

## Эндодренажная система Земли и сейсмичность: перспективы мониторинга

Г.С.ВАРТАНЯН (РАЕН)

Среди множества природных опасностей, угрожающих человечеству, сейсмические катастрофы по своей внезапности, масштабам поражения и глубине психологического воздействия на социум занимают особое место и привлекают внимание широких кругов специалистов от ученых сейсмологов до работников медицины катастроф.

База знаний, созданная современной сейсмологией, позволила продвинуть далеко вперед представления о многих механизмах подготовки и реализации землетрясений (гипотезы дилатансионно-диффузионная, лавинно-неустойчивого трещинообразования, модели консолидации, неустойчивого скольжения, фазовых превращений), районировать крупные регионы мира по сейсмоопасности, разрабатывать подходы к прогнозу землетрясений разного уровня упреждения и др.

Вместе с тем, для углубленного понимания места сейсмичности в геологической эволюции планеты ресурс сейсмологического исследовательского аппарата уже недостаточен и, по-видимому, должны быть использованы дополнительные (новые) резервы, базирующиеся в значительной степени на иных, геолого-геофизических, петролого-геохимических, геомеханических принципах изучения.

**Эндодренажная система как важнейший элемент флюидосферы Земли. Особенности строения, схема развития, проявленность в морфологии.** Рассматриваемая проблема подразделяется на два равнозначных, но по объектным уровням различающихся блока: 1) глобальный (эндодренажная система, как носитель сейсмичности); 2) региональный (короткоживущие структуры деформации, гидрогеодеформационное поле (ГГД-поле), сейсмические следствия вариации поля напряжений — деформации).

Ниже попытаемся рассмотреть феномен сейсмичности с позиций ранее сформулированных представлений о флюидосфере Земли и флюидофизической модели Земли-2000 [2, 3, 9].

Под флюидосферой понимается земная кора и большая часть верхней мантии, где в зависимости от термодинамических условий, господствующих на том или ином уровне, часть массы минерального вещества находится в расплавленном, жидком или газообразном состоянии и постоянно в реальном времени меняет свой объем. Важнейший элемент этой мегасферы — эндодренажная система (ЭДС), морфологически проявленная как линейно вытянутая совокупность материковых горно-складчатых сооружений с примыкающими к ним с флангов поясами «устойчивых» регионов, а также срединно-океанические хребты, поднятия и кряжи, где реализуется транспорт и аккумуляция тепла основной массы жидких и летучих продуктов глубинной трансформации вещества, а также регистрируются в реальном времени контрастные вариации практически всех составляющих геофизического поля Земли. Эндодренажная система многократно опоясывает Землю (рис. 1).

При этом, перераспределяя в пространстве флюидные продукты, она, по существу, выполняет функции регулирующего клапана, сбрасывающего критические давления и предотвращающего планетарный коллапс.

Главные факторы, ответственные за формирование и динамику флюидосферы и эндодренажной системы Земли, — глубинное тепло, разогревающее вещество недр до состояния расплава и пластичности и сила гравитации, определяющая собой вертикальное перемещение и распределение огромных масс вещества под воздействием их плотности. Среди важнейших факторов, создающих тангенциальный потенциал перемещения литосферных масс друг относительно друга (зависит от массы и широтного положения конкретного объекта), вероятно, можно назвать энергию вращения Земли.

В геологическом отношении эндодренажная система представляет собой граничную структуру, разделяющую крупные литосферные плиты планеты и одновременно с этим являющуюся высокоэффективным регулятором двустороннего термобаромассового обмена глубинных частей литосферы и приповерхностных участков литосферной оболочки.

В состав таких систем входят: 1) обширные тепловые реакторы, где происходят процессы высокотемпературной переработки вещества и генерации флюидной составляющей [19, 20, 32 и др.]; 2) глубинные каналы транспортировки флюида, где концентрируется основная масса матери-

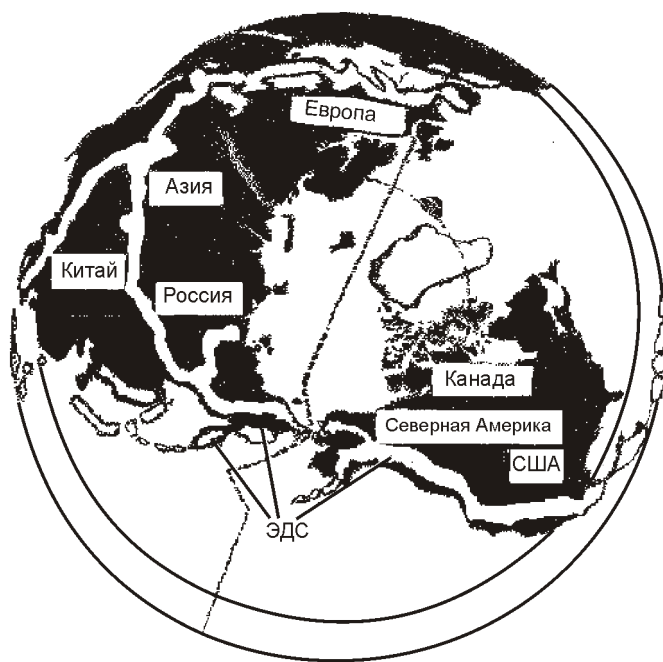


Рис. 1. Северное полушарие; полярноцентрическая проекция; схема выходов на поверхность эндодренажной системы

альной продукции и производной полевой составляющей; 3) этажи (зоны) первичной локализации эндогенного флюида, его перераспределения и аккумуляции в геологическом пространстве.

Плановые проекции глубинных зон высокотемпературной переработки вещества (1) на горизонтальную плоскость многократно превосходят площади выхода на поверхность глубинных каналов (2) и связанных с ними горно-складчатых сооружений, которые представляют собой лишь верхнюю кромку эндодренажной системы. Соотношения всей «глубины» эндодренажной системы и превышений над поверхностью даже самых высоких горно-складчатых структур, вероятно, составляют не менее чем (10—15):1.

Эндодренажная система — глобальная линия роста планеты, через которую реализуются процессы расширения Земли. При этом, «точкой роста» всего сооружения такой системы является основание узких в сечении флюидовыводящих каналов, где вследствие постоянно идущих процессов плотностного разделения продуктов тепловой переработки вещества происходит «всплывание» дифференциатов от очагов расплавления. Давления, развиваемые в узком, «стволоподобном» пространстве, оказываются достаточными для приподнимания вышележащей колонны пород. Именно этим механизмом, вероятно, можно было бы объяснить постоянно идущий в реальном времени рост горно-складчатых сооружений [1, 17 и др.].

Следовательно, обеспечивая восходящий конвективный энерго-массоперенос (расплавов, растворов, газов, тепловых и магнитно-телурических потоков, импульсов давления), система одновременно наращивает свою длину (глубину). Высокая вертикальная проводимость и емкостные свойства системы постоянно поддерживаются процессами «взламывания» толщ, которые сопровождают внедрение в основание эндодренажной системы тяжелых флюидов-расплавов, сейсмическими сотрясениями всей системы и др.

Если принять ширину зоны глубинных каналов эндодренажной системы равной 200 км, ее протяженность — 100 тыс. км, среднегодовой прирост горных сооружений — 1 мм и считать, что рост системы обеспечивается поршневым вытеснением всего массива нарабатываемым расплавом, то в первом приближении можно оценить объем материала, вдавливаемого со стороны теплового реактора в основание сформированной и длительное время функционирующей системы как  $20 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Сам по себе такой геологически длительный процесс не может оставаться без последствий для смежных толщ, которые должны гравитационно погружаться в зоны, где формируется дефект геологического пространства [2, 3, 9, 16]. Феномен дефекта геологического пространства — следствие потери некоторой массы исходного вещества, удаляемой в состоянии флюида через эндодренажную систему. Прямым следствием данного процесса становится гравитационное погружение новых масс геологического материала в зоны тепловых реакторов, что создает своеобразные миграционные петли, несущие важный динамический потенциал. В результате таких компенсационных проседаний появляется горизонтальная составляющая перемещения эндодренажной системы с соответствующим искривлением изначально субвертикальных флюидовыводящих каналов.

Механизм вовлечения геологических толщ высоких этажей в процессы погружения и последующей их переплавки масштабен, действует вдоль всей протяженности рассматриваемой системы и в значительной степени оказыва-

ет воздействие на формирование внешнего облика материков, граничащих с зонами разогрева, и дефекта геологического пространства.

Таким образом, можно полагать, что зоны тепловых реакторов представляют собой главный фактор геодинамической нестабильности, который обуславливает множественную по формам проявления подвижность толщ литосферы. До тех пор пока функционируют глубинные тепловые реакторы и происходит рост эндодренажной системы, будут развиваться активные эндогеодинамические процессы. В числе прочих факторов на эндогеодинамические проявления влияет способность материала «ползти» в основании такой системы и жесткость пород в верхних ее частях. Единство по вертикали всего разреза эндодренажной системы от текучепластичных зон до близповерхностных «хрупких» этажей делает всю систему гибко-жесткой, создавая предпосылки для постоянного нарушения сплошности материала и «оживления» проводящих свойств среды в верхних интервалах сооружения.

