черты.

*Огюст Барбье*

## ***Предисловие***

Человечество третьего тысячелетия живет в стремительно меняющемся мире. Причем это касается не только политических и социально-экономических реалий. Неустойчивой оказалась и такая, некогда стабильная часть среды обитания человека, как земная «твердь».

В последние годы стало очевидным, что современное геодинамическое состояние недр претерпевает значительные изменения, достигая своего аномального (экстремального) проявления в разломных зонах. При этом аномальная геодинамическая активность разломов характерна как для сейсмоактивных, так и для асейсмичных регионов.

Уровень аномальных деформаций, выявленных в зонах разломов, оказался соизмерим с опасными смещениями, которые регламентированы в соответствующих нормативных документах, что привело к необходимости радикального пересмотра существующих представлений об уровне и масштабах геодинамического риска объектов, расположенных в платформенных, асейсмичных регионах.

Вместе с тем современная динамика напряженно-деформированного состояния геологической среды обуславливает вариации физических свойств горных пород во времени, которые, в свою очередь, служат источниками локальных, аномальных изменений деформационных, геофизических, флюидо-геохимических и других полей.

Данная книга посвящена всестороннему анализу взаимосвязи современных геодинамических процессов и вариаций физических свойств горных пород во времени на основе анализа обширного эмпирического материала, физического и математического моделирования процессов.

Монография условно подразделяется на три соподчиненные части. Первая часть посвящена пространственно-временным закономерностям современной геодинамики разломов, описанию механизма нового класса движений в зонах разломов — параметрически индуцированных суперинтенсивных деформаций (СД) земной

поверхности, которые диктуют необходимость перехода от понятия «активный разлом» к понятию «опасный разлом».

Вторая часть работы посвящена математическому моделированию СД-процессов и лабораторному моделированию динамики физических свойств горных пород (деформационно-прочностные характеристики, электропроводность, акустическая эмиссия и др.).

Так, впервые проведено лабораторное моделирование процессов деформирования и разрушения геоматериалов в условиях искусственно созданного «геодинамического полигона» на образцах горных пород. Получена уникальная информация о характере взаимосвязи общей и локальной деформаций образцов, акустической эмиссии и электропроводности в условиях длительно действующих (порядка 1 года) квазистатических нагрузок. Осуществлены эксперименты, имитирующие процесс разработки месторождений нефти или газа, на основе наблюдений деформационной реакции горных пород на изменения порового давления.

В третьей части работы представлены результаты изучения динамики физических свойств горных пород в естественном залегании (*in situ*). Для этой цели использовались данные по вариациям ряда параметров (деформации земной поверхности, уровень воды в глубокой скважине, скважинные переходные электросопротивления, электротеллурические потенциалы и др.) в период подготовки землетрясений, а также материалы повторных геофизических исследований скважин (ГИС) на объектах подземного хранения газа.

На основе проведенных исследований сделан вывод о целесообразности максимального использования существующих методов производственного мониторинга в качестве геодинамического, который необходим как элемент системы обеспечения промышленной и экологической безопасности объектов нефтегазового комплекса и других особо ответственных объектов.

Данная книга является логическим продолжением предыдущих публикаций авторов, многие результаты вошли в лекционные курсы, которые один из авторов читает в Московском государственном горном университете. Учитывая это, а также новизну и актуальность поднимаемых проблем, авторы на протяжении всей книги старались максимально ясно, с дидактической точностью отображать свою позицию при формулировке базовых определений и терминов, при этом осознавая вслед за Конфуцием, что: «... ясность есть только одна из форм полного тумана».

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность соавторам по основным научным публикациям, нашедшим отражение в данной работе: А.К. Атаеву, А.А. Бедерову, Б.Н. Гаипову, А.Г. Гамбурцеву, А.В. Жардецкому, С.Ф. Изюмову, А.Ч. Каррыеву, Н.А. Касьяновой, А.О. Микаэлян, П.А. Моисееву, А.О. Мострюкову, А.И. Никонову, Г.А. Полоудину, А.В. Пономареву, Б.Г. Салову, В.А. Сантуряну, В.А. Сидорову, М.А. Скворцовой, З.И. Стаховской, Ю.Е. Федосееву, В.А. Чурикову, М.И. Эфендиеву и другим.

