

УДК 505.3

## ГЛОБАЛЬНАЯ ЭНДОДРЕНАЖНАЯ СИСТЕМА: ПЕРСПЕКТИВЫ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОГНОЗА

© 2012 г. Г.С. Варганян

LSK Inc., Торонто, Канада–Россия

Любое природное явление (процесс) зарождается, развивается и прекращает существование в конкретной естественной среде. Поэтому изучение закономерностей его развития и прогноз его зарождения или исчезновения требуют углубленных представлений и о среде, в которой этот процесс отмечен. С этих позиций в статье рассмотрены некоторые черты строения и функционирования глобальной эндодренажной системы (ГЭДС) как геологической среды, где сосредоточены все сейсмические пояса и происходит большая часть сильных землетрясений мира. Приводятся основные принципы региональной гидрогеодеформатики – дисциплины, обеспечивающей методологическую базу мониторинга напряженно-деформированного состояния обширных геологических объектов для целей краткосрочного прогноза сильных и разрушительных землетрясений. По результатам многолетних наблюдений за эволюцией гидрогеодеформационного (ГГД) поля Земли даются примеры возможного сейсмического прогноза.

*Ключевые слова:* глобальная эндодренажная система (ГЭДС), эндодренажный аппарат, региональная гидрогеодеформатика, гидрогеодеформационное (ГГД) поле, ГГД мониторинг, предвестники землетрясений, прогноз землетрясений, глобальная сеть геодинамического (деформационного) мониторинга.

### Введение

Землетрясения сопровождают всю историю нашей планеты. Эти катастрофы сказываются особенно трагическим образом на жизни человеческого общества, поскольку на фоне гибели людей, что само по себе является ничем не восполнимой трагедией, возникают сложнейшие проблемы по восстановлению экономики и хозяйственной инфраструктуры больших регионов. По некоторым оценкам, в XX в. число погибших от землетрясений в мире составляло около 3.5 млн человек. Только за истекшие десять лет XXI в. от сильных землетрясений и цунами погибли более 640 тыс. человек.

Не поддаются суммарному учету материальные потери, экономический и морально-психологический ущерб, понесенный населением государств, которые подверглись удару этой внезапной и самой ужасной по своей разрушительной силе стихии.

Если же судить только о некоторых, видимых с первого взгляда потерях, то, например, такие три землетрясения, как Сан Фернандо, Лома Приета и Нортридж, стоили Соединенным Штатам Америки 29 млрд долл. (в ценах 1994 г.). И эта сумма потребовалась только для восстановления разрушенных зданий и инфраструктуры.

Ущерб от разрушений после катастрофического землетрясения в Японии 11.03.2011 г. составил не менее 210 млрд долл. Что касается подвергшейся удару атомной станции Фукусима, то радиоактивные последствия от этой природно-техногенной катастрофы, возможно, еще долго будут сказываться на жизни огромного ареала Земли.

Оказываясь перед лицом таких масштабных катастроф, человеческая цивилизация всякий раз должна решать сложнейшие проблемы стратегии выживания. При этом неоднократно возникали и продолжают возникать вопросы о целесообразности или правильности многих технических решений. Следует упомянуть, например, недавнюю катастрофу на нефтебуровой платформе «Deepwater Horizon» в Мексиканском заливе, надолго закрывшую возможность многих видов деятельности (в том числе и геологоразведочной) в этом регионе США с оживленным рекреационным, туристическим, ресторанным бизнесом, рыболовством и сельским хозяйством.

Разрушения на атомной станции Фукусима послужили импульсом для серьезного пересмотра энергетической политики в целом ряде государств, среди которых Германия оказалась страной-пионером, намеревающейся отказаться в ближайшем будущем от использования объектов ядерной энергетики. Однако такой решимости одной отдельно взятой страны, по-видимому, недостаточно, поскольку в соседних государствах, где уровень тревоги воспринимается не столь серьезно, объекты атомной энергетики эксплуатируются и их предполагается эксплуатировать в дальнейшем.

Характерно в этом смысле отношение шведской стороны к эксплуатации АЭС Барсебик, расположенной на берегу пролива Каттегат. По представлениям владельцев этой станции, ее конструкция отличается высшей степенью сейсмической защищенности.

Не касаясь вопроса о кратности запаса прочности таких дорогостоящих сооружений, какой является, в частности, станция Барсебик, отметим лишь, что узкий пролив Каттегат, разделяющий Данию и Швецию, является выходом на поверхность тектонических дислокаций линии Торнквиста, в пределах которых систематически регистрируются сейсмические проявления. В сочетании с присутствующим на берегу пролива ядерным объектом этот сейсмический потенциал представляет несомненную угрозу для экологии многих густонаселенных стран Балтийского региона. К числу таких же опасных объектов региона должны быть отнесены АЭС Форсмарк в Швеции и Олкилуото и Ахвенкоски на финском побережье.

Аналогичным образом можно было бы ставить вопрос об экологической безопасности и защищенности протяженных нефте- и газопроводов, которые пересекают геодинамически активные зоны, о сейсмической устойчивости транспортных (железнодорожных, автомобильных) магистралей, высоконапорных плотин в зонах сильных землетрясений (например, Рогунская ГЭС в Таджикистане, электростанция Тери в Гималаях, Индия), отдельных морских оснований для добычи нефти и др.

Названные и целый ряд других серьезных обстоятельств экологического, экономического, военного характера делают поиск надежных решений для распознавания сейсмически опасных ситуаций одним из жизненно важных императивов прикладной сейсмологии.

Когда человечество создало ядерное оружие, то потенциальные враги, опасаясь друг друга и отслеживая секретные испытания возможных противников, охватили планету сетью военных сейсмических станций. Многолетняя история взаимных «подсматриваний» показала, что даже достаточно слабые подземные взрывы и последующая перестройка недр в зоне эксперимента отчетливо фиксируются на больших удалениях (тысячи километров) от места эксперимента.

В ходе подобных испытаний были получены данные, исключительно важные для понимания многих процессов, протекающих в Земле. Так, просвечивание литосферы сейсмическими волнами от ядерных взрывов наряду с результатами мониторинга землетрясений позволили выявить существенные вариации напряженного состояния геологической среды [Гамбурицев, 1992; Гамбурицева и др., 2006; Адушкин и др., 2008], что стало важным подтверждением того, что в сейсмологическом смысле планета является единым и при кажущихся человеку огромными расстояниями небольшим космическим объектом.

Обращаясь к энергетически несравненно более могущественным геодинамическим процессам глубинной природы, ответственным за подготовку и реализацию широкой гаммы сейсмических событий, можно полагать, что при «созревании» по меньшей мере сильных землетрясений состояние недр планеты в целом меняется.

Что же представляет собой та среда, к которой приурочены все сейсмические пояса Земли? Возможны ли иные толкования процессов, нежели механическое столкновение литосферных плит?

### **Флюидосфера, эндодренажные аппараты и глобальная эндодренажная система Земли**

Для последующего рассмотрения проблемы сейсмического прогноза кратко сформулируем некоторые положения геологической эволюции Земли, которые приняты нами в качестве основы для анализа результатов многолетних исследований региональных деформационных процессов.

Так, предполагается главенство сложной цепи процессов глубокой температурной переработки исходного вещества планеты, сопровождаемого тотальной флюидизацией ее внутренних частей, ростом объема Земли как космического тела [Кери, 1991] и интенсивным дренажом недр [Вартанян, 2004]. Развивается предложенная ранее концепция [Вартанян, 2000, 2004, 2006] эндодренажной системы Земли (глобальной эндодренажной системы, ГЭДС), представляющей разветвленную сеть гидравлически (флюидофизически) взаимосвязанных каналов с высокой вертикальной проницаемостью. Эти каналы уходят в глубинные части Земли и геологически длительное время обеспечивают устойчивый транспорт продуктов высокотемпературной переработки вещества (в виде неразрывного в пространстве потока – от тяжелых расплавов до воды и газов) и энергии к поверхностным частям планеты и во внешнее пространство.

Хорошо изученные к настоящему времени некоторые характеристики глубинной жизни планеты свидетельствуют о том, что в развитии Земли ведущая роль принадлежит процессам высокотемпературной (термохимической) дифференциации вещества. Течение этих процессов обусловило формирование глобально целостной, постоянно развивающейся, стратифицированной *флюидосферы Земли* [Вартанян, 2000, 2004], в построении которой участвуют тяжелые расплавы, вязкие текучие минеральные образования, жидкости, летучие продукты плавления. Именно флюидная форма состояния вещества, начиная с самых ранних этапов геологического развития, оказалась причиной

массированного перераспределения и аккумуляции в пространстве планеты продуктов плавления различной плотности, уровня нагретости и способности к миграции.

Большим числом исследований [Добрецов, Курдюшкин, 1994; Hofmann, 1997; Wolfe et al., 1997; Lithgow-Bertelloni, Silver, 1998 и др.] показано, что на глубинах 2900, 660 и 100–300 км размещаются резервуары, накапливающие огромные объемы расплавов. Это дает основание рассматривать процессы выплавки широкой гаммы флюидов доминирующими в эволюции Земли, сопровождающими всю ее историю. При этом выявленные в последние годы под динамичными регионами Центральной Америки, Гавайями, Исландией, островами Тонга и др. [Borell, 2009; Wolfe et al., 2009 и др.] сравнительно узкие линейные структуры должны играть роль «дренажей-флюидоводов». По ним расплавленное глубинное вещество из очагов разогрева и резервуаров скопления транспортируется к дневной поверхности. Этим древнейшим, еще догеологическим формам мегасооружений (когда большекрупные «расколы» покрыли поверхность Земли) в процессах выноса флюидного вещества и энергии во внешнее пространство принадлежит определяющая роль.

В таком толковании можно говорить о гигантских энерго-массообменных «петлях» обращения планетного вещества, заложенных на ранних этапах жизни Земли. Дренажные каналы этих сооружений играли и продолжают играть роль природного механизма подобно аварийному клапану, регулирующему режим функционирования флюидосферы Земли и масштабы «приповерхностных» (коровых) процессов геодинамики.