Для рассматриваемой системы характерна высокая степень насыщенности флюидами на всю ее глубину, причем, каждый из них — от тяжелых жидкостей (расплавов) до газов — занимает в разрезе «свои» термодинамические этажи. Для приповерхностных уровней, в частности, характерны такие проявления глубинных процессов и их продуктов как вулканизм, паротермальная активность, выходы эндогенных флюидов, включая крупные гелиевые аномалии, обширные провинции углекислых вод и др. [3]. Для широких поясов, обрамляющих эндодренажную систему, типичны высокие тепловые потоки и, очевидно, парагенетически связанные с этим множественные провинции углеводородов — продукт высокотемпературной мобилизации и агрегирования органического вещества, рассеянного в осадочных породах.

Среди наиболее крупных составляющих глобальной эндодренажной системы следует выделить пояса: единый, транссируемый по опорным узлам Пиренеи—Альпы—Кавказ—Памир—Саяны—Верхоянский—Кордильеры—Анды; Срединно-Атлантического хребта, Тихоокеанского поднятия, Северо-Ледовитого кряжа.

Можно полагать, что функционируют множественные ответвления названных систем. В частности, процессы глубинного дренажа, по-видимому, происходят и в регионе Антарктиды, где действует современный вулкан Эребус. При этом правомерно предположить, что Антарктическая (?) подсистема, с одной стороны, связана с Австрало-Азиатской ветвью (Гималаи—Соломоновы острова—острова Папуа-Новая Гвинея—Новая Каледония—Новая Зеландия), и, с другой, с Американской ветвью (Анды).

Очень активные проявления эндодренажной системы, транссируемые по проявлениям вулканической и паротермальной деятельности, регистрируются вдоль Алеутской гряды и Алеутского архипелага, а также вдоль дуги Камчатка—Командорские острова—Сахалин—Хоккайдо—Сикоку—Кюсю—Филиппины—Борнео.

Из приведенных характеристик можно сделать вывод, что эндодренажная система из-за своей глобальной протяженности, глубинности корней и высокой степени насыщенности слабо сжимаемыми флюидами, должна обеспечивать идеальную гидравлическую связь между очень удаленными частями земного шара и, следовательно, выполнять роль высокоскоростного проводника информации о вариациях состояния геологической среды.

**Внутрилитосферные движения блоков и формирование поля напряжений—деформации.** Известные к настоящему времени сейсмически активные зоны, представляются в виде линейно вытянутых полос, которые совпадают практически полностью с большинством быстро растущих горно-складчатых систем мира. Достаточно указать, например, что в пределах высокосейсмичной Андской части горно-складчатых сооружений американского континента, несмотря на ее меловой возраст заложения (~170 млн.лет) и интенсивно идущие процессы эрозии, зарегистрировано до 50 вершин с отметками 6,1 км и выше, что свидетельствует о направленном процессе воздымания горно-складчатого пояса.

Максимальная величина неотектонического воздымания Тянь-Шаня, оцениваемая по геоморфологическим и геологическим показателям, достигает 5—7 и 3—5 км для большей части его хребтов. Для горно-складчатой системы Памира максимальная амплитуда вертикальных перемещений определяется в 11—14 км при средней величине неотектонического роста 6—7,5 км [21, 26, 27]. По оценкам Н.И.Николаева и Г.А.Шенкаревой [22], неотектоническое воздымание Малого Кавказа отличалось достаточно высокими темпами с градиентами роста, достигавшими  $8 \cdot 10^9$  см/см год и др.

Принимая в качестве рабочей гипотезы упомянутый механизм поршневого выдавливания толщ, рассмотрим соответствие этого положения некоторым хорошо изученным природным явлениям и, в частности, обратимся к факту сопряженности горно-складчатых сооружений и сейсмических поясов мира.

Детальные исследования последних двух десятилетий, посвященные изучению заключительной стадии подготовки и реализации ряда сильных землетрясений методами гидрогеодеформационного мониторинга, позволили проследить сложные эволюции состояния огромных массивов горных пород, приводящие к итоговому результату, — разрывообразованию и излучению упругой энергии. Этими работами было показано, что при подготовке даже мощного землетрясения в процессы развития критических деформаций вовлекается огромное, но, тем не менее, конечное по размерам геологическое пространство [7—12]. Поэтому анализ карты сейсмических поясов дает основание утверждать, что каждому из эпицентров землетрясений, приведенных в этой сводке, соответствовала своя, причем ограниченная по объемам, зона активизации геологической среды. Иными словами, такую карту с эпицентрами землетрясений можно было бы интерпретировать как своеобразную *неравномерного во времени, мозаичного развития* горно-складчатого сооружения, которое на протяжении всей истории существования испытывало общие тенденции роста. При воздымании одни блоки сооружения на некотором отрезке времени могли опережать в росте другие. Вероятны также и периоды стагнации отдельных блоков и их групп.

В связи с приведенными положениями неизбежен вопрос: как меняется напряженно-деформированное состояние пород в системе и в самих блоках, испытавших процессы воздымания и как связана реализация сейсмического процесса с такими изменениями состояния среды?

Поскольку рост горно-складчатых сооружений — фактор постоянно действующий (во всяком случае, на длительных, в т.ч. неотектоническом, этапах геологического развития Земли), то вполне обоснованно можно было бы попытаться установить связь формирования поля напря-

жений—деформации с процессами вертикальных движений геоблоков.

С этой целью рассмотрим один из возможных механизмов становления поля напряжений—деформации в зоне сопряжения двух блоков (А и Б). Примем, что названные два блока являются элементарной ячейкой горно-складчатого сооружения и сложены они однотипными породами, характеризуемыми одинаковыми модулями упругости.

Поскольку соотношения вертикальных и горизонтальных напряжений существенно зависят от глубины, рассмотрим случай глубокого залегания пород, для которого справедливо соотношение:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \frac{1}{3}(\sigma_{гор.макс} + \sigma_{гор.мин}),$$

где  $\sigma_x$  — напряжение вдоль оси  $x$ , совпадающее с геостатическим давлением  $P$ ; горизонтальное напряжение:  $\sigma_{гор.макс}$  — максимальное,  $\sigma_{гор.мин}$  — минимальное.

Примем также, что  $\sigma_{гор.макс}$  и  $\sigma_{гор.мин}$  составляют доли от  $\sigma_x$ , и тогда справедлива запись:

$$\sigma_{гор.макс} = k_{макс} \sigma_x \text{ и } \sigma_{гор.мин} = k_{мин} \sigma_x \text{ при } k_{макс} > k_{мин}.$$

Примем, что блок А находится на глубине  $M$  и испытывает геостатическое давление

$$P_M = \sigma_x \cdot M.$$

Соответственно, будут справедливы равенства:

$$\sigma_{гор.макс} = k_{макс} \sigma_x \text{ и } \sigma_{гор.мин} = k_{мин} \sigma_x.$$

Блок Б находится на глубине  $M'—M$  и испытывает напряжение вдоль вертикальной оси

$$\sigma_{в,М—М} = P_{М—М} / (M'—M).$$

Соответственно, справедливы равенства:

$$\sigma_{гор.макс} = k_{макс} \sigma_{в,М—М} \text{ и } \sigma_{гор.мин} = k_{мин} \sigma_{в,М—М}.$$

Блок А за короткий интервал времени переместился на величину  $M'$  и остановился на уровне блока Б. Следует полагать при этом, что породы блока А будут стремиться к адаптации своего объема к давлениям, господствующим на глубине  $M'—M$ . Надо иметь в виду, что вся расположенная выше колонна пород осталась неизменной, что, естественно, не меняет вертикальной нагрузки на данный конкретный объем породы, т.е.

$$P_M = P_{М—М} = \sigma_{в,М—М} \cdot (M'—M) = const.$$

Поэтому все возможные объемные изменения, вызванные перемещением блока А, могут происходить ортогонально к вертикальному направлению, вдоль осей  $y$  и  $z$ .

Поскольку  $\sigma_{в,М—М} = \sigma_{в,М}$  и  $[P_{М—М} = P_M]$  породы блока А будут разуплотняться (расширяться), стремясь «вытеснить» из пространства породы блока Б, т.е. разность межблоковых напряжений оказывается тем фактором, который одновременно с разуплотнением (боковым расширением) пород блока А должен приводить к угнетению (сжатию) пород смежного блока Б и формировать некоторую локальную ячейку поля напряжений деформации.

Другими словами, механизм поршневого выдавливания обеспечивает разуплотнение пород того блока (или группы блоков), который испытал на данном отрезке времени воздымание на некоторую величину  $M$ . Погружение блока приводит к противоположному следствию, т.е. любое вынужденное перемещение геоблока в вертикальной плоскости литосферного пространства *закономерно* вызывает изменение напряженно-деформированного состояния пород дан-

ного блока и соответствующее этому, но инверсное по знаку деформирование пород смежных геологических структур.

Из сказанного следует, что взаимодействие всей совокупности геоблоков, принудительно перемещаемых в пространстве эндодренажных систем с разными интенсивностями и разными знаками, должно обуславливать формирование и функционирование единого, быстро меняющегося в реальное время поля напряжений—деформации.

Поэтому правомерно полагать, что текущее состояние поля напряжений—деформации в целом по такой системе будет определяться совокупным воздействием на состояние данной мегаструктуры всей совокупности «колонн» геоблоков, участвующих в процессе воздымания. Вероятно, именно этот сложный процесс и является определяющим в становлении поля напряжений—деформации в пределах эндодренажной системы.

Следовательно, важной спецификой поля напряжений—деформации рассматриваемой мегаструктуры становится его нестабильность в пространстве и времени, что наблюдается в периодических скоротечных перераспределениях максимумов и минимумов деформации пород во всем объеме эндодренажной системы. Наряду с иницирующими, глубинными процессами, доминирующим фактором быстрых перестроений поля напряжений—деформации выступает флюидонасыщенность среды указанной системы и, как будет показано дальше, ее исключительно высокая пьезопроводность.