На протяжении всего периода выполнения данной работы авторы пользовались советами и консультациями Г.А. Соболева, В.А. Сидорова, А.А. Авагимова, В.И. Лыкова, за что выражают им искреннюю признательность.

Особую благодарность авторы выражают рецензентам работы В.Н. Попову и В.М. Максимову за конструктивные замечания, учтенные при окончательной подготовке рукописи к печати.



# Глава 1

ОПЫТ  
ПОДГОТОВКИ  
МЕРЗЛЫХ ПОРОД  
К РАЗРАБОТКЕ



## **1.1. Определение предмета и методов современной геодинамики**

В настоящее время происходит радикальный пересмотр взглядов на роль геодинамического фактора при оценке экологического, социально-экономического и страхового рисков экологически опасных и особо ответственных объектов.

Учитывая некоторую дискуссионность в определении геодинамических терминов, ниже приводятся формулировки основных определений понятий, их объектов и методов.

Существуют два подхода к определению геодинамики как научной дисциплины: кинематической и силовой [Кузьмин, 1999].

Сторонники первого подхода (астрономы, геодезисты и маркшейдеры) считают, что центральным предметом исследований в геодинамике является изучение основных кинематических характеристик (смещений, скоростей, векторов направленности и т.д.) движений земной поверхности в различных пространственно-временных масштабах их протекания с последующей реконструкцией исходного поля сил (напряжений).

Иной точки зрения придерживаются исследователи (геологи, геофизики и геомеханики), которые, основываясь на втором подходе, считают, что основной проблемой геодинамики является установление механизмов формирования движений в различных геосферах с последующей оценкой кинематических характеристик движений, предполагая полную унаследованность современных движений от процессов прошлых геологических эпох.

Результаты измерений в реальном масштабе времени в этом случае не являются основным предметом исследований, а служат элементом доказательности принятой схемы приложения тектонических сил (напряжений).

Наиболее гармоничное, учитывая оба подхода, определение основной задачи геодинамики дано в работе [Теркот, Шуберт, 1985], где утверждается, что *«Геодинамика изучает движения и деформации, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины таких движений и деформаций»*.

Однако и здесь имеет место двойственность определения — обособление **движений** и **деформаций**. Это и понятно, поскольку исследователям зачастую приходится изучать отдельно (особенно на модельном уровне) движения литосферных плит и/или блоков земной коры, как твердых (или жестких) тел, и деформации, которым подвержены эти тела в результате их взаимодействия.

Таким образом, имеет место обособление и противопоставление таких понятий, как **напряжение** — **деформация** и **движение** — **деформация**.

Вместе с тем представляется возможным снять обособления и противоречия при формулировании этих базовых понятий геодинамики.

Как известно, количественной основой для описания геодинамических процессов служит механика деформируемого твердого тела. В рамках этой научной дисциплины возникновение деформаций (движений) обычно трактуется как результат действия на тело приложенных напряжений (сил).

Однако если обратиться к опыту, то справедливым оказывается и обратное утверждение. Известно, что при деформации твердых тел возникают силы, действующие как внутри тел со стороны одних частей на другие, так и между соприкасающимися телами. В случае объемных деформаций это справедливо также и для жидкостей и газов в полном соответствии с основной аксиомой реологии.

Таким образом, имеет место явное и принципиальное противоречие. Это противоречие исчезает, если вспомнить, что деформация — это изменение формы и размеров тела, *изменение взаимного расположения отдельных частей тела относительно друг друга, т.е. результат различных перемещений (движений) отдельных частей тела*. Следовательно, объяснить происхождение деформаций — это значит объяснить происхождение тех движений, которые привели к изменению взаимного расположения отдельных частей тела.