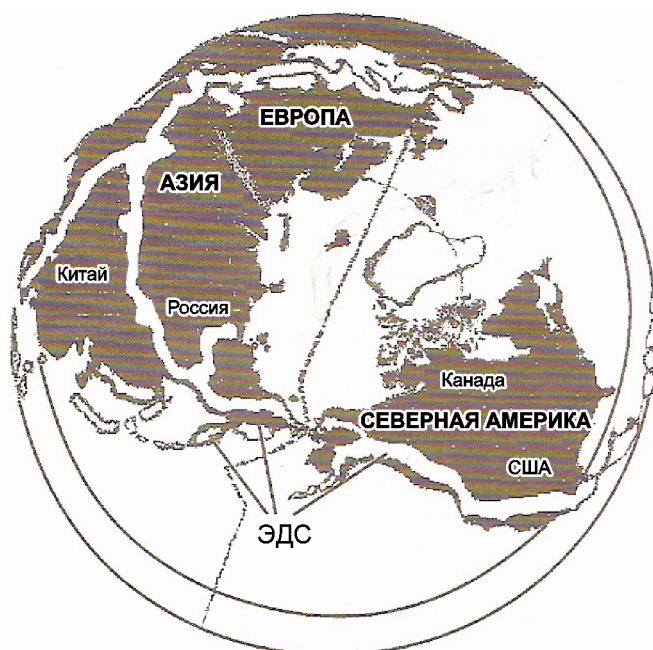
Каждая энергомассообменная «петля» выполняет функции автономного(?) эндодренажного аппарата (ЭДА), контролирующего состояние флюидосферы в пределах зоны действия теплового реактора, а вырабатываемые высоконапорные флюидные продукты исполняют роль поршня, выдавливающего вышележащие толщи наружу.

Процессы выноса глубинного вещества обеспечивают постоянное (возможно, с перерывами в геологическом времени) наращивание длины эндодренажного канала, перемещая вверх его лобовую границу на внешней части Земли (рис. 1).

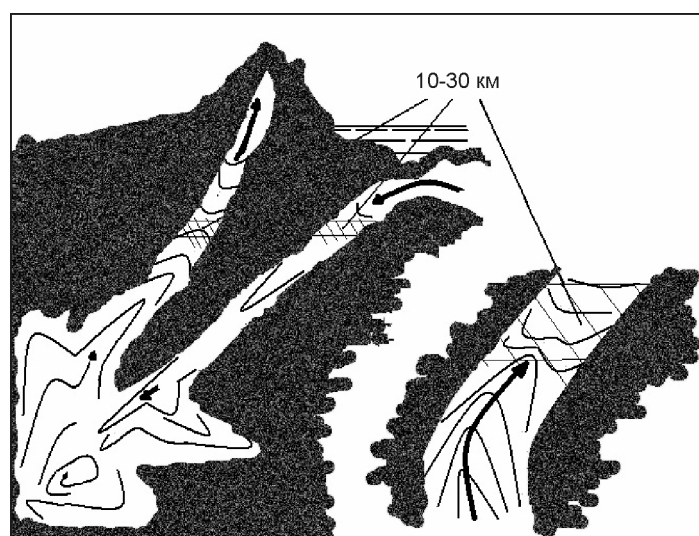
Вынос огромных масс глубинной материи к поверхности Земли нарушает материальный баланс вещества в области генерации флюида, что неизбежно должно было бы приводить к возникновению так называемого дефекта пространства (дефекта массы). Однако «убыль» за счет выноса вверх некоторой массы вещества регулируется полем силы тяжести, которое вызывает ответные, нисходящие движения «холодных» масс периферии. Вследствие этого материал с флангов по механизму компенсационного замещения гравитационно погружается в зону действия теплового реактора в количествах, эквивалентных массе удаляемых вверх расплавов.

Таким образом, сформировавшийся эндодренажный аппарат планеты можно представить в виде сооружения с двумя ветвями: выходной – восходящего движения глубинных флюидов [Вартанян, 2000; Красный, 2000] и входной – где идет процесс погружения материала коры вглубь. В замковой части (в основании) аппарата функционирует глубинный тепловой «реактор».

Из приведенного следует, что в основе функционирования ЭДА лежит термогравитационный механизм транспорта вещества и энергии вдоль V-образного флюидовода в сторону горно-складчатых сооружений, которые представляют собой специфический базис стока ЭДА. В формировании транспортируемого материала принимает участие глубинное вещество, впервые мобилизованное и вовлеченное в миграционный процесс, а также горные породы коры (в частности, океанической), «втянутые» в ветвь эндодренажного аппарата и претерпевшие повторную переплавку.



**Рис. 1.** Схема проявлений эндодренажной системы (ЭДС) Земли на поверхности. Северное полушарие, полярноцентрическая проекция



**Рис. 2.** Внемасштабный схематический профиль эндодренажного аппарата

Штриховкой показан интервал глубин 10–30 км, где господствуют процессы солидации глинных расплавов

Характерными поверхностными проявлениями зрелых эндодренажных аппаратов являются активные вулканы, горно-складчатые сооружения суши, срединно-океанические хребты, которые в совокупности представляют надстроечные части глубоководных энергофлюидоводов. К выходам нарождающихся ЭДА можно отнести тектонические расселины современных рифтов. Нисходящая ветвь морфологически представлена океаническими желобами и, по-видимому, протяженными предгорными впадинами (рис. 2).

Функционирование ЭДА создает условия для развития широкого спектра масштабных геодинамических процессов, включая горизонтальные движения плит. Этот постоянно действующий природный механизм обеспечивает дальнейшее латеральное перемещение геологического материала к зоне «втягивания-поглощения» масс на глубину, в сферу воздействия теплового «реактора».

Функционирование каждой ЭДА имеет индивидуальные особенности и, по-видимому, отличается неравномерным, пульсационным режимом, что определяет характер всех связанных с работой ЭДА геодинамических процессов. В частности, это может определять темпы горизонтальных перемещений геологических комплексов, участвующих в построении отдельных мегаструктур.

Очевидно, что совокупное, но с различной степенью интенсивности действие множества эндодренажных аппаратов, которые неравномерно распределены в объеме планеты, должно определять интегральный облик поля напряжений-деформации Земли и глобального поля скоростей горизонтального перемещения геологических мегаструктур.

Действующие эндодренажные аппараты выстраивают целостную многоэтажную и, как показывают исследования ГГД поля Земли, гидравлически (флюидофизически) единую глобальную эндодренажную систему (ГЭДС), к которой приурочена основная масса известных в настоящее время сейсмических поясов и регионов развития других разрушительных геодинамических процессов (см. рис. 1).

### **Сильные землетрясения как элементарные циклы глобального горообразовательного процесса**

В связи с сейсмическими процессами особый интерес в ГЭДС представляет интервал глубин 10–30 км, где сосредоточена основная масса гипоцентров сильных землетрясений.

Поскольку в соответствии с представлениями о функционировании эндодренажных аппаратов в качестве главного приводного процесса принимается движение высокотемпературных флюидов, обратимся к некоторым результатам петрологических исследований поведения базальтового расплава при смене температур и давлений.

В работе [Иодер, Тили, 1965] на примере гавайских базальтов показано, что при нормальном давлении температура солидуса расплава равна 1360 К (1087 °С), в то время как на глубине 80 км она увеличивается до 1550–1600 К (~1330 °С). Допуская, что за геологически длительное время на геотемпературный режим верхних частей ЭДА распространилось активное охлаждающее влияние наружной среды, оценим возможные последствия сопряжения двух тепловых фронтов – высокоэнтальпийного, восходящего, и внешнего, «холодного».

Надстроечная часть ЭДА, представленная в рельефе, в частности, горно-складчатыми сооружениями, отличается большой изрезанностью рельефа и огромной удельной поверхностью, с которой в атмосферу происходит постоянная потеря глубинной газовой составляющей. Наряду с охлаждающим воздействием истечения газов на потерю геологическими толщами тепла влияют интенсивно протекающие процессы атмосферной циркуляции и в целом низкие температуры внешней среды. Прямым следствием совокупного действия этих факторов является формирование холодного фронта, который за геологически длительное время проникает на большие глубины, возможно, превосходящие превышения горно-складчатых сооружений над поверхностью Земли.

Вследствие взаимодействия двух фронтов – восходящего, с высоким теплосодержанием флюида и «холодного», внешнего – в интервале глубин 10–30 км ЭДА формиру-

ются зоны со значительными темпами падения температур, которые оказывают прямое воздействие на состояние расплавов: высоконагретый восходящий флюид меняет свое физическое состояние от жидкого к вязкому, от вязкого – к твердому.

Иначе говоря, глубины 10–30 км представляют собой переходную термодинамическую зону, где из-за смены состояния флюида возникают огромные боковые сопротивления перемещению: каждая новая подвижка твердеющего штока должна преодолевать через нарушение связей сцепления с внешними стенками.

Приняв, например, что в пределах ЭДА средняя температурная ступень составляет 35 м/град, можно было бы ожидать, что восходящая базальтовая магма минует точку солидуса на глубинах ~38 км. Начиная с этих глубин ранее жидкий материал будет продвигаться вверх сначала в виде очень вязкого тела, а затем и жесткого штока.

При более низких значениях геотемпературной ступени, очевидно, солидификация глубинного расплава происходит на более высоких отметках геологического разреза. Так, исходя из гипотетической величины средней геотемпературной ступени 25 м/град, можно полагать, что флюид начнет отвердевать уже на глубинах ~27 км, и т.д.

Исходя из рассмотренной модели и учитывая, что гипоцентры большинства землетрясений «привязаны» к упомянутому интервалу глубин, можно ожидать, что средняя геотемпературная ступень для возникновения условий солидификации флюида на глубинах ~20 км ЭДА должна быть не выше 18–20 м/град.