Весьма показателен установленный процесс быстрого пробегания мелкой «сейсмической дрожи» вдоль отдельных отрезков эндодренажной системы, которое только в некоторых случаях завершается сильными землетрясениями [24]. Самоорганизуясь подобным образом и перераспределяя в пространстве сейсмическую энергию, такая система реализует одну из важнейших своих функций — снятие напряжений, накапливающихся в результате постоянно идущих процессов роста и деформирования отдельных элементов подобного глобального сооружения. Именно поэтому эндодренажная система может рассматриваться как специфичная сейсмодренажная система.

Для растущих горно-складчатых сооружений в целом преобладающей тенденцией поля напряжений—деформации является растяжение, что должно особенно контрастно проявляться в процессе выдвигания (выдавливания) отдельных геологических массивов.

Свидетельства, подтверждающие именно такой механизм растягивающих деформаций в растущих горно-складчатых системах можно найти, в частности, в цикле региональных реконструкций североамериканских геологов.

Так, согласно работам [29, 30, 31, 33] с Кордильерами совпадает широкий пояс растяжения, а в противоположность ему к востоку от горно-складчатой системы выделяется обширная внутриконтинентальная провинция, где в толщах развиты сжимающие напряжения. Важно подчеркнуть, что значения горизонтальных напряжений в массивах  $\sigma_{гор.мин}$ , используемые авторами для оценок, получены инструментальным путем в результате определений давления гидроразрыва пластов в скважинах.

**Механизм подготовки землетрясения и его образы.** Исходя из отмеченного и рассматривая феноменологически два процесса, — рост горно-складчатых сооружений и сейсмичность, можно принять, что *вся совокупность регистрируемых в регионе землетрясений — следствие по-*

*переменных блоковых воздыманий, которые развиваются вдоль линии простирания сооружения.*

В современной геомеханике отмечается определяющая роль вариации поля напряжений, приводящей к разрыву сплошности предельно нагруженных пород, т.е. любое землетрясение — результат резкой смены предельных деформаций одного знака на деформации противоположного знака.

Следовательно, одной из задач, определяющих более углубленное понимание сейсмоподготовительного процесса, становится выявление последовательности таких обращений знаков деформации горной породы и оценка реакции флюидной составляющей на эти перестроения. Здесь критически важное значение приобретает вопрос об участии данной фазы геологического вещества в армировании горных пород, увеличении их сопротивляемости процессам разрушения и, наконец, об участии флюидов (в первую очередь, воды) в самом процессе разрушения.

Известно, например, что даже при сравнительно невысоких, технически достижимых давлениях, вода может выступать в качестве высокоэффективного разрушающего агента (в частности, при гидроразрыве нефтепродуктивного пласта). Вместе с тем, методами изучения ГГД-поля установлено, что быстрые сжатия водонасыщенной горной породы сопровождаются сокращением объемов порового пространства и взрывным выдавливанием некоторой части воды, заключенной в порах. Освобождающаяся вода, на короткие интервалы времени воспринимает давление, соответствующее максимальной величине деформирующего напряжения, т.е. ее «наведенное» давление будет контролироваться существующими в заданной точке разреза соотношениями напряжений в массиве горных пород  $\sigma_{гор.макс} : \sigma_{гор.мин} : \nu$ .

Можно полагать, что в условиях развивающихся предсейсмических стрессов наиболее возможные варианты могут быть сведены к следующим трем случаям:

1. *Близкоповерхностный* — при соотношениях напряжений

$$\sigma_{гор.макс} \quad \sigma_{гор.мин} \quad \nu$$

подземная вода под исходным давлением, близким к  $\sigma_{гор.макс}$ , будет вскрывать ранее заложенные микротрещины вверх по разрезу.

2. *Среднеглубинный* (3000—7000 м?) — при соотношениях напряжений

$$\sigma_{гор.макс} \quad \sigma_{гор.мин} \quad \nu$$

подземная вода окажет давление на трещины и дефекты горных пород в направлениях вдоль оси  $\sigma_{гор.мин}$  и  $\nu$ .

3. *Глубокий* — при соотношениях напряжений

$$\sigma_{гор.макс} \quad \sigma_{гор.мин} \quad \nu$$

подземная вода разовьет давление вдоль осей  $\sigma_{гор.макс}$  и  $\sigma_{гор.мин}$ .

По-видимому, положение в пространстве образующихся разрывных дислокаций в значительной степени будет определяться соотношениями напряжений в массиве горных пород: в приповерхностных частях дислокации будут субвертикальны, на глубинах — более пологи. Во всех названных случаях вода, выдавливаемая с высокой энергией, может работать как жесткий инструмент разрушения предварительно напряженных горных пород. Таким образом, если проследить и расшифровать ведущие процессы изменения напряжений—деформации во флюидомине-

ральной среде, то возможно решение проблемы поиска и обоснованного выбора предвестников землетрясений, которые базируются на учете тонких предсейсмических вариаций состояния геологической среды. При этом очевидно, что образ готовящегося события будет определяться механизмом приложения деформирующих сил.

*Иными словами, механизм подготовки и реализации землетрясений в конкретном регионе функционально связан с самим механизмом горообразовательного процесса и, очевидно, сохраняется неизменным геологически длительное время.*

Например, в случае напряжений, создаваемых «толкающими» плитами, в зоне межплитного контакта должна формироваться фронтальная, линейно вытянутая и устойчивая во времени аномалия сжатия. Если механизм формирования предсейсмической обстановки связан с активизацией роста отдельной группы геологических блоков (по модели флюидосферы), то будет регистрироваться очаговая аномалия растяжения с короткоживущими структурами сжатия на периферии.

**Некоторые экспериментальные свидетельства сейсмогенерирующих механизмов.** Аппарат исследований напряженного состояния недр и способы прогноза землетрясений, разрабатываемые с 1979 г. [4, 5, 7, 15, 16, 34—37] и базирующиеся на региональном изучении вариаций ГГД-поля Земли, обеспечили возможность выявления ряда специфических особенностей геодинамической эволюции литосферных толщ крупных ареалов Евразии, а также некоторых других сейсмоактивных провинций мира.

В этих исследованиях, наряду с модельными реконструкциями состояния ГГД-поля, особенно ценной оказалась возможность численной оценки интенсивности геодинамических перестроений обширных ареалов с помощью параметра относительной деформации  $D_e$ , который характеризует объем (или площадь) геологического пространства, замыкаемого некоторой, наперед заданной изолинией. Как показал опыт, изменения параметра во времени (кривая  $D_e-t$ ) позволяют отслеживать текущее деформированное состояние конкретного ареала ГГД-мониторинга, как реакцию геологической матрицы на множественное воздействие внешних факторов. Особенно показательны временные вариации этого параметра при изучении процессов подготовки и реализации сильных

землетрясений и при оценке глобальных эволюций поля деформации.

**ГГД-образы — предвестники сильных землетрясений.** Из числа всех сейсмических событий, которые были изучены на основе концепции ГГД-поля, ареал подготовки только Спитакского землетрясения оказался полностью в пределах действующей сети мониторинга.

Далее будет показано, что этот единственный случай может рассматриваться как эталонный, поскольку позволяет судить о поведении массивов горных пород в собственно эпицентральной области. Следует подчеркнуть, что очень быстрые изменения поля напряжений—деформации непосредственно перед толчком и сразу после него, были зарегистрированы впервые в мировой практике методами ГГД-мониторинга [23]. Подобные вариации геодинамической обстановки зарегистрированы и в других случаях, но это касалось только периферийных зон некоторых сильных землетрясений.

Ранее было рассмотрено [13], что заключительная фаза процесса подготовки Спитакского землетрясения продолжалась 4 месяца, в результате чего массивы горных пород будущего эпицентра испытывали сильное растяжение (разуплотнение). При этом максимум деформации, проявившийся как субширотно ориентированная миндалевидная в плане структура растяжения, пространственно совпал с узкой протяженной зоной, замыкаемой с севера Пред-Малокавказским, а с юга Севано-Зангезурским региональными разломами. Осевая часть структуры растяжения контролировалась Мровдагско-Карабахским региональным разломом. Здесь с августа до начала декабря 1988 г. различные блоки ареала испытали вертикальные поступательные движения, причем, наибольшие амплитуды имели место в пределах эпицентральной области, где вычисленная суммарная  $M$  достигала 2,47 м (табл. 1, скв. 304). Следует отметить, что подобные вертикальные перемещения геоблоков и целых структур в периоды подготовки и реализации сильных землетрясений отмечались и ранее [25].

Следует обратить внимание на факт зависимости роста структуры деформации от интенсивности воздымания геоблоков. Причем, чем ближе к эпицентру, тем очевиднее эта зависимость (рис. 2).

Непосредственно перед землетрясением происходили достаточные контрастные дифференцированные движения

## 1. Вертикальные перемещения геологических блоков непосредственно до и после Спитакского землетрясения

Время	Скважины							
	301 (Ноемберян)	302 (Октемберян)	303 (Дзорах)	304 (Гукасян)	308 (Севан)	1001 (Лиси)	1002 (Боржом)	1004 (Лагоде)
08:07.12	0	0	0	0	0,55	0,46	0	0
09:07.12	0,42	0,27	0	0	0	0,46	0	0
10:07.12	0	0,27	0	0,45	0,55	0,92	0	0,99
11:07.12	1,53	0,27	0	1,71	0	1,38	1,84	2,99
12:07.12	0,52	0	0,39	0	3,86	0,46	0,61	3,1
13:07.12	0,52	0,54	0	0,41	0,55	2,3	0,64	0

*Примечание.* «погружение»; воздымание.