*Деформации, таким образом, есть результат определенного движения, и непосредственной причиной деформаций является движение, а не силы (или напряжения как силы, делённые на площадь их приложения).*

Конечно, силы играют существенную роль в возникновении движений, а значит, и в появлении деформаций. Но они являются лишь косвенной причиной деформаций.

Установить непосредственную связь между силами и деформациями не всегда возможно. Силы сами по себе еще не определяют деформаций, которые должны возникнуть. Только, если эти силы таковы, что разные части тела движутся по-разному, а взаимное расположение различных частей тела изменится, только тогда возникнут деформации.

В качестве простейшей иллюстрации сказанного можно рассмотреть следующий пример [Хайкин, 1967; Кузьмин, 1999].

Пусть имеются две массы  $m$  и  $M$ , между которыми находится недеформируемая пружина  $P$ ; коэффициент жесткости ее равен  $k$ . Масса пружины полагается пренебрежимо малой по сравнению с массами  $m$  и  $M$ , при этом система «массы — пружина» ориентирована горизонтально (расположена на столе).

Пусть на массу  $m$  начинает действовать сила  $F$  (например, растягивать слева). Под действием этой силы масса  $m$  приобретает ускорение влево, а масса  $M$  в первый момент остается в покое, ибо на нее не действуют никакие силы. Следовательно, в начальный момент левая часть пружины начнет двигаться влево, а правая будет оставаться в покое, вследствие чего пружина начнет растягиваться. Вместе с деформацией пружины возникнет сила, действующая со стороны пружины на массу  $M$  слева. Под действием этой силы масса  $M$  также приобретает ускорение влево. В конечном итоге появится некоторое установившееся удлинение пружины.

Чтобы оценить эту установившуюся деформацию пружины, необходимо составить уравнения движений. Если удлинение пружины равно  $X$ , то сила, действующая со стороны пружины на каждую массу, по величине равна  $kX$ , следовательно, ускорение массы  $m$  определяется уравнением:

$$mj_m = F - kX \quad (1.1)$$

и соответственно ускорение массы  $M$  — уравнением:

$$Mj_M = kX. \quad (1.2)$$

Так как конечное ускорение обеих масс одинаково, то

$$j_m = j_M, \quad (1.3)$$

и при этом условии из уравнений (1.1) и (1.2) можно определить и деформацию  $X$ :

$$X = \frac{M}{m + M} \frac{F}{k} . \quad (1.4)$$

Таким образом, видно, что растяжение (удлинение) пружины  $X$  существенно зависит не только от жесткостных свойств пружины и величины приложенной силы, но и от величин масс  $M$  и  $m$ .

Лишь в предельном случае, когда масса  $M$  гораздо больше массы  $m$ , растяжение пружины окажется равным статическому:

$$X_0 = \frac{F}{k} , \text{ т. е. тому растяжению, которое получилось бы, если пра-}$$

вая часть пружины была бы жестко закреплена. Во всех других случаях растяжение зависит от соотношения масс и не может быть найдено только из величины приложенной силы. В частности, когда масса  $m$  гораздо больше массы  $M$ , растяжение пружины близко к нулю, независимо от величины приложенной силы.

При различных соотношениях масс получаются все промежуточные значения растяжения — между растяжением, равным нулю, и растяжением, равным статическому. Следовательно, нельзя дать однозначного ответа на вопрос о том, как деформация пружины зависит от приложенной силы, пока не рассмотрены сами движения, вызванные этой силой.

Иными словами, *и напряжения (силы), и деформации есть отражение различных форм (силовой и кинематической) единого процесса — движения* и поэтому никакого обособления или противопоставления этих понятий при правильной трактовке не существует.

На практике, оперируя терминами «напряжение» и «деформация», исследователи часто упускают из вида, что наблюдаемыми (измеряемыми) величинами в геодинамике являются именно движения (горизонтальные, вертикальные или сдвиговые перемещения), а напряжения и деформации (как отношение перемещений к базе измерений) определяются по результатам вычислений. Поэтому в геодинамике (особенно современной) движения являются и объектом наблюдений, и объектом интерпретации одновременно.

