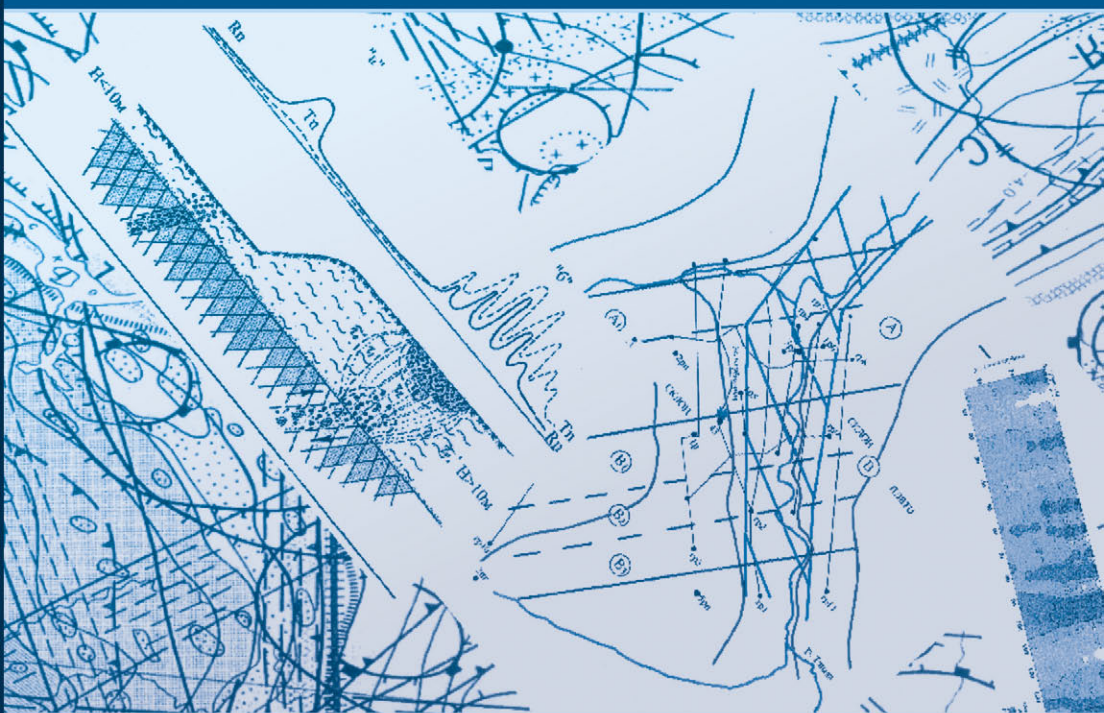




Е. И. Селюков, Л. Т. Стигнеева

# Краткие очерки практической микрogeодинамики



ББК 26.329.2

УДК 551.2

С29

Авторы благодарят:

сотрудников института «Фундаментпроект», в разные годы принимавших участие в работах по структурно-геодинамическому картированию, а также в оформлении монографии;

академика РАН, доктора физико-математических наук Маренного М. А.  
за советы и помощь в редактировании монографии;

заведующего кафедрой сейсмологии и геоакустики Геологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова, доктора физико-математических наук Влодова М. Л.  
за рецензию монографии.

**Селюков Е. И., Стигнеева Л. Т.**

С29 Краткие очерки практической микрогеодинамики. — СПб.: Питер, 2010. — 176 с.: ил.

ISBN 978-5-49807-642-3

Установлено место микрогеодинамики наряду с воздействием на инженерные сооружения тектонических, неотектонических, экзодинамических и техногенных факторов. Рассмотрен вопрос о соотношении тектонических и геодинамических зон. Приведена иерархия трех видов структурных образований: тектонических разрывов, геодинамических зон и смешанных форм. Даны методы регистрации ротационного поля напряжений через деформацию грунтов. Приведено описание практического использования методов микрогеодинамики в различных областях изысканий, а также в режиме мониторинга.

