

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРИГГЕРНЫХ ЭФФЕКТОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ: СПУСКОВОЙ КРЮЧОК ИЛИ ОТРАЖЕНИЕ ПЛАНЕТАРНОЙ ДЕГАЗАЦИИ

И.Л. Гуфельд¹, О.Н. Новоселов²

¹ИФЗ РАН

²МВТУ

Интерпретация действия электромагнитных полей и подземных ядерных взрывов как триггеров пересмотрена с учетом перманентной неустойчивости среды. Показано, что электромагнитные триггеры (магнитные бури, МГД генератор) не могут оказывать влияние на изменение режима сейсмичности. Изменение пространственного режима слабой сейсмичности контролируется разномасштабной водородной дегазацией и упругими волнами различных источников.

Введение

Триггерные эффекты и триггерные процессы достаточно подробно изучаются в технике, медицине, экономике и других направлениях. Однако смысл этих слов в различных науках может быть различным, как и действующие факторы. В самом общем понимании триггерные эффекты сводятся к реакции объекта на слабое внешнее воздействие (триггерная стимуляция), существованию триггерной зоны внутри объекта, имеющей самый низкий порог реакции. К этим определениям необходимо добавить классическое определение из радиотехники, где триггерная система может длительная время находится в одном из устойчивых состояний и переводиться в другое состояние при внешнем воздействии. Особенностью же большинства природных или живых объектов является отсутствие у них устойчивых состояний., большинство из них перманентно неустойчивы. К таким системам относится геологическая среда. Очевидно, что такую среду нельзя отождествлять с лабораторным образцом даже в сильном приближении. Отличием триггерных явлений (эффектов) в геологической среде от таковых в других объектах является то, что мы не знаем реально какой стимулирующим фактор на какие процессы или состояние среды действует, какие процессы произошли в среде после этого и отражает ли контрольный мониторинг эти процессы. Это можно пояснить на примерах действия на среду магнитных бурь, МГД генератора, техногенных или других факторов, в том числе природных.

СРЕДА МОНИТОРИНГА. ОСОБЕННОСТИ.

Однако прежде нужно представлять с какой средой (структура, действующие силы, фоновое состояние) мы работаем. Поверхностный слой литосферы не нагружен, расслоен, в нем в принципе не могут накапливаться напряжения, на него оказывают существенное

влияние метеорологические факторы, лунные приливы, микросейсмы, там же наблюдается активная флюидодинамика. Однако в этом слое ищут в различных методах отражение процессов, происходящих в более глубоких слоях, именно в этот слой вводится электромагнитная энергия от искусственных источников.

В более глубоких слоях, начиная с 5 - 7 км, за счет литостатического давления среда переходит в трещиноватое состояние, на этой глубине достигается уже предел упругости. При наличии флюида происходит дополнительное микроразрушение. Более высоких напряжений достичь нельзя, поэтому не может идти и речь о накоплении дополнительных напряжений, среда уже находится в почти предельном по упругой энергии напряжении. При медленном и непрерывном реидном течении среды сильные сейсмические акты (события) вообще не могут происходить в этих условиях. Однако они происходят. При землетрясениях снимается малая часть фоновой (предельной) упругой энергии, максимум десятки бар (критическая деформация для литосферы около 0.0001). Следовательно, проблемы накопления и разрядки напряжений в среде не существует. Большинство сильнейших сейсмических актов происходит на уже существующих границах блоков и плит. И это не разрыв или трещина (это, как известно, пороговые акты), а быстрая подвижка блоков или отдельных относительно друг друга. Аналогичная ситуация для сейсмического процесса в океанической плите зоны субдукции. Однако, как показывает мониторинг, параметры среды испытывают непрерывные вариации, т.е. среда находится в перманентно неустойчивом состоянии (Динамические..., 1994). Наблюдаемые быстрые разномасштабные и несинхронные изменения полей происходят в условиях квазипостоянных градиентов литостатического давления и температуры, а также весьма медленных тектонических движений (реидное течение). Быстрые (от часов и более) вариации параметров среды не могут быть связаны с медленными тектоническими движениями, но они отражают слабые вариации объемно-напряженного состояния (ОНС) среды. Эти наблюдения показывают отражение или реакцию среды на взаимодействия с восходящими потоками водорода и гелия. Наблюдаемые вариации ОНС среды, вплоть до границы Мохо, связаны с периодическими изменениями объема различных элементов среды вблизи равновесного состояния при действующих локальных P - T условий. Не изменяя уровень напряженного состояния среды, водородная дегазация может оказывать сильное влияние на свойства граничных слоев существующих разрывных нарушений различного ранга, контролирующей движение блоков (отдельностей) относительно друг друга [Гуфельд, 2007; Гуфельд, Новоселов, 2015; Гуфельд и колл., 2010].

