

Об управлении сейсмической активностью

© **В. Н. Страхов**¹, **М. Г. Савин**², 2013

¹Институт физики Земли РАН, Москва, Россия

²Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, Россия

Поступила 5 марта 2013 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Обговорено проблему зниження сейсмічної небезпеки за допомогою штучних джерел, насамперед потужного імпульсного МГД-генератора. Показано, що потужні електричні імпульси за дії на вогнищеві зони здатні провокувати сильні землетруси раніше їх природного терміну. Наведено огляд теоретичних робіт, присвячених проблемам інтерпретації керованої сейсмічності. Автори не приховують труднощій на шляху досягнення механізмів складних сейсмічних процесів у такій відкритій нелінійній дисипативній системі, яка відповідає реальному геосередовищу, а також вказують на питання, вирішення яких можливе лише за виконання широкомасштабного геофізичного експерименту з штучними джерелами (потужними імпульсними МГД-генераторами, сейсмівібраторами, електрогенераторами та ін.). Зроблено висновок щодо загальної потреби у розробці Федеральної програми робіт із зменшенням сейсмічної небезпеки, яка об'єднує традиції геофізичного моніторингу, поставленого на строго наукову базу, та ідеї керованої сейсмічності.

The problem of seismic hazard decrease with the help of artificial sources, mainly the powerful impulse MHD-generator is considered. It has been shown that powerful electric impulses during their action on source zones are able to provoke strong earthquakes before their natural term. A review of theoretical works dedicated to the problems of interpretation of controlled seismicity is given. The authors do not conceal the difficulties on the way of comprehending difficult seismic processes in such open, nonlinear dissipative system, which corresponds to real geo-medium as well as they denote a set of problems, which can be solved only due to performance of large-scale geophysical experiment with artificial sources (powerful impulse MHD-generators, seismic vibrators, electric generators et al.). A conclusion is made on the vital necessity of elaboration of Federal program of works to decrease seismic hazard, which integrates traditions of geophysical monitoring based on scientific foundation and the ideas of controlled seismic activity.

Введение. В предыдущих работах [Страхов, Савин, 2013а, б] было показано, что важнейшая проблема наук о Земле — краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений как бы повис в воздухе. Действительно, традиционный путь прогноза сейсмического события, основанный на изучении предвестников землетрясений, оказался неэффективным и заводит в тупик [Silver, Wakita, 1996; Моргунов, 1999]. В то же время возможности физического и математического эксперимента, ввиду пока еще необъяснимой сложности геофизической среды, также весьма ограничены и в настоящее время не соответствуют прогностическим целям. В дополнение к сказанному и в свете последних обсуждений представляют интерес некоторые положения Решения Российского экспертного совета (РЭС) по прогнозу землетрясений и

оценке сейсмической опасности от 23 декабря 2012 г. Кратко остановимся на тезисах РЭС, любезно предоставленных А. В. Николаевым, с той оговоркой, что некоторые из них авторы статьи считают дискуссионными.

1. Нельзя требовать обязательного выполнения наблюдаемых закономерностей; допустимы необъяснимые факты. Есть вещи, которые пока находятся вне нашего сознания, вне существующих представлений, миропонимания.
2. Предвестники землетрясений могут иметь произвольное пространственно-временное распределение, переменны, неустойчивы в проявлениях, часто непонятны.
3. Прогноз землетрясения может иметь разное содержание: землетрясение про-

изоидет (где, когда, какой магнитуды); не произойдет в течение определенного времени (задается интервал времени, где, какая магнитуда); конфликт предсказаний: на фоне предсказания — контрпредсказание, отмена сильного афтершока, отмена предсказания вообще. Примечание: в статье [Страхов, Савин, 2013а] перечисленные выше функции обеспечиваются системой мониторинга краткосрочных предвестников по принципу экспертной системы оценки вероятности возникновения землетрясения, в том числе при использовании искусственного интеллекта, осуществляющим ранговое распознавание ситуации.

4. Надо согласиться:

а) с тем, что существуют парадоксы, противоречащие многим догмам современной науки, общепринятым истинам;

б) с тем, что экспериментальные факты неоспоримы (при уверенном их признании), роль теории в попытке их объяснения вторична, а иногда и вредна;

в) с некоторыми положениями парапсихологии, как то интуиция, телекинез, ясновидение, прокогниция и др.;

г) с фактами влияния на результат индивидуальной психологии исследователя артефактов;

д) с неприменимостью требования обязательной воспроизводимости геофизического эксперимента.