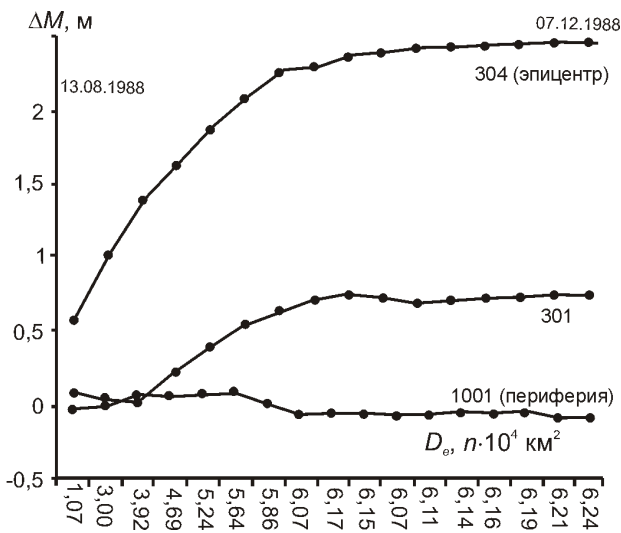


Рис. 2. Зависимость между величиной вертикального роста геоблоков  $M$  и параметром  $D_e$  короткоживущей структуры растяжения Спитакского землетрясения

блоков региона. При этом в пределах эпицентрального блока в последние часы перед главным ударом отмечалась стагнация, что, очевидно, свидетельствовало о достижении породами этой части территории предельных деформаций, предвещающих разрушение массива (см. табл. 1).

Наибольшие величины удельных деформаций горных пород ( $\text{см}^3/\text{м}^3$  породы) в структуре растяжения приходились на будущую эпицентральною область, где непосредственно перед землетрясением на 10:07.12.1988 г. (время московское) кумулятивная величина растяжения с момента начала наблюдений составила  $20612,6 \text{ см}^3/\text{м}^3$ , т.е. в данном блоке каждый кубометр породы с августа по декабрь 1988 г. увеличился в объеме на 2% (см. табл. 1, скв. 304).

В ближайшем окружении от будущего эпицентра за этот же период времени величины растяжения оказались менее интенсивными и составили  $6457 \text{ см}^3/\text{м}^3$  (0,6%),  $1559 \text{ см}^3/\text{м}^3$

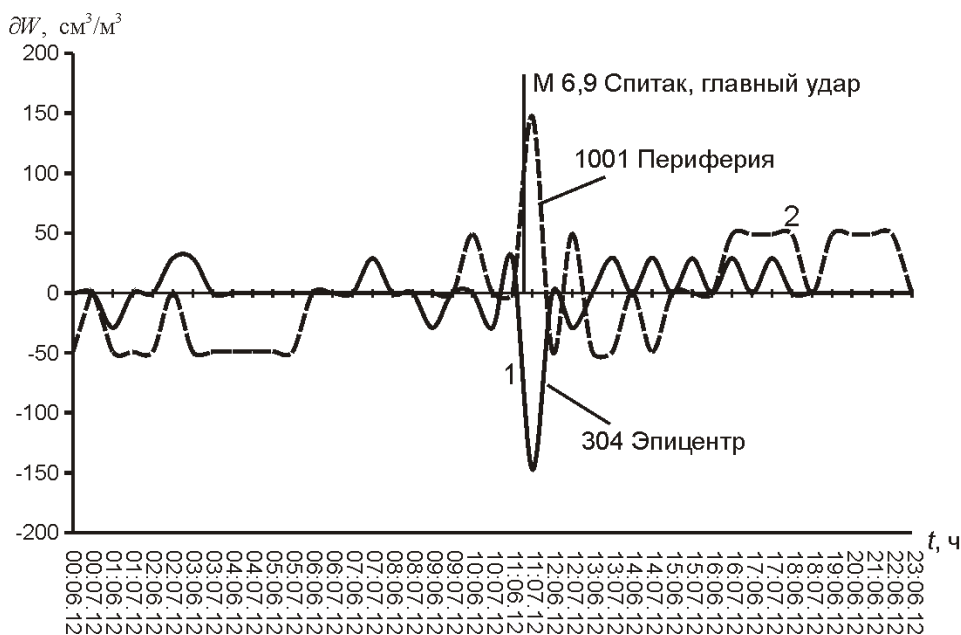


Рис. 3. Почасовой график вариации удельной деформации пород ( $dW$ ) геоблоков в период подготовки и разрядки Спитакского землетрясения

(0,15%),  $860 \text{ см}^3/\text{м}^3$  (0,09%), соответственно по точкам сети ГГД-мониторинга, представленным в табл. 1 (301, 308, 1001). Дифференциальные характеристики удельных деформаций накануне и сразу после землетрясения приведены на рис. 3.

Говоря о возможных физических процессах, обуславливающих подобные эволюции ГГД-поля, можно предложить следующую модель развития региона в предсейсмический период и в момент самого землетрясения.

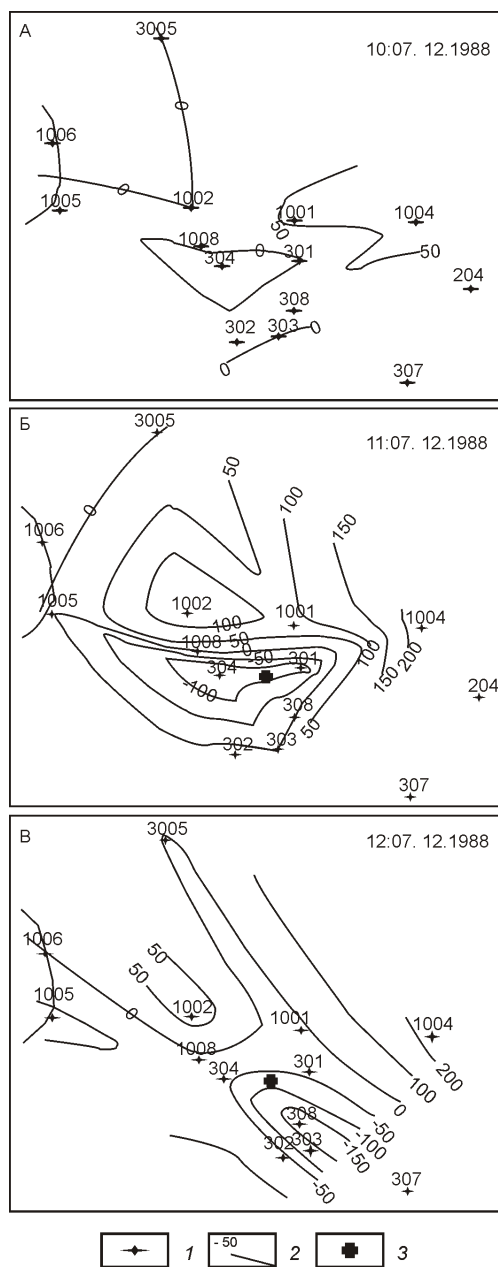
Сильные растяжения, которые зафиксированы вдоль сравнительно узкой, но протяженной субширотной полосы в самой эпицентральной зоне, связаны с интенсивным воздыманием серии блоков, вовлеченных в этот процесс вдоль системы регионального Мровдагско-Карабахского разлома. Такое воздымание привело к некомпенсированным разжатиям массивов, поскольку породы с потенциальной упругой энергией  $E_{\text{гор. макс}}^0$  и  $E_{\text{гор. мин}}^0$  оказались приведенными в соприкосновение с породами других блоков, которые испытали вертикальное перемещение менее интенсивное. Потенциальная упругая энергия таких блоков составляла, соответственно  $E_{\text{гор. макс1}}^0$  и  $E_{\text{гор. мин1}}^0$ . Вследствие того, что  $E_{\text{гор. макс}}^0$ ,  $E_{\text{гор. макс1}}^0$  и  $E_{\text{гор. мин}}^0$ ,  $E_{\text{гор. мин1}}^0$  в пределах «задранный» вверх блока сформировалась короткоживущая структура растяжения, а в пределах блока, испытавшего менее интенсивное поднятие, — соответственно короткоживущая структура сжатия.

В результате таких предельных растяжений, которые развились к двадцатым числам ноября 1988 г., в пределах будущего эпицентра, проявилась весьма высокая флюидонасыщенность пород, что стало решающим фактором при последующем развитии геодинамической обстановки в регионе.

Из графика (см. рис. 2) следует, что с 30.10.1988 г. вертикальный рост блока «Лукасян» на короткое время (до 12.11.1988 г.) практически прекратился, что, вероятно, может быть связано с препятствием этому росту смежных массивов из-за весьма значительного расширения (до 2%) пород эпицентрального блока и возросшего сопротивления трения. Вместе с тем, задержка роста данного блока не смогла повлиять на продолжающийся рост структур периферии. Здесь уже в конце ноября завершается формирование обширной зоны, где большую часть времени господствуют процессы растяжения.