ОБ ОБЪЕКТИВНОСТИ АНАЛИЗА "ТРИГГЕРНЫХ" ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СРЕДУ

В данной работе нас интересует вопрос, насколько был объективен анализ процессов реакции перманентно неустойчивой и предельно энергонасыщенной геологической среды на весьма слабые внешние воздействия: магнитные бури, импульсы МГД генератора, сейсмические волны подземных ядерных взрывов и землетрясений, представляемых как триггеры. Именно малость вводимой в среду энергии и неопределенность в представлениях о процессах взаимодействия действующих полей со средой, заставляют задуматься о реальности реакции среды на действие этих факторов, учитывая, что в существующих представлениях сейсмический акт является пороговым. В качестве критерия силы воздействия примем соотношение энергии, вводимой в объект, с энергией тепловых флуктуаций kT , где k - постоянная Больцмана, T - температура (при нормальных условиях $kT \sim 4 \cdot 10^{-21}$ Дж, в экстремальных условиях эта величина больше). Очевидно, что нельзя сравнивать по действию на среду энергии электромагнитных и волновых сейсмических источников, не рассматривая природу их взаимодействия со средой. В связи с этим представляется уместно сравнить ситуации с триггерным воздействием на образцы и реакцию геологической среды на различные способы воздействий на нее.

Лабораторные эксперименты (список литературы в [Гуфельд, 2007]). Образцы нагружались до уровня $\sigma \sim 0.9\sigma_k$ (где σ_k - предельное напряжение нагрузки). Контролировались деформация и акустическая эмиссия (АЭ) при действии весьма слабых внешних полей (удары падающих тел, воздушные потоки, вибровоздействия, микросейсмы, электромагнитные поля с плотностью энергии на единицу объема образца $10^{-10} - 10^{-13}$ Дж/м³. Для всех способов воздействий наблюдалась скачкообразная деформация. Отмечалась реакция запаздывания АЭ относительно момента воздействий, усиление активности АЭ после окончания воздействий. Полагая, что разрушающие тепловые флуктуации охватывают объемы в несколько атомов, т.е. $\Delta V \sim 10^{-21}$ см³ [Куксенко, 1983], то энергия воздействия, распределенная на один элементарный объем ΔE , будет лежать в интервале $10^{-27} - 10^{-30}$ Дж. Эта величина существенно меньше энергии тепловых флуктуаций. Однако образцы доведены до стадии пластического деформирования или близкой стадии, поэтому эффекты слабых воздействий могут объясняться в рамках термофлуктуационной теории [Журков, 1968]. В таких образцах всегда найдутся локальные участки, для которых энергия воздействия $\Delta E \geq (U - \gamma\sigma)$, где U - энергия активации, σ - напряжение, γ - показатель концентрации напряжений. Это триггерный эффект, хотя $\Delta E \ll kT$. Начавшееся локальное микроразрушение вызывает перераспределение полей внутренних напряжений **на длине дислокационного стока**, поэтому стимулирующее с некоторым запаздыванием дальнейшее трещинообразование

на мезо- и микроуровнях. Такие локальные микроразрушения, сопровождаемые пластической деформацией, не снимают упругой энергии в образце. Увеличение концентрации дефектов - микротрещин приведет лишь к уменьшению времени ожидания макроразрыва. Следовательно, попытки обосновать решение таких проблем, как предотвращение сильных землетрясений или регулирование сейсмического процесса, на основе лабораторных экспериментов не являются обоснованными.

РЕАКЦИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ДЕЙСТВИЕ СЛАБЫХ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

В многочисленных работах было показано, что сейсмическая реакция геологической среды на действие внешних слабых источников не была очевидной и внятной, если мы говорим о триггерном воздействии. Очевидным являлось то, что на среду одновременно и непрерывно действуют различные фоновые природные силы: лунные приливы, микросейсмы, сильные землетрясения (СЗ), магнитные бури (МБ), вариации атмосферного давления, упругие волны близких и удаленных землетрясений. В период их действия изучалась реакция среды на действие отдельных техногенных факторов - подземных ядерных взрывов (ПЯВ) [Николаев, Верещагина, 1991а; Тарасов, Тарасова, 1995] и мощных источников тока МГД генератора и генераторного устройства ЭРГУ [Тарасов и коллеги, 1999; Тарасов, 2010]. Природа сейсмической реакции геологической на действие внешних естественных и техногенных источников практически не обсуждалась. Однако в истоках дискуссии лежали глубочайшие заблуждения, в которых утверждается, что слабая сейсмичность, как реакция среды на внешнее воздействие, вызывает разрядку тектонических напряжений (или тектонической энергии). Хотя известно, что даже при сильнейших землетрясениях снимается малая часть фоновой упругой энергии, обусловленной литостатической нагрузкой выше границы Мохо. Очевидно, что для оказания быстрого влияния на среду энергия воздействий должна быть как минимум около тепловой энергии $\Delta E \sim kT$.

Энергия источников и ΔE : ПЯВ, 5.0 - 6.2 Мб, $\Delta E - 2 \cdot 10^{-38}$ Дж (полигон Гарм); МГД генератор (Гарм), 10^7 Дж, $\Delta E - 3 \cdot 10^{-28}$ Дж; МГД генератор (Бишкек), $3 \cdot 10^7$ Дж, $\Delta E - 10^{-27}$ Дж; ЭРГУ (Бишкек), $10^8 - 10^9$ Дж, $\Delta E - 10^{-26} - 10^{-25}$ Дж; МБ (Бишкек, Кавказ), 10^{-3} Дж/сутки m^3 , $\Delta E \sim 10^{-30}$ Дж. Для всех способов воздействий $\Delta E \ll kT$. Приведенные значения ΔE относятся непосредственно к локальным зонам диполей МГД генератора и ЭРГУ и имеют место для всего региона при действии МБ в интервале времени анализа. В период этих исследований действуют также непрерывно природные факторы : приливные деформации с $\Delta E \sim 10^{-26} - 10^{-27}$ Дж и скачки атмосферного давления, например, 100 мбар, для которых

$\Delta E \sim 10^{-29}$ Дж. Как видим, энергия источников воздействия существенно меньше тепловой энергии. Что тогда означает "реакция" среды в виде сейсмических актов с энергией $K = 6.5 - 10$, которую выделяли статистически на длительном отрезке времени?

В работах [Николаев, Верещагина, 1991,1991a] показана активизация сейсмичности после ПЯВ и глубокофокусных Памиро-Гиндукушских событий (ПГС) на территории всей Средней Азии и Кавказа, причем максимум активизации происходил в первую десятидневку после ПЯВ и первую пятидневку после ПГС. После ПЯВ сильнее активизировались глубокофокусные события, однако активизация наблюдалась по всей контролируемой глубине. Учитывая задержку активизации, очевидны выводы об отсутствии триггерного эффекта (для порогового сейсмического акта) и стимулирующем действии сейсмических волн на какие-то процессы в среде.