5. Принимая во внимание всю сложность и взаимосвязь наведенной сейсмичности, смягчить представления о причинно-следственных связях при анализе сопутствующих землетрясениям процессов, а также при изучении эволюции геодинамических и других геологических процессов.

6. Смягчить действующие «табу», касающиеся логики, математики, физики, заменив в них жесткие утверждения словами «почти», «вероятно», «маловероятно, но возможно» и т. п. В таком ключе могут быть перефразированы многие жесткие утверждения.

7. При анализе сложных геофизических систем, сопоставления явлений различной природы, следует учитывать энтропийность процессов, их направленность на создание хаоса или порядка. Этот вопрос, отчетливо поставленный Н. А. Козыревым [Козырев, 1991], в применении к сейсмологии практически не изучался.

Отсюда следует, что, осознавая неэффективность прежнего курса, геофизическая общественность, мнение которой является решающим при определении дальнейшей стратегии исследований в сейсмологии, начинает уходить от традиционной и общепринятой идеологии и подвергает сомнению методы, считающиеся до сих пор незыблемыми. В настоящей, третьей и заключительной части нашей работы, мы сделаем попытку сформулировать и обосновать вторую из заявленных ранее «неиспользованных возможностей» в вопросе уменьшения сейсмической опасности.

Основные положения. Авторами [Страхов, Савин, 2013б] указывалось, что при анализе проблемы уменьшения сейсмической опасности целесообразно обратиться к теории диссипативных структур — устойчивых пространственно-неоднородных образований, возникающих в результате развития неустойчивости в неравновесной диссипативной среде. Эта теория [Пригожин, Николис, 1979] соответствует явлению самоорганизации в земной коре, мантии и в планетарном масштабе в целом. Здесь развитие событий определяется точками бифуркации, в которых траектория движения разделяется на множество равновероятных ветвей. Где и когда «лопнет» земная кора и произойдет землетрясение? От каких факторов зависит выбор ветви, по которой пойдет движение структуры? От флуктуаций на микроскопическом уровне, утверждает И. Р. Пригожин, при этом процессы самоорганизации в глубинных структурах Земли идут непредсказуемо, внезапными скачками. Лишь в отдельных случаях (например, при построении модели конвекции в мантии в масштабах геологического времени [Сеидов, 1989]) удается прорубить просеку детерминизма в лесу неопределенностей.

Чувству бессилия перед непредсказуемыми катастрофическими событиями может противостоять глубокая мысль, высказанная самим И. Р. Пригожиным: «Мир есть конструкция, в построении которой мы все можем принимать участие». Смысл творческого импульса, порожденного эпохой бифуркаций, в самой их природе. А именно, в возможности сознательного инициирования именно тех флуктуаций, которые придадут желательное нам направление развитию событий. В контексте сейсмологии нас интересует именно тот путь развития глубинных процессов, который бы уменьшал риск возникновения катастрофических землетрясений в районах с большой плотностью

населения и концентрацией промышленности. В настоящее время речь, естественно, не может идти о глобальном изменении сейсмического режима, нормального и закономерного явления природы, обеспечивающего динамическую устойчивость земной коры и планеты в целом. Мы имеем в виду искусственное инициирование малых флуктуаций, возбуждающих механизм разгрузки тектонических напряжений еще до того момента, когда они достигнут критических значений, соответствующих энергии катастрофических землетрясений. Следовательно, основная идея заключается в попытке управления сейсмическим процессом, т. е. изменении пространственно-временной сейсмической активности в его докритической стадии, преследуя цель уменьшения сейсмической опасности с помощью искусственных источников (мощные импульсные МГД-генераторы, подземные ядерные взрывы, сеймовибраторы, электроразведочные генераторные устройства и т. д.).

Экспериментальные результаты. Эффект «отжига» сильных землетрясений, т. е. процесс выделения избыточной тектонической энергии, накопленной до эксперимента, в виде серии относительно слабых землетрясений проявился как некий побочный результат при выполнении мониторинга электропроводности земной коры с целью предсказания сильных землетрясений с помощью мощных импульсных МГД-генераторов в 1976—1978 гг. на сейсмоактивном Гармском полигоне [Велихов, Волков, 1981]. Более отчетливо этот эффект проявился при зондировании земной коры одиночными электрическими импульсами в 1983—1989 гг. на Бишкекском полигоне, т. е. в других геолого-геофизических условиях [Тарасов, 1997; 2007; Зейгарник и др., 1999]. Другой впечатляющий результат — изменение сейсмического режима Земли во время проведения подземных испытаний ядерных зарядов мощностью более трех мегатонн в 1996—1988 гг. [Николаев, Верещагина, 1991]. Показательно значительное уменьшение сейсмической активности в масштабах всей планеты: лишь в недолгий период «горбачевского моратория» на испытания произошло единственное сильное землетрясение с магнитудой больше 8,3.