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

ББК 26.329.2

УДК 551.2

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN 978-5-49807-642-3

© ООО Издательство «Питер», 2010

# СОДЕРЖАНИЕ

Список рисунков .....	4
Предисловие .....	10
Введение.....	13
<b>I. Основные положения микрогеодинамики.....</b>	<b>19</b>
<b>II. Структурно-геодинамическое картирование .....</b>	<b>38</b>
1. Эманационная съемка .....	39
2. Газовая съемка ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) .....	47
3. Радиоволновая съемка .....	48
4. Методика обработки и анализа результатов .....	50
<b>III. Практическое использование методов микрогеодинамики в различных областях .....</b>	<b>56</b>
1. Выявление и прослеживание геодинамических зон и связанных с ними тектонических нарушений на примере Донбасса (Ю. С. Рябоштан).....	56
2. Изучение микрогеодинамических процессов с помощью повторного геометрического нивелирования на примере Южного берега Крыма .....	74
3. Использование методов структурно-геодинамического картирования в комплексе инженерно-геологических изысканий на примере Южного берега Крыма .....	84
4. Применение методов структурно-геодинамического картирования на объектах нефтегазовой отрасли .....	100
5. Использование методов структурно-геодинамического картирования на участках строительства объектов жилищного, культурного, спортивного назначения.....	138
6. Радоноопасность территорий .....	154
<b>Заключение .....</b>	<b>171</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>172</b>

# ВВЕДЕНИЕ

Более семидесяти лет назад была обоснована необходимость изучения четырех качеств геологической среды: вещественного строения, тектонического, геоморфологического и геодинамического (силового). Тем не менее развитие геологии продолжалось по пути преобладающего развития исследований трех первых качеств, четвертое (геодинамическое), чрезвычайно важное для надежного строительства и эксплуатации инженерных объектов, значительно отстало в своем развитии. Это связано с целым рядом причин, и прежде всего с более сложным проявлением геодинамических процессов, необходимостью для их изучения специальных технических средств и научно-методической базы. Первые три качества: вещество, тектоника и геоморфология, проявляются очевидно, и для их изучения требуются значительно более простые средства, вплоть до визуального обследования. Подобное различие в особенностях изучения качеств геологической среды привело к тому, что сложилась ошибочная практика решения чисто геодинамических задач тектоническими и геоморфологическими методами.

Примером подобной ошибки является путаница между такими понятиями, как *неотектоника*, *современные тектонические движения* и *текущие геодинамические процессы*. Если неотектоника как процесс охватывает длительный интервал времени (миллионы лет) и оставляет свои следы в основном в виде геоморфологической информации, то современные тектонические движения земной коры отражают кинематическую составляющую современных

(несколько десятков лет) геодинамических процессов, т. е. механические перемещения блоков массива, они изучаются инструментальными методами. Текущие (происходящие в настоящее время) геодинамические процессы отражают изменение силового, напряженного состояния, которое далеко не всегда релаксирует в кинематические формы. Эти процессы изучаются специализированными геофизическими методами. Естественно, что различные свойства и возраст этих парагенетически связанных процессов привели к различной связи их с геологическими процессами и совершенно по-разному отражаются на устойчивости инженерных объектов. Ведь любое здание или сооружение разрушает современный и текущий геодинамические процессы, а не неотектонический процесс.

Начало становления микрогеодинамики можно отнести к 1964–1968 гг. В этот период в Донбассе коллективом под руководством Ю. С. Рябоштана был проведен большой комплекс геолого-съёмочных работ с применением как известных геофизических методов — электроразведки, магниторазведки, так и специализированных — эманационной и газовой съёмок и предложенных новых методов и методик выявления современных геодинамических движений в тектонических структурах [1, 2]. Работы проводились для решения различных задач в пределах шахтных полей при разведке и отработке угольных месторождений и месторождений цветных металлов, при наблюдениях за деформациями земной поверхности в результате проходки подземных горных выработок и для прогноза зон зарождающихся в шахтах обвалов и осыпей, а также при обследовании территорий в районах городского и промышленного строительства [3–12].

В процессе исследований был обнаружен ряд необъяснимых с классической точки зрения аномалий в эманационном поле. Например, над выходами тектонических нарушений под покровными отложениями отмечались аномалии в эманационном поле, преимущественно тороновые (период полураспада 54,5 с) при мощности покровных отложений 20–50 м, в то время как наука допускала появление этих аномалий при мощности не более 0,5–1,0 м [13]. Второй особенностью выявленных аномалий было их пульсирование во времени, при этом характер пульсаций был различен над разными

ми нарушениями. Наконец, третьей загадкой было выявление линейных аномалий, аналогичных аномалиям над тектоническими разрывами, но на участках, где, по данным геологических и разведочных работ, тектонических разрывов не было.