В результате такого развития процесса сильные растяжения в окружающих внешних зонах фокусируются на будущей эпицентральной области, сдавливая ее и формируя здесь в последние часы перед землетрясением замкнутую со всех сторон структуру сжатия. Для этого периода характерно возрастание вероятности разрушающего действия несжимаемой водной составляющей: любые резкие внешние воздействия на предельно нагруженную породу инициируют взрывоподобный «исход» флюида из порово-трещинного пространства и гидравлическое разрушение массива.

ва. Такой процесс объемный и, по-видимому, охватывает миллионы кубических километров, и то, что фиксируется методами ГГД-мониторинга, отражает лишь очень тонкий срез сложного по структуре геолого-геофизического пространства. Сразу после главного удара структурный план поля деформации в регионе резко меняется с субширотного на антикавказский (рис. 4). Построенные с учетом этих данных более поздние модели территории, позволили выявить лоскутно-неоднородное строение ГГД-поля и, соответственно, — плановую неоднородность геологической среды, что подчеркивает наличие в регионе крупных, геодинамически автономных участков-блоков.



**Рис. 4. Схематические карты состояния ГГД-поля на Кавказе в период до и после Спитакского землетрясения:**

по состоянию: А — за 41 мин до события, Б — через 19 мин, В — через 1 ч. 19 мин после землетрясения; 1 — скважина сети ГГД-мониторинга; 2 — изолиния удельной деформации,  $\text{см}^3/\text{м}^3$ ; 3 — эпицентр землетрясения

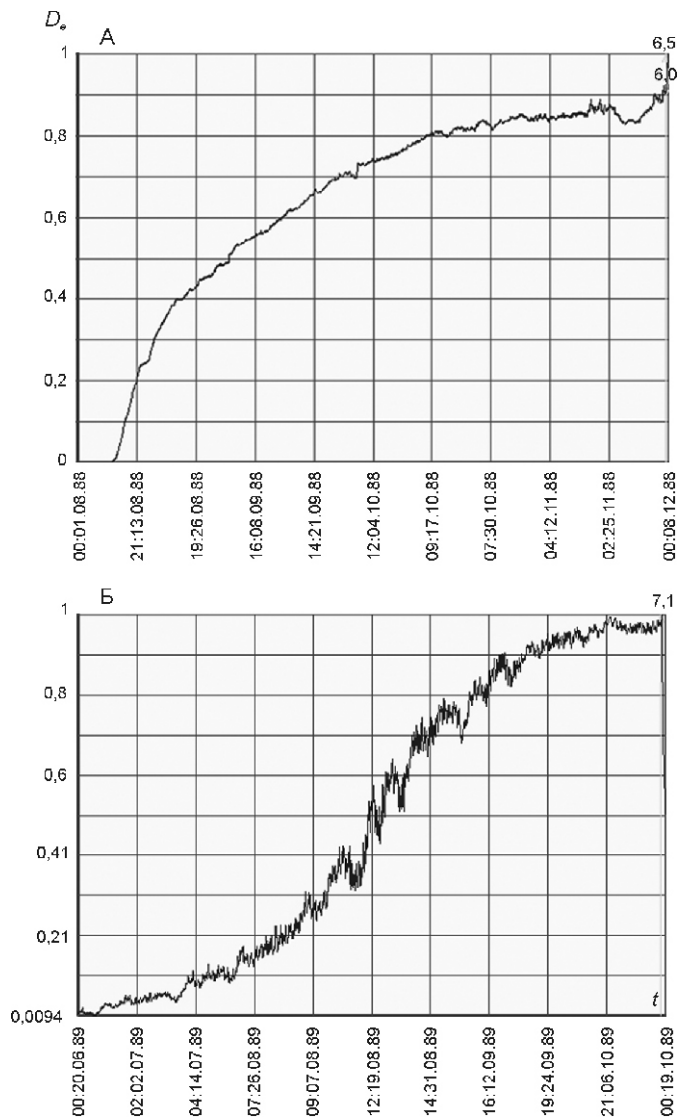
Как показывают результаты мониторинга, кривая  $D_e-t$  имела почти совершенную параболическую форму, что свидетельствует о быстром нарастании (с 08.08.1988 г.) деформаций растяжения; с 04.11.1988 г. кривая приобретает субгоризонтальное (слегка наклоненное к оси  $t$ ) положение, характеризующее наступление фазы пластических деформаций горных пород эпицентральной области, когда изменение объема материала продолжает возрастать без увеличения напряжений, длившееся до 20.11.1988 г.

На кривой 20—26.11.1988 г. прослеживается небольшой уступ, указывающий на достижение предела длительной прочности массива горных пород. После 26.11.1988 г., уступ заменяется четко проявленной лункой, иллюстрирующей деформацию сжатия, которое развилось на фоне неустойчивого состояния массива и приближения процессов деструкции с участием высоконапорного флюида. К 05.12.1988 г. этот процесс сжатия прекратился и далее вновь последовало растяжение, завершившееся в 10:41 07.12.1988 г. (время московское) катастрофическим землетрясением.

По-видимому, кривую  $D_e-t$  спитакского сейсмического события можно рассматривать в качестве эталонного графика, контрастно свидетельствующего об интенсивных и направленных процессах деформации растяжения, развивающихся в недрах, а участок кривой со специфической лункой, очевидно, должен быть принят как образ краткосрочного предвестника землетрясения (рис. 5, А; здесь и далее  $D_e$  приводится как безразмерная величина площади короткоживущей структуры деформации к площади всего ареала мониторинга).

Это подтверждается следующими обстоятельствами: 18.10.1989 г. в Калифорнии произошло сильное землетрясение (Лома Приета, М 7,1), по которому на полигоне Паркфилд, находившемся от эпицентра в 180 км, были получены данные о реакции уровней подземных вод. Обработка фактических результатов мониторинга, выполненная с применением методики автора, свидетельствовала о том, что реакция геологической среды на деформационные нагрузки была аналогична той, которая зафиксирована в случае со Спитакским землетрясением. Так, на кривой  $D_e-t$ , характеризовавшей интенсивные растяжения пород региона, перед землетрясением в период 07—18.10.1989 г. образовалась характерная лунка. Следует подчеркнуть, что территория Паркфилд отстояла от эпицентра на расстоянии 180 км, что несколько «смягчило» лункообразный сигнал и сократило время его проявления, т.е. можно предполагать, что на коротких расстояниях от эпицентра этот предвестник проявился раньше и имел значительно большую контрастность (см. рис. 5, Б).

Есть и другие наблюдения, также подтверждающие общетеоретические доводы и приведенные экспериментальные результаты. В частности, весьма показательный пример дан в материалах сейсмологического симпозиума (A collection of papers..., 1984), свидетельствующих о том, что аномальное снижение уровней подземных вод в регионе началось за 3—4 года до катастрофического Тянь-шаньского землетрясения (28.07.1976; М 7,8). Сам факт такого развития ГГД-поля говорит о широко идущих процессах растяжения геологических толщ региона. Скорости падения уровней замедлились примерно за год до события, а за 3—4 (!) месяца до него снова резко возросли. Особый интерес вызывает повышение уровней, зарегистрированное непосредственно за несколько дней до толчка, что также, но уже на значительно более разреженной



**Рис. 5. Графики развития короткоживущей структуры растяжения с характерными лункообразными формами — образцами краткосрочных предвестников землетрясений:**

землетрясения: А — Спитак (Кавказ, 07.12.1988); Б — Лома Приета (Калифорния, 18.10.1989)

сети мониторинга, свидетельствует о «лункообразном» интервале развития процесса. О близкой к описанным случаям реакции подземных вод свидетельствуют также данные по Ашхабадскому землетрясению [18] и др.

Рассмотренные сейсмические события дают основание считать, что, несмотря на существенные различия в индивидуальных геомеханических свойствах всего многообразия горных пород и геологических обстановок, геологические массивы деформируются под внешними нагрузками, следуя определенным закономерностям, а упругость и гидравлически тесная связь всех частей глобальной эндодренажной системы обеспечивают возможность слежения за быстрыми эволюциями геодинамики на больших ареалах.

Получаемые таким образом графики-образы призваны характеризовать темпы модификации состояния больших объемов геологической среды и обеспечивать возможность выделения некоторых предельных моментов в де-

формационной эволюции крупных ареалов. В частности, как следует из уже рассмотренных эпизодов сейсмического развития крупных участков Земли, такие построения позволяют фиксировать критические точки, после которых процесс деформации горных пород становится необратимым и следует ожидать каких-то геодинамических последствий.

**Природа деформационных процессов и некоторые механизмы их передачи в пространстве литосферы.** Как было показано, в зависимости от степени близости или удаленности от будущего очага регистрируются или ярко выраженный процесс растяжения геологического пространства (вблизи эпицентра и до первых сотен километров от него), или также контрастно проявляющегося сжатия (дальние фланги эпицентра).

В связи с приведенными построениями важно остановиться на характере деформационного развития фланговых частей готовящегося землетрясения. Так, механизм преобразования вертикальных перемещений блоков в деформацию разных знаков дает основание считать, что формирование структур сжатия по периферии эпицентральной структуры растяжения — закономерный процесс, сопровождающий *все* случаи подготовки землетрясений. Очевидно, что это положение должно дополнять типовой образ готовящегося сейсмического события.

На подготовку единичного землетрясения требуется некоторое физическое время и весьма значительные объемы геологического пространства. Причем, вероятно, что существует некоторая функциональная связь между ареалом (объемами) эпицентральной структуры растяжения и энергией будущего землетрясения, т.е.

$$M(S),$$

где  $M$  — магнитуа землетрясения;  $S$  — площадь (объем) коротко живущей структуры растяжения в пределах будущего эпицентра.