Отметим главный и основной результат проведенных исследований, по праву принадлежащий Н. Т. Тарасову: «Экспериментально обнаружен некий механизм с колоссальным коэффициентом усиления (порядка миллиона)» [Велихов, 2000]. (Коэффициент усиления

— отношение суммарной (дополнительной) энергии инициированных землетрясений к общей энергии электрических импульсов МГД-генератора, «закаченных» в земную кору в процессе эксперимента — прим. авторов.) Этот и другие результаты, такие как мощное влияние электрических импульсов МГД-генератора на сейсмический режим; проявление эффекта преимущественно в верхнем пятикилометровом слое разреза; перераспределение землетрясений по их энергетическим классам и изменение их пространственно-временного распределения; наличие запаздывания на 3—4 суток между пуском МГД-генератора и началом выделения дополнительной сейсмической энергии, неоднократно освещались в литературе и были предметом обсуждений на совещаниях разного уровня.

Общий вывод таков. Воздействие искусственными источниками (в частности, мощными электрическими импульсами МГД-генератора) на геосреду вызывает сильный сейсмический отклик в виде серии слабых и умеренных землетрясений, способствующих «разгрузке» заранее накопленных тектонических (упругих) напряжений в локальной области (радиус области «отжига» землетрясений до 500 км [Савин, Смагин, 2004]). Этот экспериментальный факт может служить основой для разработки методик предотвращения катастрофических землетрясений. Однако было бы ошибкой не предостеречь читателя от излишнего оптимизма, ибо вопросов (например, вопрос о случайном эффекте усиления в конкретных условиях сейсмоактивной геосреды и т. п.) возникает больше, чем убедительных ответов на них. Поэтому необходимы дальнейшие экспериментальные исследования.

Теоретические исследования. Попыткам объяснения физических механизмов регулируемой сейсмичности, бесспорно важных как для решения одной из фундаментальных задач сейсмологии, так и для создания практических методик уменьшения сейсмической опасности, посвящено значительное количество работ [Николаев, Верещагина, 1991; Кадомцев, 1994; Страхов, 2000; Дещерский и др., 2003; Савин, Смагин, 2004; Фрадков, 2005; Савин, 2005; Гуфельд, 2007; Любушин, 2007; Дмитриевский, 2008; Гульельми, 2008; Геншафт, 2009; Фридман и др., 2010]. На наш взгляд, наиболее глубокий и полный анализ ситуации дан в работе В. Н. Шумана [Шуман, 2011]. Автор конкретизирует понятие «триггерного механизма» воздействия на сейсмический процесс, уточняя

его смысл при различных подходах к моделям геосреды, подчеркивает роль геосреды как открытой диссипативной системы, в которой «игра нелинейных и динамических процессов очень часто приводит к самоорганизации...», одновременно привлекая принципы теории управления и теорию аттракторов, в частности, для интерпретации механизма разрушения системы, освещает проблему критических явлений, в том числе концепцию самоорганизованной критичности, констатирует тот принципиально важный для практических приложений факт, что «в неустойчивых системах малыми сигналами можно сильно изменить траекторию, причем для этих управляющих сигналов важна не их величина, а точное соответствие возможности перевода исходной траектории на нужную». Мы полностью согласны с выводом В. Н. Шумана о том, что «лабораторные результаты вряд ли могут служить убедительным доказательством возможности регулирования сейсмического процесса, так как совершенно ясно, что рассматриваемые лабораторные образцы и условия их нагружения (заметим, что при этом колоссальная разница температур образцов и глубинных пород игнорируется — В. Н. Страхов, М. Г. Савин) не могут моделировать реальную геосреду — динамически неустойчивую открытую нелинейную систему». Мы сознательно упускаем некоторые интересные идеи В. Н. Шумана (например, контроль с помощью шума в геосистеме для изучения эффективности искусственных воздействий с целью изменения траектории развития геосреды и другие), изложение которых читатель найдет в упомянутой выше его статье. Примечательно, что отсутствие убедительных доказательств воздействия МГД-генератора и других искусственных и естественных источников на сейсмический процесс автор объясняет случайным несистематическим характером постановки эксперимента, игнорирующим шумовую компоненту в геосреде во время его проведения. В итоге автор выделяет некоторые направления исследований, которые естественно рассматривать в качестве первоочередных задач при планировании экспериментальных работ и построении будущих моделей управления сейсмическим процессом.