Изучение этих особенностей в поведении и структуре эманационного поля натолкнуло на мысль, что они связаны с процессами в покровных отложениях, происходящими в результате их современных деформаций, и это особенно ярко проявляется на оползневых участках, зонах подработки, во время землетрясений. Стало очевидным, что в природе существует ранее неизвестный геодинамический механизм аномальных проявлений в геофизических полях, который функционирует под воздействием современных полей напряжений. Поля напряжений создают изменения в магнитных, электромагнитных, атмохимических, физико-механических и многих других свойствах геологической среды.

Таким образом, по многочисленным результатам комплексных исследований геологической среды различными методами детальных геодинамических исследований были выявлены аномальные характеристики геологической среды, которые не могли быть объяснены в рамках устоявшейся системы понятий и подходов. В связи с этим была выдвинута гипотеза о *микрогодинамическом строении* геологической среды, что позволило объяснить большинство аварий и деформаций инженерных объектов.

Наиболее изученными к настоящему времени являются проявления геодинамических процессов в состоянии полей подпочвенных газов (радон, торон, метануглекислые газы). В качестве объекта исследования используется воздух, откачиваемый с различной глубины.

В 1973 г. Ю. С. Рябоштаном (Укруглегеология) и Л. В. Горбушиной (Московский геолого-разведочный институт им. С. Орджоникидзе) было получено авторское свидетельство на «Способ выявления современных геодинамических движений в тектонических структурах» [1]. Изобретение относится к области геофизики и может быть использовано для выявления в горном массиве современных геодинамических процессов с помощью эманационной съемки.

Начиная с 1964 г. на объектах в Донбассе Ю. С. Рябоштаном накапливался практический опыт применения эманационной и газо-

вой ( $\text{CO}_2 + \text{CH}_4$ ) съемок. В 1979 г. комплекс эманационной и газовой съемок был дополнен радиоволновой съемкой (авторское свидетельство: Ю. С. Рябоштан, Е. П. Тахтамиров «Способ геоструктурного картирования» [2]).

Одновременно с работами в Донбассе аналогичные исследования проводились кафедрой радиометрии в Московском геолого-разведочном институте. В книге «Новые методы инженерной геофизики» [14] в главе III («Структурно-геодинамическое картирование радонтороновым методом») представлены теоретические положения процесса выделения эманаций с классических позиций, даны попытки объяснения возникновения эманационных аномалий в результате воздействия напряжений, методика работ и возможности применения эманационной съемки в комплексе с другими методами.

С 1974 г. на объектах Южного берега Крыма (ЮБК) институтом «Фундаментпроект» в комплексе инженерно-геологических изысканий началось применение структурно-геодинамического картирования для целей поиска тектонических нарушений и решения оползневых задач. Вплоть до распада СССР структурно-геодинамическое картирование успешно применялось на многих объектах нового строительства, при решении оползневых задач на существующих объектах санаторно-курортного назначения.

С 1991 г. накопленный опыт успешно применяется институтом «Фундаментпроект» в комплексе инженерно-геологических изысканий на различных объектах на всей территории России — площадки жилищного и производственного строительства, объекты нефтегазовой отрасли.

В последние десятилетия при практическом применении новых геологических и геофизических технологий выяснилось, что геологическая среда имеет ряд свойств, заметно влияющих на устойчивость и целостность инженерных сооружений. Основными из этих свойств являются:

- дискретное строение горного массива;
- неравновесное состояние и циклическая подвижность;
- дифференцированная добротность геологической среды.

Между тем применяемые в строительной отрасли приемы проектирования сооружений основаны на понятиях и математическом

аппарате механики сплошной среды. То есть практика проектирования пока не учитывает неравномерность механических напряжений (природных и техногенных) в горном массиве. Эмпирическим путем установлено, что геологическая среда *дискретна* и, следовательно, в основе расчетов должна лежать механика дискретной среды. Это связано с тем, что поля напряжений распределяются неравномерно в объеме геологической среды вследствие ее дискретности и могут достигать в узких локальных зонах, называемых *геодинамическими*, критических значений и приводить к деформациям инженерные объекты. Причем концентрацию напряжений в таких зонах периодически усиливают:

- приливные явления, вызванные солнечно-лунными процессами и *неравномерностью вращения Земли*;
- волновые процессы, генерируемые крупными разломами и складками;
- циклонические нагрузки от резких колебаний атмосферного давления;
- техногенные воздействия от взрывов, горных работ, вибраций оборудования.