Из основ классической механики (теорема Коши-Гельмгольца) следует, что любое движение можно представить как параллельный перенос и вращение участков среды как абсолютно твердых (жестких) тел и их деформаций (объемных и сдвиговых).

В этом случае *геодинамика — это научная дисциплина, изучающая движения, происходящие в земной коре, мантии и ядре, и причины этих движений* [Кузьмин, 1999].

Современная геодинамика как научное направление является составной частью общей геодинамики, и поэтому при определении основного предмета исследований здесь также имеется противоречивость определений.

Для формулировки понятия «современная геодинамика» необходимо иметь в виду ряд принципиальных обстоятельств. Как известно из механики, динамику можно определить в противопоставлении либо кинематике, либо статике. В первом случае динамика ответственна за изучение причин, вызывающих движения, во втором она понимается в более обобщенном смысле — и как изучающая (описывающая) сами движения, и как изучающая причины, их вызывающие. В этом, обобщенном, смысле традиционный термин «современные движения земной коры» может быть адекватно заменен термином «современная геодинамика».

Особо следует остановиться на трактовке термина «современный». Его, как правило, определяют двояким образом: либо подчеркивая инструментальный характер изучения (фиксации) движений, либо отмечая длительность протекания процессов в сравнении с геологическими масштабами времени.

В данном случае вновь возникает двойственность толкований основного предмета исследований в современной геодинамике. Так, в случае полной унаследованности движений от прошлых геологических эпох можно инструментально зарегистрировать движения, которые по длительности протекания формирующих их процессов не относятся к разряду современных.

С другой стороны, существует определенная относительность средств наблюдений к свойствам исследуемых объектов. Так, если измерять с помощью повторных нивелирований такой типичный для современной геодинамики процесс, как земноприливные деформации, то существует ограничение по чувствительности и временной детальности наблюдений. В случае, когда предпринимается попытка измерения движений плит или блоков земной коры наклономерами и деформографами, то возникает ограничение по пространственному масштабу наблюдений.

В целом следует отметить, что существующие понятия, которыми оперируют в современной геодинاميке, а также методы изучения процессов в основном являются относительными.

Для демонстрации этого положения рассмотрим следующий мысленный эксперимент. Пусть на земной поверхности имеются два (*A* и *B*) прочно закрепленных репера (два пункта наблюдений), которые ориентированы по азимуту «север — юг» таким образом, что пункт *A* расположен севернее пункта *B*. Можно показать, что одной и той же деформации **удлинения** соответствует пять принципиально различных по кинематике ситуаций:

- 1) пункты *A* и *B* равномерно перемещаются в противоположных направлениях;
- 2) пункт *A* неподвижен, а пункт *B* перемещается на «юг»;
- 3) пункт *B* неподвижен, а пункт *A* перемещается на «север»;
- 4) пункт *A* и пункт *B* перемещаются на «север», но скорость перемещения пункта *A* больше, чем пункта *B*;
- 5) пункт *A* и пункт *B* перемещаются на «юг», но скорость перемещения пункта *B* больше, чем пункта *A*.

Таким образом, абсолютному понятию «**удлинение**» соответствуют пять комбинаций относительных горизонтальных перемещений (движений), которые обусловлены различными геодинамическими обстановками.

Следует отметить также относительный характер понятий «**укорочение — сжатие**» и «**удлинение — растяжение**». Так, например, при горизонтальном **сжатии** фрагмента геологической среды происходит изгиб земной поверхности вверх, что приведет к естественному **удлинению** расстояния между пунктами *A* и *B*.

Аналогичным образом выглядит ситуация и с вертикальными смещениями земной поверхности. В этом случае, например, абсолютному понятию «наклон на север» будет соответствовать пять различных ситуаций с относительными вертикальными смещениями (движениями).

Следует подчеркнуть, что это утверждение справедливо в первую очередь для обсерваторских систем наблюдений при малом количестве станций или для коротких профилей с малым количеством наблюдательных пунктов. В случае, когда имеют место профильные наблюдения с достаточно высоким пространственно-временным разрешением, то имеется возможность (например, для

вертикальных движений) полностью зафиксировать аномалию в пределах измерительной системы и определить абсолютное значение данного аномального вертикального смещения земной поверхности.