При воздействии на среду сейсмическими волнами ПЯВ [Тарасов, Тарасова, 1995] наблюдаемая реакция среды в зоне Гармского полигона также была отмечена активизацией. Расстояние от зоны ПЯВ до полигона около 1400 км. Суммарный удельный поток энергии всех ПЯВ на расстоянии 1000 км оценивался величиной порядка 10^{-5} Дж/м³ [Кедров, Кедров, 2002]. Рассматривая кумулятивный анализ действия ПЯВ на среду, была обнаружена сейсмическая активизация в широком диапазоне глубин, включая глубины верхней мантии. Причем отклик слабой сейсмичности был более сильным. Наибольшая реакция среды была в первые 5 - 10 суток после события, появлялась также активизация сейсмичности на 35 - 40 сутки после актов взрывов. Такие задержки реакции вызывают вопросы к природе действия "триггерных" эффектов.

При действии источников МБ [Закржевская, 2002], МГД генератора и ЭРГУ пространственная реакция среды была противоречива. Существовали зоны, в которых слабая сейсмичность возрастала, уменьшалась или не изменялась. Хотя воздействие МГД генератора и ЭРГУ локальные, рассматривалась, также как при действии МБ, практически региональная реакция среды (например, для Бишкекского полигона зона 41-45° с.ш. - 74-81° в.д.). При рассмотрении каждого акта воздействий ЭРГУ (более мощное) в 61% случаев наблюдали увеличение сейсмической активности, а в 39% - уменьшение ($K=6.5 - 10$). Отметим существенное, что для "условных" моментов воздействия источника в период отсутствия пусков ЭРГУ в 1996 и 1999 гг также наблюдались прирост сейсмичности (49% случаев) и уменьшение сейсмичности. Наибольшее "воздействие" от локальных источников "наблюдалось" на расстоянии около 370 км. Также отмечена задержка реакции среды в несколько суток на внешнее воздействие, что исключает прямое триггерное воздействие.

Удивительно, что наблюдалась пространственная реакция среды как на действие локальных источников, так и при "возбуждении" всей среды при МБ. Природа возможных воздействий этих источников могла быть принципиально одинакова, но вызывает вопросы масштабы действия МГД генератора и ЭРГУ. При воздействии на среду МБ могут рассматриваться наведенные индукционные токи, с плотностью в среднем около 10^{-6} А/м². При действии на среду в зоне диполя МГД генератора и ЭРГУ плотность тока была выше, но не более 10^{-3} А/м². При таких плотностях тока изменения в среде произойти не могут. Обсуждаться может действие волновой сейсмической энергии. В единичных импульсах МГД генератора и ЭРГУ вводится электрическая мощность 10^8 - 10^9 Джоуля в течение 5 - 10 сек. Так как коэффициент преобразования электромагнитной энергии в волновую сейсмическую существенно меньше единицы, то реально поглощаемая средой энергия весьма мала (заметим, что запуск МГД генератора сопровождается шумовой сейсмической компонентой с энергией около 10^4 Дж по оценкам Л.М. Богомолова). Однако в этих зонах мониторинга были также мощные техногенные источники сейсмического волнового поля.

Обратим внимание на положение зон мониторинга сейсмического режима при воздействиями МБ, МГД генератора и ЭРГУ относительно гидроэлектростанций: Гармский полигон - Нурекская ГЭС (100 км); Бишкекский полигон - Тохтогульская ГЭС (300 км), ввод 1975 г. и Таш-Кумырская ГЭС (300 км), ввод двух агрегатов 1985 и 1986 гг.; Кавказ - Чиркейская ГЭС (четыре агрегата введены в действие с 1974 по 1976 гг.). Таким образом нельзя исключить неконтролируемого и непрерывного влияния волновой сейсмической энергии сбрасываемой воды ГЭС на результаты пространственного мониторинга сейсмического режима в период электромагнитных воздействий различными источниками, в том числе магнитными бурями в ряде районов зон. Необходимо отметить, что на реакцию среды в период воздействий МБ, ЭРГУ и МГД генератором могли оказать влияние также сейсмические волны землетрясений различной силы на расстояниях в сотни и первые тысячи километров [Николаев, Верещагина, 1991а].