Инструментальными наблюдениями в различных регионах страны установлено, что верхние горизонты грунтового массива до глубины 10–15 м испытывают возвратно-поступательные движения по трем пространственным осям. Амплитуда вертикальных движений земной поверхности в зависимости от плотности грунтов колеблется в пределах 10–30 мм, а относительное смещение по горизонтали двух довольно близких точек земной поверхности достигает 70 мм [15]. При этом максимальные подвижки наблюдаются в пределах геологических дискретностей — разрывных нарушений, складок, трещинных зон, трещин. Как оказалось, величина главных нормальных напряжений в пределах этих структур может измениться на 0,3 МПа в течение небольшого отрезка времени [16].

Чрезвычайно важным свойством геологической среды, которое необходимо изучать и учитывать при выборе площадок для строительства, и особенно при эксплуатации инженерных объектов, является *добротность* геологической среды, т. е. способность сохранять устойчивость, несмотря на неравновесное состояние и на воздействие самых различных динамических факторов.



Таким образом, *дискретность*, *активность* и *добротность* — три важных показателя геологической среды, без знания которых недопустимо проведение любых работ, связанных с внедрением в горный массив, нереально говорить о безопасности промышленных и гражданских объектов. Для того чтобы обеспечить надежность и безопасность промышленных и гражданских объектов, необходимо внедрять в практику новые изыскательские технологии, оценивающие обостренную чувствительность геологической среды к периодически действующим внешним возбуждениям.

Ниже мы рассмотрим определение и сущность микрогеодинамического подхода, здесь же лишь отметим, что он применяется и должен применяться еще шире в инженерно-геологических изысканиях при решении вопросов устойчивости и безопасности инженерных сооружений. Без учета качественно новой информации о строении и состоянии геологической среды, о ее микрогеодинамическом строении невозможно, на наш взгляд, повышение качества проектно-изыскательских работ при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений.

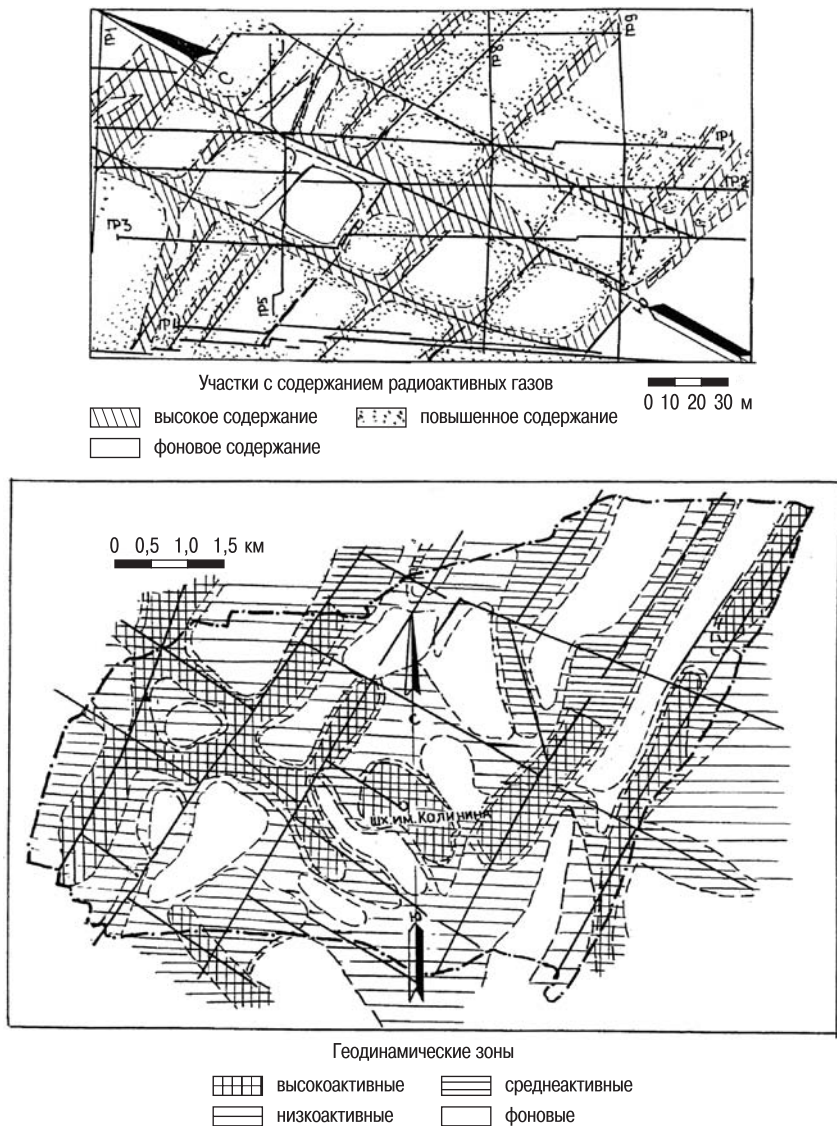
# I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МИКРОГЕОДИНАМИКИ