Процесс перемещения вверх застывающего штока, по-видимому, протекает не однонаправлено, а имеет характер пилообразного возвратно-поступательного движения, что, в частности, подтверждают региональные деформограммы, получаемые при ГГД мониторинге всех землетрясений (см. ниже).

Разрывообразование в зоне солидификации приводит к испариванию напряженных вышележащих толщ и высвобождает накапливающуюся упругую энергию. С учетом современных неотектонических оценок, свидетельствующих о различии в скоростях роста отдельных участков горно-складчатых сооружений, можно предполагать, что такой процесс управляется различной интенсивностью перемещения застывающего флюида по латерали ЭДА. Такая неравномерность движения материала также будет создавать горизонтальные напряжения (и соответствующие им деформации) уже между участками с разными амплитудами воздымания.

Другой, существенной для сейсмического процесса границей, вероятно, является глубина залегания изотермы 374 °С, поскольку с переходом этого рубежа все пары воды переходят в жидкую фазу. Принимая в расчет ранее взятые геотермические характеристики среды, можно считать, что критическая для воды температура может достигаться на глубинах порядка 13–9 км. Это дает основание предполагать, что процессы собственно дилатантно-диффузионного растрескивания, которые, согласно представлениям разработчиков модели ДД, происходят при активном участии поровой воды, вероятнее всего, можно отнести лишь к случаю мелкофокусных землетрясений с глубинами, не превышающими 10(?) км. Либо же эти процессы должны рассматриваться как опосредованные от других, более глубоких геомеханических изменений геологической среды.

### **Предвестники землетрясений**

К группе предвестников землетрясений относятся любые материально-энергетические признаки смены состояния геологических объектов, испытывающих критические внешние нагрузки. Такие предвестники проявляются на разных стадиях

процесса подготовки сейсмического события перед разрушением материала горных пород и излучением упругой энергии [Соболев, 1993].

Из практики сейсмического мониторинга известно, что природа и форма проявления предсейсмических сигналов, время их появления и исчезновения связаны с текущим состоянием геологической среды, стадией развивающегося геодинамического процесса и его энергией.

Так, например, острые сигналы электромагнитной эмиссии отмечаются непосредственно перед разрядкой сейсмической энергии – за несколько часов до появления собственно сейсмологических сигналов, которые, в свою очередь, сопровождают процесс разрывообразования.

Предвестниковые сигналы, связанные с вариацией вещественного состава природных соединений (воднорастворенных или газообразных), отличаются широким разнообразием проявлений, что в значительной мере определяется региональной геохимической специализацией [King, 1978; Allegri et al., 1983; King et al., 1995; Tsunogai, Wakita, 1995 и др.]. Как показывает опыт, именно существенные геохимические различия масс горных пород в естественном залегании во многом затрудняют обобщение результатов мониторинга состояния геологической среды.

Особая группа предсейсмических проявлений относится к реакции живых организмов и их сообществ на процессы подготовки землетрясений. В широком смысле такая реакция на вариации состояния геологической среды в связи с ее геодинамическими эволюциями может рассматриваться как специфический социоповеденческий синдром. Это явление представляет собой следствие совокупного воздействия на биологические организмы комплекса различных полей (физической, химической природы), которые генерируются в результате быстрых смен состояния геологических толщ.

Наиболее опасными видами геодинамически активированного естественного «отравления» человека, по-видимому, являются те из существующих в природе воздействий, которые, не проявляясь как вполне очевидные, в то же время путем длительного микровоздействия на организм приводят к едва уловимым, но социально опасным модификациям поведения больших групп людей [Вартамян, 1993].

Поскольку этот природный феномен непосредственно влияет на состояние человеческого сообщества, особенности и временные интервалы его проявлений в периоды геодинамической активизации крупных сейсмически активных ареалов представляют собой отдельное, исключительно сложное геобиологическое направление исследований, которое, вероятно, должно осуществляться большими международными группами по специально финансируемому проекту.

В настоящее время известна по крайней мере одна большая работа, выполненная по программе ЮНЕСКО, где среди других был подвергнут исследованию фактор воздействия эндогенных проявлений на поведение человеческого сообщества.

Международная группа специалистов, работавшая под руководством Цезара Воута, исследовала обнаруженный совершенно нетронутым в джунглях о. Ява, покинутый людьми величественный комплекс построек Борободур, сооружение которого завершилось в 850 г., в период правления династии Сайлендра.

Оценив состояние всех объектов комплекса, исследователи заключили, что территория была оставлена достаточно поспешно, хотя, как полагают, речь не могла идти о каких-либо войнах и столкновениях, о чем должны были бы иметься исторические сведения.



По одной из версий (Ц. Воут) массовый и внешне никак не мотивированный исход населения из процветающего и обжитого региона с совершенной для того времени социальной иерархией был следствием незаметного воздействия на организмы геодинамических и биофизических (биохимических) факторов. То есть в данном случае могло остро проявиться упомянутый ранее социоповеденческий синдром [Deshpande, 1987].

### **Гидрогеодеформационное поле Земли. Региональный ГГД мониторинг: прогностические возможности**

Поскольку любое природное землетрясение есть результат критических деформаций горных пород и четко просматриваемой причинно-следственной связи «критическая объемная деформация геологических массивов – сейсмические проявления», в качестве ведущего предвестника для сейсмического прогноза и даже предсказания (prediction and forecast) было бы естественно принять направленность и темпы изменения деформированного состояния матрицы геологических толщ.

Таким образом, наблюдения за вариациями состояния поля напряжений–деформации недр могли бы стать одной из наиболее надежных мер мониторинга развития предсейсмической обстановки для своевременного учета критических моментов и предупреждения об опасности.

Вместе с тем сейчас уже ясно, что традиционная сеть дорогостоящих и весьма сложных в эксплуатации станций деформографических измерений из-за неоднозначности интерпретации получаемых результатов функцию сейсмического прогноза реализовать не может [Соболев, 1993]. Следует также добавить, что надрегиональные и субглобальные масштабы ареалов подготовки даже умеренных землетрясений резко снижают ценность информации, получаемой от нескольких, сильно разобщенных расстояниями деформографических станций. В то же время измерения на опорных деформографах могли бы оказаться важным звеном в тестировании, тарировке и, может быть, корректировке результатов исследований, которые начиная с 1985 г. выполняются в России и ряде стран СНГ по методологии региональной гидрогеодеформатики. Такие работы базируются на результатах мониторинга в режиме реального времени вариаций гидрогеодеформационного (ГГД) поля Земли [Вартанян, 1992, 1999; Вартанян и др., 1992, 2000, 2002; Vartanyan, 2001 и др.].

Сильно и быстро меняющееся поле напряжений–деформации в пределах флюидосферы Земли очень контрастно проявляется в режиме функционирования жидких фаз, заключенных в поровотрещинном пространстве горных пород.

Теоретические исследования реакции геологической матрицы и заключенной в ее поровом пространстве жидкости (воды) на меняющиеся во времени нагрузки [Щелкачев, 1946; Полубаринова-Кочина, 1952; Bredehoeft, 1967; Rice, Cleary, 1967 и др.] свидетельствуют о том, что жесткость породы в конкретной точке массива определяет степень воздействия внешнего давления на вариации напоров (давлений) флюидной составляющей.

Совершенно очевидно, что расчетный метод оценки рассматриваемого цикла задач представляет несомненную привлекательность, однако применяемые аналитические зависимости содержат ряд параметров ( $\Delta p$ ,  $\Delta \epsilon$ ,  $G$ ,  $V_u$  – приращение внешнего давления, приращение объемной деформации, модуль сдвига, коэффициент Пуассона соответственно), получение которых при региональных масштабах геодинамических исследований не представляется возможным. В реальной практике эти обстоятельства соз-

дают существенные ограничения в применении расчетно-аналитического моделирования для воспроизведения и исследования процессов формирования и эволюции поля напряжений–деформации в массивах горных пород.

Из обширного эмпирического материала следует, что скорости геодинамически контролируемого изменения напоров-давлений подземных вод существенно превосходят темпы возможного фильтрационного перераспределения сформировавшейся аномалии. В этом смысле каждое изменение геодинамической нагрузки на толщи, инициирующее перестроение поля напоров-давлений подземных вод (или других природных флюидов), можно рассматривать как мгновенный акт воздействия на среду-коллектор.

То есть во всех подобных случаях мы имеем дело с явлением, иным, нежели общепринятый и широко изученный процесс фильтрации в пористых или трещинных средах, и речь следует вести не о миграции флюидных (водных) масс, а о скоротечных перераспределениях геогидродинамических давлений в геологическом пространстве.

Такая петрофлюидная масса в естественном залегании представляет собой динамически безинерционную систему, которая «мгновенно» реагирует на любые изменения внешней нагрузки, приходящиеся на матрицу горных пород.

Это свойство геологической среды оказывается идеальной ее особенностью, дающей возможность осуществлять мониторинг всех текущих вариаций напряженного состояния обширных объектов, которые испытывают быстрые смены геодинамических нагрузок.

Разрабатываемая автором настоящей статьи в течение последних 30 лет методология региональной гидрогеодеформатики базируется на принципах мониторинга гидрогеодеформационного (ГГД) поля Земли. ГГД мониторинг представляет собой комплекс последовательных операций, направленных на получение текущих характеристик состояния подземной гидросферы (в основном напоров, уровней подземных вод) для последующей оценки знака и величины абсолютной (или относительной) деформации горных пород, выявления тенденций деформационной эволюции крупных геологических массивов, получения прогностических параметров.

Мониторинг реализуется на региональных сетях наблюдений, которые состоят из специализированных скважин, обеспечивающих получение информации в автоматизированном режиме с любой, наперед задаваемой дискретностью съема информации. В таких наблюдениях определяющим фактором являются конструкция и место расположения наблюдательной скважины. При выполнении методологических требований к отдельным скважинам и всей сети в целом, уровень измерения позволяет регистрировать деформации горных пород до  $d \cdot 10^{-7}$  –  $d \cdot 10^{-8}$  [Вартамян и др., 2000].