Так, при локальных просадках земной поверхности можно считать, что амплитуда аномального изменения, отсчитываемая от нуля, определяемого точностью наблюдений, есть абсолютное вертикальное смещение земной поверхности, допускающее однозначное кинематическое объяснение.

Причиной такой неоднозначности является то, что практически все методы измерений (геодезические и геофизические), применяемые в геодинамике, являются относительными.

В самое последнее время появляется возможность использовать в современной геодинамике абсолютные методы измерений с использованием спутниковых технологий (GPS-системы). Однако к настоящему времени, из-за недостатка исследований по совмещенным (наземным и спутниковым) системам измерений в пределах единого геодинамического объекта наблюдений, имеются известные трудности по оценке степени адекватности получаемых GPS-системами результатов.

Основным методом интерпретации геодинамических наблюдений является решение обратных задач — установление глубинного источника аномальных движений по данным измерений на земной поверхности. Однако и в данном случае вновь возникает проблема относительности средств наблюдений к свойствам объекта.

Так, если имеет место фиксация унаследованного движения, например, вызванного конвекцией в мантии, методами современной геодинамики (астрономо-геодезическими, сейсмологическими и т.п.), то вследствие ограниченности (кратковременности) периода наблюдений возникает принципиальная невозможность решения обратных задач (как кинематики, так и динамики). Для однозначной интерпретации необходимо, чтобы «начало» и «завершение» наблюдаемого процесса целиком укладывалось в интервал между повторными циклами наблюдений.

Ситуация усугубляется еще и тем, что имеет место острый дефицит достоверных сведений о базовых характеристиках среды в условиях их естественного залегания в земных недрах. Хорошо известно, что даже анализ керновой информации страдает определенной степенью необъективности.

Кроме того, существенной проблемой является то, что измеряемые величины смещений известны с точностью до мм, а точность определения, например, геологических границ достигает, в лучшем случае, первых сотен метров. Вновь на лицо явная неоднозначность между достоверностью параметров наблюдаемого процесса и возможностью его достоверной интерпретации в существующих геологических параметрах и характеристиках среды.

В связи с этим одним из главных условий реальной трактовки наблюдаемых процессов является соизмеримость длительности протекания последних с длительностью самого измерения. В этом случае совершенно необходимо четко следовать принципу наблюдаемости Нильса Бора: *существующим считается лишь то, что наблюдаемо или может быть сделано таковым*, который был разработан именно в тех областях естествознания, в которых базовые свойства объекта не всегда доступны прямому наблюдению.

Таким образом, ***современная геодинамика — это часть общей геодинамики, изучающая движения земных недр и причины, их вызывающие, когда время действий последних соизмеримо с длительностью самого процесса наблюдений*** [Кузьмин, 1990].

При этом под длительностью наблюдений понимается либо интервал между повторными (геодезическими, геофизическими, сейсмологическими) измерениями, либо период непрерывной регистрации параметров деформографами и наклономерами.

С позиций сформулированного определения, объектом изучения в современной геодинамике могут быть наиболее мобильные и активные структуры литосферы и, в первую очередь, зоны тектонических нарушений (разломов). Учитывая имеющуюся дискуссионность в определении понятия «разлом», необходимо сформулировать авторскую позицию в этом вопросе.

Как правило, термин «разлом» или «разломная зона» используется как некая граница раздела между блоками, которые отличаются различной мобильностью или иными характеристиками. По мнению авторов, разломы следует рассматривать как специфические геологические тела, некий объем земной коры, имеющий аномальное строение и повышенную трещиноватость, возникшие в результате линейной деструкции среды.

Поэтому в данной работе такие понятия, как «разлом», «разломная зона», «зона разрывных нарушений», «зона повышенной трещи-

новатости», рассматриваются в качестве синонимов. Главным здесь является то, что *зона разлома есть область, вмещающая породы с аномальными физико-механическими, геолого-геофизическими, флюидо-геохимическими и другими характеристиками.*

В этом случае зоны разломов естественным образом являются концентраторами современного аномального напряженно-деформированного состояния, а следовательно, и базовым объектом изучения современных геодинамических процессов.