**Микрогеодинамика** — это новая, быстро развивающаяся область геологических исследований, находящаяся на стыке современной геофизики, геологии и геомеханики. Предметом микрогеодинамики является изучение динамического состояния геологической среды. В отличие от геологии и геофизики микрогеодинамика изучает не вещество геологической среды и обусловленные этим веществом и его структурами геофизические поля, а силовое, динамическое состояние этого вещества с помощью эффектов в геофизических полях, обусловленных этим динамическим состоянием.

В отличие от общей геодинамики, занимающейся изучением последствий глобальных силовых процессов в земной коре, микрогеодинамика изучает текущие силовые процессы, происходящие непосредственно *в момент замеров* в малых объемах верхней части земной коры на площадях от метров до нескольких километров. Другими словами, под микрогеодинамикой понимаются постоянно действующие в горном массиве механические поля напряжений различного уровня, проявляющиеся в виде объемных волн (сжатия — растяжения) различной амплитуды и периодичности. Основными источниками возбуждения упругих волн являются различные динамические системы, связанные с приливными, ротационными, изостатическими и глубинными процессами.

Особое место в этом ряду занимает циклическая *неравномерность вращения Земли*. В работе [17] Земля представляется как автоколебательная система, которая является одним из главных механизмов, управляющих структурной организацией планеты. Подсчитано, что энергетический баланс автоколебаний только литосферы составляет  $2,7 \times 10^{40}$  эрг/год, что на 12 порядков выше общего энергетического баланса от всех тектонических, сейсмических и геофизических процессов, составляющих  $2,7-4,3 \times 10^{28}$  эрг/год. Динамическая система геоида, являясь источником энергии геологических процессов, передачу (перенос) этой энергии осуществляет колебаниями, которые подчиняются законам волновой механики. Волновые законы (отражения, преломления, интерференции и резонанса) определяют иерархию геодинамических структур и шаг их локализации. Предполагается, что собственные колебания Земли порождают единую систему стоячих волн. Система общеземных стоячих волн и формируемые на их основе гармоники создают упорядоченные интерференционные решетки (волны сжатия — растяжения), на базе которых возникли геодинамические и тектонические структуры в прошлом [18]. В настоящую геологическую эпоху на базе интерференционных решеток образуются так называемые *геодинамические зоны*, т. е. линейно вытянутые участки горного массива, где в наибольшей степени происходят изменения значений современных полей напряжений [12, 19]. Совокупность геодинамических зон различного иерархического уровня образует *геодинамическую структуру горного массива*. По своему внешнему облику геодинамическая структура имеет решетчатое строение (рис. 1). В пределах геодинамических зон происходят высокодифференцированные движения горного массива, в том числе и дневной поверхности. Ячей, образованные геодинамическими зонами, имеют размеры от 25–30 м до 1,5–2,0 и более км.