Имеющийся в настоящее время опыт позволяет говорить о том, что максимальные глубины скважин таких сетей могут не превышать 300–500 м (что наряду с рядом других показателей регламентируется экономическим фактором) и только в редких случаях достигать 1000–1500 м. В последнем случае – это, как правило, ранее пробуренные и оказавшиеся неэффективными скважины на нефть и газ и др. Допускается, что средняя плотность размещения наблюдательных скважин на местности 1 пункт/40 000 км<sup>2</sup> достаточна для отчетливой диагностики процессов подготовки сильных землетрясений ( $M = 6$  и выше).

Материал, полученный нами почти за 30-летний период времени изучения ГГД поля, свидетельствует о следующем.

Ткань ГГД поля Земли состоит из множества взаимосвязанных короткоживущих структур деформаций (сжатия и растяжения). Ее характерной чертой является спокойная и даже вялая «жизнь» в пределах геодинамически стабильных регионов Земли (щи-

тов, древних платформ). В то же время в регионах с активной геодинамикой, совпадающих с выходами на поверхность глобальной эндодренажной системы, ГГД поле отличается быстрыми перестроениями, скоротечными процессами возникновения и разрушения структур деформации, замещением структур одного знака (например, растяжения) структурами противоположного знака и т.д.

Каждая короткоживущая структура деформации – четырехмерное образование, в строении которой принимают участие породы разной степени деформированности – минимальной – на периферии структуры и максимальной – в центре объемного тела. Такое состояние среды отвечает уровню деформационной нагрузки на геологический массив в некоторый момент времени  $t$ .

В любом из сечений структура деформации – плоская фигура со сложной конфигурацией и концентрически расположенными поясами пород разного уровня деформированности.

Картографические модели показывают, что площадь деформации, оконтуриваемая каждой последующей изолинией, «вкладывается» в площадь, оконтуриваемую изолинией более низкого уровня. Такая ситуация складывается только в случае, когда рост структуры происходит постепенно от периферии к центральным частям, т.е. структура растет телескопически, выдвигая все более интенсивно деформированные близосевые элементы (рис. 3).

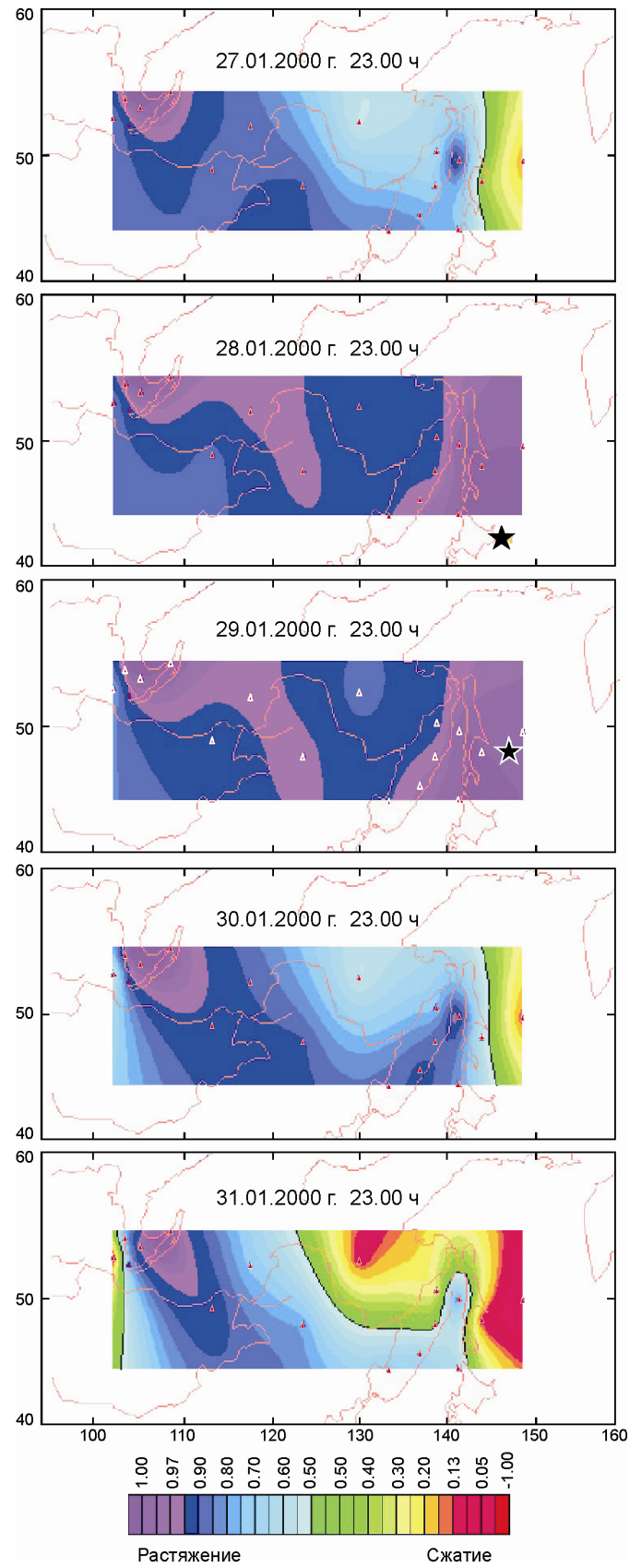
Такое образование обычно граничит с коротко живущей структурой деформации иного знака (например, сжатия вместо ранее рассмотренного растяжения). В этой граничной структуре также последовательно – от периферии к центру – нарастает уровень деформированности пород, а на отрезке, соединяющем центры-максимумы двух разнозначных соседствующих структур, фиксируется наибольший градиент деформации геологических толщ. То есть одномоментно (в момент времени  $t$ ) зарегистрированные на некотором участке мониторинга максимумы сжатия и растяжения являются лишь «краевыми» точками деформирования некоторой «единой» геологической толщи. Интенсивность (амплитуда) деформаций на этом участке для рассматриваемого  $t$  будет составлять сумму величин максимального растяжения и максимального сжатия.

Последовательно регистрируемые состояния ГГД поля региона мониторинга на моменты  $t_1, t_2, \dots$  дают представления о быстрых волнообразных эволюциях поля деформации. При этом прохождение деформационных волн отмечается как вдоль, так и поперек ЭДА. В сторону смежных, геодинамически пассивных сооружений такие волны уменьшаются или исчезают.

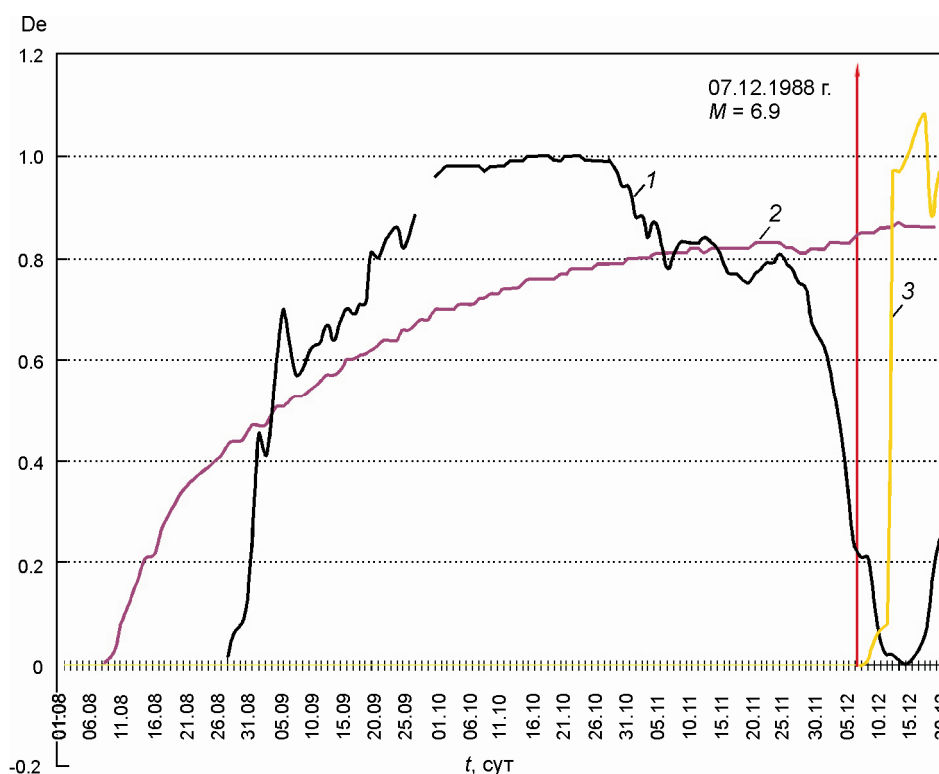
В динамике даже на коротких отрезках времени такие процессы проявляются как увеличение или уменьшение размеров отдельных короткоживущих структур, плавные «перетекания–замещения» структур одного знака образованиями противоположного знака и др.

Прямым следствием приведенных особенностей эволюции ГГД поля является тесная связь режимов функционирования как сближенных, так и далеко отстоящих один от другого участков Земли. Особенно контрастно процессы деформационного «взаимодействия» удаленных ареалов проявляются в пределах ГЭДС в периоды подготовки и реализации геодинамических катастроф.

В частности, перед Спитакским землетрясением режим деформирования геологических толщ обширного региона западного погружения Большого Кавказа (далее – Западный Кавказ) значительно отличался от того, который складывался в пределах геологических структур Малого Кавказа – будущего ареала катастрофического сейсмического события (рис. 4).



**Рис. 3.** Карты ГД поля Сибирско-Дальневосточного региона по состоянию на 27–31.01.2000 г. (в усл. ед.). Звездочка – эпицентр землетрясения на о. Хоккайдо ( $M = 6.9$ , 28.01.2000 г., 14.21 ч)



**Рис. 4.** Совмещенные деформограммы для нескольких смежных регионов Кавказа в период подготовки и после Спитакского землетрясения (01.08 – 20.12.1988 г.)