Необходимость проведения широкомасштабного эксперимента. Если сказать, что о процессах развития сейсмичности в геосреде, также как и о структуре таковой, мы знаем слишком мало, это значит почти ничего не сказать. В то же время любая теоретическая

модель управляемой сейсмичности строится на априорных данных о геосреде. Несмотря на смягчение жестких требований, о которых упомянул А. В. Николаев (см. выше), гипотетические модели, даже если они безупречны в отношении математического аппарата, но не находят опоры в экспериментальных фактах, неконструктивны. Для изучения проблемы, обсуждений и выработки стратегии дальнейшего научного поиска в 1998 г. по инициативе Е. П. Велихова при РНЦ «Курчатовский институт» была создана рабочая группа «Разработка технологий уменьшения сейсмической опасности с помощью мощного импульсного МГД-генератора» (Е. П. Велихов, президент РНЦ «Курчатовский институт» — научный руководитель), С. И. Смагин, М. Г. Савин (ВЦ ДВО РАН), А. В. Николаев (ИФЗ РАН), В. А. Зейгарник, В. А. Новиков (ИВТАН), Ю. Г. Щорс, А. С. Лисин (РНЦ «Курчатовский институт»). Указанной рабочей группой была подготовлена Программа НИР «Исследование глубинного геоэлектрического строения Дальнего Востока, геофизический мониторинг и уменьшение сейсмической опасности с помощью мощного импульсного МГД-генератора» [Велихов и др., 2004], включающая пятнадцать заинтересованных организаций, выразивших свое согласие на участие в широкомасштабном эксперименте, и рассчитанная на три года работы. Различные аспекты Программы (определение целей и задач исследований, выбор и подготовка полигона, экспериментальные и теоретические работы, объем финансирования и т. п.), направленной на подготовку и проведение широкомасштабного эксперимента на Дальнем Востоке, подвергались всестороннему обсуждению как в научных кругах, так и во властных структурах.

21 сентября 1999 г. Е. П. Велихов сделал доклад «О применении мощных импульсных МГД-генераторов для уменьшения сейсмической опасности» [Велихов, 2000] на заседании НТС г. Москвы в присутствии широкой научной общественности (более 100 ученых из различных регионов страны). Наиболее содержательные соображения по поводу доклада высказаны В. Н. Страховым [Страхов, 2000].

Отмечая необыкновенную важность и безусловный интерес для практического использования высокой научной технологии в деле снижения сейсмической опасности, он отметил: «Автор доклада на ряде региональных примеров убедительно доказал, что воздействие импульсов МГД-генератора на гео-

логическую среду вызывает ответную сейсмическую разгрузку земной коры и изменение пространственно-временного распределения сейсмической активности. Данный эффект позволяет проводить натурные эксперименты по мониторингу сейсмического процесса в очагах готовящегося землетрясения и, возможно, спровоцировать разрядку накопившихся напряжений в экспериментальном очаге путем триггерного возбуждения слабой и умеренной сейсмичности... В то же время известны случаи, когда сильные импульсные воздействия не способствовали разрядке созревающих сейсмических очагов... Для ответа на этот и другие вопросы, а также для отработки методики и построения надежного целого из множества ненадежных компонентов в деле прогноза землетрясений необходимо провести тот самый крупномасштабный эксперимент, о котором говорил Е. П. Велихов».

К сожалению, политическая обстановка в стране 14 лет назад, как и другие причины, в том числе и причины финансового характера, не позволили довести дело до конца, указанный широкомасштабный эксперимент так и не был осуществлен. За прошедший период времени были получены интересные результаты. Например, изучена зависимость эффективности искусственных воздействий от характера действующих одновременно естественных воздействий — их фазы, интенсивности, частоты и некоторые другие. Поэтому правильное сочетание искусственных воздействий с естественными источниками способно существенно усилить эффективность воздействия на геосреду, разрядку тектонических напряжений, снижение риска возникновения разрушительных землетрясений [Савин, Смагин, 2004]. Однако отдельные результаты общую проблему не решают.