Важным положением микрогеодинамики является представление о приповерхностном слое геологической среды как об области, являющейся индикаторной системой особого рода, обладающей рядом уникальных свойств, которые отсутствуют в более глубоких горизонтах массива. Приповерхностная область является ареной взаимодействия глубинных энергопотоков с космическими,



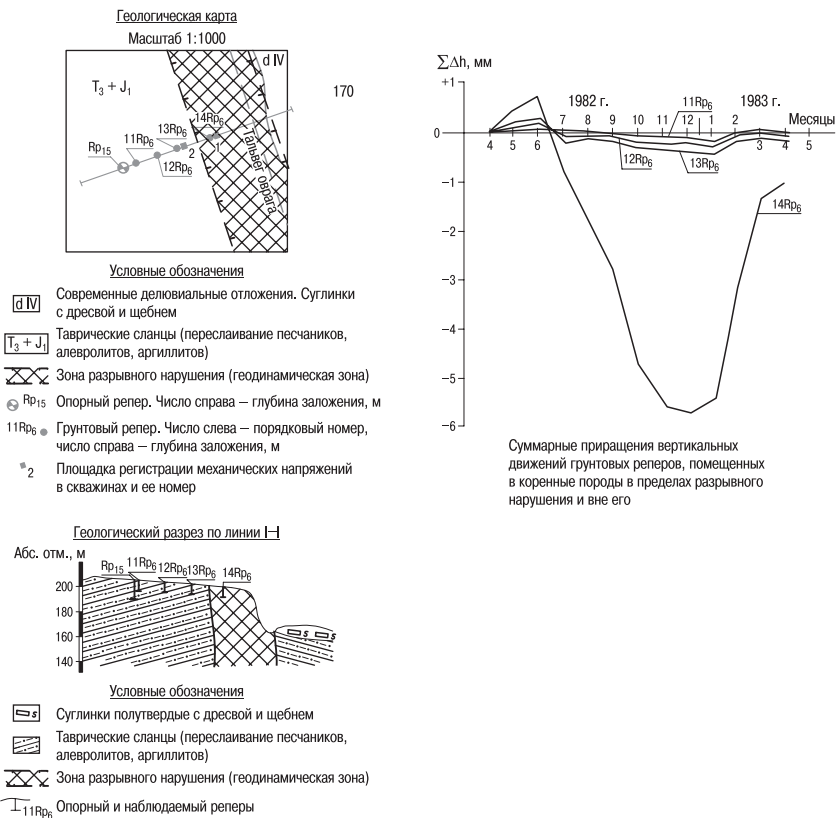
**Рис. 1.** Геодинамические карты участков строительства лабораторного корпуса ЦОНТБ и шахтного поля им. Калинина в г. Донецке

экзогенными динамическими полями, гидросферой и представляет собой высокодинамическую среду — «кипящий геодинамический слой» [20, 21]. Она постоянно находится в неравновесии и, непрерывно перерабатывая поступающую из окружающего пространства энергию, обладает ярко выраженными синергетическими свойствами, такими как иерархия, дискретность, формирует собственную геодинамическую структуру [22]. Таким образом, самый верхний слой покровных отложений повсеместно находится в постоянно меняющемся текущем напряженно-деформированном состоянии.

Еще одним положением микрогеодинамики является особенность распределения в горном массиве тектонических полей напряжений. Уже первые прямые замеры показали высокие значения горизонтальной составляющей вблизи земной поверхности [23]. Анализ замеров полей напряжений на разных континентах и глубинах показал возрастание их горизонтальной составляющей к дневной поверхности. Эти данные подтвердили предвидение Г. Л. Поспелова относительно того, что поверхность планеты является фронтальной зоной разгрузки глубинного энергопотока [20].

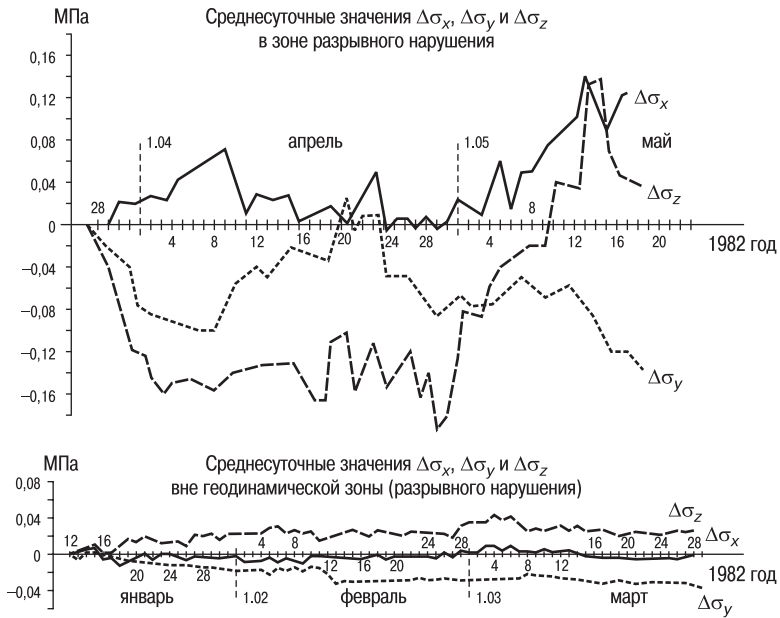
Об особенностях текущих процессов в активных геодинамических зонах свидетельствуют результаты инструментальных наблюдений за вертикальными движениями грунтовых реперов (рис. 2) и тензометрических наблюдений (рис. 3) [16, 24, 25]. На рис. 2 хорошо видно, что движение массива носит квазипериодический характер и в активной зоне (репер 14) оно в несколько раз превышает движения вне зоны. Замеры приращения грунтового движения на малых глубинах (2–3 м) показали, что в активных зонах оно, даже в течение короткого времени, изменяется не только по величине, но и по знаку (рис. 2, 4).