Для оказания быстрого влияния на среду энергия воздействий должна быть близка к тепловой энергии $\Delta E \sim kT$. Эта ситуация реализуется в зонах водохранилищ [Сейсмологические..., 1987]. В зоне Нурекской ГЭС изучалось влияние на сейсмический режим двух факторов: изменение уровня воды и возбуждения в среде "вибраций", обусловленных энергией сброшенных вод и контролируемых по уровню микросейсм (площадь анализа $0.3^\circ \times 0.4^\circ$). Наиболее интересен анализ действия на среду "вибраций". С увеличением уровня микросейсм число и энергия сейсмических событий уменьшалось, а при максимальном уровне микросейсм события с $K > 11$ не наблюдались. Изменение

сейсмического режима наблюдалось при пороговом уровне, соответствующем вводимой в среду энергии 10^{14} Дж/сутки. Энергия сброшенной воды в максимуме оценивалась величиной 10^{15} Дж/сутки. Для этих значений приходящая на один элементарный объем действующая энергия составляет $\Delta E \sim (0.01 - 4)$ кТ для объема среды $(25 - 1)$ км³. В зоне водохранилищ за счет сброса воды происходит непрерывная накачка среды сейсмической волновой энергией на уровне $10^9 - 10^{10}$ Дж/сек. Это существенно больше энергий волновых сейсмических воздействия на среду электромагнитных источников.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

Могут ли быть достоверны выводы авторов об иницировании слабой сейсмичности электромагнитными полями МБ, ЭРГУ и МГД генератором на основе только статистического анализа? Авторы этих работ, зная о существовании в эти периоды действия других источников, игнорировали их. Более того, области мониторинга воздействий и анализа одни и те же (Таджикистан, Киргизия). Прежде всего обратим внимание на основные нестыковки результатов. Первая. Идентичная картина реакции среды на слабые локальные (МГД и ЭРГУ) и пространственное (МБ) "возбуждение" среды. Учитывая, что электромагнитные поля локальных источников быстро затухают с расстоянием, вызывает сомнение в активизации сейсмичности на расстояниях в сотни километров от источника как триггера. При этом источник возбуждения действовал не непрерывно, а всего 10 секунд в одном сеансе. Вторая. Задержка реакции среды на несколько суток относительно кратковременного акта воздействия. Активизации среды, т.е. проявления сейсмических актов, происходят в отдельных или отдаленных друг от друга локальных зонах на расстояниях, подчеркнем это, более длины сейсмического акта. Это указывает на независимость динамики отдельных локальных зон и отсутствие прямой связи с действием источника возбуждения. Третья. Сейсмотектоническая деформация не нагруженного верхнего слоя коры (0 - 5 км) в зоне МГД генераторов в Гармском районе больше чем в Бишкекском районе почти на два порядка. Подобная разница не может быть связана с различием в мощностях генераторов. В Гарме осуществлялось зондирование с 1975 по 1978 годы. К 1978 г. было запущено уже 6 гидроагрегатов: 1972 г. - 2 агрегата, 1973 и 1976 годы - по одному агрегату, 1977 г. - 2 агрегата, 1979 г. - 3 агрегата. Близость Гармского полигона к введенным в эксплуатацию агрегатам могла оказать существенное влияние на динамику поверхностного слоя коры. Вводимая же на полигоне в Бишкеке волновая сейсмическая энергия от МГД генератора была, как отмечено выше, существенно меньшей энергии фоновых сейсмических актов. Влияние на среду сбрасываемой воды на Тохтогульской и Таш-Кумырской ГЭС, по-видимому, ограничено расстоянием до 200 - 250 км. Показанная деформация поверхностного слоя среды в зоне

Бишкека близка к фоновой. Четвертая. Наблюдаемая "пятнистость" среды, т.е. активизация или затишье сейсмического процесса, формально привязанные к воздействию электромагнитных полей, ставит вопросы по состоянию среды и процессам в ней, не связанных с действующими всего лишь секунды кратковременных источников (МГД или ЭРГУ). Смена полярности "пятнистости" при действии МБ в различные периоды времени добавляет вопросы к этим источникам как триггерам, указывая на отсутствие в действии МБ влияния на среду и реальность других источников действия, обусловленных прежде всего природными вертикальными процессами переноса энергии, т.е. водородной дегазацией.