1 – Западный Кавказ; 2 – Малый Кавказ; 3 – Куринская впадина

Массивы Западного Кавказа в течение длительного времени (с 28.08.1988 г.) испытывали резкое растяжение, максимум которого пришелся на двадцатые числа октября 1988 г. После достижения пика растяжений в этом ареале столь же стремительно стали нарастать деформации сжатия, достигшие максимума к 15.12.1988 г. В этот же период Малый Кавказ (начиная с 08.08.1988 г.) испытывал процессы направленного растяжения.

Совмещение графиков деформограмм этих регионов свидетельствует о возникновении ситуации «коромысла», когда к моменту землетрясения (07.12.1988 г.) сжатия на Западном Кавказе достигли, по существу, максимальных значений, в то время как Малый Кавказ находился в состоянии устойчивого направленного растяжения.

Показательна также деформационная характеристика территории к северу от эпицентрального ареала, совпадавшей с Куринской депрессией, которая весь период подготовки и реализации землетрясения (начиная с августа 1988 г.) испытывала сжатия и только на вторые сутки после землетрясения (09.12.1988 г.) в этом регионе стали развиваться деформации растяжения.

Сравнение режимов развития деформаций значительно более удаленных друг от друга регионов также свидетельствует о сходстве их геодинамической эволюции. Так, рассмотрение особенностей деформационного развития Кавказа и калифорнийской части прибрежных хребтов США (район полигона Паркфилд) за период с января 1989 г. по июль 1991 г. (30 мес.) выявило достаточно тесные связи-подобия. В качестве геодинамических меток, поверяющих получаемые деформационные характеристики, принимались моменты и энергия сильных землетрясений, зафиксированных в отмеченный отрезок времени.

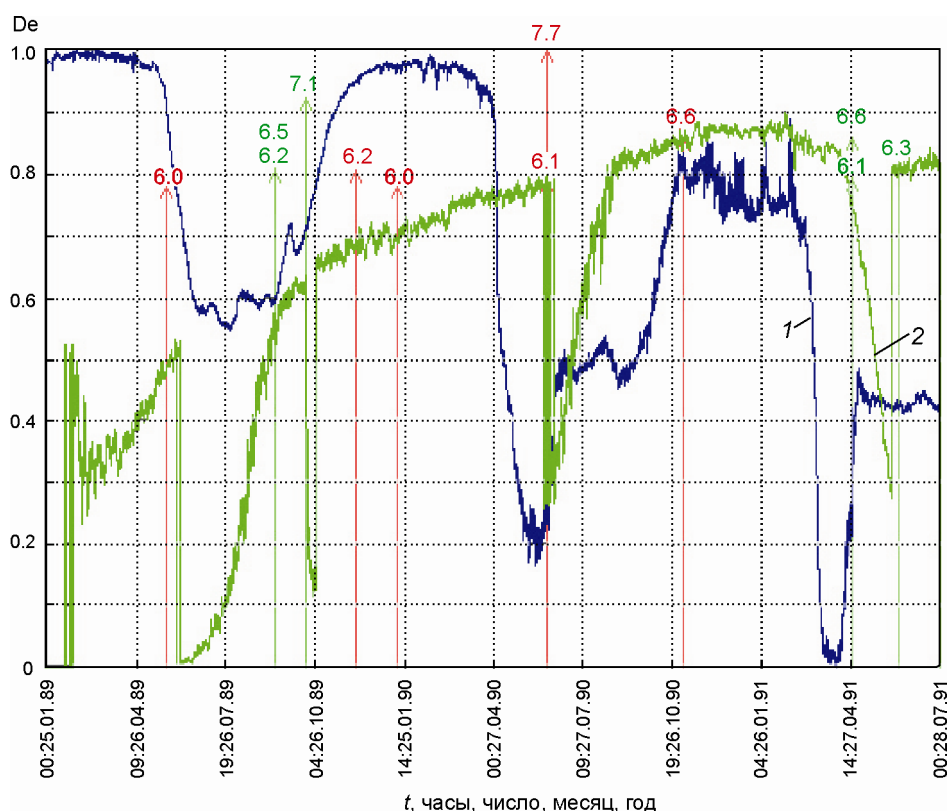
Анализ кривой  $De-t$  показывает, что на Кавказе за период наблюдений произошло значительное уменьшение интенсивности растяжения, тогда как в Калифорнии отмечена тенденция роста растягивающих деформаций (рис. 5).

Это явление заслуживает особого рассмотрения с учетом результатов недавно выполненного германско-американского спутникового эксперимента GRACE, который зафиксировал быстрые изменения высотного положения поверхности в одном регионе Земли и зеркально отраженные деформационные процессы – в другом.

Обращает на себя внимание интерпретация результатов, которую предлагают разработчики эксперимента, считающие, что, например, возникновение депрессий (прогибов поверхности) связано с кратковременными внешними нагрузками наподобие тропических дождей, выпадающих в Амазонии [Han et al., 2006].

Подчеркнем, что если с помощью GRACE были выявлены относительно краткосрочные «взаимодействия» противостоящих ареалов Земли, то приводимые нами графики  $De-t$ , которые базируются на результатах деформационного мониторинга крупных геодинамически активных регионов, характеризуют значительно более длительные отрезки времени.

Исходя из вышесказанного и принимая в качестве отправной концепцию неравномерно расширяющейся Земли, полученные результаты можно было бы интерпретировать как следствие развития (растяжения) одной части Земли за счет «угнетения» смежных или противостоящих сооружений.



**Рис. 5.** Совмещенные деформограммы для Кавказа (1) и Калифорнии (Паркфилд) (2) с 25.01.1989 г. по 27.07.1991 г.

В пользу такого вывода свидетельствует также анализ развивающейся обстановки с использованием методики межрегионального деформационного зондирования (МРДЗ) [Вартанян, 2008, 2010]. Исследования показали, что между удаленными друг от друга элементами ГЭДС существует определенная взаимосвязь: их деформационное развитие подчиняется некоторой единой для Земли закономерности – эволюции по спирали. Такая спираль отражает постепенное в реальном времени изменение физического состояния отдельных крупных геологических объектов и геологической среды в целом. В частности, генерализованная деформограмма, построенная на помесечных измерениях состояния геологической среды Кавказа и Калифорнии за 1990 г. дает представление о направленности развития каждого из ареалов и меру взаимоувязанности их деформационной эволюции (рис. 6).

Видно, что режим деформационного развития Кавказа и прибрежных хребтов Калифорнии подчиняется своеобразной схеме «коромысла»: растяжение, которое преобладает в Калифорнии, сопровождается процессами сжатия в горно-складчатом сооружении Кавказа и, наоборот, последующая смена знака деформации на растяжение в одном элементе ГЭДС вызывает сжатие в другом. За период наблюдений (1989–1991 гг.) в целом происходило существенное растяжение толщ Западного полушария и сжатие – Восточного.

Спирали, подобные рассмотренным выше, были получены при сопоставлении режимов деформационной эволюции других регионов мира – Копетдага, Тянь-Шаня, Японских островов.

Такие факты сопряженного деформационного развития сильно удаленных друг от друга ареалов дают основание полагать, что существуют некоторые глубинные процессы, регулирующие в реальном времени форму планеты в целом и, по-видимому, ее объем(?), вследствие чего растягивающие напряжения в одной части Земли должны компенсироваться соответствующими этому сжатиями в другой и т.д.

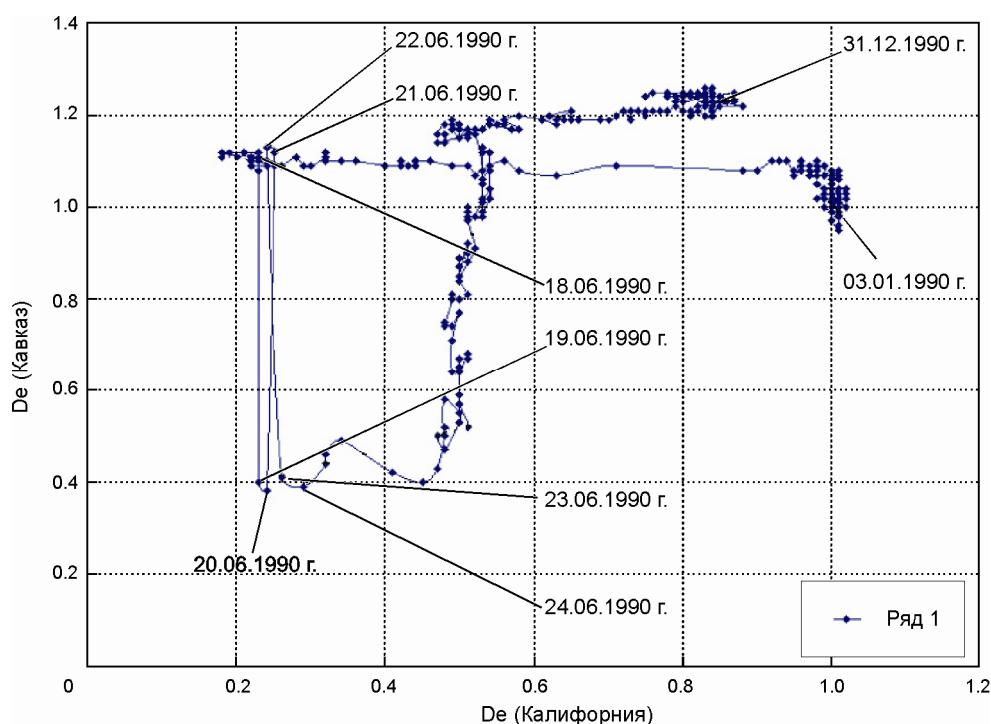


Рис. 6. Деформационная циклограмма для Кавказа – Калифорнии

Исходя из сказанного, можно думать, что вдоль условной линии Кавказ – Калифорния, в пределах других элементов ГЭДС (Карпаты, Балканы, Альпы, Апеннины, Пиренеи и др.) в рассматриваемый период времени должны были также происходить деформационные процессы, отвечающие схеме «коромысло».