Сущность геодинамической зоны видна из результатов исследований крупной региональной геодинамической зоны — Харцызской (Донбасс) [7]. Из рис. 5 видно, что, несмотря на отсутствие явных признаков тектонических структур, наблюдается область высокодифференцированных движений земной поверхности в центре полигона. Этому району полигона соответствует область аномального эманирования радиоактивных газов и изменение содержания песчаников в осадочной толще. На графике процентного содер-



**Рис. 2.** Инструментальные наблюдения сдвижения реперов на Южном берегу Крыма

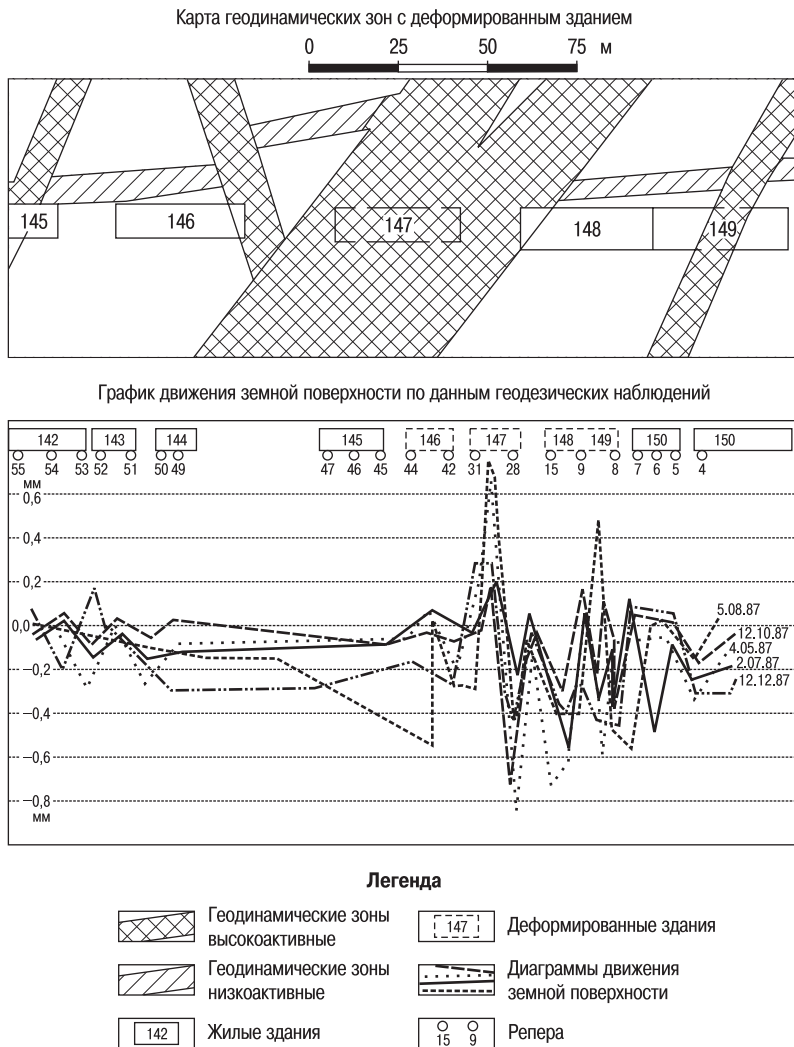
жания песчаников на восточном крыле их содержание колеблется в пределах 8–10%, на западном крыле достигает 30%. Это явление литоанизотропии объясняется блоковыми подвижками фундамента, их влиянием на процесс осадконакопления угленосной толщи. В современную геологическую эпоху влияние подвижек фундамента на вышележащую осадочную толщу продолжается. Об этом свидетельствуют вертикальные движения грунтовых реперов, повышенное текущее напряженное состояние угленосной толщи. Это