Представим себе на миг, что землетрясения вдруг прекратились. Все человечество ликует и радуется, кроме сейсмологов, которые лишились работы. Однако радость эта преждевременна, ибо только землетрясения, дающие мощный выброс сейсмической энергии, обеспечивают динамическое равновесие литосферы, нарушаемое неравномерностью вращения Земли, солнечно-лунными приливами, солнечной активностью, техногенными влияниями и другими факторами [Никонов, 1984; Сытинский, 1989]. Нарушение динамического равновесия такой упругопластичной и самоорганизованной (в рамках понятий неравновесной физики) системы, как наша планета,

означало бы прекращение ее существования.

Следовательно, рассматриваемый с самых общих позиций вопрос уменьшения сейсмической опасности в промышленных, густонаселенных и одновременно сейсмоактивных районах может быть сведен к изменению пространственно-временного распределения землетрясений.

Заключение. В настоящее время созрели все предпосылки для того, чтобы вернуться к «упущенным», а точнее, неиспользованным возможностям, указанным в работе [Страхов, Савин, 2013а, б] и настоящей статье, ибо убедительной альтернативы таковым для решения проблемы уменьшения сейсмической опасности пока не просматривается и в ближайшем будущем трудно ее ожидать. Более того, обе указанные неиспользованные возможности близки по духу и сути, взаимно дополняют и обогащают друг друга. В самом деле, без использования результатов площадного геофизического мониторинга (пассивный эксперимент), выполненного с учетом положений [Страхов, Савин, 2013а], сама постановка активного эксперимента становится проблематичной. В то же время устойчивость прогностической системы, основанной на комплексном анализе предвестников землетрясений различной природы, тесно связана с достоверностью информации о глубинном веществе, получаемой в результате активного воздействия на литосферу.

Бесспорным преимуществом двух обсуждаемых подходов для решения проблемы краткосрочного прогноза землетрясений является их отстраненность от каких-либо сомнительных допущений, которыми так богата геофизика. Действительно, при реализации обсуждаемых подходов мы полностью абстрагируемся от домыслов и неоправданных догадок при безуспешных попытках втиснуть сложнейшие и до сих пор непостижимые процессы в очаге в рамки привычного нам «простого» мышления, принципиально неприменимого в глубинной геофизике. Математическое моделирование без экспериментальной опоры сводится к игре гипотез и выбору некоей наиболее правдоподобной из них. Теперь же объектом исследования является «черный ящик» (созревающий очаг землетрясения), излучающий либо предвестники различной природы (при площадном мониторинге), либо отклик на внешнее воздействие в результате активного эксперимента. Обратная задача (исследование структуры и свойств «черного ящика»), осно-

ванная на изучении измерений достоверных откликов геосреды, теперь обретает вполне реалистическое содержание. Отсюда вытекает безусловная актуальность и безотлагательная необходимость объединения двух указанных подходов к решению проблемы сейсмической безопасности. Важным шагом на этом пути явилось бы создание единой Федеральной программы под условным названием «Разработка технологий уменьшения сейсмической опасности» на основе объединения существующих Федеральных программ краткосрочного прогноза разрушительных землетрясений

[Страхов и др., 2005] и широкомасштабного эксперимента [Велихов и др., 2004]. Иной альтернативы уменьшения сейсмической опасности от разрушительных землетрясений, кроме как создание и реализация единой концепции, учитывающей закономерности естественного природного эксперимента и искусственного экспериментального воздействия на до сих пор непостижимые глубинные процессы, мы не видим. Мы были бы благодарны всем тем, кто такую нам укажет. Сегодня мы говорим о неиспользованных возможностях. Завтра это уже упущенные возможности.