На фоне «противофазных» режимов развития деформации (присущих, по-видимому, процессам глобальной эволюции Земли), выявлены также эпизоды «почти согласных» по времени и полностью совпадающих по знаку (сильные сжатия) изменений среды, которые прослеживались в периоды подготовки и реализации нескольких сильных землетрясений (см. рис. 5).

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». Только в одном случае – с 14.03.1991 г. по 08.06.1991 г. – кратковременная деформация сжатия в Калифорнии завершилась значительно позже исчезновения деформационного сигнала на Кавказе. В этот раз калифорнийский минимум «накрывал» сильное Рачинское землетрясение (29.04.1991 г.) и предшествовал Джавскому сейсмическому событию (15.06.1991 г.).

Рассматривая кривые деформации по этим сильно удаленным друг от друга регионам, в целом можно говорить о некоторых планетарно выдержанных(?) пульсационных процессах. После завершения каждой кратковременной фазы сжатия кривые  $De-t$  демонстрировали развитие ранее заложенных тенденций: рост растяжений в Калифорнии и их уменьшение на Кавказе.

С периодами сжатия связаны проявления мощных сейсмических событий. В частности, Иранское землетрясение произошло в период, когда в обоих рассматриваемых регионах – и на Кавказе, и в Калифорнии – происходили процессы сжатия. Разница заключалась лишь в том, что на Кавказе сжатия нарастали постепенно, а в Калифорнии они проявились как резкий срыв, который (если это не случайное совпадение) можно было бы рассматривать, как своеобразный триггер, поскольку через двое суток после него произошло Рудбар-Манджилское землетрясение.

После такого срыва в Калифорнии наметился процесс быстрого восстановления исходной ситуации, характеризуемой генеральным растяжением региона. Подобные тренды, по-видимому, могут рассматриваться как свидетельство большой инерционности системы крупных геоблоков, которая сразу после снятия кратковременных сейсмических возмущений восстанавливает ранее существовавшие тенденции деформационного развития [Вартанян, 2006].

### **Процессы, ответственные за формирование и функционирование ГГД поля Земли**

Процессы, ответственные за формирование и функционирование ГГД поля Земли, связаны с глобальным действием быстро меняющегося во времени поля напряжений. Природа таких перестроений определяется совокупным воздействием на жесткую литосферную часть Земли (возможно, и на более глубокие недра планеты) эндогенных, экзогенных, космогенных и даже техногенных факторов. Их индивидуальный вклад в формирование целостного облика поля напряжений–деформации крупных геологических массивов к настоящему времени изучен недостаточно. Вместе с тем сопоставление характера изменения ГГД поля в периоды геодинамической активизации регионов, на заключительных этапах подготовки сильных землетрясений и в моменты разрядки



упругой энергии дает основание считать, что на состояние литосферных толщ наиболее существенное влияние оказывают глубинные процессы. Охватывая ареалы ГЭДС (сейсмических поясов), эти процессы проявляются в своеобразной упорядоченности строения ГГД поля, когда короткоживущие структуры одного знака «выстраиваются» в крупные, протяженностью несколько сотен километров сооружения, граничащие с такими же линейными образованиями противоположного знака.

За несколько десятков часов до главного удара регистрируются масштабные быстрые перестроения ГГД поля, что хорошо видно на деформационных образах ряда сильных и катастрофических землетрясений. То есть, являясь «слепокми» постоянно меняющегося поля напряжений, структуры деформации обеспечивают возможность эффективного слежения (в режиме реального времени) за процессами предсейсмического роста напряжений и их релаксацией после сейсмической катастрофы.

Из результатов мониторинга ГГД поля, который выполнялся в периоды некоторых сильных землетрясений, следует, что доминирующими в функционировании регионального поля напряжений–деформации являются процессы неравномерного воздымания отдельных участков Земли вдоль латеральной протяженности эндодренажного аппарата.

Так, за период наблюдений с августа 1988 г. по 07.12.1988 г. подъем поверхности Земли в эпицентре Спитакского землетрясения составил 2.47 м. Н.В. Шебалин приводит характеристику подъема поверхности Земли при подготовке другого землетрясения – 1.3 м, и затем опускания – на 0.6 м. Вместе с остановкой вертикального роста эпицентрального массива прекратилось приращение его растяжений [Шебалин, 1997].

### Результаты и обсуждение

Говоря о деформационных прогностических признаках, связанных с функционированием ГГД поля Земли, можно отметить следующее.

1. Интенсивные деформационные процессы на заключительной стадии подготовки сильного землетрясения проявляются за несколько месяцев (Спитак – 4; Лома Приета – 5; Шикотан – не менее 15 и др.) до главного удара и охватывают протяженные ареалы сейсмических поясов (ГЭДС).

Интенсивные деформационные перестроения в периоды, непосредственно предшествующие сильным землетрясениям, были зафиксированы при таких сейсмических событиях, как Спитак (Армения, 1988 г.), Лома Приета (Калифорния, 1989 г.), Рудбар-Манджил (Иран, 1990 г.), Рача (Грузия, 1991 г.), Шикотан (Россия, 1994 г.), Кобе (Япония, 1995 г.), Измит (Турция, Дузце, 1999 г.) и др. То есть уже по характеру развития ГГД поля в том или ином регионе и по складывающемуся рисунку поля деформаций можно судить о степени «зрелости» сейсмоподготовительного процесса. Вместе с тем следует подчеркнуть, что этот прогностический признак, давая информацию о наступлении опасного периода в регионе, недостаточен для суждения о возможном месте и времени разрядки назревающего сейсмического процесса.

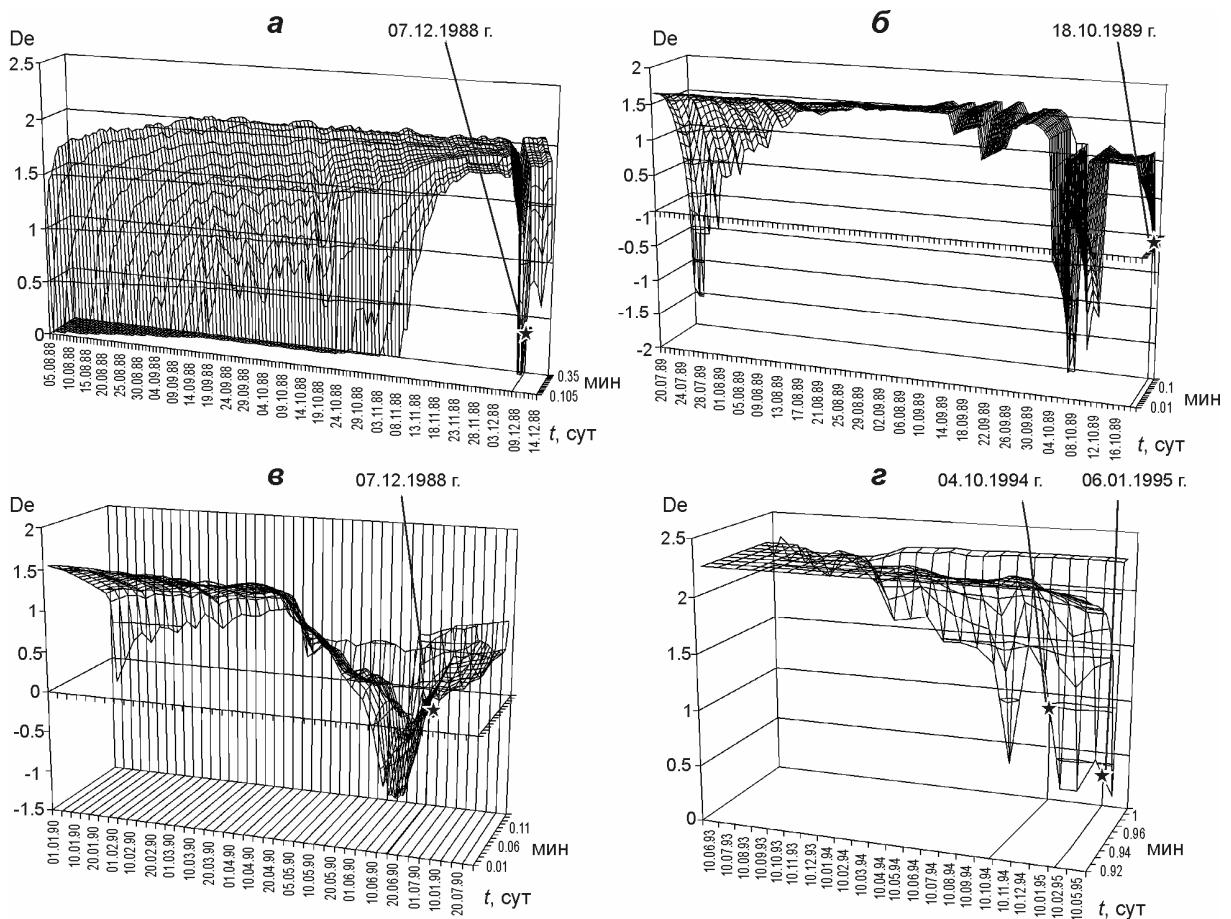
2. Сравнительно небольшое количество прямых наблюдений за эволюциями ГГД поля территорий, ставшими впоследствии эпицентральной областью (Спитак, Сахалин) или оказавшихся в пределах ближней периферии эпицентра (Лома Приета), свидетельствует о том, что на заключительных этапах процесс созревания сейсмической катастрофы протекает при господствующих растяжениях.

Косвенные свидетельства этому получены также и при других сильных, но удаленных от наблюдательных сетей землетрясениях: Рудбар-Манджил, Измит, Дузце, Шикотан, землетрясение 2011 г. в Японии ( $M = 9$ , март 2011 г.).