*Принципиально важно то, что в отличие от геодинамики, изучающей только природные процессы, в современной геодинамике исследуются процессы как природного, так и техногенного происхождения.*

Основные природно-техногенные явления, изучаемые в современной геодинамике, — это деформационные и сейсмические процессы в недрах, а также взаимосвязанные с ними вариации геофизических и флюидо-геохимических полей.

При этом следует помнить о следующих обстоятельствах. Очень часто сейсмичность относят к категории геодинамических явлений. Это действительно так. Сейсмичность — это «быстрая» составляющая геодинамического процесса. Движения (деформации), включая современные, относятся к «медленной» части спектра геодинамических явлений.

В последние годы среди специалистов в области геодинамики утвердилась тенденция медленные движения именовать геодинамикой (или деформационными процессами), а все, связанное с землетрясениями, определять как сейсмические процессы. Кроме того, при исследованиях в рамках геодинамического мониторинга особо ответственных и экологически опасных объектов зачастую употребляется термин «геодеформационные» процессы, которые отличаются от собственно деформационных процессов самих материалов конструкций изучаемых объектов.

Авторы считают, что при правильном и профессиональном использовании терминов «деформационные, геодеформационные и сейсмические процессы» по отношению к соответствующим объектам исследования путаницы в употреблении этих понятий не происходит.

Необходимо также определиться в использовании терминов «недра», «верхние слои земной коры», «геологическая среда», ко-

гда речь идет о характеристике тех объемов среды, в которых протекают современные геодинамические процессы.

Согласно определению, данному в законе РФ «О недрах», *недра — это верхняя часть земной коры, расположенная ниже почвенного слоя, при его отсутствии — ниже земной поверхности и дна водоемов и водотоков, простирающаяся до глубин, доступных для геологического изучения и освоения.*

*Геологическая среда (по Е.М. Сергееву) — это верхняя часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность.*

Авторы под всеми перечисленными выше терминами понимают тот слой земной коры, в котором имеют место современные аномальные геодинамические процессы, обусловленные совокупностью природных и техногенных воздействий.

Таким образом, становится очевидным, что **современная аномальная геодинамика недр — это современная геодинамика разломных зон.**

## **1.2. Пространственно-временная структура современных аномальных деформационных процессов**

Как известно, основу информации о пространственно-временной структуре современного геодинамического состояния среды составляют повторные геодезические измерения, проводимые на трех масштабных уровнях описания процессов: региональном, зональном и локальном.

В настоящее время наиболее полная информация получена по данным повторных нивелирований (вертикальная компонента движений). Это обусловлено целым рядом причин. Нивелирные измерения более технологичны (по сравнению с методами регистрации горизонтальных движений) и выполнены с гораздо большей точностью. С другой стороны, при прочих равных условиях, вертикальная составляющая аномальных смещений земной поверхности (свободной от напряжений) значительно превышает горизонтальную компоненту.

Региональный уровень описания процессов обеспечивается на основе анализа повторных измерений вдоль линий Государственной сети. Зональные и локальные процессы изучаются на специально организованных геодинамических полигонах.

Одной из основных особенностей пространственного распределения современных вертикальных движений земной поверхности регионального масштаба (порядка сотен и более километров) являются протяженные аномальные зоны, представленные градиентным характером аномальных изменений, которые контролируются зонами глубинных разломов.

При этом значения горизонтальных градиентов движений составляют величины порядка первых мм/км в год. На графиках, отражающих линейную (профильную) составляющую движений, эти градиентные участки имеют форму ступенеобразных (сдвиговых) изменений в полном соответствии с общепринятыми представлениями о медленных, дифференцированных вертикальных перемещениях смежных объемов среды (блоков земной коры) вдоль зон разломов под воздействием изменений регионального поля напряжений [Николаев, 1988; Никонов, 1977].