Следовательно, чем мощнее готовящееся землетрясение, тем дальше распространяется фронт раздела между эпицентральной областью растяжения и периферийными структурами сжатия.

Наблюдения за процессом на больших ареалах и в долговременном разрезе дают возможность увидеть характер вариации поля объемных деформаций и специфику перемещения деформационного сигнала в пространстве геологических массивов. Рассмотрим особенности деформационных эволюций в пределах кавказского геодинамического узла, являющегося соединительным звеном между системами дислокаций Северной Анатолии и Загрос—Эльбурс—Копетдаг—Тянь-Шань.

Данные ГГД-мониторинга (1988—1991 гг.) свидетельствуют о том, что территория Кавказа в это время испытала значительные геодинамические перестроения, со многими из которых были связаны процессы реализации сильных землетрясений. Так, по данным многолетних наблюдений следует, что, начиная с июня 1988 г., в регионе весьма энергично развивались процессы деформации горных пород, которые обозначили начало длинного (не менее 40 месяцев?) цикла растяжений. При этом, на фоне общего процесса растягивающих напряжений трижды (май—декабрь 1989 г.; апрель—октябрь 1990 г. и март—май 1991 г.) были зарегистрированы фазы сжатия, каждая из которых была связана с подготовкой и реализацией разрушительных геодинамических событий (рис. 6, Б).



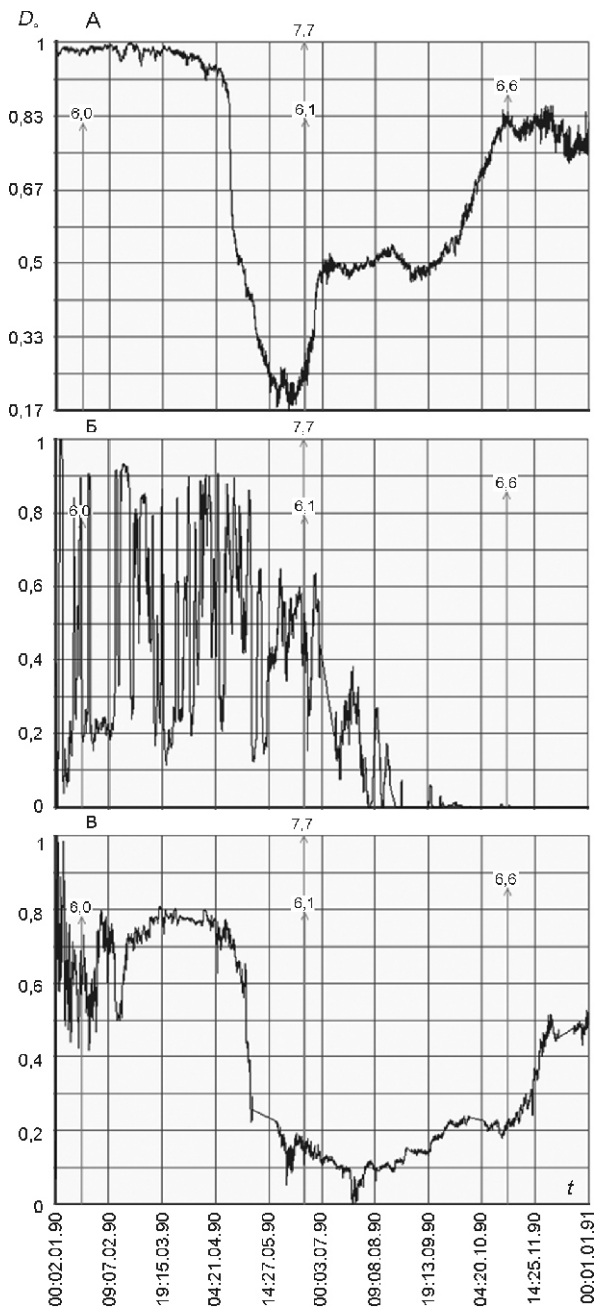


Рис. 6. Графики развития ГГД-поля в период подготовки и реализации Рудбарского землетрясения (20.06.1990 г.):

А — Кавказ; Б — Копетдаг; В — Тянь-Шань

Максимальные растяжения имели место в период с 20 января 1989 г. по начало июля 1989 г., а далее в регионе наметилась тенденция к уменьшению интенсивности растяжения. При этом самые низкие (не считая начального отрезка кривой) значения  $D_e$  были отмечены в середине августа 1991 г., после Рачинского и Джавского землетрясений в Грузии.

**Кавказ—Копетдаг—Тянь-Шань.** Очень характерен процесс деформационной эволюции крупных ареалов, мониторинг которых осуществлялся в период подготовки упомянутого Рудбарского землетрясения. Деформограммы  $D_e-t$ , полученные с 01.01.1990 по 31.12.1990 гг. для Кавказа, предгорной части Копетдага и Тянь-Шаня (в дальнейшем, Копетдага и Тянь-Шаня), свидетельствуют о

том, что в названных сооружениях, располагавшихся на дальней периферии эпицентра, процесс подготовки землетрясения сопровождался интенсивным развитием структур сжатия. Здесь, на протяжении ~2000 км с запада на восток существовали три независимо развивающихся региона, различавшихся по темпам и интенсивности деформационного процесса (см. рис. 6).

Из оценок темпов развития структур деформации следует, что активные геодинамические процессы от зоны подготовки землетрясения распространялись к северу со средней скоростью 8—12 км/сут, охватывая площадь не менее 3 млн. км<sup>2</sup> (средний радиус ~1000 км). Полученные сравнительно низкие значения скоростей, по-видимому, определяются медленным вовлечением в процесс сжатия обширных пространств периферии.

Показательно, что по мере удаления от будущего эпицентра к окраинным частям уровень деформационного сигнала ослабевал. Это, в частности, хорошо прослеживается по данным ГГД-мониторинга в кавказском регионе. Так, например, если оценивать уровень деформационного сигнала в долях единицы (от максимума до исчезновения), то в рассматриваемом случае наибольшие темпы снижения уровня сигнала отмечались в пределах Аджаро-Триалетской складчатой системы (0,51). Темпы снижения уровня сигнала в Рионской и Азово-Кубанской впадинах были 0,46 и 0,28 соответственно.

Исходя из географического положения региона по отношению к эпицентру Рудбарского землетрясения, и с учетом приведенных данных, можно заключить, что деформационный сигнал был наиболее устойчив в направлении на запад. Очевидно, в этом случае прохождению деформационной волны на север препятствовала система дислокаций кавказского простирания и эти же разрывные структуры обеспечивали более устойчивое прохождение волны в западном направлении.

Принимая во внимание приведенные ранее соображения общетеоретического характера, некоторые геолого-геофизические реконструкции геодинамических обстановок горных стран, опыт ГГД-мониторинга эпицентральных и близких к ним ареалов в различных структурно-тектонических условиях; генетически связанные с рудбарскими событиями предсейсмические эволюции деформационной обстановки на Кавказе, Копетдаге и Тянь-Шане, приходим к выводу о том, что в пределах ареала подготовки Рудбарской катастрофы на заключительном этапе длительностью не менее 12—20 месяцев (?) до события развивались очень сильные растяжения.

На большую интенсивность воздымания в зоне будущего эпицентра косвенно указывает высокая энергия Рудбарского землетрясения (М 7,7), что позволяет предполагать обширные ареалы короткоживущей структуры растяжения в пределах собственно эпицентральной области.

**Кавказ и Калифорния.** Сравнение особенностей смены деформированного состояния значительно более удаленных друг от друга регионов мира свидетельствует о множестве черт подобия в их геодинамической эволюции. Рассмотрим характерные особенности деформационного развития Кавказа и калифорнийской части прибрежных хребтов США (район Паркфилд) за 30 месяцев (с января 1989 по июль 1991 гг.). Материал по американскому континенту был получен в рамках соглашения о научно-техническом сотрудничестве между Геологической службой США (USGS) и Министерством геологии СССР. В качестве гео-

динамических меток, поверяющих получаемые деформационные характеристики, приняты моменты и энергия сильных землетрясений, зафиксированных в обоих регионах в отмеченный отрезок времени (табл. 2).

Как следует из анализа кривой  $D_e-t$  на Кавказской сети (рис. 7, Б), за период наблюдений в регионе произошло значительное уменьшение интенсивности растяжения. На фоне этого генерального процесса зарегистрированы три фазы сжатия длительностью 6,5; 6 и 1,5 месяца, развившиеся в связи с процессами подготовки сильных землетрясений.

Так, на май—декабрь 1989 г. (первая фаза) пришлось 4 сильных землетрясения, одно из которых произошло в Калифорнии с эпицентром в Лома Приета. Со следующим периодом, когда был отмечен рост деформации сжатия, связано 5 сильных землетрясений, одно из которых, Рудбарское (Иран), характеризовалось  $M$  7,7 и оценивалось, как катастрофическое. Наконец, интервал времени 1,5 месяца, когда в регионе было также отмечено сильное сжатие, сопровождался тремя землетрясениями ( $M$  6,6 и 6,1, Рачинское) и ( $M$  6,3, Джавское). Все 3 землетрясения произошли в Грузии. В Калифорнии рассматриваемый период характеризуется, как время нарастания деформаций растяжения (см. рис. 7, А). Вместе с тем, на фоне устойчивого растяжения здесь так же, как и на Кавказе, зарегистрированы фазы

## 2. Сопряжение во времени фаз сжатия в период 1989—1991 гг. на Кавказе и в Калифорнии

Регион	Периоды проявления фаз сжатия	
	Кавказ	Калифорния
Лома Приета	23.05—12.12.89 г.	10.06—18.10.89 г.
Рудбар	27.04—26.10.90 г.	18.06—20.08.90 г.
Рача	14.03—03.05.91 г.	19.04—08.06.91 г.