**Рис. 3.** Тензометрические наблюдения в зоне разрывного нарушения и вне его (ЮБК)

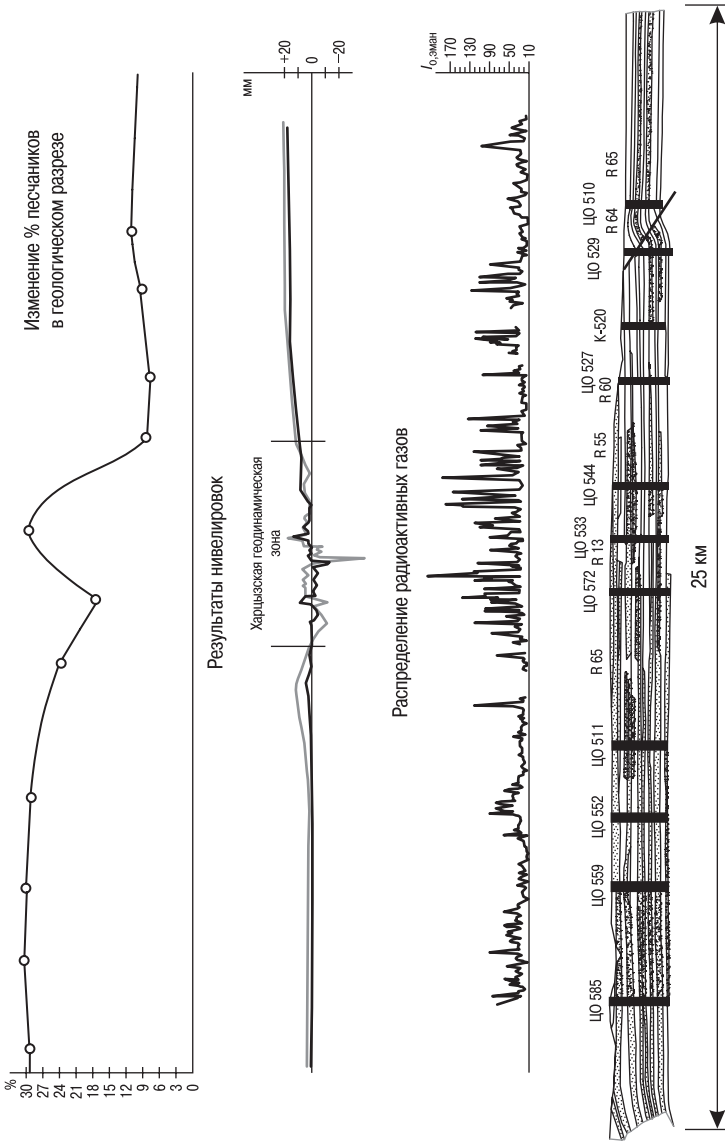
ведет к активизации тектонических элементов (зоны трещиноватости, крупные трещины, складки), что создает условия для выбросов угля, пыли и газа на участке шахтного поля, расположенного в пределах геодинамической зоны.

Важным вопросом при исследованиях горного массива является соотношение между микрогеодинамическими и тектоническими процессами. Хотя эти два явления тесно связаны между собой причинно-следственными отношениями и тектоника является продуктом прошедших геодинамических процессов, с позиций текущих геодинамических процессов разница между ними является принципиальной. На рис. 6 на примере одного их шахтных полей в г. Донецке показано соотношение между крупными геодинамическими зонами и разрывными тектоническими структурами. Хорошо видно, что геодинамические зоны имеют самостоятельную организацию и структуру. Система геодинамических зон наложена



**Рис. 4.** Результаты геодезических наблюдений в районе геодинамической зоны (Донбасс)





**Рис. 5.** Результаты геолого-геофизических исследований на Харьцесском геодинамическом полигоне (Донбасс)