В начале шестидесятых годов под эгидой Межведомственного геофизического комитета при Президиуме АН СССР была развернута обширная программа изучения современных движений земной коры на геодинамических полигонах различного целевого назначения. Результаты повторных наблюдений на этих полигонах, с интервалами времени между повторениями в месяцы и годы, выявили наличие интенсивных, локальных движений в зонах разломов, которые имели пульсационный и короткопериодический характер. Это не явилось большой неожиданностью для специалистов, поскольку первые геодинамические полигоны закладывались в сейсмоактивных регионах.

В начале семидесятых годов Миннефтепромом СССР была начата реализация долгосрочной программы изучения современных движений земной коры в нефтегазоносных осадочных бассейнах. Основная цель этих работ заключалась в использовании результатов геодинамических наблюдений при изучении особенностей геологического строения и оценки перспектив нефтегазоносности выбранных объектов [Сидоров, Кузьмин, 1989а; Сидоров, Кузьмин и др., 1994].

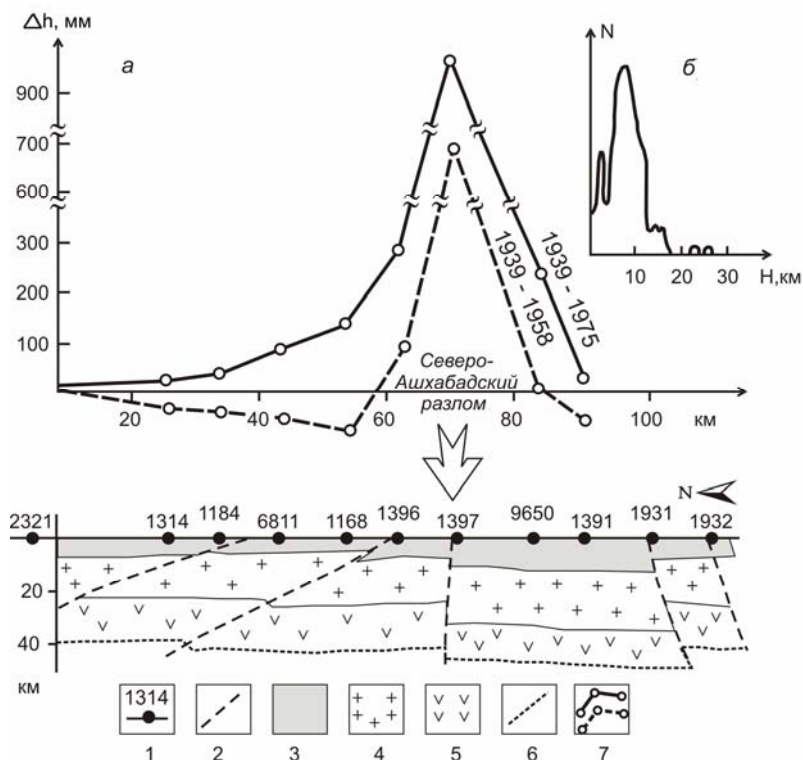
В качестве таких объектов были использованы территории крупных нефтегазоносных бассейнов древней докембрийской Русской платформы (Припятский прогиб, западное и северо-западное обрамление Прикаспийской впадины, Башкирский свод и Соликамская впадина), Западно-Сибирской плиты (Вартовский свод), предгорных и межгорных прогибов складчатых областей (Терско-Каспийский, Предгиссарский, Рионо-Куринский).

Принципиально важно, что основные параметры измерительных систем (густота, частота опроса и точность наблюдений) на геодинамических полигонах, расположенных в платформенных, асейсмичных районах, оказались идентичными полигонным системам измерений, расположенным в орогенных, сейсмоактивных областях.

Это обстоятельство позволило провести последовательное сопоставление характеристик современной геодинамической активности земных недр, полученных идентичными системами наблюдений, находящимися в наиболее контрастных в геодинамическом отношении областях, которыми в первую очередь являются сейсмоактивные и асейсмичные регионы.