сжатия, проявившиеся на кривой в виде резких провалов. Таких временных пауз было 5, а длительность их варьировала от 10 суток до 4 месяцев.

Из сопоставления режимов деформации Калифорнии и Кавказа следует, что обоснованно можно говорить, по меньшей мере, о трех совпадениях (по времени проявления) фаз сжатия на Кавказе и в Калифорнии. Причем, каждый «кавказский» эпизод начинался раньше и завершался позже соответствующего «калифорнийского». Поэтому при совмещении графиков  $D_e-t$  калифорнийские аномалии оказываются «вложенными» в кавказские и, несколько отставая от них во времени, смещенными по оси вправо. Только в данном случае, с 14.03. по 08.06.1991 г., кратковременные деформации сжатия в Калифорнии завершились значительно позже исчезновения деформационного сигнала на Кавказе (см. табл. 2, рис. 7, А, Б). В этот раз калифорнийский минимум сжатия «накрывал» сильное Рачинское землетрясение (29.04.1991 г.) и предшествовал Джавскому сейсмическому событию (15.06.1991 г., Грузия).

В целом, рассматривая кривые по этим двум, сильно удаленным друг от друга регионам, можно говорить о некоторых пульсационных процессах, имеющих, вероятно, планетарный характер. После завершения каждой кратковременной фазы сжатия кривые  $D_e-t$  демонстрировали развитие ранее заложенных тенденций: рост растяжений — в Калифорнии и их уменьшение — на Кавказе. Такие тренды в сочетании с рассмотренными парными связками сжатия (Кавказ—Калифорния) свидетельствуют о большой инерционности системы геоблоков, которая сразу после снятия кратковременных возмущений восстанавливает в регионах ранее существовавшие деформационные тенденции.

Особое внимание следует обратить на характер развития фаз сжатия. Все сжатия на Кавказе развивались достаточно плавно, а на графике  $D_e-t$  проявлялись в виде седловидных кривых со сглаженными формами. В это же время на калифорнийском графике переходы от растяжения к сжатию и наоборот начинались как очень резкие ступени внезапно и без каких-либо предвестниковых признаков, что позволяет предположить искусственные причины столь контрастных смен состояния среды. Таким был скачкообразный переход от сильного сжатия к растяжению, зарегистрированный 12.02.89 г. (см. рис. 7, А, 1к). Примечательно, что этот, за несколько часов многократно повторившийся импульс (сжатие—растяжение—сжатие и т.д.), завершился ярко выраженным колебательным процессом, затухание которого продолжалось более 1,5 месяцев. Амплитуда колебательно-го процесса и длительность затухания сигнала свидетельствовали о высоких упругих свойствах среды.

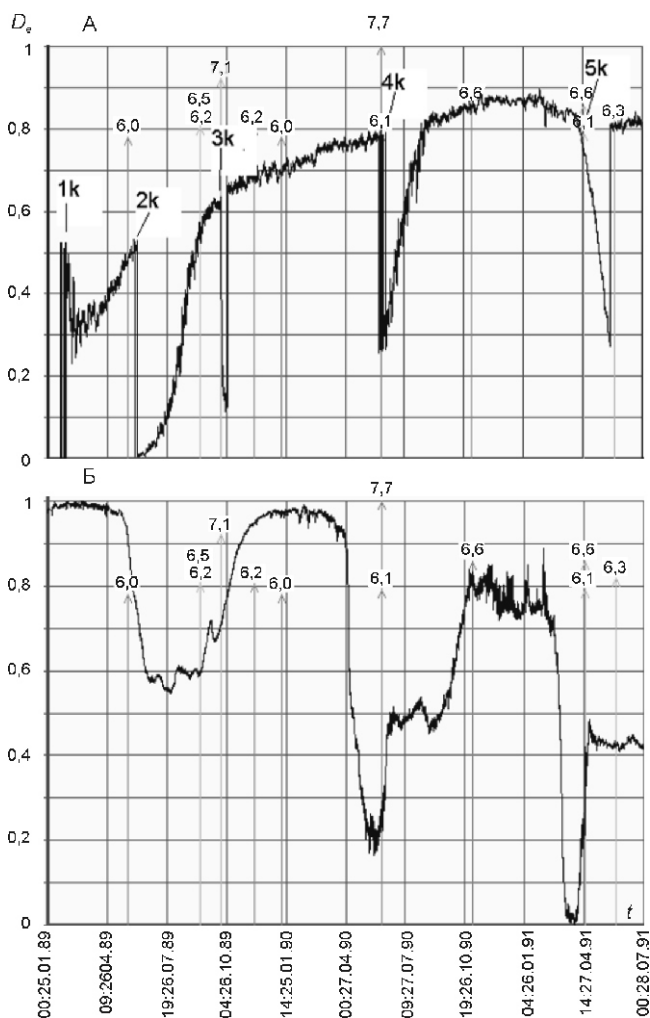


Рис. 7. Графики развития ГГД-поля за 30 месяцев (январь 1989 г.—июль 1991 г.):

А — Калифорния; Б — Кавказ

Следующая «ступень» сжатия (см. рис. 7, А, 2к), оборвавшая ход калифорнийской деформационной кривой, приходится на 11 мая 1989 г. Затем сразу после резкого срыва прослеживается быстрый рост деформации растяжения, который спустя 4 месяца завершился землетрясением Лома Приета. Последствием этого землетрясения была очередная фаза сжатия (с 18.10.1989 г.), длительность которой исчислялась 10 сутками (см. рис. 7, А, 3к). Через 10 дней ход процесса растяжения был так же резко восстановлен.

В другом эпизоде оборванная кривая  $D_c-t$  заменялась (с 18 июня 1990 г.) «частоколом» субвертикальных прямых, который в течение 11 последующих суток характеризовал колебательный процесс быстрых переходов среды от состояния предельных растяжений к предельным сжатиям и наоборот. Первый «срыв» сжатия зафиксирован в 8 часов 18.06.1990 г., а последний контрастный переход от сжатия к растяжению и обратно отмечен в 21 час 28.06.1990 г. (см. рис. 7, А, 4к). Следует подчеркнуть, что данный внезапный переход от растяжения к сильным сжатиям в Калифорнии на 2 суток «опередил» разрядку мощного землетрясения в Восточном полушарии (Рудбар, 20.06.1990 г., М 7,7), а сама иранская сейсмическая катастрофа произошла на фоне этого колебательного процесса.

Приведенные факты трудно рассматривать как случайность, поскольку подобных «совпадений» к настоящему времени зарегистрировано множество. Например, практически вслед за суматринским цунами был зафиксирован рой землетрясений в горах Врангеля на Аляске.

Если это так, то какова природа столь высокоскоростной передачи управляющих сигналов-триггеров?

Ранее, при рассмотрении специфических черт эндодренажной системы, подчеркивалась тесная гидравлическая взаимосвязь разных частей этой глобальной мегаструктуры, делающая ее высокочувствительным информационным проводником. При этом, учитывая выявленную закономерность инверсных взаимовлияний деформируемых геоблоков, отметим, что если в некоторых, даже сильно удаленных друг от друга точках системы появляются дополнительные внешние нагрузки, указанная система должна реагировать соответствующими изменениями поля напряжений—деформации во всех своих частях, т.е. очевидно, что функционирует некоторый универсальный механизм, который в реальном времени планетарно «распределяет» и поддерживает в геологических толщах тенденции развития поля напряжений—деформации.

В случае с Рудбаром на заключительном этапе подготовки землетрясения будущая эпицентральная область длительное время испытывала сильные растяжения, которые, по-видимому, внесли ощутимый «вклад» в напряженно-деформированное состояние всей глобальной эндодренажной системы.

Как развивалась в это время геодинамическая обстановка в Калифорнии (Паркфилд)?

Для рассматриваемого сегмента разлома Сан Андреас характерны тангенциальные напряжения между крыльями дислокации, что в новейшей геологической истории региона неоднократно приводило к значительным относительным перемещениям смежных участков, расположенных по обе стороны разлома. Вероятно, эти перемещения происходили как в результате сейсмических «срывов», так и вследствие криповых подвижек.

Как следует из графика  $D_c-t$ , в период созревания рудбарского землетрясения, калифорнийская часть эндодре-

нажной системы испытывала растягивающие напряжения. Этот достаточно долгий процесс растяжения сказался в направленном ослаблении связей сцепления между крыльями разлома, что при существующих в регионе тенденциях тангенциальных перемещений привело в 8 часов 18 июня 1990 г. GMT к многократной за несколько суток скачкообразной микроподвижке, «схлопыванию» крыльев разлома и кратковременному наступлению состояния сжатия. Поскольку мощности (глубины) данной системы очень велики, то система должна отличаться исключительно высокой пьезопроводностью. Именно поэтому срыв и схлопывание крыльев разлома Сан Андреас могли послужить триггером для уже «созревшего» рудбарского землетрясения, так как в эндодренажной системе был инициирован очень мощный гидравлический удар, который в короткое время дошел до зоны будущего сейсмического события.