Этот показатель позволяет определять ареал, который может быть наиболее опасным в случае разрядки упругой энергии. Смежные области в этот же период характеризуются меньшими значениями растяжений или даже испытывают сжатия. Для этих ареалов возможен «отбой» сейсмической тревоги.

3. Дальнейшее диагностирование будущего эпицентра проводится путем оценки абсолютных величин растяжения горных пород в пределах оконтуриваемого ареала и вычисления (или измерения) значений возвышения точек наблюдения над исходными (в начале наблюдений) величинами. Будущая эпицентральная область характеризуется наивысшими значениями прироста объема пород и наибольшими превышениями точки наблюдения.

4. На заключительных этапах эволюции деформационного процесса, который развивается в пределах будущей эпицентральной области (или в ближней периферии), наблюдается субгоризонтальный участок деформографической кривой  $De-t$ , что свидетельствует о достижении массивом состояния предельных нагрузок, после которого следует ожидать разрушения материала горных пород (рис. 7).



**Рис. 7.** 3D-деформограммы периода подготовки и реализации Спитакского землетрясения (ареал мониторинга – Кавказ) (а); землетрясения Лома Приета (ареал мониторинга – полигон Паркфилд (Калифорния, США)) (б); Рудбар-Манджилского землетрясения (ареал мониторинга – Кавказ) (в); землетрясений Хоккайдо и Кобе (ареал мониторинга – полигон Суруга (Хонсю, Япония)) (г)

Звездочки на графиках – моменты главного удара

Вместе с тем судить о времени землетрясения по кривой, характеризующей ареал собственно эпицентральной зоны, не удастся. Как показывает опыт обработки данных ГГД мониторинга по ряду сильных землетрясений мира, надежно судить о времени сейсмической разрядки (с точностью от нескольких суток до двух недель) можно, анализируя данные по ареалам, значительно перекрывающим площадь будущего эпицентра. В этом случае оказываются учтенными все короткоживущие структуры деформации региона, которые «вносят свой вклад» в создание разрыва (см. рис. 7, а).

Так, например, за двое суток до Спитакского землетрясения зафиксировано растяжение ранее сжатых геологических сооружений, расположенных вдоль Рионской и Куринской впадин. Динамический анализ, проведенный с использованием карт ГГД поля, показал, что за это время здесь в направлении с запада на восток прошел сравнительно короткий импульс растяжений. Можно предполагать, что именно этот «скользящий» импульс оказался причиной разрыва в ранее растянутой эпицентральной области, которая располагалась южнее.

Время проявления деформационных предвестников будущей сейсмической катастрофы в значительной мере зависит от расстояния ареала мониторинга до будущего эпицентра и от его мощности.

Результаты обработки полевых данных о поведении уровня подземных вод на полигоне Паркфилд (Калифорния, США) с применением методологии региональной гидрогеодеформатики показали, что в регионе после достаточно длительного периода нараставших растяжений геологических толщ, в двадцатых числах августа 1989 г. была достигнута некоторая стабилизация процесса, что на 3D-деформограмме выразилось как субгоризонтальная плоскость графика (см. рис. 7, б).

С начала сентября 1989 г. на деформограмме отмечается период раскачивания, во время которого зародились пять последовательных циклов деформационных волн со все возрастающими амплитудами.

Уже по такому ходу деформационного процесса можно было бы судить о том, что регион вступил в период нестабильности, вероятно, предшествующей некоторому геодинамическому событию.

После серии резких изгибов, переломов, срывов и подъемов плоскости деформограммы, что свидетельствовало о быстрых сменах состоянии среды, в период с 10.10.1989 г. по 17.10.1989 г. ГГД поле вновь стабилизировалось (горизонтальный участок деформограммы).

18.10.1989 г. в 180 км к северу от полигона наблюдений Паркфилд произошло землетрясение Лома Приета, что на деформограмме отразилось как резко падающая плоскость, подчеркнувшая резкое возникновение процессов сжатия.

Особого обсуждения заслуживает реакция ГГД поля на подготовку сильно удаленных землетрясений. Показательны в этом отношении результаты наблюдений за уровнями подземных вод, выполненных Геологической службой Японии в период с 1993 по 1995 г. на полигоне Суруга (~250 км к югу от Токио), обработанные нами по методологии региональной гидрогеодеформатики.

На этот отрезок времени пришлось: одно катастрофическое Шикотанское землетрясение ( $M = 8.2$ , 04.11.1994 г.), разрушительные землетрясения в Кобе ( $M = 7.2$ , 17.01.1995 г.), Нефтегорское землетрясение, полностью уничтожившее населенный пункт ( $M = 7.1$ , 25.05.1995 г.).

3D-деформограмма, полученная в результате обработки полевых данных, свидетельствует, что нарастание деформации сжатия, которая предшествовала Шикотанскому

землетрясению, регистрировалось уже с середины 1993 г. При этом на полигоне, отстоящем от эпицентра землетрясения на расстояние ~1200 км, за 14 сут до события был зарегистрирован очень отчетливый, контрастный максимум сжатия, после чего начался быстрый процесс растяжения. За этот короткий период растяжения произошла разрядка сейсмической энергии (см. рис. 7, з).

Результаты, подобные описанным выше, были получены и на кавказской сети ГГД мониторинга в периоды подготовки и реализации удаленных Рудбар-Манджилского землетрясения ( $M = 7.7$ , 20.06.1990 г.) и землетрясений Измит и Дузце ( $M = 7.7$ , 1999 г.) (см. рис. 7, в).

Дальнодействие деформационных процессов особенно отчетливо проявилось на полигонах Кавказа и Калифорнии при подготовке и реализации Рудбар-Манджилского (Иран, 1990 г.) землетрясения. Расстояние между кавказским ГГД полигоном и эпицентром землетрясения в горах Эльбурса составляло около 1200 км. От калифорнийского полигона Паркфилд эпицентр готовящегося иранского землетрясения отстоял на расстояние не менее 16 000 км.

Как показали результаты обработки данных по вариациям уровней подземных вод на полигоне Паркфилд, геологические толщи региона длительное время испытывали рост деформаций растяжения. За двое суток до Рудбар-Манджилского землетрясения, 18.06.1990 г., ГГД поле здесь сменило знак. На графике этот процесс отобразился в виде резкого уступа-обрыва, который обозначил максимальные на тот момент деформации сжатия (см. рис. 5). 20.06.1990 г. произошло разрушительное Рудбар-Манджилское землетрясение.

Если зарегистрированная последовательность событий не случайное совпадение, то можно было бы предположить, что глобальная эндодренажная система на некотором уровне (астеносфера?) связывает «корни» всех разобщенных на поверхности эндодренажных аппаратов. Вдоль такого латерального проводника сигнал-триггер может идти кратчайшим путем до региона, где по уровню деформированности массивов уже созрели условия для разрушения. То есть необходим только инициирующий импульс, и неважно, где находится его источник.

Принимая расстояние между рассматриваемыми регионами равным ~16 000 км и учитывая, что время между резким деформационным срывом в Калифорнии (триггерный посыл) и главным ударом Рудбар-Манджилского землетрясения составило 62 ч (07:18.06.1990 г. – 21:20.06.1990 г.), среднюю скорость прохождения деформационной волны можно оценить равной ~260 км/ч, или 72 м/с, что характерно для проводящей среды с высокой вязкостью флюида.

Исходя из представлений о далекодействии триггерных деформационных импульсов, недавнюю мегакатастрофу в Японии ( $M = 9$ , 11.03.2011 г.) невозможно рассматривать отвлеченно от геодинамической обстановки в таком сейсмически активном ареале Земли, каким является Тихоокеанский регион.

Сейчас трудно оценить причину «пропуска» сигнала приближающегося грандиозного землетрясения, поскольку, как было показано, даже одна только сеть наблюдательных скважин полигона Суруга обеспечивала вполне качественные фактические данные для «отслеживания» развития геодинамической обстановки при подготовке и менее мощных и более удаленных землетрясений.

Можно только с уверенностью говорить о том, что интенсивные деформационные процессы, которые длительный период развивались в обширном регионе Тихого океана

и материковой части Восточной Азии, должны были быть очень контрастными и устойчивыми.

Основанием для таких утверждений служат результаты работ службы мониторинга геодинамических процессов России за 2010–2011 гг. Этими исследованиями, в частности, показано [Стажило-Алексеев, 2011], что в пределах огромной территории – от Байкала до Камчатки – в период с начала января 2010 г. и до конца марта 2011 г. были зафиксированы две фазы сильных растяжений. Эти фазы разделены коротким, двухмесячным (август–сентябрь 2010 г.) промежутком, когда в регионе господствовали сжатия.

Сразу вслед за сжатиями августа–сентября 2010 г. в регионе Байкала стали вновь быстро формироваться протяженные структуры растяжения, которые «волной» мигрировали на юго-восток в сторону Японских островов. Характерно, что максимум второй фазы растяжений совпал по времени с моментом катастрофического землетрясения в Японии и, по-видимому, мог бы рассматриваться как фактор, инициирующий уже подготовленное землетрясение.

Таким образом, особенности деформационной эволюции Сибирско-Дальневосточного региона прямо свидетельствуют о гигантских ареалах, участвовавших в процессах геодинамической эволюции, результатом которых стала сейсмическая катастрофа 11.03.2011 г.

Подчеркнем, что процесс миграции растяжений со стороны флангов к будущему эпицентру японского землетрясения был, несомненно, масштабнее деформационных эволюций при Спитакском событии, но вместе с тем повторял его по схеме развития: растягивающие напряжения на флангах, вызывающие в ранее предельно растянутых массивах будущего эпицентра сильные сжатия.

Из рассмотренного материала, таким образом, следует, что сейсмоподготовительные процессы имеют глобальные и субглобальные масштабы, развиваются в пределах структур (аппаратов) глобальной эндодренажной системы и охватывают ареалы в миллионы квадратных километров.