Учитывая, что изучение современной геодинамики разломных зон требует специализированных систем измерений, то для дальнейшего анализа привлечены результаты многократных, повторных геодезических и геофизических наблюдений, полученных в Копетдагской и Камчатской сейсмоактивных зонах, а также в асейсмичной Припятской впадине, которые максимально соответствуют этой цели [Кузьмин, 1989; 1990; 1998; Сидоров, Кузьмин, 1989а; Кузьмин, Чуриков, 1998; Churikov, Kuzmin, 1998].

Региональные исследования современных движений земной поверхности в зоне Предкопетдагского краевого прогиба были начаты в 1939 г., когда был заложен нивелирный профиль протяженностью 100 км по линии Ашхабад — Бахардок (рис. 1.1). Этот профиль многократно повторялся, что позволило определить устойчивые тенденции в развитии современных геодинамических процессов в разломных зонах этого региона. На рис. 1.1, а представлены результаты нивелирования за две эпохи наблюдений, совмещенные с глубинным разрезом земной коры, построенным с использованием материалов сейсмической и гравитационной разведок.



**Рис. 1.1. Современные вертикальные движения земной поверхности  $\Delta h$  по профилю Ашхабад — Бахардок (а) и распределение сейсмической активности  $N$  на глубине  $H$  в пределах Ашхабадского геодинамического полигона (б)**

Условные обозначения: 1 — местоположение и номера пунктов нивелирования; 2 — глубинные разломы; 3 — осадочный слой; 4 — гранитный слой; 5 — базальтовый слой; 6 — поверхность Мохоровичича; 7 — кривые вертикальных движений

Первые же повторные наблюдения выявили характерное куполообразное поднятие, пространственно приуроченное к осевой части прогиба, которая контролируется зоной Северо-Ашхабадского разлома, проходящего сквозь кору. Причем, если поднятие земной поверхности в период с 1939 по 1958 гг. можно было бы трактовать как следствие Ашхабадского катастрофического землетрясения 1948 г. [Кузьмин, 1998], то в последующую эпоху подобных сильнейших для данной зоны землетрясений не было. Тем не менее

аномальное поднятие имеет значительную амплитуду (до 200 мм) и в последующую эпоху после катастрофического землетрясения.

Попытки интерпретировать это аномальное поднятие с позиций блоковой тектоники встретили значительные затруднения, так как при существующем в этой зоне субмеридиональном, субгоризонтальном сжатии наклонное положение разломных зон и их ориентация, по отношению к исходной нагрузке, не обеспечивают выдавливания трапецевидных блоков вверх.

Кроме этого, на рис. 1.1, б показано распределение по глубинам гипоцентров слабой сейсмичности в окрестности аномального поднятия, которое указывает на значительную степень трещиноватости зоны контакта осадочного чехла и фундамента. Это обстоятельство позволяет полагать изгиб осадочного чехла в качестве источника формирования аномального поднятия.

В дальнейшем были проведены специально поставленные нивелирные работы с повышенной пространственно-временной детальностью (рис. 1.2). Расстояние между пунктами наблюдений стало доходить до 1—2 км, а частота опроса достигала ежеквартального повторения [Кузьмин, 1990].

Для более детальной диагностики аномального геодинамического состояния недр этого района максимальному улучшению изученности подверглась наиболее мобильная (протяженностью около 50 км) часть поднятия. Оказалось, что общая тенденция остается прежней, хотя и менее интенсивной, на фоне которой отчетливо проявляется локальное опускание (проседание) земной поверхности в окрестности зоны Северо-Ашхабадского разлома.

Для определения пространственной конфигурации аномального регионального поднятия были проведены дополнительные работы, которые заключались в том, что вдоль простираения выявленного поднятия был заложен нивелирный профиль субширотной ориентации, который повторялся квазисинхронно с меридиональным. Эти исследования показали, что региональное аномальное поднятие носит характер цилиндрического изгиба, поскольку вертикальные смещения отметок реперов вдоль субширотного профиля оказались на порядок меньше по сравнению с аномальными движениями на меридиональном профиле [Кузьмин, 1998].