Следует подчеркнуть, что и рассмотренный срыв, и другие зарегистрированные на полигоне Паркфилд нарушения геодинамического режима, по-видимому, характеризуют специфическую реакцию данного региона на перестройки поля напряжений и, вероятно, имеют естественный генезис. При этом, под вопросом остается только природа ступени 1к на калифорнийской кривой  $D_c-t$  (см. рис. 7, А, 1к). Поскольку расстояние по прямой между двумя рассматриваемыми ареалами составляет около 10 тыс.км, то скорость перестройки структуры поля напряжений—деформации (скорость передачи деформационного сигнала) можно было бы принять равной 200—210 км/ч.

Вместе с тем, исходя из представлений об эндодренажной системе, можно полагать, что скорость перемещения триггерного сигнала существенно превосходила приводимые значения, поскольку импульс должен был пройти за двое суток с запада на восток гораздо более дальним и извилистым путем (более 15 тыс.км) вдоль Американско-Азиатской части эндодренажной системы, т.е. с учетом ранее рассмотренных результатов становится возможным говорить о двух типах движения деформационного импульса в геологическом пространстве и соответствующих им скоростях деформационной волны: 1) «радиальной» волны деформации с перемещением возмущений от некоторого центра в сторону периферии (например, от воздымающегося блока) — скорость деформационной волны первые километры в сутки; 2) волны упругой отдачи или триггерной (тысячи километров в сутки).

Таким образом, мониторинг темпов развития деформационного процесса может стать важным источником информации о критических изменениях геодинамической обстановки глобального, субглобального и регионального масштабов.

Исходя из того, что сейсмические пояса Земли контролируются глобальной единой эндодренажной системой, а также принимая во внимание особенности деформационных эволюций крупных участков такой системы в периоды подготовки и реализации сильных землетрясений, сформулируем концепцию дискретного геодинамического мониторинга с целью прогноза сильных землетрясений, ориентированную на создание и эксплуатацию опорных полигонов.

Данная редакция отличается от ранее сформулированных нами принципов создания систем регионального мониторинга и предусматривает функционирование более экономичной, но информационно эффективной сети глобального мониторинга опасных геодинамических процессов. При размещении таких опорных полигонов следует

учитывать уровень сейсмичности среды, структурные особенности эндодренажной системы, а также демографический, экологический, социально-экономический и ряд других факторов, обычно принимаемых в расчет при оценке рисков природных катастроф.

Что касается собственно геологических показателей, то, очевидно, опорные полигоны должны размещаться в узловых частях эндодренажной системы, служащих соединительными частями между ее крупными составляющими.

В качестве опорных могут быть использованы уже имеющиеся полигоны в пределах Северо-Анатолийского разлома (Турция), на Кавказе (Россия, Азербайджан, Армения, Грузия), в предкопетдагской зоне (Туркмения), на Тянь-Шане (Казахстан), в Сихоте-Алине и на Сахалине с островами (Россия), на Хоккайдо и Хонсю (Япония), в Кордильерах (США).

Мониторинг напряженно-деформированного состояния геологической среды и прослеживание процессов эволюции в реальном времени должны осуществляться по единым методикам и согласованным программам.

Все опорные полигоны должны быть связаны между собой на информационном уровне, для чего потребуется создание единого органа мониторинга, представляющего интересы всех заинтересованных сторон и координирующего двух- и многосторонние связи между участниками такого проекта.

По мере появления новых сетей в пределах других участков эндодренажной системы к системе опорных полигонов могут подключаться новые звенья.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляевский Н.А., Борисов А.А.* Возможная роль основных интрузий в магматической активизации платформ и древних складчатых сооружений / Тектоника, магматизм и закономерности размещения рудных месторождений. — М., 1964. С. 7—20.
2. *Вартанян Г.С.* Роль процессов регионального метаморфизма в формировании некоторых типов минеральных вод и их провинций // Бюлл. МОИП. Отд. Геол. 1968. Вып. 3. Т. 18. С. 99—105.
3. *Вартанян Г.С.* Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. — М.: Недра, 1977
4. *Вартанян Г.С.* Способ прогнозирования землетрясений. Российский патент № 791021. 1979.
5. *Вартанян Г.С.* Способ изучения напряженного состояния массива. Российский патент № 776278. 1979.
6. *Вартанян Г.С.* Роль гидрогеодеформационного поля в эволюции подземной гидросферы // Отечественная геология. 1993. № 1. С. 91—95.
7. *Вартанян Г.С.* Гидрогеодеформационное поле в исследованиях механизмов геодинамики // Отечественная геология. 1995. № 4. С. 29—36.
8. *Вартанян Г.С.* Региональная система геодинамического мониторинга и проблема устойчивого развития государств сейсмоопасных провинций мира // Отечественная геология. 1999. № 2. С. 37—45.
9. *Вартанян Г.С.* Флюидосфера и эндодренажные системы Земли как ведущие факторы геологической эволюции // Отечественная геология. 2000. № 6. С. 14—22.
10. *Вартанян Г.С.* Геодинамический мониторинг и прогноз сильных землетрясений // Отечественная геология. 2002. № 2. С. 59—63.
11. *Вартанян Г.С., Кристенсен О.В., Госк Э., Цукуда Э.* Региональный метод краткосрочного прогноза сильных землетрясений // Отечественная геология. 2002. № 1. С. 3—8.
12. *Вартанян Г.С.* Геодинамические процессы во флюидосфере и некоторые их следствия. Отечественная геология. 2003. № 2. С. 44—50.

13. *Вартанян Г.С., Гарифуллин В.А., Шалина Т.Е., Шарпанов Н.Н.* Гидрогеодеформационное поле в период Спитакского землетрясения // Советская геология. 1990. № 1. С. 92—96.
14. *Вартанян Г.С., Гончаров В.С., Кривошеев В.П.* и др. Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STEPS) — М.: Геоинформмарк, 2000.
15. *Вартанян Г.С., Попов Е.А., Волейшо В.О.* и др. Методические указания по организации и проведению гидрогеологических наблюдений на специализированной наблюдательной сети в целях прогноза сильных землетрясений. — М., 1985.
16. *Вартанян Г.С., Юсупова И.Ф.* Особенности формирования трещинных зон во флюидогенерирующих толщах // Докл. АН. 2000. Том 370. № 3.
17. *Гамбурцев Г.А., Вейцман П.С.* Особенности строения земной коры в районе Северного Тянь-Шаня по данным сейсмического зондирования и сопоставления с данными геологии, сейсмологии и гравиметрии // Бюлл. Совета по сейсмологии АН СССР. 1957. № 3. С. 3—26.
18. *Гидродинамические предвестники землетрясений.* — М., 1984.
19. *Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г.* Глубинная геодинамика. — Новосибирск, 1994.
20. *Красный Л.И.* Восходящие глубинные и близповерхностные структуры и связанная с ними минерагения // Отечественная геология. 2000. № 6. С. 23—28.
21. *Леонов Ю.Г., Никонова А.А.* Проблемы неотектонического развития Памиро-Тянь-Шаньского горного сооружения // Геотектоника. 1988. № 2. С. 115.
22. *Николаев Н.И., Шенкарева Г.А.* Карта градиентов скоростей новейших тектонических движений территории СССР. Материалы совещания по проблемам неотектоники. — М.: Недра, 1967.
23. *Соболев Г.А.* Основы прогноза землетрясений. — М.: Наука, 1993.
24. *Стажило-Алексеев С.К.* О глобальной периодичности и повторяемости землетрясений // Седьмые геофизические чтения им. В.В.Федынского. — М., 2005.
25. *Шебалин Н.В.* Сильные землетрясения. — М.: Изд-во АГН, 1997.
26. *Шульц С.С.* Анализ новейшей тектоники и рельеф Тянь-Шаня. — М.: Географиз, 1948.
27. *Чедия О.К.* Новейшая тектоника Памиро-Тянь-Шаньского сектора / Тектоника Тянь-Шаня и Памира. — М.: Наука, 1983. С. 145—149.
28. *A collection of papers of international symposium on continental seismicity and earthquake prediction.* Beijing. Seismol. Press. 1984. P. 867.
29. *Bell J.S. and Babcock E.A.* The stress Regime of the western Canadian Basin and implications for hydrocarbon production, Bull. of Canadian Petroleum Geology. 1986. Vol. 34. № 3. P. 364—378.
30. *Cox J.W.* Long axis orientation in elongated boreholes and correlation with rock stress data. Proceedings of 24<sup>th</sup> Annual Logging Symposium. Calgary, 1983.
31. *Gough D.I. and Bell J.S.* Stress orientations from oil-well fractures in Alberta and Texas. Canadian Journal of Earth Sciences, 1981. Vol. 18. P. 638—645.
32. *Lay T., Williams Q., Garrero E.* The core-mantle boundary layer and deep Earth dynamics // Nature. 1998. Vol. 392/2. P. 461.
33. *Zoback M.L. and Zoback M.D.* State of stress in the conterminous United States // Journal of Geophysical Research. 1980. Vol. 85. P. 6113—6156.
34. *Vartanyan G.S.* Method of monitoring deformation of geological structures and predicting geodynamic events. European Patent. 1994.
35. *Vartanyan G.S.* Jeolojik vapilaraki deformasyonun deuetlenmesine ve jeodynamik olaylarin onceden tahmin edilmesine yarayan yontem. 1995. Турецкий патент.
36. *Vartanyan G.S.* d.... 1997. (Греческий патент).
37. *Vartanyan G.S.* United States Patent. Method of monitoring deformation of geological structures and predicting geodynamic events. 1998.