Список литературы

- Велихов Е. П.* О применении мощных импульсных МГД-генераторов для исследования глубинного геоэлектрического строения Земли и проведения геофизического мониторинга для уменьшения сейсмической опасности // Протокол заседания НТС Комплекса перспективного развития г. Москвы, 21.09.1999. Материалы заседания. — Москва: Правда Москвы, 2000. — С. 15.
- Велихов Е. П., Волков Ю. М.* Перспектива развития импульсной МГД-энергетики и ее применение в геологии и геофизике // РНЦ «Курчатовский институт» 3436/6. — Препр. — Москва, 1981. — 28 с.
- Велихов Е. П., Николаев А. В., Новиков В. А.* Программа НИР «Исследование глубинного геоэлектрического строения Дальнего Востока, геофизический мониторинг и уменьшение сейсмической опасности с помощью мощного импульсного МГД-генератора». — Москва: РНЦ «Курчатовский институт», 2004. — 15 с.
- Геншафт Ю. С.* Земля — открытая система: геологические и геофизические следствия // Физика Земли. — 2009. — № 8. — С. 4—12.
- Гульельми А. В.* Инерционные эффекты в коре и магнитосфере Земли // Физика Земли. — 2008. — № 1. — С. 50—56.
- Гуфельд И. Л.* Сейсмический процесс. Физико-химические аспекты. — Королев: ЦНИИМаш, 2007. — 160 с.
- Дещерский А. В., Лукк А. А., Сигорин А. Я.* О новой парадигме прогноза землетрясений // Докл. РАН. — 2003. — **388**, № 2. — С. 233—236.
- Зейгарник В. А., Авагимов А. А., Тарасов Н. Т.* Можно ли управлять землетрясениями? // Наука в России. — 1999. — № 6. — С. 16—21.
- Кагомцев Б. В.* Динамика и информация // Успехи физ. наук. — 1994. — **164**, № 5. — С. 449—530.
- Козырев Н. А.* Избранные труды. — Ленинград: Изд-во Ленингр. ун-та, 1991. — 441 с.
- Любушин А. А.* Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга / Отв. ред. Г. А. Соболев. — Москва: Наука, 2007. — 228 с.
- Моргунов В. А.* Реальности прогноза землетрясений // Физика Земли. — 1999. — № 1. — С. 79—91.
- Николаев А. В., Верещагина Г. М.* Об инициировании землетрясений землетрясениями // Докл. АН СССР. — 1991. — **318**, № 2. — С. 333—336.
- Пригожин И., Николис Г.* Самоорганизация в неравновесных системах: От диссипативных структур к упорядоченности через флюктуации. — Москва: Мир, 1979. — 512 с.
- Савин М. Г.* Лечу землетрясения. Услуги платные // Химия и жизнь. — 2005. — № 11. — С. 8—13.
- Савин М. Г., Смагин С. И.* Применение МГД-генераторов в геофизических исследованиях на Дальнем Востоке // Вестн. ДВО РАН. — 2004. — № 2. — С. 129—143.
- Сеигов Д. Г.* Синэргетика геофизических систем // Природа. — 1989. — № 9. — С. 25—35.
- Страхов В. Н.* Отзыв на доклад академика Е. П. Велихова «О применении мощных импульсных МГД-генераторов для исследования глубинного геоэлектрического строения Земли и проведения геофизического мониторинга для уменьшения сейсмической опасности» // Протокол заседания НТС комплекса перспективного развития г. Москвы, 21.09.1999. Материалы заседания. — Москва: Правда Москвы, 2000. — С. 17.
- Страхов В. Н., Савин М. Г.* О научных основах краткосрочного прогноза землетрясений // Геофиз. журн. — 2013а. — **35**, № 2. — С. 18—23.
- Страхов В. Н., Савин М. Г.* Уменьшение сейсмической опасности: упущенные возможности // Геофиз. журн. — 2013б. — **35**, № 1. — С. 4—12.

- Страхов В. Н., Соболев Г. А., Рукин М. Д., Моргунов В. А., Сигорин А. Я.* О необходимости Федеральной программы работ по решению проблемы краткосрочного прогноза землетрясений. — Москва: ОИФЗ РАН, 2005. — 40 с.
- Тарасов Н. Т.* Изменение сейсмичности коры при электрическом воздействии // Докл. АН СССР. — 1997. — **353**, № 4. — С. 542—545.
- Тарасов Н. Т.* Изменение сейсмического процесса при облучении коры мощными электромагнитными импульсами. Электромагнитные исследования Земли / Под ред. В. В. Спичака: Материалы 3-й Междунар. конф. по электромагнитным зондированиям Земли (Звенигород, 2—8 сентября 2007 г.). — Москва: ИФЗ РАН, 2007. — С. 124—137.
- Фрагков А. А.* О применении кибернетических методов в физике // Успехи физ. наук. — 2005. — **175**, № 2. — С. 113—138.
- Фригман А. М., Поляченко Е. В., Насырканов Н. Р.* О некоторых корреляциях в сейсмодинамике и двух компонентах сейсмической активности Земли // Успехи физ. наук. — 2010. — **180**, № 3. — С. 303—312.
- Шуман В. Н.* Геосреда и сейсмический процесс: проблемы управления // Геофиз. журн. — 2011. — **33**, № 2. — С. 3—15.
- Silver P., Wakita H.* Earthquake precursors // Science. — 1996. — **275**. — P. 77.