Реакция среды на действие различных факторов контролируется по режиму сейсмических актов. По распространённому сейчас мнению сейсмический акт это трещина (разрыв), которая должна иметь пороговый характер. Однако силового воздействия на среду рассматриваемыми источниками, за исключением эффектов сбрасываемой воды на ГЭС, не происходит. Реально сейсмический акт представляет быструю подвижку вдоль существующих разрывных структур между отдельностями и блоками [Гусев, Гуфельд, 2006; Гуфельд, Новоселов, 2015]. Это означает, что триггерные источники должны были бы привести в действие процессы, изменяющие контактные свойства граничных структур. Природные и техногенные источники электромагнитных полей принципиально ни на какие процессы в геологической среде влиять не могут, даже реализовать магнитопластичность [Бучаченко, 2014], из-за единичного в каждый период импульсного и кратковременного действия, отсутствия в их частотном диапазоне необходимых полей, энергии которых к тому же существенно меньше энергии тепловых флуктуаций. Наблюдаемая задержка реакции среды на действие электромагнитных источников однозначно указывает на определяющую роль других процессов.

Слабые природные упругие волны могут оказывать влияние на динамику ряда процессов в среде. В этой связи обратим внимание на особенности возбуждения сейсмического шумового поля (СШП) и его высокочастотной составляющей (ВСШ). В сейсмическом шуме (периоды от 10^{-3} до десятков секунд) проявляются различные частоты внешних воздействий - штормовых микросейсм, лунно-солнечных приливов, а также солнечно-суточная составляющая. Активизация источников СШП коррелирует с действием внешних фоновых полей, в то же время внешнее воздействие усиливает отклик СШП, но не ослабляет его, поэтому внешнее воздействие можно назвать триггерным. Очевидным было то, что штормовые микросейсм и лунно-солнечные приливы не могли вызывать и поддерживать непрерывный уровень СШП, поэтому среда должна обладать собственным запасом внутренней энергии, который обеспечивает непрерывное и

разнопериодное сейсмическое шумовое излучение [Рыкунов, Смирнов, 1985]. Очевидно, что речь не может идти о стационарной упругой энергии литостатического нагружения. Наиболее вероятно, что источники излучения СШП связаны с декомпрессионными процессами всплывающих газовых пузырей во флюиде [Гуфельд и колл., 2008]. СШП, также как и вариации ОНС фактически управляются восходящими потоками легких газов, протекающими в широком диапазоне температур, включая нормальные.

Это означает, что в геологических условиях конкуренцию термическим флуктуациям составляют процессы взаимодействия восходящих потоков легких газов с твердой фазой, не изменяя степень напряженного состояния, т.е. предельную энергонасыщенность среды, а влияя на параметры граничных структур, контролирующих взаимное быстрое или медленное движение блоков (отдельностей) относительно друг друга. Из этого следует, что восходящие потоки легких газов могут управляться слабыми упругими волнами микросейсм или слабых и отдаленных сейсмических событий во взаимодействии с лунно-солнечными приливами, энергия которых меньше энергии тепловых флуктуаций, т.е. с уровнем (10^{-5} - 10^{-6}) кТ Дж.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Активизации сейсмического процесса после ПЯВ и сильных глубокофокусных Памиро-Гиндукушских землетрясений с задержкой в несколько суток или более также указывает на наиболее вероятную иницирующую роль упругих волн в процессе перестройки структуры граничных слоев. Следует заметить, что рассматриваемые воздействия на среду не могут в принципе привести к разрядке тектонических напряжений. Можно полагать, что процессы перестройки структуры граничных слоев на расстояниях до 1500 км происходили также в период ядерных испытаний на полигонах в Неваде и Семипалатинске, в округе которых в этот период сильнейшие события не происходили. Причем существенно влияние сейсмических событий на последующие, активизируя при этом восходящие потоки легких газов по различным структурным неоднородностям.