### Заключение

Опыт регионального мониторинга напряженно-деформированного состояния геологической среды в пределах глобальной эндодренажной системы свидетельствует, что поскольку процессы подготовки сильных и катастрофических землетрясений охватывают одновременно территории многих государств, единственно разумным и неизбежным императивом для своевременного выявления геодинамически опасных периодов должны стать коллективные интернациональные меры.

Ввиду того, что землетрясение по эквивалентности разрушающего воздействия на инфраструктуру, масштабам психологического воздействия и экономическим последствиям для жизнедеятельности огромных густонаселенных регионов является стихийным бедствием массового поражения, представляется целесообразным создание Международной службы геодинамического (деформационного) мониторинга с целью прогноза сильных и катастрофических землетрясений. Служба может работать по фасетному принципу, когда каждая страна-участница с учетом согласованных в рамках международного проекта методологических принципов создает собственную (национальную) систему мониторинга и обменивается срочной информацией с Международным информационно-аналитическим центром, который несет ответственность за обработку

поступающих данных и оповещение заинтересованных сторон о состоянии геодинамической обстановки.

Очевидно, что одновременная оценка режима деформационной эволюции в пределах наиболее геодинамически активных элементов ГЭДС, подобно Японским островам, Алеутам, Тянь-Шаню, Кавказу, Карпатам, Альпам, Апеннинам, Пиренеям и др., может обеспечить слежение за многими меняющимися характеристиками Земли, в том числе за вариациями формы планеты, прохождением деформационных волн и процессами подготовки сильных землетрясений. Кроме того, информация о состоянии геологической среды, постоянно поступающая с опорных полигонов, будет обеспечивать решение многих экологических и хозяйственно-экономических проблем международного сообщества.

Базовыми решениями в отслеживании эволюции ГЭДС, которые происходят в реальном времени, могут стать методология региональной гидрогеодеформатики и техника ГГД мониторинга в сочетании с традиционными решениями современной сейсмологии и других геофизических подходов.

Очевидно, что для этих решений потребовалась бы определенная корректировка существующих парадигм сейсмического прогноза, реализация ряда технических и технологических мероприятий. Эти действия должны включать создание специализированной сети опорных полигонов наблюдений за эволюциями деформированного состояния геологической среды и сопряжение этой сети на физической и методологической основе с существующими мировыми сейсмологическими сетями. Разрушения предотвратить нельзя, но заблаговременно предупреждая о сейсмическом событии, можно избежать или существенно уменьшить число человеческих жертв и спасти некоторую часть имущества и национального достояния.

## Литература

- Адушкин В.В., Гамбурцева Н.Г., Санина И.А. и др.* О результатах долговременного просвечивания литосферы сейсмическими волнами сильных взрывов и землетрясений // Докл. РАН. 2008. Т. 418, № 1. С. 95–100.
- Вартамян Г.С.* Гидрогеодеформационное поле в период Спитакского и Калифорнийского землетрясений // Сов. геология. 1992. № 1. С. 3–12.
- Вартамян Г.С.* Геодинамические катастрофы и социоповеденческий синдром // Отеч. геология. 1993. № 6. С. 90–92.
- Вартамян Г.С.* Гидрогеодеформационное поле в исследовании механизмов геодинамики // Отеч. геология. 1995. № 4. С. 29–37.
- Вартамян Г.С.* Региональная система геодинамического мониторинга в проблеме устойчивого развития государств сейсмоопасных провинций мира // Отеч. геология. 1999. № 2. С. 37–45.
- Вартамян Г.С.* Флюидосфера и эндодренажные системы Земли как ведущие факторы геологической эволюции // Отеч. геология. 2000. № 6. С. 14–22.
- Вартамян Г.С.* Флюидосфера Земли // Планета Земля: Энциклопедический справочник. Т. 1. Тектоника и геодинамика. М.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2004. 652 с.
- Вартамян Г.С.* Эндодренажная система Земли и сейсмичность: перспективы мониторинга // Отеч. геология. 2006. № 1. С. 41–52.
- Вартамян Г.С.* Некоторые деформационные механизмы функционирования эндодренажной системы Земли и сейсмичность // Отеч. геология. 2008. № 2. С. 18–27.

- Вартанян Г.С. Эндодренаж Земли и глобальная геодинамика // Отеч. геология. 2010. № 3. С. 66–75.
- Вартанян Г.С., Бредехоэфт Дж.Д., Роуэллоффс Э. Гидрогеологические методы исследования тектонических напряжений // Сов. геология. 1992. № 9. С. 3–12.
- Вартанян Г.С., Гончаров В.С., Кривошеев В.П. и др. Методические указания по ведению гидрогеодеформационного мониторинга для целей сейсмопрогноза (система R-STEPS). М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2000. 78 с.
- Вартанян Г.С., Кристенсен О.В., Госк Э., Цукуда Э. Новый региональный метод прогноза сильных землетрясений // Отеч. геология. 2002. № 1. С. 3–15.
- Гамбурцев А.Г. Сейсмический мониторинг литосферы. М.: Наука, 1992. 200 с.
- Гамбурцева Н.Г., Сабитова Т.И., Султанова Д.Д. и др. Геодинамические процессы в сейсмоактивных районах Тянь-Шаня по данным мониторинга с использованием ядерных взрывов // Физика Земли. 2006. № 4. С. 3–13.
- Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г. Глубинная геодинамика. Новосибирск: Наука, 1994. 299 с.
- Иодер Г.С., Тили К.-Э. Происхождение базальтовых магм. М.: Мир, 1965. 248 с.
- Кери У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной. М.: Мир, 1991. 447 с.
- Красный Л.И. Восходящие глубинные и близповерхностные структуры и связанная с ними мигрирования // Отеч. геология. 2000. № 6. С. 23–28.
- Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. М.: Гостехиздат, 1952. 676 с.
- Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. М.: Наука, 1993. 313 с.
- Стажило-Алексеев С.К. Сводка о сейсмогеодинамической обстановке Дальневосточного региона на апрель 2011 г. Сайт в Интернете: [geomonitoring.ru](http://geomonitoring.ru)
- Шебалин Н.В. Полевые наблюдения и возможности интерпретации движений в ближней зоне сильного землетрясения // Сильные землетрясения. М.: Изд-во АГН, 1997.
- Щелкачев В.Н. Основные уравнения движения жидкости в упругой пористой среде // Докл. АН СССР. 1946. Т. 52, № 2. С. 103–106.
- Allegri L. et al. Radon and tilt anomalies detected before the Irpina (South Italy) earthquake of November 23, 1980 at great distances from epicenter // Geophys. Res. Lett. 1983. N 10. P. 269.
- Borell B. Deep structure images under Hawaii // Naturenews. 2009, December.
- Bredhoeft J.D. Response of well-aquifer systems to Earth tides // J. Geophys. Res. 1967. V. 72. P. 3075–3087.
- Caray S.W. The expanding Earth. Amsterdam: Elsevier, 1976. 448 p.
- Deshpande B.G. Earthquakes, animals and man. Pune, India: The Maharashtra Association for the Cultivation of Science, 1987. 120 p.
- Han S.-C., Shum C.K., Jekely C. Precise in situ geophysical differences from GRACE low-low satellite-to-satellite tracking and accelerometer data // J. Geophys. Res. 2006. V. 111. B04411. doi: 10.1029/2005JB003719.
- Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // Nature. 1997. V. 385. P. 219–229.
- King C.Y. Radon emanation on the San Andreas fault // Earthq. Inform. Bull. 1978. V. 10, N 4.
- King C.Y., Koizumi N., Kitagawa Y. Hydrogeochemical anomalies and the 1995 Kobe earthquake // Science. 1995. N 269. P. 38–39.
- Lithgow-Bertelloni C., Silver P.G. Dynamic topography, plate driving forces and the African super-swallow // Nature. 1998. V. 395. P. 269–272.
- Rice J.R., Cleary M.P. Some basic stress diffusion solutions for fluid-saturated elastic porous media compressible constituents // Rev. Geophys. Space Phys. 1967. V. 14. P. 227–241.
- Tsunogai U., Wakita H. Precursory chemical changes in ground water: Kobe earthquake, Japan // Science. 1995. N 269. P. 61–63.

- Vartanyan G.S.* The regional system of geodynamic monitoring: Sustainable development of seismic-prone regions // UN Forum on Urban Geology in Asia and the Pacific: Proc. Thailand, Bangkok, 2001. P. 355–374.
- Wolfe C.J., Bjarnason I.Th., VanDecar J.C., Solomon S.C.* Seismic structure of Island mantle plume // Nature. 1997. V. 385. P. 245–247.
- Wolfe C.J., Solomon S.C., Laske G. et al.* Mantle shear-wave velocity structure beneath the Hawaiian hot spot // Science. 2009. V. 326, N 58/59. P. 1388–1390.

*Сведения об авторе*

**ВАРТАНЯН Генрих Сенекеримович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор, научный консультант, LSK Inc. One Valhalla Inn Road, TH-22, Toronto, ON, Canada M9B. 1S9. E-mail: Isk.invar@gmail.com; gayanav@hotmail.com

**THE GLOBAL ENDO-DRAINAGE SYSTEM:  
PROSPECTS OF SEISMIC PREDICTION**

**G.S. Vartanyan**

LSK Inc., Toronto, Canada–Russia

**Abstract.** Each natural phenomenon (process) occurs, develops and dies away within the specific environment. Studying patterns of any process and its forecasting require thorough knowledge of the host environment. From this point of view some characteristic features of the Global endo-drainage system (GEDS) – its structure and functions are considered. The system itself is considered as the geological medium which includes all Earth's seismic belts where most of the earthquakes occur. Basic principles of the hydrogeodeformatics providing the methodology for the strain-field monitoring and strong earthquake's prediction are also given. Based on the long term monitoring of the Earth's hydrogeodeformation field, some examples of such predictions are given.

*Keywords:* the Global endo-drainage system (GEDS), endo-drainage apparatus, the regional hydrogeodeformatics, the hydrogeodeformation field of the Earth, HGD-monitoring, earthquake precursors, earthquake prediction, global network for geodynamic processes monitoring.