Что же отражает площадное распределение сейсмической активности на достаточно длительном периоде времени? Площадное пятнистое распределение сейсмической активности на длительном отрезке времени, формально привязанное к определенным моментам времени, отражает временные особенности вертикальных процессов переноса энергии за счет водородной дегазации и не связана с действием электромагнитных источников энергии (магнитная буря, пуск МГД генератора или любое другое устройство). Статистический анализ со случайными моментами действий не доказывает влияние магнитных полей на сейсмичность. Геологическая среда перманентно

неустойчива и выбор любых точек отсчета для статистического анализа даст также пятнистую картину распределения сейсмичности, несколько отличающуюся локальными контурами. Такая же естественная пятнистая картина сейсмичности показана на Камчатке [Болдырев, 2002] и выделяется при анализе RTL параметра по Камчатке [Кравченко, 2005] и Японии.

Литература

Болдырев С.А. Отражение структуры и свойства литосферы в сейсмическом поле Камчатского региона// Физика земли. 2002. №6. С. 5 - 28.

Бучаченко А.Л. Магнитопластичность и физика землетрясения. Можно ли предотвратить катастрофу?// Успехи физических наук. 2014. Т. 184. №1. С. 101 - 108.

Гусев Г.А., Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс в предельно энергонасыщенной геологической среде и прогноз землетрясений// Вулканология и сейсмология. 2006. №6. С. 71 - 78.

Гуфельд И.Л. Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты: ЦНИИМАШ. 2007. 160 с.

Гуфельд И.Л., Гаврилов В.А., Корольков А.В., Новоселов О.Н. Эндогенная активность Земли и декомпрессионная модель сейсмического шума// Доклады РАН. 2008. Т. 423. №6. С. 811 - 814.

Гуфельд И.Л., Афанасьев А.В., Афанасьева В.В., Новоселов О.Н. Триггерные эффекты сеймотектонического процесса в динамически меняющейся геологической среде// Доклады РАН. 2010. Т. 433. №1. С. 92 - 96.

Гуфельд И.Л., Новоселов О.Н. Безбарьерный сейсмический процесс в зоне субдукции и принципы его мониторинга// Доклады РАН. 2015. Т. 464. №6. С. 716 - 721.

Динамические процессы в геофизической среде. Ред. А.В. Николаев. М.: Наука. 1994. 255с.

Закржевская Н.А. Исследование влияния магнитных бурь с внезапным началом на сейсмичность. Дисс. на соискание ученой степени канд. физико-математических наук. М.: ОИФЗ РАН. 2002. 99с.

Кравченко Н.М. Оценка эффективности прогностического параметра RTL// Вестник КРАУНЦ. Серия наук о Земле. 2005. №2. вып. №6. С. 99 - 107.

Николаев А.В., Верещагина Г.М. Об инициировании землетрясений подземными ядерными взрывами// Доклады РАН. 1991. Т. 319. № 2. С. 333 - 336.

Николаев А.В., Верещагина Г.М. Об инициировании землетрясений землетрясениями// Доклады РАН. 1991а. Т. 318. № 2. С. 320 - 324.

Рыкунов А.Л., Смирнов В.Б. Общие особенности сейсмической эмиссии на различных временных масштабах//Изв. АН СССР. 1985. №6. С. 83 - 87.

Сейсмологические исследования в районах строительства крупных водохранилищ. Таджикистан. Редактор М.А. Садовский. Душанбе: Дониш. 1987. 120с.

Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В. Влияние ядерных взрывов на сейсмический режим// Доклады РАН. 1995. Т. 343. №1. С. 543 - 546.

Тарасов Н.Т., Тарасова Н.В., Авагимов А.А., Зейгарник В.А. Влияние мощных электромагнитных импульсов на сейсмичность// Вулканология и сейсмология. 1999. №4/5. С. 152 - 160.

Тарасов Н.Г. Влияние сильных электромагнитных полей на скорость сеймотектонических деформаций// Доклады РАН. 2010. Т. 433. №5. С. 689 - 692.